



HAL
open science

L'apprentissage de procédures médicales par vidéo : effets de la segmentation et du contrôle du rythme par l'apprenant

Nicolas Biard

► **To cite this version:**

Nicolas Biard. L'apprentissage de procédures médicales par vidéo : effets de la segmentation et du contrôle du rythme par l'apprenant. Psychologie. Université Rennes 2, 2019. Français. NNT : 2019REN20002 . tel-02020680

HAL Id: tel-02020680

<https://theses.hal.science/tel-02020680>

Submitted on 15 Feb 2019

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 RENNES 2
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

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

Par

Nicolas BIARD

**L'apprentissage de procédures médicales par vidéo :
effets de la segmentation et du contrôle du rythme par l'apprenant**

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 11 janvier 2019
Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement, Communication
LP3C (EA 1285)

Rapporteurs avant soutenance :

Jean-Michel BOUCHEIX
Franck GANIER

Professeur des universités, Université Bourgogne Franche-Comté
Professeur des universités, Université Bretagne Occidentale

Composition du Jury :

Examineurs : Mireille BETRANCOURT
Jean-Michel BOUCHEIX
Franck GANIER
Dir. de thèse : Éric JAMET

Professeure des universités, Université de Genève
Professeur des universités, Université Bourgogne Franche-Comté
Professeur des universités, Université Bretagne Occidentale
Professeur des universités, Université Rennes 2



UNIVERSITÉ RENNES 2 – HAUTE BRETAGNE

Laboratoire de Psychologie : Cognition, Comportement,
Communication (LP3C)

École Doctorale Education, Langage, Interactions, Cognition,
Clinique (ED 603 ELICC)

Sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

**L'apprentissage de procédures médicales par vidéo :
effets de la segmentation et du contrôle du rythme par l'apprenant**

Thèse de Doctorat

Discipline : Psychologie

Présentée par Nicolas BIARD

Directeur de thèse : Éric JAMET

Soutenue le 11 janvier 2019

Jury :

Mireille BETRANCOURT

Professeure des universités, Université de Genève / *Examinatrice*

Jean-Michel BOUCHEIX

Professeur des universités, Université Bourgogne Franche-Comté / *Rapporteur*

Franck GANIER

Professeur des universités, Université Bretagne Occidentale / *Rapporteur*

Éric JAMET

Professeur des universités, Université Rennes 2 / *Directeur de thèse*

Pour Anne-Laure, Alexandre, Léna et Clémence : Je vous aime tant

Pour Amand : tu nous manques

« On éprouve toujours du plaisir à mesurer le chemin qu'on a fait ».

Quintilien ; De l'institution oratoire, IV - env. 90 ap. J.-C.

Remerciements

Quelle drôle d'impression que d'écrire cette partie de thèse ! Cela veut-il dire que j'arrive au bout du chemin ? Peut être d'un chemin universitaire, mais encore bien d'autres s'ouvrent désormais à moi pour poursuivre mon parcours professionnel. Comment ne pas remercier en premier lieu Anne-Laure, mon épouse pour son soutien sans faille au cours de ce marathon de plus de 2000 jours de marche, sprint, retours en arrière, puis à nouveau de marche et de sprint... Comment ne pas remercier également Samuel Pouplin et Jean-Luc Blaise grâce (à cause ?) à qui j'ai pu enfiler mon sac à dos et bâton de pèlerin pour partir à la conquête de tous ces sommets (bon, j'avoue, je les ai parfois un peu maudits quand même....).

En premier lieu, je tiens à remercier Eric Jamet, mon guide de haute montagne, d'avoir accepté de me prendre en thèse et de m'avoir accompagné tout au long de ce travail. Merci de m'avoir guidé sur le long et sinueux chemin de la recherche.

Merci aux membres du jury, Mireille Bétrancourt, Jean-Michel Boucheix et Franck Ganier, d'avoir accepté de consacrer de leur temps pour examiner ce travail et échanger sur ces résultats.

Merci à Colette Gable d'avoir accepté de me laisser utiliser ses vidéos pour mener à bien mes expérimentations.

Merci aux collègues du LP3C pour les moments d'échanges lors de mes rares venues au labo. Croyez bien que je regrette de ne pas avoir pu être plus présent, tant ce partage était à la fois convivial et de qualité. Merci plus spécialement aux doctorants avec qui j'ai usé mes fonds de culotte : Anne-Laure, Jean, Jonathan, Natacha, Nicolas, Salomé, Sylvain, Tiphaine, et ceux que je n'ai pas eu la chance de rencontrer. Merci également à Jérémie et Martin pour votre aide sur la programmation et la logistique lors des études.

Merci aux équipes de l'Institut de Formation en Ergothérapie et l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Rennes de m'avoir apporté l'aide nécessaire pour réaliser mes expérimentations. Merci aux étudiants qui ont accepté d'y participer.

Merci aux ergothérapeutes, bénévoles et collègues de l'ANFE, avec qui j'ai pu échanger de maintes fois sur la recherche et le travail de thèse. A nous de continuer à faire avancer la recherche en ergothérapie maintenant !

Merci à ma famille de m'avoir permis de faire des études il y a déjà bien longtemps...

Merci Gisèle pour ta relecture attentive.

Merci Amand d'avoir toujours cru en moi.

Et enfin, un énorme merci à toi, Anne-Laure (déjà dit, mais c'est pas grave !), de m'avoir accompagné et soutenu quotidiennement. Je mesure bien que cela n'a sans doute pas toujours été facile. Merci Alexandre, Léna et Clémence pour votre patience. Quelle chance de vous avoir ! Maintenant papa va être davantage disponible pour vous !

Sans vous tous, je n'aurais sûrement pas pu mener de front ce travail en parallèle de mon activité professionnelle et de ma vie familiale. **MERCI !**

Préambule

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

Publications dans des revues à comité de lecture :

Biard, N., Cojean, S., & Jamet, E. (2018). Effects of segmentation and pacing on procedural learning by video. *Computers in Human Behavior*, 89, 411-417.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.002>

Communications orales et actes de colloque :

Biard, N. (2017). *Optimisation de l'interactivité dans les vidéos pour faciliter l'apprentissage des gestes professionnels*. Colloque « L'ergonomie et le design au service des environnements d'apprentissage », mars, EHESP, Rennes.

Biard, N. (2015). *Optimisation des vidéos par segmentation et contrôle du rythme lors d'un apprentissage procédural*. Journée des doctorants, mai, LP3C, Université Rennes 2

Communications affichées :

Biard, N. & Jamet, E. (2018). Effects of segmentation and pacing on procedural learning by video, 17th WFOT Congress, mai, Cape Town, South Africa

Table des matières

INTRODUCTION	11
PARTIE THEORIQUE.....	14
1. L'APPRENTISSAGE PAR LES DOCUMENTS MULTIMEDIAS.....	15
1.1. DEFINITIONS.....	15
1.2. THEORIE DE LA CHARGE COGNITIVE.....	17
1.2.1. Définition et objectifs	17
1.2.2. Les 3 types de charges cognitives.....	18
1.2.3. Interrelations entre les différentes charges cognitives.....	23
1.3. LE MODELE DE L'APPRENTISSAGE MULTIMEDIA DE MAYER	24
1.3.1. Définition et objectifs	24
1.3.2. Les hypothèses de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia	25
1.3.3. Les processus engagés	26
1.3.4. Les principes de conception des documents multimédias.....	28
1.4. CONCLUSION SUR LES MODELES THEORIQUES	31
2. APPRENTISSAGE DES GESTES PROFESSIONNELS	32
2.1. APPRENTISSAGE DES PROCEDURES.....	32
2.1.1. Définition d'une procédure	32
2.1.2. Le traitement d'un document procédural.....	33
2.1.3. Temporalité de l'exécution de la procédure	35
2.1.4. Processus cognitifs mis en œuvre dans le traitement de documents procéduraux	37
2.1.5. L'effet des connaissances préalables.....	43
2.2. LES NEURONES MIROIRS	43
2.2.1. Définition des neurones miroirs	43
2.2.2. Implication des neurones miroirs dans l'apprentissage.....	45
2.3. MULTIMEDIA ET APPRENTISSAGE DES GESTES PROFESSIONNELS	49
2.3.1. Les différentes modalités de présentation de l'information	50
2.3.2. La formation professionnelle dans le domaine de la santé.....	58
2.3.3. Difficultés rencontrées dans l'apprentissage par vidéo	65
3. INTERACTIVITE DANS LES VIDEOS	68
3.1. INTERACTIVITE ET CONTROLE PAR L'APPRENANT.....	68

3.1.1. Les différents types d'interactivité	69
3.1.2. Interactivité et charge cognitive	71
3.1.3. Impact des connaissances préalables de l'apprenant sur l'apport de l'interactivité	71
3.1.4. Bénéfices de l'interactivité	72
3.1.5. Limites de l'interactivité.....	74
3.2. LE CONTROLE DU RYTHME PAR LES PAUSES.....	76
3.2.1. Bénéfices des pauses.....	78
3.2.2. Limites des pauses.....	80
3.3. LA SEGMENTATION.....	81
3.3.1. Réduire la labilité de l'information	82
3.3.2. Améliorer la perception de la structure sous-jacente.....	84
3.3.3. Études sur les effets de la réduction de la labilité de l'information et l'amélioration de la perception de la structure sous-jacente liés à la segmentation.....	89
3.4. ASSOCIATION DE LA SEGMENTATION ET DU CONTROLE DU RYTHME.....	92
4. CONCLUSION.....	96

PARTIE EXPERIMENTALE..... 97

1. INTRODUCTION GENERALE.....	98
1.1. RAPPEL DE LA PROBLEMATIQUE GENERALE	98
1.2. PRESENTATION DU MATERIEL EXPERIMENTAL	99
1.2.1. Choix du matériel expérimental.....	99
1.2.2. Descriptif du matériel.....	102
2. ETUDE 1 : IMPACT DES PAUSES ET DE LA SEGMENTATION DANS L'APPRENTISSAGE PAR VIDEO	106
2.1. INTRODUCTION	106
2.2. HYPOTHESES	108
2.3. METHODE.....	110
2.3.1. Participants.....	110
2.3.2. Matériel	111
2.3.3. Procédure expérimentale	113
2.3.4. Mesures	114
2.4. RESULTATS	118
2.4.1. Utilisation du bouton pause.....	118
2.4.2. Qualité de l'apprentissage	120
2.4.3. Questionnaire subjectif.....	121

2.5. CONCLUSION.....	123
3. ETUDE 2 : EFFET DE LA DUREE D'EXPOSITION A DES IMAGES STATIQUES AUX ETAPES CLES DE LA PROCEDURE.....	127
3.1. INTRODUCTION	127
3.2. HYPOTHESES	128
3.3. METHODE.....	129
3.3.1. Participants.....	129
3.3.2. Matériel	130
3.3.3. Procédure expérimentale	131
3.3.4. Mesures	131
3.4. RESULTATS	131
3.4.1. Utilisation du bouton pause.....	131
3.4.1. Qualité de l'apprentissage	134
3.5. CONCLUSION.....	136
4. ETUDE 3 : IMPACT DE LA DUREE DES PAUSES IMPOSEES	139
4.1. INTRODUCTION	139
4.2. HYPOTHESE	141
4.3. METHODE.....	141
4.3.1. Participants.....	141
4.3.2. Matériel	142
4.3.3. Procédure expérimentale	143
4.3.4. Mesures	143
4.4. RESULTATS	143
4.4.1. Utilisation du bouton pause.....	143
4.4.2. Qualité de l'apprentissage	146
4.5. CONCLUSION.....	148
5. ETUDE 4 : IMPACT DE L'INDIÇAGE VERBAL.....	151
5.1. INTRODUCTION	151
5.2. HYPOTHESE	155
5.3. METHODE.....	155
5.3.1. Participants.....	155
5.3.2. Matériel	156
5.3.3. Procédure expérimentale	157
5.3.4. Mesures	157
5.4. RESULTATS	158

5.4.1. Utilisation du bouton pause.....	158
5.4.2. Qualité de l'apprentissage	160
5.5. CONCLUSION.....	162
6. ETUDE 5 : IMPACT DE LA CONSIGNE SUR L'UTILISATION DES PAUSES.....	165
6.1. INTRODUCTION	165
6.2. HYPOTHESES	166
6.3. METHODE.....	166
6.3.1. Participants.....	166
6.3.2. Matériel	167
6.3.3. Procédure expérimentale	169
6.3.4. Mesures	169
6.4. RESULTATS	169
6.4.1. Utilisation du bouton pause.....	169
6.4.2. Qualité de l'apprentissage	171
6.5. CONCLUSION.....	174
7. DISCUSSION GENERALE.....	177
<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	<u>185</u>
<u>ANNEXES.....</u>	<u>217</u>
<u>INDEX DES TABLEAUX.....</u>	<u>235</u>
<u>INDEX DES FIGURES.....</u>	<u>236</u>

Introduction

Aujourd'hui, des millions d'étudiants regardent des vidéos pédagogiques depuis différentes plateformes vidéos telles que YouTube (Lee & Lehto, 2013) ou des sites de podcasts (Kay, 2012), sur un nombre varié de terminaux (ordinateurs, téléphones, tablettes). Selon une étude récente, les américains adultes regardaient des vidéos 21 min par jour sur des terminaux en 2011 et 76 min en 2015 (Martin, 2016). Cette augmentation rapide s'explique en partie par la multiplicité des supports et le nomadisme qu'ils permettent. Elles sont accessibles quand on veut et où on veut. Selon certaines estimations, les étudiants passaient au début des années 2010, entre 6,5h à 11h par jour en multitâche avec des interfaces électroniques (Sherer & Shea, 2011). Comme un miroir de la société, ces technologies sont désormais entrées dans les classes de l'enseignement supérieur.

Les MOOCs (Massive Online Open Courses) prennent une part importante dans le paysage de l'enseignement (Martin, 2012) et l'usage de vidéos est de plus en plus fréquent en formation (Kay, 2012; Sherer & Shea, 2011). Son utilisation intéresse à la fois des entreprises commerciales qui peuvent vendre des contenus en masse et les universités à travers le monde qui proposent des vidéos sur l'apprentissage de thématiques qui vont de l'algèbre jusque la zoologie (Giannakos, 2013). Ce type d'enseignement multimédia est notamment utilisé dans la formation médicale (e.g. Association of American Medical Colleges [AAMC], 2007; Davids, Chikte, & Halperin, 2015; Ganier & de Vries, 2016; Kalet et al., 2012; Song et al., 2014) et paramédicale (e.g. Forbes et al., 2016; Hagemann, Williams, McKee, Stefanovich, & Carnahan, 2014; Kelly, Lyng, McGrath, & Cannon, 2009; Weeks & Horan, 2013) pour apprendre des gestes techniques. Au-delà de la formation des professionnels, les vidéos peuvent également être utilisées en éducation à la santé. À titre d'exemple, les kinésithérapeutes du centre hospitalier neurologique William Lennox (Belgique) ont conçu des vidéos expliquant à leurs patients et leur entourage comment mettre une orthèse de membre supérieur (Service kiné CHN William Lennox, 2016).

Un intérêt majeur de la vidéo est de pouvoir accéder à des contenus lorsque l'étudiant est disponible (Kay, 2012). Les apprenants peuvent ainsi contrôler quand et où ils souhaitent apprendre, ce dont ils ont besoin pour apprendre et le rythme de leur apprentissage (Clark & Mayer, 2011), ce qui n'était pas le cas lorsque le matériel vidéo était matérialisé sous forme de VHS ou DVD (Yousef, Chatti, & Schroeder, 2014b). De plus, son utilisation permet d'améliorer la qualité des cours « en face à face » car l'étudiant a déjà appréhendé le contenu de l'enseignement (Yousef, Chatti, & Schroeder, 2014a). L'enseignant peut ainsi consacrer davantage de temps sur les mises en situation pratique et approfondir la compréhension des concepts.

L'utilisation des vidéos dans les apprentissages intéresse également les chercheurs de différentes disciplines. Le nombre d'articles augmente considérablement depuis 2000 et avec une croissance plus importante depuis 2008 (Giannakos, 2013). Nombre de ces études concernent les applications en médecine. Les vidéos sont beaucoup utilisées pour leurs côtés esthétiques ou pour attirer l'attention de l'apprenant (Chandler, 2009), mais au final, on connaît peu de choses sur la manière de concevoir les vidéos pour faciliter l'apprentissage (Ploetzner & Lowe, 2004). Aussi, il s'avère nécessaire de mener des recherches dans ce sens, entre autres d'un point de vue des théories cognitives de l'apprentissage (DiGiacinto, 2007).

L'objet de cette thèse est d'aborder, d'un point de vue psychologique, la particularité d'un apprentissage d'une procédure médicale, en vue d'une exécution en différé. L'objectif recherché est de déterminer la manière dont il est préférable de présenter l'information délivrée par les vidéos pour faciliter son apprentissage. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux modalités d'interaction proposées à l'apprenant, et plus spécifiquement à la gestion du rythme de présentation (segmentation et pauses).

La première partie présentera différents modèles théoriques impliqués dans l'apprentissage par les documents multimédias. La seconde partie s'intéressera à comprendre les mécanismes cognitifs engagés lors d'un apprentissage procédural, et plus particulièrement d'un geste professionnel. Il y sera notamment abordé la question de l'apprentissage par vidéo. Enfin, une troisième partie présentera les différentes modalités d'interactions disponibles lors d'un apprentissage par vidéo, en s'intéressant plus particulièrement au contrôle du rythme de présentation, c'est-à-dire la segmentation et les

pauses. Dans la partie expérimentale, nous présenterons cinq études qui ont été réalisées afin de tester différentes hypothèses. La discussion, présentée à l'issue des résultats obtenus, permettra d'apporter des éléments de réponses aux processus cognitifs engagés et des recommandations pourront être formulées aux concepteurs de vidéos d'apprentissage procédural afin d'optimiser l'apprentissage des étudiants.

Partie théorique

1. L'apprentissage par les documents multimédias

1.1. Définitions

Pendant de nombreuses années, les documents pédagogiques ont été exclusivement proposés aux apprenants au format papier. Depuis relativement peu, à l'échelle de l'enseignement (quelques décennies), de nouvelles possibilités sont offertes aux enseignants et formateurs. Les concepteurs de contenus de formation peuvent désormais utiliser toutes les possibilités offertes par la généralisation du numérique (photographies, vidéos, animations, podcast, tableau blanc numérique) (voir Jamet, 2008 pour une synthèse).

Selon Mayer (2014b), l'apprentissage multimédia est l'apprentissage à partir de mots et d'images. Dans sa définition, Richard Mayer indique que le terme « mots » doit être pris au sens large, indépendamment du canal sensoriel par lequel l'information est transmise (visuel ou auditif). Les mots peuvent donc être des symboles graphiques qui sont lus ou un discours entendu. Le terme « images » englobe à la fois les images statiques (photographies, plans, graphiques...) et les images dynamiques (vidéos, animations). Chaque élément d'information que comporte un document peut être caractérisé par un « mode », correspondant au code utilisé (verbal ou illustré), et une « modalité » de présentation (visuelle ou auditive). Ainsi, un document multimédia est un document qui associe à la fois des informations verbales et des illustrations. Une planche d'anatomie, tout comme une bande dessinée, sont, selon cette définition, des contenus multimédias, car ils contiennent à la fois des images et du texte.

L'apprentissage multimédia est la tâche d'apprentissage d'un apprenant à partir d'un document multimédia. Cet apprentissage multimédia intervient lorsque les personnes construisent des représentations mentales à partir de mots (qui sont oraux ou écrits) et d'images (statiques ou dynamiques) (Mayer, 2014b).

Nous pouvons compléter la définition de Mayer en ajoutant qu'un « environnement d'apprentissage multimédia se caractérise par le regroupement, sur un même support, d'au moins deux des éléments suivants : texte, son, image fixe ou image animée – sous forme numérique¹ ». Ces différents éléments sont disponibles via un programme informatique (quel que soit son format, en ligne ou en local), autorisant un niveau plus ou moins important d'interactivité entre l'utilisateur et les formats d'information. Ainsi, le support d'un environnement d'apprentissage multimédia peut être tout écran permettant d'accéder à un contenu numérique : un ordinateur, une tablette, un smartphone ou bien une télévision. Le contenu pédagogique devra donc être en capacité de s'adapter en fonction du support pour lequel il a été prévu.

L'intérêt des documents multimédias est de pouvoir multiplier les modes et modalités de présentation de l'information, permettant ainsi de doubler l'information, mais également de présenter plus d'informations sur un même document. La contrainte est que cela induit davantage de charge cognitive pour traiter cette multitude d'informations simultanément. Cet aspect sera traité de manière plus approfondie dans la suite de ce travail.

L'apprentissage multimédia implique l'utilisation et la manipulation pour l'apprenant de contenus pédagogiques sous différents formats. Cette médiatisation sous des formats différents oblige la personne qui apprend à l'aide de ces contenus médiatisés à utiliser différents canaux perceptifs ainsi que diverses fonctions cognitives à des fins de compréhension et de mémorisation. Afin de mieux comprendre les processus cognitifs impliqués lors de l'apprentissage multimédia, nous allons explorer 2 modèles théoriques : la théorie de la charge cognitive (Cognitive Load Theory) développée par John Sweller et la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Cognitive Theory of Multimedia Learning) proposée par Richard Mayer.

¹ Source : Wikipédia – <https://fr.wikipedia.org/wiki/Multim%C3%A9dia> (page consultée le 25 octobre 2016)

1.2. Théorie de la charge cognitive

1.2.1. Définition et objectifs

La théorie de la charge cognitive a été proposée par Sweller (Sweller, 1994; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011). La charge cognitive, également appelée charge mentale, correspond à la quantité de ressources mentales mobilisées au cours de la réalisation d'une tâche. Lorsqu'une personne doit traiter une information issue de différents canaux sensoriels, il doit intégrer mentalement des informations différentes pour comprendre, de façon synthétique, ce qui lui est présenté de manière séparée. La charge cognitive engendrée est donc fonction des difficultés de traitement, des caractéristiques imposées par la tâche et des ressources mentales que l'individu alloue à la réalisation de cette tâche (Tricot & Chanquoy, 1996). Selon Paas (1992), l'effort mental imposé par une tâche est lié au nombre d'étapes pour atteindre le but, aux moyens nécessaires à la réalisation de la tâche et aux caractéristiques de l'environnement (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1994). Ainsi, une surcharge (effort mental trop important) ou une sous-charge (effort mental trop faible) auraient une incidence néfaste sur la qualité d'apprentissage de l'apprenant (Tricot, 1998).

Cette activité de traitement a un coût cognitif. Sweller, dans la théorie de la charge cognitive, propose un modèle expliquant ce phénomène de surcoût cognitif dans des activités complexes. Cette théorie prend en compte la manière de présenter l'information sur les supports d'apprentissage afin d'éviter toute surcharge cognitive inutile à l'acquisition de connaissances (Sweller, 1994). La théorie de la charge cognitive fournit un cadre pour la conception pédagogique basée sur la structure et la fonction de l'architecture cognitive humaine (Clark, Nguyen, & Sweller, 2006; Paas, Renkl, & Sweller, 2003; Paas & Sweller, 2014; Sweller, 2010; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998).

La théorie de la charge cognitive se base sur une structure composée de la mémoire de travail, à capacité limitée, dans laquelle ont lieu tous les apprentissages et les pensées conscientes, et de la mémoire à long terme, à capacité illimitée, possédant un nombre important de schémas automatisés (Tricot, 1998). La mémoire de travail est responsable du stockage temporaire et de la manipulation d'information (Baddeley, 1992). Si l'information présentée dans le matériel pédagogique excède les capacités de la mémoire de travail, une

partie ou toute l'information vont être perdues et l'apprentissage va être entravé, voire inefficace (Sweller, 1994). La mémoire de travail joue donc un rôle central dans le traitement cognitif et sa capacité est le meilleur prédicteur des performances dans les activités cognitives complexes et les apprentissages (Camos & Barrouillet, 2014). Le volume d'informations à stocker et à traiter en mémoire de travail peut donc engendrer une surcharge mentale (Ayres & Paas, 2007b; Sweller et al., 1998).

Le concept de schéma d'apprentissage est central dans la théorie de Sweller parce qu'il permet de traiter des structures de connaissances complexes comme des unités simples de mémoire. L'acquisition de ces schémas est le but du processus d'apprentissage. Pour la construction de la théorie de la charge cognitive, Sweller et ses collaborateurs ont utilisé les relations entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme pour expliquer la compréhension d'un problème et donc l'apprentissage de sa résolution.

1.2.2. Les 3 types de charges cognitives

La théorie de la charge cognitive considère 3 types de charges cognitives : la charge cognitive intrinsèque (intrinsic load), la charge cognitive extrinsèque ou inutile (extraneous load) et la charge cognitive pertinente (germane load) (Paas & Sweller, 2014; Sweller, 2010; Sweller et al., 1998)

1.2.2.1. La charge cognitive intrinsèque

La charge cognitive intrinsèque est produite par la tâche elle-même et est donc liée aux informations que l'apprenant devra traiter. Elle est étroitement liée à la complexité avec laquelle le document pédagogique transmet les informations. La charge intrinsèque est déterminée par le nombre d'éléments à traiter qui composent le matériel et leur degré d'interactivité (Sweller & Chandler, 1994). Ainsi, lorsque le nombre d'informations à traiter est trop important, l'apprenant doit les maintenir en mémoire de travail pendant leur traitement visant ensuite à les intégrer en mémoire à long terme. Plus le nombre d'éléments

est important, plus la mémoire de travail risque d'être surchargée, impliquant ainsi une diminution des performances lors de la tâche d'apprentissage.

Toujours selon la théorie de la charge cognitive, l'autre élément ayant une influence sur la charge intrinsèque d'un matériel pédagogique, est le niveau d'interactivité entre les éléments. Si les éléments à traiter n'ont pas de liens entre eux, même s'ils sont nombreux, ils peuvent être traités de manière séquentielle, les uns après les autres. Dans ce cas, cela n'engendre pas de charge cognitive. En revanche, lorsque les éléments composant la tâche sont étroitement liés entre eux, cela va au contraire augmenter la charge cognitive. Cela est, par exemple, le cas dans une tâche de résolution d'équation où le résultat précédent est lié aux autres termes de l'équation. Cela implique donc de maintenir simultanément plusieurs informations en mémoire de travail pour comprendre l'équation dans son ensemble. Plus le nombre d'éléments d'information et les relations entre eux sont importants, plus le niveau de charge cognitive intrinsèque est important et plus le matériel d'apprentissage est complexe.

En prenant en compte ces 2 éléments qui composent la charge cognitive intrinsèque, nous pouvons retenir quatre conséquences sur la qualité de l'apprentissage en fonction du matériel pédagogique utilisé :

- A un niveau d'expertise suffisant, un matériel dont les éléments sont peu nombreux et faiblement interactifs sera normalement facile à apprendre.
- Si le matériel comporte beaucoup d'éléments, mais avec un niveau d'interactivité faible, l'apprentissage (et non la compréhension) devient plus difficile (par exemple, apprendre par cœur une longue liste de mots dans une langue étrangère).
- A l'inverse, si le matériel comporte peu d'éléments, mais que ceux-ci sont très interactifs, la compréhension et l'apprentissage qui en résultent peuvent être difficiles. De plus, si les individus ne disposent pas des schémas appropriés en mémoire à long terme, ce matériel représentera une charge cognitive intrinsèque importante en mémoire de travail. (Sweller & Chandler, 1994)

- Enfin, si le matériel comporte de nombreux éléments très interactifs, la compréhension et l'apprentissage seront complexes, voire même impossibles. Le risque de surcharge cognitive, la difficulté à maintenir l'attention et l'effort continu qui seront nécessaires vont entraver les activités d'apprentissage.

Le nombre d'interrelations entre les éléments d'informations n'est pas le seul déterminant de la charge cognitive intrinsèque. Le niveau de connaissances préalable d'un étudiant a aussi une influence. Apprendre implique la construction de schémas cognitifs. Un schéma peut être manipulé en mémoire de travail comme un élément d'information unique. Donc le même matériel d'apprentissage impose moins de charge intrinsèque pour les étudiants avec le meilleur niveau de connaissances préalables que pour les étudiants avec le moins de connaissances préalables ou ceux qui n'en ont aucune (Sweller et al., 1998). Sous les conditions d'un niveau très élevé de charge cognitive intrinsèque, le nombre d'éléments d'information et leurs relations qui doivent être maintenus et traités en mémoire de travail peuvent être si importants qu'il n'y a pas suffisamment de temps disponible pour participer à la rétention et au traitement de tous ces éléments et de leurs relations. La théorie de la charge cognitive recommande que la charge cognitive intrinsèque des matériels d'apprentissage doit être optimisée, et doit donc présenter un niveau de difficulté suffisant sans être toutefois trop élevé (Schnotz & Kürschner, 2007; Sweller, 2010).

1.2.2.2. La charge cognitive inutile

La charge cognitive inutile a pour origine le mode de présentation des informations. Il s'agit de la charge cognitive qui est imposée par le mode de présentation de l'information du matériel pédagogique utilisé (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1994) et par des stratégies d'enseignement peu ou non appropriées qui peuvent alors interférer avec l'apprentissage. Ce type de charge est considéré comme inutile parce qu'il vient s'ajouter à la charge cognitive intrinsèque du matériel et n'est pas nécessaire pendant le processus d'apprentissage (Chanquoy, Tricot, & Sweller, 2007). La charge cognitive inutile est déterminée en particulier par la manière de présenter les informations dans une activité

donnée. Ainsi, plus les informations sont présentées de manière claire, moins il y a de charge cognitive inutile pour l'individu (Sweller, 2010). Cette charge peut être modifiée par la conception du scénario pédagogique en organisant les informations d'une meilleure façon, en les segmentant de façon adaptée et en les présentant à l'aide de supports pédagogiques performants.

La charge cognitive inutile est imposée par des activités de maintien et le traitement qui résultent d'une conception non optimale des matériels d'apprentissage (Sweller, 2010; Sweller et al., 1998). Par exemple, lors d'un apprentissage à partir d'une vidéo, l'information présentée à différents moments doit être intégrée mentalement, et comme l'information est transitoire, cela implique que cette information provenant de différents moments, soit maintenue en mémoire de travail pour ensuite être liée aux informations présentées plus tard (Lowe, 1999). De plus la nouvelle information qui arrive doit être traitée avec la précédente information présentée qui a été maintenue (Ayres & Paas, 2007b; Moreno & Mayer, 2007). Les activités cognitives qu'imposent la charge cognitive inutile réduisent le temps disponible pour les activités de maintien et de traitement qu'impose la charge cognitive intrinsèque. Par conséquent, l'apprentissage va être moins efficace, car moins de temps sera disponible pour réaliser ces activités de maintien et de traitement. Cela arrive lorsque la vidéo a un haut niveau de charge inutile. Lorsque la charge intrinsèque est basse, il y a suffisamment de temps pour traiter la charge intrinsèque et la charge inutile. Pour les visualisations dynamiques complexes qui ont un niveau de charge intrinsèque élevé, il est nécessaire de diminuer autant que possible la charge inutile pour ne pas entraver l'apprentissage.

Ainsi, la charge cognitive inutile devient problématique lorsque la charge cognitive intrinsèque est élevée (Paas et al., 2003) car ces deux charges s'additionnent. Inversement, il est avéré que lorsque la charge intrinsèque est faible, l'apprenant a moins de difficulté à saisir le contenu sous-jacent d'une activité possédant une forte charge cognitive inutile.

1.2.2.3. La charge cognitive pertinente

La charge cognitive pertinente correspond à la charge utile à l'apprentissage. Contrairement aux deux précédentes, la charge cognitive pertinente n'a pas un impact négatif sur la résolution de tâche. Il s'agit d'un niveau d'effort bénéfique, à condition qu'il porte sur des éléments pertinents à l'apprentissage (Sweller et al., 1998). Cet effort permet la construction de nouveaux schémas plus complexes et des automatismes aidant ainsi l'apprenant à développer une expertise. Il passera ainsi progressivement du statut de novice à celui d'expert dans le domaine d'apprentissage en question.

Ceci est effectivement possible lorsque la présentation de l'information permet aux individus de focaliser leur attention sur les informations pertinentes à la résolution du problème, ce qui provoque une charge cognitive « utile » nécessaire à l'apprentissage et/ou à l'enrichissement des connaissances.

Les capacités disponibles pour tous les processus de la charge cognitive pertinente dépendent de la difficulté intrinsèque du matériel d'apprentissage, qui n'est pas sous le contrôle du concepteur pédagogique, car elle dépend du niveau de connaissance préalable des apprenants. Quand ils sont confrontés à une tâche complexe, les novices ne savent souvent pas par où commencer alors que les experts ont déjà des automatismes pour la résolution de ces problèmes (Van Gog, Paas, & Van Merriënboer, 2004). Les hypothèses de la théorie de la charge cognitive impliquent que les novices doivent être soutenus quand ils commencent à acquérir des compétences complexes et que ce soutien tendra à disparaître peu à peu. Dans l'approche séquentielle de l'apprentissage des tâches basées sur la théorie de la charge cognitive, les novices doivent donc débiter avec des exemples où la solution du problème est déjà donnée (Mayer & Pilegard, 2014; Renkl, 2014; Van Merriënboer & Kester, 2014). Ces exemples de travail seront axés sur les processus et certaines étapes de la procédure de résolution de problème seront donc décrites.

1.2.3. Interrelations entre les différentes charges cognitives

Comme nous avons pu le voir précédemment, la charge cognitive totale désigne le coût total de l'activité cognitive imposée à la mémoire de travail à un moment donné. Elle est constituée de trois charges cognitives (intrinsèque, inutile et pertinente) qui s'additionnent. Les concepteurs de séquences pédagogiques ont pour objectif de réduire autant que possible la charge cognitive inutile et de libérer des ressources en mémoire de travail pour les consacrer à la charge cognitive pertinente. Si une réduction de la charge cognitive inutile n'est pas associée à un accroissement de la charge cognitive pertinente, le seul effet sera une diminution de la charge cognitive totale qui ne peut se traduire par une augmentation de l'apprentissage. Ainsi, la conception d'un enseignement efficace doit être abordée en termes de relation entre charge cognitive inutile, charge cognitive intrinsèque et charge cognitive pertinente.

En accord avec l'effet d'interactivité des éléments (Chandler & Sweller, 1996; Sweller et al., 1998), les techniques pédagogiques pour réduire la charge cognitive inutile ne sont efficaces que lorsque le matériel induit une charge cognitive intrinsèque élevée. Lorsque la charge cognitive intrinsèque est importante, la mémoire de travail limitée devient critique. Si le matériel a peu d'éléments interactifs, et impose donc une charge cognitive intrinsèque faible, la charge supplémentaire due à des conceptions pédagogiques inadéquates peut ne pas surcharger la capacité de mémoire et ne pas nuire à l'apprentissage. Le niveau d'interactivité des éléments est étroitement lié au niveau d'expertise de l'apprenant (Kalyuga, 2007b; Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003; Kalyuga, Chandler, & Sweller, 1998).

Comme pour la charge cognitive inutile, la charge cognitive pertinente peut être influencée par le design du matériel pédagogique. Les 3 types de charge cognitive sont additifs, leur somme qui correspond à la charge cognitive totale, doit rester dans les limites de la mémoire de travail pour rester efficace. Un matériel pédagogique performant doit diminuer la charge inutile et augmenter la charge utile (Kirschner, 2002). Pour augmenter la charge utile, il faut que les matériaux pédagogiques retirent l'attention des apprenants des

processus non pertinents pour les orienter vers les processus pertinents (Van Merriënboer, 1997).

La théorie de la charge cognitive permet de mieux comprendre la manière dont est traitée l'information en mémoire de travail lors d'une tâche d'apprentissage. Toutefois, elle n'est pas suffisante pour appréhender totalement les traitements cognitifs mis en jeu lors d'un apprentissage à partir de documents multimédias. Nous allons ainsi préciser cet aspect dans la partie suivante avec le modèle d'apprentissage multimédia de Mayer.

1.3. Le modèle de l'apprentissage multimédia de Mayer

1.3.1. Définition et objectifs

La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer (2001) est un modèle présentant les différentes étapes de traitement cognitif d'un document multimédia lors de l'apprentissage. Elle est représentée à l'aide d'un modèle distinguant quatre aspects : 1) la présentation multimédia utilisée (*multimedia presentation*), 2) la modalité sensorielle par laquelle est véhiculée l'information (*sensory memory*), 3) la mémoire de travail (*working memory*) et 4) la mémoire à long terme (*long-term memory*) (voir Figure 1).

Elle considère trois processus cognitifs engagés : 1) la sélection de l'information pertinente (entre la mémoire sensorielle et la mémoire de travail) ; 2) l'organisation de l'information (au sein de la mémoire de travail) et 3) l'intégration (entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme).

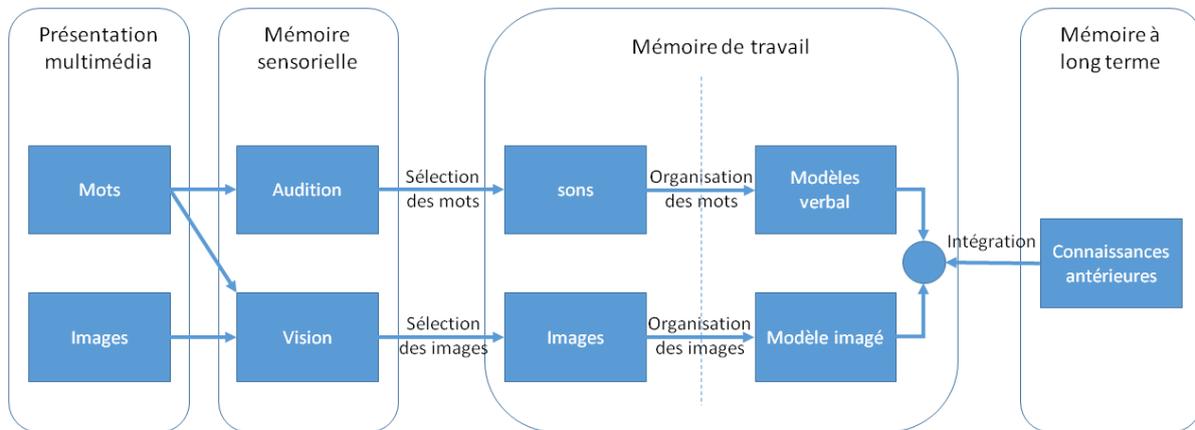


Figure 1 : Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia selon Mayer (2014)

Mayer définit la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, comme une théorie sur la façon dont les personnes apprennent à partir de mots et d'images. Elle est basée sur l'idée que les personnes possèdent des canaux séparés pour le traitement des informations verbales et visuelles (hypothèse de doubles canaux), chaque canal pouvant traiter seulement une petite quantité d'information à la fois (hypothèse de capacité limitée), et qu'un apprentissage performant implique l'engagement dans un traitement cognitif approprié lors de l'apprentissage (hypothèse de traitement actif) (Mayer, 2014a).

1.3.2. Les hypothèses de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia

Selon la définition de Mayer, ce modèle s'appuie sur 3 hypothèses :

- L'hypothèse de doubles canaux (*dual-channel assumption*) postule que deux canaux de traitement de l'information existent ; un canal verbal et un canal imagé.
- L'hypothèse de la capacité limitée (*limited-capacity assumption*) basée sur les travaux de Baddeley sur la mémoire de travail (Baddeley, 1992) et sur ceux de Sweller (1999) sur la charge cognitive, postule que le nombre d'informations que les individus peuvent traiter à la fois dans chaque canal est limité.

- L'hypothèse du traitement actif (*active processing assumption*) stipule que les individus s'engagent activement dans un processus cognitif afin de construire une représentation mentale cohérente de la situation. Cet engagement se traduit par la sélection des informations entrantes pertinentes, l'organisation des informations entrantes sélectionnées et l'intégration des informations entrantes aux connaissances antérieures.

1.3.3. Les processus engagés

Un apprenant, face à un environnement multimédia, doit engager cinq processus cognitifs qui sont déterminants pour la qualité de l'apprentissage.

1.3.3.1. La sélection

Les deux premiers processus sont inclus dans l'étape initiale de sélection des informations pertinentes. Il s'agit de 1) la sélection de mots et 2) la sélection d'images. La présentation d'une information, aussi bien visuelle qu'auditive, est en premier lieu traitée par le système perceptif qui transmet l'information à la mémoire sensorielle. Ces processus sont la « sélection des mots pertinents » (*Selecting relevant words*) lorsqu'il s'agit d'informations verbales, et « sélection des images pertinentes » (*Selecting relevant images*) lorsque les informations sont non verbales. Lorsque des mots sont présentés à l'apprenant, ils vont ainsi être traités par la mémoire sensorielle correspondant au mode de présentation des mots. Si les mots sont entendus, ils seront traités par la mémoire auditive et s'ils sont lus, ils seront traités par la mémoire visuelle.

Le processus de sélection correspond au relais vers la mémoire de travail des informations jugées pertinentes pour la tâche. Ainsi, la non-sélection d'éléments importants ou la fausse sélection d'éléments non importants sont toutes deux des erreurs qui peuvent mener à de mauvaises compréhensions et peuvent donc entraver la tâche d'apprentissage.

1.3.3.2. L'organisation

L'information pertinente étant récupérée en mémoire de travail, elle peut y être maintenue et manipulée. Les deux processus suivants sont ainsi inclus dans l'étape d'organisation des informations sélectionnées. Il s'agit de « l'organisation des mots sélectionnés » (*organizing selected words*) qui permet la construction d'un modèle verbal en mémoire de travail et « l'organisation des images sélectionnées » (*organizing selected images*) qui permet de construire le modèle imagé.

Le passage d'un système à l'autre est rendu possible, soit en donnant un nom à une figure (par exemple, transformer l'image mentale d'une voiture vers le mot « voiture »), soit au contraire en associant une image mentale à un terme lu ou entendu.

La mémoire de travail étant limitée, des informations peuvent ne pas être traitées. Des erreurs dans la construction du schéma peuvent également survenir si les causalités sont mal explicitées ou s'il subsiste des imprécisions dans le matériel. Les informations non sélectionnées à l'étape précédente ne pourront pas être organisées. Il sera cependant possible de rechercher dans un second temps cette information, et de la sélectionner pour l'inclure dans la construction du schéma.

1.3.3.3. L'intégration

Enfin, dans l'étape d'intégration (*integrating*), le modèle verbal et le modèle imagé, qui ont été organisés séparément, sont mis en relation avec les connaissances préalables utilisables dans le contexte d'apprentissage pour ne former qu'un seul modèle mental et stockés en mémoire à long terme. Cette intégration se fait en mémoire de travail. Il s'agit ainsi d'une étape importante pour une bonne compréhension du contenu.

Mayer précise que les cinq processus décrits dans son modèle ne se succèdent pas de façon linéaire, c'est-à-dire les uns à la suite des autres, mais suivent plutôt une logique itérative de construction du modèle mental (Mayer, 2014a). Cela est majoré par le fait que les capacités de la mémoire de travail sont limitées et ne permettent pas de prendre en compte la totalité des informations pour les organiser en une seule fois.

1.3.4. Les principes de conception des documents multimédias

Selon la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, le travail pédagogique par l'amorçage du traitement cognitif des apprenants lors de l'apprentissage est de guider les apprenants à sélectionner les informations pertinentes du matériel, organiser le matériel dans une représentation cognitive cohérente et intégrer cette représentation avec les connaissances antérieures. À partir de là, les objectifs de la conception des matériels d'apprentissages sont de savoir comment encourager les apprenants à s'engager dans un traitement cognitif approprié sans surcharger les capacités de traitement des canaux visuels et auditifs. Pour cela, il faut 1) aider l'apprenant à réduire le traitement de la charge cognitive inutile (Paas & Sweller, 2014; Sweller & Chandler, 1994; Sweller et al., 1998), 2) l'aider à se représenter mentalement le matériel entrant et 3) l'aider à lui donner du sens en le confrontant et en l'intégrant aux connaissances préalables (Mayer, 2014c).

Trois types de sources de charges sont ainsi distingués :

- La charge liée aux processus centraux nécessaires à l'apprentissage et précisés dans le modèle de Mayer (sélection, organisation et intégration)
- La charge liée aux processus incidents non nécessaires à l'apprentissage, mais qui sont induits par la nature du document pédagogique ou la situation d'apprentissage.
- La charge liée aux processus de maintien en mémoire de travail de l'information sur une durée donnée.

À partir de ses travaux sur la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, Mayer propose des recommandations pour la conception de documents multimédias à visée d'apprentissage (Mayer, 2008a, 2014a).

1.3.4.1. Réduire l'influence des traitements externes

Les traitements externes (*extraneous processing*) correspondent « aux traitements cognitifs au cours de l'apprentissage qui ne servent pas l'objectif pédagogique et qui sont causés par une mauvaise conception pédagogique » (Mayer, 2014a). En voici quelques exemples :

- Principe de cohérence (*coherence principle*) : supprimer les informations non essentielles pour l'apprentissage. Les apprenants apprennent mieux si les supports et contenus pédagogiques mis à leur disposition se focalisent sur un élément spécifique, plutôt qu'un contenu trop vaste ou trop général (e.g. Mayer & Fiorella, 2014).
- Principe de signalement (*signaling principle*) : mettre en relief les informations pertinentes. Cela permet aux apprenants de mieux orienter leur attention et d'augmenter leur taux de rétention par rapport aux éléments soulignés (e.g. Mayer & Fiorella, 2014; van Gog, 2014).
- Principe de redondance (*redundancy prinple*) : ne pas afficher à l'écran l'équivalent du texte présenté oralement. Présenter des informations identiques dans deux modalités différentes peut être néfaste à l'apprentissage notamment lorsque le document est illustré (e.g. Kalyuga & Sweller, 2014; Mayer & Fiorella, 2014).
- Principe de contiguïté spatiale (*spatial contiguity principle*) : placer les informations textuelles proches de l'image correspondante (e.g. Ayres & Sweller, 2014; Mayer & Fiorella, 2014).
- Principe de contiguïté temporelle (*temporal contiguity principle*) : présenter l'information verbale et visuelle simultanément (e.g. Mayer & Fiorella, 2014).

1.3.4.2. Gérer les traitements essentiels

Les traitements essentiels (*essential processing*) correspondent « aux traitements cognitifs au cours de l'apprentissage qui sont nécessaires pour se représenter en mémoire de travail le matériel essentiel présenté et qui sont causés par la complexité du matériel » (Mayer, 2014a). En voici quelques exemples :

- Principe de segmentation (*segmentation principle*) : découper le contenu pédagogique en plusieurs séquences plutôt qu'en une seule présentation continue. Selon Mayer, cette segmentation permet de maintenir l'attention des apprenants et d'éviter la surcharge de leur mémoire de travail. En effet, le canal visuel et le canal auditif ont des capacités limitées. Le système cognitif peut donc facilement être surchargé si des segments trop importants d'une nouvelle information sont traités simultanément (Mayer & Pilegard, 2014). Mayer préconise également de laisser la possibilité à l'apprenant de gérer le rythme de la présentation en lui permettant de démarrer la séquence suivante lorsqu'il le souhaite, c'est à dire, lorsqu'il estime avoir traité l'information qu'il vient de recevoir.
- Principe de pré-entraînement (*pre-training principle*) : proposer les définitions et informations clés aux apprenants avant la séquence d'apprentissage. Cela permet de s'échauffer et d'établir des connexions neuronales qui vont faciliter l'acquisition de nouvelles connaissances (e.g. Mayer & Pilegard, 2014).
- Principe de modalité (*modality principle*) : privilégier le commentaire oral plutôt qu'écrit. Cela permet d'éviter la saturation du canal visuel (e.g. Low & Sweller, 2005; Mayer & Pilegard, 2014).

1.3.4.3. Favoriser les traitements génératifs

Les traitements génératifs (*generative processing*) correspondent « aux traitements cognitifs au cours de l'apprentissage qui visent à donner un sens au matériel essentiel de la leçon et qui sont causés par la motivation de l'apprenant à exercer un effort » (Mayer,

2014a). Ainsi, ce traitement cognitif actif permet à l'apprenant de développer une compréhension du matériel qu'il pourra ensuite appliquer dans de nouvelles situations (Fiorella & Mayer, 2015). Selon Fiorella et Mayer, il s'agit de la transformation d'informations entrantes (e.g. mots et images) en connaissance utilisable (e.g. modèle mental, schéma)

1.4. Conclusion sur les modèles théoriques

L'utilisation de ces deux modèles théoriques permet l'identification des processus impliqués dans l'apprentissage d'un document multimédia. Leur utilisation permet d'expliquer certains effets observés dans la pratique lors de situations d'apprentissage ainsi que la formulation de recommandations quant à la présentation des documents multimédias. La manière dont est présentée l'information dans un document multimédia est essentielle pour faciliter l'apprentissage. Ainsi le design et l'interactivité de l'interface du document multimédia doivent être optimisés pour faciliter les apprentissages de l'apprenant et éviter la surcharge des systèmes cognitifs impliqués.

Dans le cadre de ce travail, nous allons retenir deux leçons importantes de ces modèles théoriques. Tout d'abord, la théorie de la charge cognitive indique qu'il est essentiel de pouvoir réduire la charge cognitive inutile pour faciliter l'apprentissage. La réduction de cette charge passe, entre autres, par la présentation segmentée des informations au moment de la conception des scénarios pédagogiques. La présentation des informations à traiter en petites unités évite de saturer la mémoire de travail et permet un meilleur traitement des données. Enfin, en s'appuyant la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, Mayer préconise d'employer le principe de segmentation lors de la conception de matériel d'apprentissage multimédia (Mayer, 2008a). Selon lui, le découpage d'une séquence pédagogique en plusieurs séquences permet de limiter la surcharge de la mémoire de travail en évitant de traiter plusieurs informations simultanément. Il préconise également de laisser l'apprenant contrôler le rythme de son apprentissage en fonction de ses capacités cognitives. Cela se traduit par lui laisser la possibilité de passer à la séquence suivante lorsqu'il estime avoir eu suffisamment de temps pour traiter l'information précédente.

2. Apprentissage des gestes professionnels

Que ce soit en formation initiale ou en formation continue, les personnes qui doivent réaliser des procédures dans l'exercice de leur fonction doivent pouvoir les apprendre pour ensuite les reproduire de manière efficace. Cela concerne, entre autres, les professionnels de la santé. Dans cette section, nous allons nous intéresser à l'apprentissage des gestes professionnels par l'intermédiaire d'un support vidéo.

2.1. Apprentissage des procédures

2.1.1. Définition d'une procédure

Une procédure est une suite d'actions ou d'activités ayant pour finalité la réalisation d'une tâche et pouvant être décomposée en série d'étapes (Bovair & Kieras, 1991). Elle se caractérise par le fait d'avoir un début et une fin, avec entre ces points, une succession d'étapes qui décrit chaque action à réaliser, « le chemin à suivre », pour arriver à un but. L'ordre de ces étapes est important et une inversion de celles-ci peut entraîner une erreur dans l'exécution de la tâche, voire même totalement l'empêcher.

Ces procédures peuvent être décrites dans des documents techniques tels que les plans de montage d'un meuble ou d'un jeu de construction, les guides d'utilisation d'un appareil, les recettes de cuisine, les règles d'un jeu... (Ganier, 2013). Ces documents peuvent avoir différentes formes : documents imprimés, site internet, document électronique (PDF...), animations, vidéos... Ainsi, les informations peuvent être présentées sous différentes modalités, utilisées seules ou de manière conjointe : textes (Heurley & Ganier, 2006), sons, images statiques ou images animées. Contrairement à d'autres types de documents pédagogiques qui ont pour finalité de « consulter pour apprendre » avec pour objectif de comprendre et mémoriser un contenu, les documents procéduraux ont pour objectif de « consulter pour faire » dont le but est de réaliser une action (Sticht, 1985). La lecture de ces documents n'est pas l'activité principale du lecteur, mais la réalisation de la

tâche décrite. L'apprenant doit donc transformer les informations déclaratives décrites dans le document en actions réelles.

Lorsqu'un individu apprend une procédure, il passe progressivement d'un traitement conscient de l'information à une automatisation de ce traitement. Le passage de l'un à l'autre requiert un certain nombre de pratiques. Le processus d'apprentissage est considéré comme terminé lorsque la procédure est automatisée, c'est-à-dire lorsque l'apprenant est capable de rappeler rapidement la procédure stockée en mémoire à long terme avec peu de ressources cognitives (Anderson, 1982).

2.1.2. Le traitement d'un document procédural

Lorsqu'une personne réalise une procédure à partir d'un document multimédia, elle doit passer d'une présentation linguistique et/ou graphique de l'information, dont le niveau de précision peut varier, à la réalisation d'une action ou d'une série d'actions (Ganier, Gombert, & Fayol, 2000). Pour exécuter cette transformation, différentes sources d'informations sont utilisées de manière plus ou moins concomitante : le matériel utilisé, les caractéristiques du document présentant la procédure et les connaissances préalables de l'apprenant. Selon Ganier (voir Figure 2), les processus impliqués dans ce traitement cognitif comprennent : 1) la formation et le maintien du but en mémoire de travail ; 2) l'encodage des instructions ; 3) l'encodage des caractéristiques du dispositif ; 4) l'élaboration d'une représentation intégrée de l'ensemble et l'élaboration d'un plan d'action, l'ensemble prenant en compte les connaissances préalables du sujet ; 5) la réalisation de l'action. Ce modèle implique que les participants soient capables de 6) contrôler la procédure afin de comparer à chaque étape l'état du dispositif (c'est-à-dire les résultats de leurs actions) au but initialement fixé et de 7) réguler les processus jusqu'à l'accomplissement du but initial (Ganier, 2004; Ganier et al., 2000). Selon ces auteurs, le format du document a un effet sur le modèle mental permettant de planifier et d'exécuter les actions. Les traitements étant réalisés en mémoire de travail avec une capacité limitée (Baddeley, 1992) et en accord avec la théorie de la charge cognitive (Paas & Sweller, 2014; Sweller, 1994), la manière dont l'information est présentée, aura un impact sur son intégration et sa mémorisation. Ainsi,

pour un niveau donné de connaissances préalables, le format du document procédural qui induira un moindre coût de traitement cognitif permettra un apprentissage plus efficace de la procédure en comparaison à d'autres formats de présentation (Ganier et al., 2000). En revanche, des documents incomplets, imprécis, ou employant des termes trop techniques, peuvent engendrer des traitements non pertinents ou superflus et donc une surcharge cognitive (charge inutile) chez l'apprenant (Chandler & Sweller, 1991).

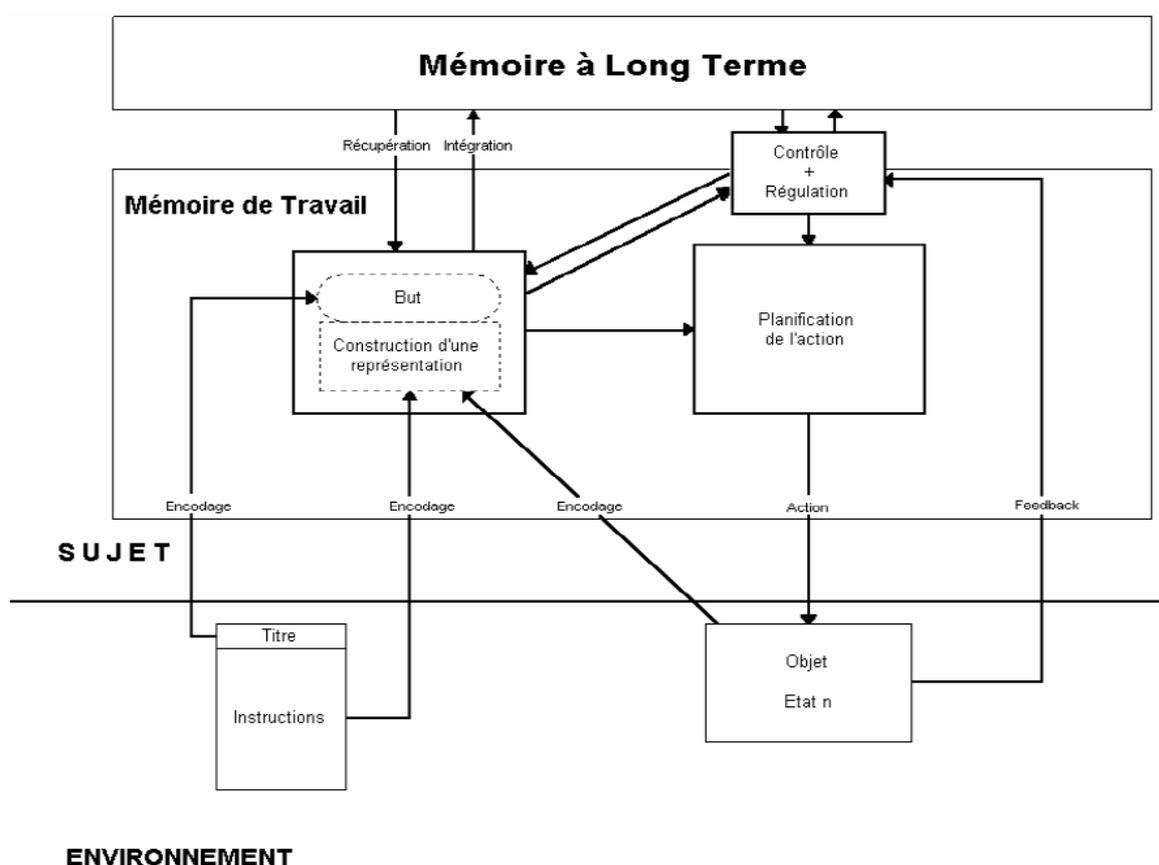


Figure 2 : Modèle de traitement d'instructions procédurales (Ganier et al, 2000)

Le traitement d'un document procédural requiert un coût cognitif important pour l'apprenant (Ganier, 2004; Heurley & Ganier, 2006). Une étude de Ganier, Hoareau et Devillers (2013) montre que lorsqu'un individu réalise une procédure pour la première fois, il doit se référer régulièrement à l'instruction, et ceci à chaque étape de celle-ci. Le coût

cognitif engendré par cela entraîne un temps de réalisation de la procédure plus long que pour les essais suivants. À chaque essai suivant, les apprenants ont de moins en moins souvent besoin de consulter l'instruction. Ainsi l'apprentissage de la procédure a permis de réduire la charge cognitive en mémoire de travail, qui est limitée dans sa capacité de traitement (Baddeley, 1992; Sweller et al., 1998), et d'augmenter la vitesse à laquelle la procédure est réalisée pour aller jusqu'à son automatisation (Anderson, 1982).

2.1.3. Temporalité de l'exécution de la procédure

Lorsque l'on consulte un document procédural, nous avons la possibilité d'exécuter la procédure en même temps que sa présentation ou bien de l'apprendre pour la réaliser en différé. Ces deux situations mobilisent des compétences cognitives différentes et auront un impact sur la conception même des documents procéduraux utilisés.

2.1.3.1. Exécution simultanée

Un certain nombre de procédures présentées dans des documents ont pour vocation à être réalisées en même temps que la consultation de ces documents. C'est le cas par exemple d'une recette de cuisine, d'un plan de montage de jeu pour enfant, d'un plan de construction d'un meuble en kit, d'un guide d'installation d'appareil hi-fi, d'un tutoriel pour l'installation ou l'utilisation d'un logiciel... Dans ces situations, l'utilisateur ne se réfère pas systématiquement au document procédural. En effet, la consultation se ferait en fonction des nécessités de l'individu qui en éprouverait le besoin ou non au regard de la tâche à réaliser et de ses connaissances antérieures. Un expert en cuisine ne pourra prendre connaissance de simplement quelques parties de la procédure (recette de cuisine) et laissera de côté les étapes qu'il maîtrise déjà (par exemple : « faire une crème pâtissière » dans une recette de conception d'un gâteau). Dans la plupart des situations, la consultation des documents procéduraux ne se ferait qu'après que l'individu ait été confronté à un échec en essayant de réaliser la procédure sans aide (Bovair & Kieras, 1991). A contrario, un enfant réalisant un jeu de construction doit nécessairement suivre pas à pas l'ensemble du plan de

montage au risque de ne pas pouvoir construire le camion de pompier qu'il est en train de réaliser. Il en est de même pour la fabrication d'un meuble en kit.

La segmentation est une des stratégies employées par les individus au cours de la réalisation d'une tâche procédurale à partir de documents. Dans son étude, Vermersh (1985) a observé la manière dont les personnes consultaient un document procédural (recette de cuisine) pendant l'exécution de la tâche (réalisation d'une tarte aux pommes). Les participants étaient novices et la plupart d'entre eux ont employé une stratégie de morcellement. C'est-à-dire qu'ils prenaient connaissance de la première étape, réalisaient l'action demandée, réalisaient, un rétrocontrôle en relisant la procédure puis passaient à l'étape suivante. Ainsi, ils n'avaient pas besoin de mémoriser la procédure dans son ensemble et préféraient suivre pas à pas les consignes indiquées dans le document. Selon Vermersh, il s'agit d'une atomisation de l'action, qui consiste à segmenter une consigne en sous-tâches en vue de sa réalisation. Le maintien en mémoire de travail d'informations étant une activité coûteuse au niveau de la charge cognitive (Mayer, 2001), cette stratégie permet aux novices de limiter cette charge cognitive en mémoire de travail en limitant le nombre d'informations à manipuler en même temps.

Il ne s'agit pas, dans cette situation, de procédures destinées à être apprises, mais à être consultées au moment où nous en avons besoin. Les contraintes de conception des documents procéduraux sont donc ici différentes des documents d'apprentissages. L'accent doit ainsi être mis sur la facilité de recherche d'informations, la structuration du document et sur l'interaction possible pour naviguer facilement en son sein (Ganier, 2016).

2.1.3.2. Exécution différée

Dans certaines situations, moins courantes dans la vie quotidienne (Bovair & Kieras, 1991), il n'est pas possible de se référer au document procédural au moment où l'individu doit réaliser la tâche, car l'accès au document est impossible sur le moment ou bien la situation d'urgence, où la rapidité d'exécution de la procédure est exigée pour atteindre le but recherché, n'autorise pas de prendre le temps pour le consulter. C'est le cas, par exemple, lors de la conduite automobile, d'actes de chirurgie (Ganier & de Vries, 2016) ou de

médecine (Michas & Berry, 2000), de réalisation de soins premiers secours (Arguel & Jamet, 2009), de réalisation de nœuds marins (Schwan & Riemp, 2004) au cours d'une manœuvre de navigation...

Ne pouvant se référer au document pendant l'exécution de la procédure, la personne devra avoir réalisé son apprentissage et ainsi posséder toutes les connaissances nécessaires à sa réalisation. Contrairement aux procédures exécutées en simultanée, l'utilisateur devra posséder une bonne représentation interne de la procédure en mémoire à long terme. L'apprentissage devra donc être réalisé en amont, lors de travaux pratiques ou bien par l'intermédiaire de documents spécifiques et adaptés. Contrairement aux documents procéduraux à exécution simultanée, le critère de vitesse d'accès à l'information n'est pas aussi prépondérant. Une attention particulière sera portée sur la qualité de la représentation de la procédure qui doit être acquise par l'apprenant.

Dans la suite de ce document, nous nous intéresserons plus particulièrement aux documents d'apprentissage des procédures à exécution différée et aux différentes façons de les présenter pour optimiser et faciliter leur apprentissage.

2.1.4. Processus cognitifs mis en œuvre dans le traitement de documents procéduraux

Lors du traitement d'un document procédural, différents processus cognitifs sont mis en œuvre pour qu'il puisse être réalisé de manière optimale. Cela est d'autant plus important lorsqu'il s'agit d'un document pédagogique, présentant par exemple un geste professionnel, qui aura pour but premier d'être stocké en mémoire à long terme pour ensuite être reproduit en différé.

La théorie de la charge cognitive (Sweller, 1994) indique que deux structures importantes sont impliquées dans le traitement de l'information. La mémoire de travail, où a lieu tout le traitement de l'information, dispose d'une capacité de traitement limitée qui est loin d'être suffisante pour la quantité et la complexité des informations que les apprenants ont à traiter dans les environnements d'apprentissages numériques (Wouters, Tabbers, & Paas, 2007). La seconde structure est la mémoire à long terme. C'est une base de

connaissances d'une capacité pratiquement illimitée qui peut servir de capacité de traitement supplémentaire au moyen de schémas : elle agit comme une structure cognitive dans laquelle les éléments séparés sont regroupés dans un seul élément spécialisé qui peut ensuite être traité par la mémoire de travail en un seul élément (Paas et al., 2003). Dans des tâches complexes comme conduire une voiture, les conducteurs les plus expérimentés utilisent constamment de tels éléments agrégés (comme changer une vitesse) qui peuvent être traités en mémoire de travail comme un seul élément. Les conducteurs moins expérimentés doivent apporter les éléments séparés (comme le relâchement de la pédale d'accélération, le débrayage, le déplacement du levier de vitesse, l'embrayage et l'accélération) un par un dans la mémoire de travail pour changer une vitesse avec succès. La construction et l'automatisation de tels schémas, qui peuvent être traités inconsciemment, est important car il permet d'optimiser davantage la capacité de traitement de la mémoire de travail.

La construction de schémas nécessite deux types de traitements cognitifs importants : l'élaboration et l'induction (van Merriënboer, Kirschner, & Kester, 2003). Dans l'étape d'élaboration, les apprenants doivent rendre la nouvelle information significative en l'intégrant avec les informations qu'ils possèdent déjà dans ses connaissances préalables. Ils utilisent ce qu'ils savent déjà pour structurer et comprendre les nouvelles informations. De cette manière, le schéma devient plus élaboré avec une accessibilité accrue, un meilleur rappel, et un meilleur transfert de l'apprentissage. Dans l'étape d'induction, les apprenants doivent généraliser des expériences d'apprentissages concrètes (par exemple l'observation du modèle de comportement) dans des schémas plus abstraits. Plusieurs schémas abstraits ou généralisés peuvent également être appliqués à des tâches qui sont différentes des tâches qui ont été résolues au cours de l'apprentissage (Cooper & Sweller, 1987). La généralisation à partir des expériences d'apprentissages par induction comprend également la discrimination, qui est la construction d'un schéma spécifique qui peut être utilisé uniquement dans des conditions restreintes. Quand les apprenants ont peu de connaissances préalables, l'élaboration et l'induction seront abordées dans les étapes d'observation et d'imitation afin de construire des schémas initiaux. Cependant, lorsque les apprenants ont observé certains modèles et se sont engagés dans les étapes d'imitation,

leurs schémas peuvent devenir plus sophistiqués. Par exemple, en observant et en imitant une performance, un schéma peut être enrichi avec des informations sur la stratégie qui peut être le mieux utilisée pour une tâche particulière.

La compilation et le renforcement sont les processus cognitifs les plus pertinents pour l'automatisation des schémas, (van Merriënboer et al., 2003). Les schémas nouvellement construits peuvent être utilisés pour fournir une première solution au problème. Grâce à la compilation, un schéma très spécifique est créé dans lequel les actions sont directement couplées aux conditions dans le schéma. Une fois qu'une tâche remplit les conditions dans le schéma, les actions sont déclenchées automatiquement. Le renforcement se réfère à la possibilité qu'un schéma automatisé se produise. Un schéma récemment automatisé a encore une faible force, et donc peu de chance d'être activé dans les conditions spécifiques. En appliquant de manière répétée le schéma automatisé avec succès, la chance que le schéma se produise dans des conditions spécifiques augmentera. La compilation et le renforcement permettent à l'apprenant d'automatiser davantage un schéma et ainsi de libérer de la capacité cognitive pour des activités de contrôle et de régulation qui sont associées aux étapes d'autocontrôle et d'autorégulation, permettant ainsi l'acquisition séquentielle de compétences. Cela implique que la compilation et le renforcement devraient déjà être abordés dans le stade de l'imitation et, si nécessaire, se poursuivre dans les étapes d'autocontrôle et d'autorégulation (Anderson, 1982; van Merriënboer et al., 2003).

Nous allons voir maintenant les éléments nécessaires pour que le traitement des documents procéduraux soit efficient.

2.1.4.1. Perception du but de l'action

Tout d'abord, différentes études ont montré que pour faciliter l'encodage de l'information présentée et ainsi optimiser le maintien et la récupération en mémoire des étapes de l'action et l'exécution des procédures, il faut dans un premier temps donner à l'apprenant l'accès au but ou résultat de la procédure (Dixon, 1982, 1987). Dixon précise que les instructions sont traitées plus efficacement lorsque le but de l'action est présenté avant

sa description, que ce soit sous forme d'image ou de texte. Spécifier le but par un titre a un effet bénéfique pour la compréhension d'un document procédural (Wright, 1977). Cela revient à donner des indices temporels sur l'objectif de l'étape à réaliser en vue de produire le but final (Mayer & Fiorella, 2014; Meyer, 1975; van Gog, 2014) et participe ainsi à mieux comprendre la structure sous-jacente (Schwan, Garsoffky, & Hesse, 2000; Spanjers, van Gog, & Merriënboer, 2010) en permettant à l'apprenant de construire son modèle mental (Schnotz, 2014; Stagers & Norcio, 1993).

2.1.4.2. Encodage des informations

Le traitement des documents procéduraux exige également l'encodage des instructions (Ganier et al., 2000). Celles-ci peuvent se présenter sous différents formats : texte, son, images statiques ou animées. Pour permettre l'encodage, l'utilisateur doit tout d'abord extraire l'information du ou des médias qui lui sont proposés. Cette notion faisant l'objet d'une partie intégrante de cette thèse (cf. 2.3.1), nous n'allons pas nous y attarder pour le moment. Nous pouvons simplement retenir ici que selon le format de présentation des documents pédagogiques, l'encodage ne sera pas réalisé de la même manière.

2.1.4.3. Construction du modèle mental

L'apprentissage d'un document procédural doit conduire à la construction d'un modèle mental, c'est-à-dire à une représentation des actions à réaliser selon un ordre prédéterminé. Selon Schnotz (2014), le modèle mental est une représentation mentale d'un objet par une structure interne qui est analogue à l'objet. Stagers et Norcio (1993) définissent le modèle mental comme une représentation interne d'un système dans un domaine de connaissance particulier. Ces représentations internes sont formées par la connaissance de l'individu ou l'expérience ou une combinaison des deux.

La construction de ce modèle mental peut se réaliser en fonction des caractéristiques de l'information qui est présentée dans le document procédural et en fonction des connaissances préalables de l'apprenant. Un modèle mental pertinent aiderait les utilisateurs à apprendre une procédure de manière plus efficace (Rowe & Cooke, 1995).

Cependant, les novices ont généralement une plus mauvaise représentation du document à apprendre que les experts (Chen, Fan, & Macredie, 2006; Staggers & Norcio, 1993). Leur modèle mental serait plus incomplet que celui d'un expert (e.g., Borgman, 1986; Norman, 1983). Ainsi les connaissances préalables ont un effet sur l'activation des connaissances stockées en mémoire à long terme, sur la hiérarchisation des données et sur les inférences élaborées, ces activités jouant un rôle important dans la compréhension des instructions procédurales. Selon Hoc (1987), l'intégration des informations issues d'un document procédural aux connaissances préalables nécessite une bonne compréhension du matériel présenté dans la procédure et de sa structuration en vue de l'action. Donner aux utilisateurs un modèle conceptuel peut servir de cadre de connaissances dans lequel de nouvelles connaissances peuvent être organisées (Staggers & Norcio, 1993).

Lorsque la procédure est décrite sous forme de mots (selon la terminologie de Mayer, 2014), l'apprenant doit transformer l'information à partir d'une représentation déclarative en une représentation procédurale avant que les procédures puissent être extraites et utilisées pour la tâche (Bovair & Kieras, 1991). En revanche, lorsque l'information est présentée sous forme d'images, la procédure peut être plus facilement extraite. En effet, une image peut être considérée comme une représentation visuelle analogique qui permet la construction relativement directe d'un modèle mental (Schnotz, Picard, & Hron, 1993). Ainsi, il serait plus simple et moins coûteux d'élaborer des représentations à partir d'images qu'à partir de texte seul (Sweller & Chandler, 1994). En effet, lire un texte nécessite de transformer l'information verbale en information visuo-spatiale, alors qu'une image est déjà sous forme visuo-spatiale.

La construction d'un modèle mental n'est pas une étape obligatoirement réalisée par un apprenant lors d'une tâche d'apprentissage (Richard, 2004). Il ne s'agit donc pas d'une activité volontaire de l'apprenant. La construction de ce modèle mental est dynamique et se déroule tout au long du processus d'apprentissage et de nouveaux éléments peuvent venir le compléter à posteriori ou à partir d'éléments stockés en mémoire à long terme. Un modèle mental peut venir en compléter un autre ou interagir avec lui.

2.1.4.4. La réalisation du plan d'action

Selon Bovair et Kieras (1991), le résultat de l'action réalisée par une personne qui reproduit une procédure qu'il vient d'apprendre reflète l'activité mentale qu'il a dû réaliser. Ainsi Ganier et al (2000) suggèrent que le temps que met une personne à exécuter l'action est un bon indicateur de la compréhension de la tâche. Selon le format de présentation de l'information, la construction du modèle mental et la planification de l'action peuvent être plus ou moins exactes et longues à élaborer. Ainsi, meilleur sera le format de présentation de l'information, plus le temps de réalisation de l'action sera réduit.

2.1.4.5. Contrôle de l'adéquation du résultat au but

Au cours de la réalisation de la tâche, l'apprenant réalise régulièrement un autocontrôle de l'effet de ses actions au regard du résultat attendu, conservé en mémoire, et de l'étape qu'il vient de réaliser. Cela permet de vérifier si le résultat est conforme ou, en cas d'inadéquation, s'il doit modifier son action. Chaque étape est ainsi susceptible d'être comparée au résultat attendu. En cas de résultat positif, le sujet peut poursuivre la procédure. En cas de résultat négatif, il doit reprendre les étapes antérieures pour les corriger. Selon Ganier et al (2000), la consultation des instructions « après achèvement de la tâche constitue un indice des processus de vérification qu'effectuent mentalement les sujets ». Ce contrôle de l'adéquation du résultat au but est d'autant plus aisé lorsque la procédure est réalisée en même temps que le sujet consulte le document procédural. S'il réalise la procédure en différé, sans pouvoir se référer à l'instruction, il doit faire appel aux informations stockées en mémoire de travail (en cas de réalisation immédiate) ou en mémoire à long terme (en cas de réalisation à posteriori). La qualité de l'étape d'encodage et de mémorisation aura donc un impact sur l'étape de rétrocontrôle. Une mauvaise mémorisation rendra difficile, voire impossible cette étape et pourra donc compromettre complètement la réalisation de la procédure en cours de réalisation.

2.1.4.6. Régulation des processus

Enfin, si lors du rétrocontrôle, le résultat obtenu ne correspond pas au résultat attendu, le sujet pourra faire une régulation en consultant à nouveau l'instruction et en effectuant un nouveau traitement. Cette régulation peut se faire à partir de trois sources d'informations (Ganier et al., 2000) : 1) la représentation du but à atteindre, 2) les instructions, 3) l'état de la réalisation. Si le résultat correspond au but à atteindre, la fin du traitement des instructions pourra être suivie par le traitement de nouvelles instructions. Dans le cas où la procédure est acquise, une nouvelle exécution pourra avoir lieu sans recours à l'instruction.

2.1.5. L'effet des connaissances préalables

Comme évoqué précédemment, un modèle mental, constitué lors de l'apprentissage d'une procédure, facilite la mémorisation d'une procédure. Ainsi, une personne avec des connaissances préalables sur le sujet sera plus à même d'apprendre et de reproduire une procédure qu'un novice. Les interactions entre mémoire à long terme et mémoire de travail jouent un rôle important dans l'apprentissage des procédures. Cet apprentissage consiste en un schéma d'acquisition et d'automatisation des actions de celles-ci. L'acquisition de ce schéma permet ainsi de faciliter le stockage en mémoire à long terme et de réduire la charge cognitive en mémoire de travail (Marcus, Cooper, & Sweller, 1996). Si l'information délivrée par le document procédural n'est pas reliée à un schéma déjà détenu en mémoire à long terme, cela entraînera une surcharge de la mémoire de travail. Ainsi la difficulté de compréhension d'un document ne dépend pas de la somme d'informations à assimiler, mais de la somme d'informations devant être traitées en mémoire de travail.

2.2. Les neurones miroirs

2.2.1. Définition des neurones miroirs

La théorie des neurones miroirs est une découverte relativement récente (Di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese, & Rizzolatti, 1992; Rizzolatti & Craighero, 2004; Rizzolatti

& Sinigaglia, 2008). Les neurones miroirs sont des neurones visuo-moteurs. Peu connus du grand public, ils constituent la base de bon nombre de nos actions en société. Au début des années 1990, Giacomo Rizzolatti et ses collaborateurs neurologues de l'hôpital de Parme, ont mis en évidence que ces neurones s'activent lorsqu'une personne effectue une action, mais également lorsqu'elle voit une autre personne effectuer cette action (Rizzolatti & Craighero, 2004). Selon ces auteurs, *« ces neurones montrent comment la reconnaissance des autres, de leurs actions, voire de leurs intentions, dépend en première instance de notre patrimoine moteur. Depuis les actions les plus élémentaires et naturelles, comme, précisément, saisir de la nourriture avec la main ou avec la bouche, jusqu'aux actions les plus élaborées, qui nécessitent une habileté particulière, comme exécuter un pas de danse, une sonate au piano ou un rôle théâtral, les neurones miroirs permettent à notre cerveau de corréler les mouvements observés à nos propres mouvements et d'en reconnaître la signification. Sans ce genre de mécanisme, nous disposerions d'une représentation sensorielle ou d'une figuration picturale du comportement d'autrui, sans jamais savoir ce que les autres sont réellement en train de faire »* (Rizzolatti & Sinigaglia, 2008, p. 10).

Des études plus récentes ont élargi cette vue indiquant que les neurones miroirs peuvent également être déclenchés lorsqu'un individu : 1) écoute des actions liées aux compétences motrices (comme une rencontre sportive à la radio), 2) imagine que ses propres actions sont effectuées, ou même 3) observe le résultat d'une action qui peut être liée à une compétence motrice.

La présence des neurones miroirs a été identifiée dans la zone F5 du cortex pré-moteur du cerveau des singes macaques. Les chercheurs ont trouvé dans cette zone des neurones qui s'activaient lors de mouvements de mains particuliers avec un objectif de manipulation tels que la tenue d'un objet, la saisie ou la déchirure (Di Pellegrino et al., 1992). Ils ont également pu démontrer que ces mêmes zones s'activaient lors de l'observation de ces mêmes mouvements. Par ailleurs, pour des actions comme la saisie avec la bouche ou avec les mains, la rotation et la manipulation des objets, des activations neuronales ont été observées dans la même zone F5, aussi bien lorsque le singe exécutait les actions, que lorsqu'il observait les actions qui étaient réalisées par les chercheurs. Il a également été trouvé que ces neurones miroirs participaient à la prédiction de l'action. En effet, certains

neurones ont été activés à la fois lorsque le macaque a effectué une action, comme saisir un objet, et lorsqu'il a observé les expérimentateurs effectuant une action connexe, mais préparatoire, c'est à dire en plaçant l'objet près de l'animal. À l'instar des résultats trouvés chez le singe, le même phénomène de miroir a été identifié chez l'homme (Rizzolatti & Sinigaglia, 2008). Il a été montré que le cortex pré-moteur n'était pas seulement activé lorsque les hommes manipulaient un petit objet, mais également lorsqu'il observait un autre individu exécutant la même action. Bien que l'activation observée dans le cortex moteur ait été plus faible lors de l'observation par rapport à l'exécution directe, ces résultats ont révélé la présence de neurones miroirs chez l'homme. Ces neurones constituent un réseau appelé système des neurones miroirs (Mirror Neuron System - MNS), qui possède une vaste représentation cérébrale, incluant les aires pariétales, pré-moteurs et sous-corticales.

Il s'agit d'un mécanisme de résonance motrice entre les mouvements effectués par une personne et les mouvements disponibles et stockés en mémoire de la personne qui observe. Lorsqu'une personne voit un objet qui peut être manipulé, il perçoit des affordances, c'est-à-dire des suggestions d'actes moteurs. Cela est possible uniquement si des interactions réelles ont déjà eu lieu entre la personne et l'objet en question. Et ce n'est qu'une fois que cet acte fait partie du « vocabulaire d'actes » que les neurones miroirs peuvent être activés (Rizzolatti & Sinigaglia, 2008).

2.2.2. Implication des neurones miroirs dans l'apprentissage

Les neurones miroirs sont responsables de notre capacité à engager un apprentissage par imitation (Blandin, Lhuisset, & Proteau, 1999). Les recherches réalisées en neuroscience permettent de mieux comprendre le processus d'apprentissage moteur. L'être humain s'engagerait plus aisément dans un apprentissage moteur par imitation grâce aux neurones miroirs. En effet, l'homme a plus de facilité à apprendre à partir de l'observation de mouvements humains qu'à partir de systèmes mécaniques, car il peut les imiter.

En plus d'être activés lors de la réalisation ou de l'observation d'une action, les neurones miroirs sont également déclenchés lorsque les individus simulent ou imaginent

qu'ils exécutent l'action réelle. Par exemple, dans une expérience de danseurs observant et imaginant les mouvements du corps d'un autre danseur, les régions du cerveau qui ont été activées ont été liées au système des neurones miroirs. Cette étude a également montré que la plus grande activation du lobe pariétal inférieur a été observée lorsque les participants ont imaginé des étapes de danse qu'ils avaient pratiquées pendant un certain temps, ce qui signifie également que les neurones miroirs sont sensibles à l'expérience corporelle précédente et donc aux connaissances préalables (Cross, Hamilton, & Grafton, 2006).

Richard Byrne propose un modèle selon lequel l'apprentissage par imitation, impliquant les neurones miroirs, serait lié à l'intégration de deux processus distincts (Byrne & Russon, 1998). Le premier permet de convertir le flux continu de mouvements observés en unités motrices plus fines appartenant à son patrimoine moteur. Lors de ce processus de segmentation, la personne segmente l'information visuelle de l'action proposée en événement plus court, et donc plus facilement compréhensible, facilitant ainsi son traitement en mémoire de travail et donc sa mémorisation. Le second processus permet de reproduire les actes moteurs ainsi stockés en mémoire selon la séquence la plus appropriée pour que l'action exécutée reproduise le plus fidèlement celle observée.

L'apprentissage de la réalisation d'accords de guitare par imitation a été étudié par l'équipe de Buccino (2004). Des personnes novices dans la pratique de la guitare ont observé une vidéo dans laquelle on pouvait voir la main d'un professeur réaliser des accords qu'ils devaient reproduire après une courte pause. Quatre conditions expérimentales ont été mises en œuvre. Après avoir visionné la vidéo, il était demandé aux participants de 1) soit reproduire immédiatement l'accord visionné, 2) soit les participants devaient toucher le manche de la guitare, mais sans faire aucun accord, 3) soit les participants devaient regarder la manche de la guitare qui oscillait, puis, après une pause, ils devaient reproduire l'accord appris dans la vidéo, 4) ou bien les participants pouvaient réaliser l'accord de leur choix. Dans tous les cas, le même circuit des neurones miroirs s'activait, mais de façon plus importante dans les conditions où les participants devaient imiter l'accord vu dans la vidéo. Le résultat le plus surprenant est que durant la pause qui précédait la réalisation de l'imitation, une activation intense du cortex frontal, correspondant à l'aire 46 de Brodmann, et de certaines aires du cortex mésial antérieur a été observée. Dans tous les cas, les aires

motrices s'activaient au cours de l'exécution du mouvement, que ce soit lors d'une imitation ou non. Ainsi, la transformation de l'information visuelle en activité motrice se produit dans le système des neurones miroirs (Rizzolatti & Sinigaglia, 2008) et la traduction des actes élémentaires qui caractérisent l'action observée (la position des doigts qui jouent l'accord exécuté par le professeur) en termes moteurs se réaliserait par les neurones miroirs localisés dans le lobe pariétal inférieur et dans le lobe moteur. Selon le modèle de Richard Byrne, il s'agit d'une condition nécessaire à l'apprentissage par imitation. Les réponses enregistrées au cours des pauses qui précédaient l'imitation et l'exécution d'accords libres semblent indiquer que l'activation du système des neurones miroirs se produit sous le contrôle de l'aire 46 de Brodmann et du cortex mésial antérieur. L'aire 46 a souvent été attribuée à des fonctions principalement liées à la mémoire de travail. Cette étude de Buccino suggère que cette aire, en plus de la constitution d'une mémoire de travail, serait responsable de la « *recombinaison des actes moteurs particuliers et de la définition d'une nouvelle configuration d'action, correspondant le plus possible à celle exemplifiée par le démonstrateur* » (Rizzolatti & Sinigaglia, 2008, p. 160).

L'équipe de Brucker (2015) a étudié l'activation des neurones miroirs lors de l'apprentissage de techniques de déplacement des poissons (mouvement biologique non humain) à partir d'animations. Dans un premier groupe, un homme reproduisait les mouvements des poissons avec ses mains. Dans le second groupe, il effectuait des mouvements avec ses mains qui ne correspondaient pas aux mouvements des poissons. Les participants avec le moins de compétences visuo-spatiales avaient de bons résultats uniquement avec la version où le démonstrateur reproduisait les mouvements des poissons, alors que ceux avec le plus de compétences visuo-spatiales avaient de bons résultats avec les deux modes de présentation. Les neurones miroirs siégeant dans le cortex frontal inférieur ont été davantage activés par les participants avec le moins de compétences visuo-spatiales lorsqu'ils visionnaient la version avec les gestes reproduisant les mouvements des poissons qu'avec les gestes ne correspondant pas. Parmi ce groupe, de meilleurs résultats ont été observés lorsque les neurones miroirs du cortex pariétal inférieur étaient activés. Selon les auteurs, trois facteurs semblent prédire un bon apprentissage de ce type de mouvements à partir d'animations : 1) des capacités visuo-spatiales élevées, 2) l'activation des neurones

miroirs du cortex frontal inférieur et 3) ceux du cortex pariétal inférieur. Ainsi, les neurones miroirs facilitent l'apprentissage des mouvements biologiques et la mise en œuvre de stratégies pédagogiques par leur stimulation au moyen de gestes correspondants permettrait de compenser des capacités visuo-spatiales faibles.

Une animation montrant un mouvement humain va automatiquement activer le système des neurones miroirs. Cela aiderait les apprenants à traiter l'information de mouvement en amorçant l'exécution d'actions similaires (Van Gog, Paas, Marcus, Ayres, & Sweller, 2009). Les difficultés liées au traitement des informations labiles des animations en mémoire de travail peuvent donc être réduites et la compréhension de l'action observée améliorée. Cependant, une animation montrant des mouvements non humains, n'activant pas le système de neurone miroirs, ne permet pas un apprentissage aussi efficace (Van Gog et al., 2009).

Ces résultats sont confirmés par une autre étude sur la réalisation des nœuds marins à partir d'une animation (Marcus, Cleary, Wong, & Ayres, 2013). Une version du support pédagogique avec les mains du démonstrateur visibles et une autre sans les mains sont proposées aux apprenants. Aucune différence n'est retrouvée au niveau de la tâche de réalisation des nœuds ou de la tâche cognitive (post test sous forme de QCM). En revanche, la version avec les mains visibles permet de diminuer l'effort mental et rend donc l'apprentissage plus efficace. Selon les auteurs, grâce à l'activation des neurones miroirs, la connaissance biologique primaire (visualisation des mouvements de la main) permet de soutenir davantage l'acquisition de connaissances biologiques secondaires (réalisation des nœuds). Lors de l'apprentissage de gestes humains, une activation des neurones miroirs est associée à une meilleure performance d'apprentissage (de Koning & Tabbers, 2011; Imhof, Ehlis, & Gerjets, 2012; Paas & Sweller, 2012). Ainsi, la stratégie pédagogique consistant à permettre l'apprentissage par le biais de visualisations dynamiques serait améliorée en stimulant les neurones miroirs du système nerveux central au moyen d'interventions fondées sur des gestes humains. Cependant, la performance de l'apprentissage est améliorée en fonction de la présentation vidéo du geste à accomplir. Une étude récente (Boucheix, Gauthier, Fontaine, & Jaffeux, 2018) a montré que l'alternance des points de vue de la caméra (face au démonstrateur et par-dessus son épaule) améliorait la qualité de

l'apprentissage d'un geste médical (insertion d'un cathéter à demeure dans un système fermé à l'aide d'un mannequin de simulation) par rapport à une vue uniquement face au démonstrateur ou uniquement au-dessus de son épaule. Un seul point de vue n'est donc pas suffisant pour l'apprentissage de procédures complexes impliquant des changements d'orientation spatiale. Les auteurs relativisent néanmoins ce résultat en indiquant que cette amélioration était dépendante du type de procédure et des gestes impliqués dans la tâche.

2.3. Multimédia et apprentissage des gestes professionnels

L'apprentissage de procédures, et plus particulièrement des gestes professionnels, est une activité complexe qui nécessite à la fois de nombreuses répétitions, mais aussi des supports pédagogiques adaptés. Les présentations multimédias semblent être une alternative intéressante aux supports papier pour apprendre les contenus procéduraux (Brunyé, Taylor, Rapp, & Spiro, 2006). Les présentations multimédias combinent plusieurs formats d'images et de mots (Mayer, 2001) qui seront traités par un seul canal sensoriel (verbal ou imagé) ou par les deux simultanément. Ainsi, l'application des principes d'apprentissage multimédia dans l'enseignement permet une utilisation optimale des supports pédagogiques en fonction des capacités cognitives de l'apprenant (Abrami, Bernard, Bures, Borokhovski, & Tamim, 2011).

Différentes études portant sur des supports de formation multimédia ont pu montrer que l'utilisation de technologies asynchrones, disponibles sur internet ou sur une autre forme informatique (DVD...), offre la possibilité de répétition et de gestion du rythme de présentation à un rythme préféré de l'étudiant (Perlman, Weston, & Gisel, 2010) et qu'ils permettent de varier les tâches et les activités d'apprentissage, augmentant ainsi l'intérêt des étudiants et leur motivation intrinsèque (Pintrich, 2003). Ces environnements interactifs d'apprentissage multimédia devraient ainsi favoriser la construction active de nouvelles connaissances (Kalyuga, 2012).

Après avoir défini les différentes modalités de présentation de l'information multimédia, nous allons nous intéresser plus particulièrement à leur utilisation spécifique pour la formation professionnelle dans le domaine de la santé et aux difficultés rencontrées auxquelles peuvent être confrontés les apprenants.

2.3.1. Les différentes modalités de présentation de l'information

Selon Mayer (2001), l'apprentissage multimédia est l'apprentissage à partir de mots et d'images. Ainsi, un document multimédia est un document qui combine des mots qui peuvent être écrits (textes, tableaux, informations textuelles dans une vidéo, diaporama...) ou lus (document audio, bande-son d'une vidéo...) et des images qui peuvent être statiques (graphiques, schémas, photos...) ou dans un format animé (vidéos, animations...). Dans le cadre d'un apprentissage procédural, les images facilitent la construction d'un modèle mental et la planification des actions (Ganier et al., 2000). Ainsi, l'association du texte et des images permettrait une exécution plus rapide des actions (Ganier et al., 2000).

Parmi les supports pédagogiques les plus populaires rencontrés dans l'enseignement, nous retrouvons les diaporamas, les livres illustrés ou non, les vidéos et les animations. Dans la suite de notre travail, nous nous intéresserons aux visualisations dynamiques et plus particulièrement aux vidéos.

2.3.1.1. Animations

Selon Roncarelli (1989, p8), une animation peut être définie comme « *la production de l'illusion de mouvement dans un film / vidéo en photographiant, ou par un autre moyen d'enregistrement, une série d'images simples, chacune présentant des changements incrémentiels, qui, lorsqu'ils sont montrés ensemble, à grande vitesse, donnent l'illusion de mouvement. Les images individuelles peuvent être produites par une variété de techniques, depuis des images générées par ordinateur, jusqu'à des cellules dessinées à la main* ».

Bétrancourt et Tversky (2000, p313) complètent cette définition en indiquant que « *l'animation par ordinateur se réfère à toute application qui génère une série d'images, de sorte que chaque image apparaît comme une altération de la précédente, et où la séquence d'images est déterminée soit par le concepteur, soit par l'utilisateur* ». Ainsi, une animation est une série d'images artificielles créées par l'homme (comme des dessins animés par exemple) contrairement aux vidéos qui sont des composées d'images d'objets réels (Mayer & Moreno, 2002).

Les animations sont utilisées dans de nombreux domaines d'apprentissage, non exhaustifs, qui mettent en action le corps humain tel que le football (Khacharem, Spanjers, Zoudji, Kalyuga, & Ripoll, 2013), des gestes professionnels en médecine (Ruiz, Cook, & Levinson, 2009), mais également le fonctionnement de systèmes naturels complexes comme la formation d'éclairs (Mayer & Chandler, 2001) ou la formation de roches (Lin & Atkinson, 2011) ou bien de systèmes mécaniques comme le fonctionnement d'un moteur à piston (Mayer, Dow, & Mayer, 2003) ou un système à poulies (Jean-Michel Boucheix & Schneider, 2009). Elles peuvent également être utilisées pour l'apprentissage de notions plus abstraites comme le calcul de probabilité (Spanjers, van Gog, Wouters, & Merriënboer, 2012).

Dans les différentes études réalisées sur les animations, les auteurs se sont intéressés à comparer l'apprentissage par animations par rapport aux images statiques (e.g. Boucheix & Schneider, 2009; Höffler & Schwartz, 2011; Imhof, Scheiter, Edelmann, & Gerjets, 2012; Lin & Atkinson, 2011; Phan, 2011; Wouters, Paas, & van Merrienboer, 2008; Yue, Kim, Ogawa, Stark, & Kim, 2013). Une méta-analyse de 26 articles a pu démontrer que les visualisations dynamiques (vidéos et animations) obtiennent de meilleures performances d'apprentissages que l'équivalent en images statiques (Höffler & Leutner, 2007). Selon cette étude, cela est particulièrement vrai pour l'apprentissage d'une tâche motrice procédurale, telle que la réalisation de nœuds marins (Marcus et al., 2013) ou la réalisation de scoubidou et de casse-têtes avec des cercles (puzzle ring) (Ayres, Marcus, Chan, & Qian, 2009). Ce résultat est conforté par une autre méta-analyse portant sur 50 études (Berney & Bétrancourt, 2016). Le principal avantage des animations est de pouvoir illustrer de manière dynamique des changements d'états à travers le temps et l'espace. Elles permettent

également de comprendre des concepts, systèmes ou structures complexes en visualisant les relations qui peuvent exister entre les différentes parties qui la composent (Tversky, Morrison, & Betrancourt, 2002). Grâce aux animations, tout comme les vidéos, les apprenants peuvent percevoir les changements en temps réel plutôt que de le faire mentalement, ce qui permet de libérer des ressources cognitives (Hegarty, Kriz, & Cate, 2003; Lowe, 1999; Mayer, Hegarty, Mayer, & Campbell, 2005; Schnotz & Rasch, 2005). Elles donnent des informations de mouvement, ce que ne permettent pas les images statiques (Narayanan & Hegarty, 2002; Park & Gittelman, 1992; Ploetzner, Lippitsch, Galmbacher, Heuer, & Scherrer, 2009; Schnotz & Lowe, 2008). Lorsqu'un apprenant doit comprendre une situation, qui est par nature dynamique, à partir d'images statiques, il doit tout d'abord construire par lui-même un modèle mental dynamique à partir des informations statiques qui lui sont données (Schnotz & Lowe, 2003). Les animations évitent ce type d'activité cognitive, car elles fournissent à l'apprenant une représentation dynamique déjà faite de la situation. Selon Schnotz et Rash (2005), les animations possèdent trois fonctions facilitant l'élaboration d'un modèle mental d'un système dynamique : l'engagement (*enabling*), la facilitation (*facilitating*) ou l'inhibition (*inhibition*). La première fonction des animations (*enabling*) est de permettre aux apprenants novices ou ayant de mauvaises capacités d'imageries mentales, de visualiser le système, ce qu'ils ne pourraient pas faire seuls. Même lorsque les apprenants peuvent simuler mentalement le système mental présenté, cette activité engendre un coût cognitif élevé. Höffler et Schwartz (2011) indique que les personnes utilisant le canal visuel tireraient plus de bénéfices des animations que ceux utilisant le canal auditif. La seconde fonction de l'animation (*facilitating*) est donc d'économiser des ressources cognitives pour ce type de traitement au profit de l'activité d'apprentissage. Cela facilite ainsi la formation d'un modèle mental « exécutable » du système, ce que Mayer (2001) appelle « *a runnable model* ». En revanche, puisque l'animation évite aux apprenants de simuler mentalement le fonctionnement du système, ils ne réalisent qu'un traitement peu profond du contenu pédagogique. Cela peut entraîner ainsi ce que Bétrancourt (2005) appelle une « illusion de compréhension ». Cela constitue la troisième fonction des animations (*inhibition*) car l'élaboration du modèle mental est inhibée

par l'animation. Pour éviter cela, il est nécessaire de concevoir une animation dans laquelle les apprenants restent engagés dans un traitement actif de l'information.

La méta-analyse réalisée par Berney et Bétrancourt (2016) indique que l'apprentissage par le biais d'animations améliore la qualité de l'apprentissage. Cet effet est d'autant plus marqué lorsque les animations sont accompagnées avec un commentaire audio, lorsqu'elle n'est pas couplée avec du texte et enfin lorsqu'elle est segmentée. En revanche, les auteurs n'ont pas retrouvé d'effet de taille significatif lorsque l'apprenant contrôle le rythme.

Le caractère dynamique des animations est plus particulièrement bénéfique pour les apprenants novices (Schnotz & Lowe, 2003). Les personnes avec de bonnes capacités spatiales tirent le plus de bénéfices en apprenant par ce type de média d'apprentissage (Höffler, 2010).

Les animations sont plus particulièrement bénéfiques pour l'apprentissage de procédures que l'on peut difficilement décrire avec des mots (Wouters et al., 2008). L'avantage des animations est de pouvoir aisément mettre l'accent sur les informations pertinentes (principe de signalement selon Mayer) grâce, entre autres, à l'utilisation de la couleur (Yue et al., 2013). Elles accentuent également la motivation des apprenants en comparaison à d'autres formats de présentation (Phan, 2011; Scheiter, 2014).

Malgré les avantages que présente l'apprentissage par l'intermédiaire des animations par rapport aux images statiques, nous verrons plus loin (partie 2.3.3) que ce type de matériel pédagogique peut également rencontrer un certain nombre de limites liées, entre autres, au caractère transitoire de l'information proposée qui impose un haut niveau de charge cognitive et un risque de surcharge de la mémoire de travail ce qui n'est pas le cas du matériel statique (Leahy & Sweller, 2011).

2.3.1.2. Vidéos

Tout comme les animations, les vidéos présentent l'avantage, par rapport aux images statiques, d'aider les apprenants à visualiser la manière dont les éléments fonctionnent et interagissent, donnent des indications de mouvement et fournissent des informations et détails qui sont difficilement explicables par du texte ou des images statiques, mais plus simples à montrer (voir Yousef et al., 2014a pour une revue). Ainsi, de nombreuses études ont pu également montrer leurs supériorités aux images statiques (Arguel & Jamet, 2009; Boucheix & Forestier, 2017; Ertelt, Renkl, & Spada, 2005; Michas & Berry, 2000; Wong, Leahy, Marcus, & Sweller, 2012; Yousef et al., 2014a). Une étude sur l'apprentissage des mathématiques en classe élémentaire a montré que les vidéos améliorent les performances d'élèves, mais incite également les élèves à l'apprentissage à la maison, en dehors des heures des classe (Föböl, Ebner, Schön, & Holzinger, 2016). De plus, les possibilités d'apprentissage permises par ce type de média peuvent offrir des opportunités supplémentaires pour les étudiants à s'engager dans un processus de réflexion critique qui favorise la connaissance et le développement des compétences (Schols, 2012). En revanche, les étudiants qui apprennent à partir d'une vidéo présentant une conférence filmée obtiennent de moins bons résultats que ceux qui assistent directement à la conférence (Caspi, Gorsky, & Privman, 2005). Les auteurs expliquent l'effet négatif sur les apprentissages par l'implication moindre des étudiants et par un l'impact qu'il peut il y avoir au niveau affectif, l'étudiant n'étant pas directement en contact avec ses pairs ou avec l'intervenant.

La modélisation vidéo facilite l'acquisition des compétences motrices grâce, entre autres, à l'activation du système des neurones miroirs (voir Castro-Alonso, Ayres, & Paas, 2014 pour une revue). La modélisation, également appelée apprentissage par observation, est le processus d'apprentissage où un individu (le modèle) montre les actions qui peuvent être imitées par un autre individu (l'observateur) (Dowrick, 2000). Un avantage de la vidéo est que le concepteur peut attirer l'attention de l'apprenant sur certains aspects de la situation présentée par l'utilisation de la caméra (zoom, angles de vue...) ou lors du montage vidéo (Dowrick, 1991).

Les vidéos peuvent être utilisées dans de nombreux contextes pour l'apprentissage de compétences motrices, mobilisant ainsi le système des neurones miroirs. Des recherches ont étudié l'implication des neurones miroirs dans divers domaines (Castro-Alonso et al., 2014) tels que les compétences incluant le corps entier : exécuter des lancers au panier au basket (e.g. Hall & Erffmeyer, 1983), acquérir les compétences posturales d'un enseignant pour donner un cours en amphithéâtre (e.g. Sharp, 1981), exécuter des mouvements de ballet (e.g. Gray, Neisser, Shapiro, & Kouns, 1991) ou pratiquer des mouvements complexes d'une séquence de danse moderne (e.g. Cross et al., 2006). D'autres études se sont intéressées aux compétences procédurales de manipulation comme lier des nœuds nautiques (e.g. Schwan & Riempp, 2004), lier une série de 3 nœuds de Scoubidou (e.g. Ayres et al., 2009), apprendre des tâches de pliage de papiers (e.g. Wong et al., 2009), effectuer des tâches d'assemblage individuelles telles que le pliage de boîtes en carton (e.g. Dowrick & Hood, 1981), démonter une arme (e.g. Spangenberg, 1973), assembler une machine abstraite (e.g. Watson, Butterfield, Curran, & Craig, 2010), ou encore construire un hélicoptère en kit (e.g. Baggett, 1987). Enfin, d'autres recherches ont étudié les compétences bi-manuelles telles que déplacer des barrières en suivant un modèle (e.g. Doody, Bird, & Ross, 1985), suivre les mouvements de percussion d'un modèle à travers des barrières en bois (e.g. Blandin et al., 1999), suivre le modèle d'action de déplacement d'une pagaie légère (e.g. Carroll & Bandura, 1982), pratiquer différentes procédures de gestes de premiers secours (e.g. Arguel & Jamet, 2009) ou encore s'entraîner au lancer de fléchettes (e.g. Kitsantas, Zimmerman, & Cleary, 2000).

Toutes ces études ont démontré l'intérêt de l'usage de la vidéo pour l'apprentissage de compétences motrices par rapport à d'autres modalités de présentation de l'information.

L'usage des vidéos dans le domaine de l'éducation est multiple : présentation d'études de cas pour faire réfléchir les élèves sur une situation concrète, faire un débriefing d'une situation qui vient de se dérouler, remise de travaux à visée d'évaluation sous forme de vidéo (Derry, Sherin, & Sherin, 2014), tutoriel pour apprendre à se servir d'un logiciel (Ertelt et al., 2005) ou d'un appareil à usage médical (Mykityshyn, Fisk, & Rogers, 2002). Dans cette dernière étude, les auteurs se sont intéressés à l'apprentissage d'une procédure

(utilisation d'un appareil de mesure de la glycémie) à partir d'une vidéo sous forme de tutoriel ou à partir d'un manuel classique au format papier. Les résultats montrent que les participants les plus âgés ont obtenu de meilleures performances en termes de réussite à la tâche et de temps d'exécution suite à un apprentissage par vidéo plutôt que par le format classique. Ils ont également montré que l'utilisation de vidéos peut être particulièrement utile pour les apprenants avec de faibles capacités visuospatiales ce qui est confirmé par une étude plus récente de Brucker et al. (2015).

L'intérêt des vidéos pour l'apprentissage procédural de compétences motrices en observant un modèle qui présente une action ou le comportement désiré, a pu être démontré depuis de nombreuses années (Wetzel, Radtke, & Stern, 1994; Wulf & Shea, 2002). Sur la base de la théorie des neurones miroirs, pour apprendre un geste, les étudiants peuvent produire seuls le geste à partir de ce qu'ils peuvent lire ou des images qu'ils regardent, ou bien regarder les gestes qui sont exercés par d'autres dans des vidéos (de Koning & Tabbers, 2011). Boucheix et Forestier (2017) ont étudié l'apprentissage de la réalisation de nœuds marins chez des enfants. Les participants ont appris le geste à partir d'une vidéo ou à partir d'images statiques. Ils avaient la possibilité de manipuler en même temps qu'ils observaient le support pédagogique, ce qui correspond à une situation écologique. En effet, lorsque l'on apprend un geste ou une procédure, nous le reproduisons naturellement en même temps que nous observons le modèle. Dans cette situation, l'apprentissage par vidéo est supérieur à l'apprentissage par les images statiques. Les mêmes résultats ont été retrouvés dans une situation moins écologique où les apprenants observaient tout d'abord l'instruction, puis réalisaient en différé la tâche (Garland & Sanchez, 2013).

En utilisant les premiers niveaux du modèle socio cognitif de l'apprentissage séquentiel de compétences (Kitsantas et al., 2000; Schunk & Zimmerman, 1997), nous pouvons diviser le processus d'apprentissage d'un modèle vidéo de compétences motrices en 2 étapes séquentielles : l'observation et l'émulation. Dans l'étape d'observation, le modèle donne à l'observateur une représentation d'un moyen précis pour exécuter une habileté motrice. Dans l'étape d'émulation, l'apprenant continue d'observer le modèle, mais il pratique également l'expérience motrice qui lui est présentée (Kitsantas et al., 2000). Cela

s'explique par l'activation des neurones miroirs. Une approche qui ne considère qu'une étape, l'émulation par exemple, sera moins efficace. À titre d'exemple, il a été demandé à soixante étudiantes de lancer cinq fléchettes sur une cible selon deux conditions : observation d'un modèle suivie d'une phase de pratique (émulation) ou seulement la phase de pratique (Kitsantas et al., 2000). Le groupe associant observation et émulation a obtenu de meilleures performances au lancer de fléchettes, un meilleur intérêt intrinsèque et une plus forte perception d'auto-efficacité. Une autre étude a proposé à des étudiants de suivre une séquence de déplacement de sept barrières en bois verticales dans un temps limite (Ross, Bird, Doody, & Zoeller, 1985). Le groupe qui a observé et pratiqué a obtenu de meilleurs résultats au test de rétention à 48h que le groupe qui a uniquement pratiqué. D'autres études ont comparé observation associée à la pratique versus observation seule, montrant ainsi que la combinaison des deux était plus efficace. Par exemple, dans une étude où la tâche est de reproduire des mouvements de percussion à partir d'une vidéo, les auteurs concluent que l'observation seule produit des reproductions approximatives de la tâche motrice. L'amélioration de la tâche n'a été possible que grâce à la pratique des apprenants (Blandin et al., 1999).

D'autres études sur d'autres types d'apprentissage procédural comme le bandage (Michas & Berry, 2000) ou le secourisme (Arguel & Jamet, 2009) ont démontré que les vidéos étaient plus efficaces que l'apprentissage par l'intermédiaire d'images statiques, par un texte ou par des dessins. Cependant, du fait de la labilité de l'information présentée dans les vidéos, ce type d'apprentissage peut être encore amélioré. Aussi, Arguel et Jamet (2009) ont montré que l'association d'images fixes aux vidéos, aux étapes clés d'une procédure, améliore encore les apprentissages.

Comme nous avons pu le voir précédemment, les vidéos et les animations présentent de nombreux intérêts, mais comportent également des limites. Les domaines d'applications dans la formation et l'enseignement sont nombreux. Nous allons maintenant nous intéresser plus particulièrement à la formation professionnelle dans le domaine de la santé.

2.3.2. La formation professionnelle dans le domaine de la santé

2.3.2.1. Une approche par compétences

Les formations médicales, mais surtout paramédicales², ont connu ces dernières années une réforme des formations en les ancrant encore plus dans un processus d'universitarisation. Parmi les changements communs à toutes ces professions, nous pouvons retenir la place importante de la notion de compétence qui devient l'approche principale pour former des professionnels autonomes et réflexifs. La Direction Générale de l'Offre de Soins (DGOS) définit la compétence comme un « *ensemble de savoir-faire, de comportements, et de connaissances, mobilisés dans une action et adaptés aux exigences d'une situation* ». Selon Le Boterf (2000), « *la compétence est la mobilisation ou l'activation de plusieurs savoirs, dans une situation, en résolvant un problème, en réalisant un projet, et correspondant à une séquence d'actions où se combinent de multiples savoir-faire* ». Plusieurs types de compétences sont distinguées (Le Boterf, 1997) :

- savoirs théoriques (savoir comprendre, savoir interpréter),
- savoirs procéduraux (savoir comment procéder),
- savoir-faire procéduraux (savoir procéder, savoir opérer),
- savoir-faire expérientiels (savoir y faire, savoir se conduire),
- savoir-faire sociaux (savoir se comporter, savoir se conduire),
- savoir-faire cognitifs (savoir traiter de l'information, savoir raisonner, savoir nommer ce que l'on fait, savoir apprendre).

² Selon le code de la Santé Publique, parmi les professions de la santé relevant du terme paramédicale on peut distinguer trois grands groupes : les préparateurs en pharmacie (Livre II, Titre IV), le corps des auxiliaires médicaux (Livre III, Titres I, II, III, IV, V, VI et VII) et le corps des professions relevant du statut d'aide-soignant (Livre III, Titre IX). Le terme d'auxiliaires médicaux regroupe les professions d'infirmier, masseur-kinésithérapeute, pédicure-podologue, ergothérapeute, psychomotricien, orthophoniste, orthoptiste, manipulateur en électroradiologie médicale, technicien de biologie médicale, audioprothésiste, opticien, diététicien, orthésiste et prothésiste.

Lors de la formation initiale des professionnels de santé, les compétences se développent par l'acquisition de connaissances, par le développement de savoirs d'actions, par l'anticipation des situations cliniques et par l'actualisation des compétences professionnelles (Wittorski, 1998). L'approche par compétences implique donc un nouveau paradigme pédagogique et de nouvelles modalités pédagogiques. Compte tenu de l'évolution des programmes de formation, il est nécessaire d'adapter les méthodes pédagogiques pour les apprentissages complexes dans la formation (Pociask, DiZazzo-Miller, & Samuel, 2013). Actuellement l'enseignement pratique des gestes professionnels se réalise par des cours théoriques suivis de travaux dirigés. Lors de ces travaux dirigés, le formateur fait la démonstration du geste qui est ensuite reproduit par l'étudiant. Le formateur supervise, contrôle et éventuellement corrige l'action réalisée par l'étudiant. Cette séquence de formation se fait en direct, dans un espace et dans un temps déterminé. Si l'étudiant est absent pour une raison ou une autre, ou si son attention est limitée sur ce laps de temps, il tirera un bénéfice moindre, voire nul, de cet apprentissage. De plus, cela laisse peu de temps à l'étudiant pour s'entraîner (Ganier & de Vries, 2016). L'utilisation de nouveaux supports pédagogiques, tels que les vidéos, peut donc compléter les cours proposés en présentiel (McAlister, 2014). L'utilisation de ces outils pédagogiques multimédias permet d'instrumenter et d'autonomiser les étudiants en les rendant acteurs de leurs apprentissages (Albero & Nagels, 2011). Selon Boucheix (2012), les technologies « *contribuent à une sorte d'étape intermédiaire de la plus haute importance formative entre les cours théoriques ("savoirs" ou connaissances déclaratives) et leur mise en œuvre dans les actions des soignants ("savoir-faire" ou connaissances procédurales)* ».

2.3.2.2. L'apprentissage multimédia dans le domaine de la santé

L'outil multimédia est utilisé depuis de nombreuses années dans les études médicales et odontologiques (Matthew, Pollard, & Frame, 1998) et paramédicales (Lammers, 2007), jusqu'à devenir une méthode pédagogique standard (Lammers, 2007). Une revue de littérature montre un usage croissant du e-learning dans les formations médicales (Cook, Garside, Levinson, Dupras, & Montori, 2010). Parmi les 266 études recensées, 146 (55%)

utilisaient du multimédia tels que des documents audio, des vidéos ou des images statiques. Une autre méta-analyse portant sur 201 études réalisées entre 1990 et 2007 indique que l'apprentissage multimédia en ligne dans le domaine de la santé est meilleur lorsque le support offre de l'interaction aux apprenants. Cependant, les auteurs rapportent également le fait qu'ils n'ont pas retrouvé d'effets en comparaison à des méthodes pédagogiques traditionnelles.

Parmi les supports multimédias utilisés dans l'enseignement en santé, nous retrouvons principalement le diaporama (Issa et al., 2011), les animations (Berney & Bétrancourt, 2016; Gomersall, Lam, & Joynt, 2010; Hegarty, Keehner, Cohen, Montello, & Lippa, 2007; Ruiz et al., 2009; Song et al., 2014) et les vidéos (AAMC, 2007; Ganier & de Vries, 2016; Gomersall et al., 2010; Holzinger, Kickmeier-Rust, Wassertheurer, & Hessinger, 2009). Les domaines d'enseignement sont nombreux et représentent à la fois l'enseignement théorique tels que l'apprentissage de l'anatomie (Berney & Bétrancourt, 2016) ou pratique tel que la chirurgie (Ganier & de Vries, 2016; Issa et al., 2011), le développement de compétences spatiales des chirurgiens (Hegarty et al., 2007) ou de compétences cliniques comme l'examen abdominal (Kalet et al., 2012) ou encore le repérage des signes précoces de l'accident vasculaire cérébral (AVC) ischémique (Song et al., 2014). Dans l'étude de Gomersall et al (2010), des vidéos et animations sont utilisées pour faire une démonstration des procédures médicales et de la façon de repérer les signes cliniques. Les sujets abordés comprenaient l'échantillonnage artériel des gaz du sang et leur interprétation, les troubles métaboliques aigus, le coma non traumatique, l'insuffisance respiratoire aiguë et les aspects de la septicémie. Une autre étude portait sur l'apprentissage de gestes infirmiers tels que la réalisation d'un peak flow (débitmétrie de pointe), la spirométrie et la mesure de la saturation en oxygène du sang artériel (Kelly et al., 2009).

L'utilisation d'études de cas par vidéo ou animation permet à des étudiants novices d'améliorer la précision du diagnostic en percevant mieux des mouvements et comportements des patients (Balslev, de Grave, Muijtjens, & Scherpbier, 2010; Roland & Balslev, 2015). De plus, cela permet d'améliorer le raisonnement clinique des étudiants (Bailliard, 2015; Davids et al., 2015). Une consigne donnée par l'intermédiaire d'un support multimédia telle qu'une vidéo, donne de meilleurs résultats qu'une consigne donnée par

écrit (Balslev, De Grave, Muijtens, & Scherpbier, 2005). Cela permet une meilleure exploration des données cliniques et une construction du modèle théorique plus précise. Il en va de même pour l'apprentissage par simulation qui est une technique pédagogique de plus en plus utilisée dans le domaine de la santé (Giles, Carson, Breland, Coker-Bolt, & Bowman, 2014; Granry & Moll, 2012; Hamet, Bonnetain, Boucheix, Reszkiewicz, & Freysz, 2009).

Si les formateurs du domaine médical se sont tournés vers les outils multimédias, c'est parce que cela permet de fournir aux étudiants une représentation plus précise des procédures et techniques d'intervention (Ganier & de Vries, 2016; Gomersall et al., 2010; Kelly et al., 2009; Yue et al., 2013). Cependant, la plupart des enseignants en études médicales et paramédicales manquent de formation en science de l'apprentissage avant de commencer leurs fonctions en tant qu'enseignants (Levinson, 2010). De plus, ils ne sont pas suffisamment formés à l'apprentissage multimédia pour pouvoir exploiter correctement ce type d'outils pédagogiques à bon escient (Kalet et al., 2012). Pour optimiser encore davantage leur enseignement, ils doivent s'approprier les recherches réalisées dans le domaine des sciences cognitives.

2.3.2.3. Utilisation des vidéos en formation médicale et paramédicale

Comme nous avons pu le voir, la vidéo est de plus en plus utilisée dans le domaine de l'éducation (Lowe, 2004) et plus particulièrement en formation médicale et paramédicale. Selon une revue de littérature récente sur l'utilisation de la vidéo pour l'apprentissage des compétences cliniques chez les infirmières (Forbes et al., 2016), l'utilisation de la vidéo est prometteuse, pertinente et de plus en plus utilisée comme stratégie pédagogique pour améliorer la qualité de l'enseignement des compétences cliniques dans des conditions contemporaines. Auparavant utilisée en premier lieu pour leurs vertus esthétiques et pour maintenir l'attention des apprenants (Ploetzner & Lowe, 2004), elles ont aujourd'hui une réelle place dans l'arsenal pédagogique dont dispose les enseignants pour faire monter en compétence les étudiants, et cela aussi bien en formation initiale que continue. Une étude

ancienne, portant sur l'utilisation de vidéos au format VHS en classe de formation continue, auprès de dentistes praticiens, indique qu'elles constituaient une méthode efficace pour monter en compétence clinique (Matthew et al., 1998).

Les vidéos sont utilisées dans différents domaines d'apprentissages pour l'enseignement médical et paramédical. A titre d'exemples, des études se sont intéressées à l'utilisation des vidéos dans des domaines aussi variés que l'anatomie (e.g. Berney & Bétrancourt, 2016; Jaffar, 2012), la réalisation de sutures en chirurgie (e.g. Ganier & de Vries, 2016), l'interprétation des images de radiologie (e.g. Corr, 2012), la fabrication d'orthèses (e.g. Hagemann et al., 2014; Stefanovich, Williams, McKee, Hagemann, & Carnahan, 2012), les premiers secours (e.g. Arguel & Jamet, 2009), le bandage (e.g. Michas & Berry, 2000), le raisonnement clinique (e.g. Bailliard, 2015; Davids et al., 2015; Lysaght & Bent, 2005), le dépistage du cancer du col utérin (e.g. Elwyn & Smail, 1998), le diagnostic grâce à un travail réflexif à partir de l'analyse vidéo de simulation sur patients (e.g. Albanese, 2005; Giles et al., 2014; Roland & Balslev, 2015), ou encore l'information des patients sur leur maladie et l'utilisation en éducation thérapeutique du patient (ETP) (e.g. Schladen, Libin, Ljungberg, Tsai, & Groah, 2011).

Aujourd'hui les usages des vidéos ont beaucoup évolué. De plus en plus d'enseignants en institut de formation paramédicale proposent des contenus de cours sur des plateformes en ligne dédiées (tel que Moodle ou Claroline Connect) ou sur des plateformes de partage de vidéo grand public tel que YouTube® (McAlister, 2014). Dans l'étude de McAlister, le contenu d'un enseignement pratique sur la cinésiologie³ (ou kinésiologie) auprès d'étudiants en ergothérapie a été filmé avec un smartphone en même temps que l'enseignant donnait son cours. Les vidéos ainsi créées ont ensuite été mises à disposition des étudiants sur YouTube®. Au cours des six semaines qu'ont duré cet

³ La cinésiologie est une discipline scientifique qui étudie les mouvements et postures du corps humain et non-humain d'un point de vue biomécanique, articulaire et musculaire. On parle aussi de physiologie du mouvement (source : Wikipédia)

enseignement, les vidéos ont été consultées 2573 fois, soit une moyenne de 60 vues par étudiant. À l'issue de cette période, les étudiants ont ressenti que les vidéos amélioraient la qualité du cours, rendaient leur apprentissage plus efficace, augmentaient leur niveau d'engagement et renforçaient leur confiance dans leurs compétences manuelles. Grâce à ce type de contenu en ligne, les étudiants ont accès 24h/24 aux enseignements pour réviser et peuvent contrôler le rythme de l'information délivrée, ce qui n'est pas le cas lorsque l'enseignant montre une procédure en travaux pratiques. Ils ont également la possibilité de rejouer la vidéo plusieurs fois, si nécessaire, pour assurer la compréhension de l'information. Ce même type de vidéos peut également être utilisé par les étudiants pour réviser avant un examen. L'étude de Weeks et Horan (2013) montre que cela améliorerait les résultats pour des examens cliniques en kinésithérapie. En revanche, pour que l'apprentissage par vidéos soit totalement accepté par les étudiants, elles doivent être utilisées en complément du face à face pédagogique et non en remplacement (Govindaraja, Aung, & Chandramouli, 2012; Kelly et al., 2009; McAlister, 2014).

Les mêmes observations ont été réalisées en comparant un cours magistral traditionnel et le même cours filmé et mis à disposition des étudiants en médecine par podcast (Schreiber, Fukuta, & Gordon, 2010). Les deux groupes ont obtenu les mêmes résultats aux tests de rappels, mais les étudiants ont préféré le cours magistral. Ils ont apprécié pouvoir faire des pauses dans la vidéo lorsqu'ils en ressentaient le besoin, mais ont estimé être moins motivés et moins engagés dans l'apprentissage. Les auteurs concluent en précisant que les podcasts vidéos ne sont pas encore prêts à remplacer les méthodes d'enseignement traditionnel, mais elles ont un rôle important dans le renforcement de l'apprentissage et constituent une aide précieuse dans les révisions. Une autre étude, portant sur l'apprentissage de compétences cliniques chez les infirmières (administration orale de médicaments), vient compléter ce résultat (Holland et al., 2013). Les deux groupes d'étudiants ont suivi un cours magistral traditionnel, mais le deuxième groupe a pu avoir accès, en plus, à la vidéo de ce cours, disponible 24h/24. Le second groupe a obtenu de meilleurs résultats aux évaluations et a manifesté un niveau de satisfaction plus élevé. Le transfert de compétences en pratique clinique a également été amélioré. Les vidéos en ligne, proposant un exemple de bonne pratique pour un geste professionnel, améliorent ainsi

l'acquisition de connaissances et le transfert de compétences. Les stratégies d'enseignement qui incluent des vidéos montrant des démonstrations visuelles des compétences cliniques permettent à l'apprenant de faire le lien entre ce qu'il apprend en cours et la pratique clinique (Holland et al., 2013).

Comme nous l'avons déjà évoqué, l'apprentissage par animations et vidéo est supérieur aux images statiques lorsqu'il s'agit d'une présentation d'une tâche motrice procédurale (Höffler & Leutner, 2007). Les vidéos permettent d'augmenter la vitesse d'apprentissage durant la phase de découverte de la procédure et d'améliorer la représentation mentale de l'action à réaliser (Ganier & de Vries, 2016). Cette supériorité de l'apprentissage d'une procédure dans le champ de la santé par une vidéo par rapport aux images statiques se retrouve, par exemple, pour l'apprentissage de techniques de prévention des troubles musculo-squelettiques (van Hooijdonk & Krahmer, 2008). Dans son étude, McAlister (2014) indique que les élèves ont trouvé que les vidéos étaient plus utiles que les livres pour l'apprentissage de la cinésiologie parce qu'ils étaient en mesure de suivre le mouvement dans son intégralité ce qui aide à clarifier et à lever d'éventuelles confusions sur la façon d'effectuer le mouvement. Les résultats de l'étude suggèrent que les étudiants perçoivent les vidéos comme améliorant la qualité globale de la formation, améliorent l'apprentissage et augmentent leur confiance pendant les examens pratiques. En outre, ces résultats confirment les conclusions des chercheurs précédents qui ont trouvé que les étudiants pensent que les vidéos facilitent l'apprentissage et les aident à maintenir l'intérêt dans le contenu des cours (Eick & King, 2012). El-Sayed et El-Sayed (2013) ont comparé l'efficacité de l'apprentissage de l'anatomie et de la physiologie, par vidéo ou par des illustrations, auprès d'étudiants infirmiers. Ils n'ont pas retrouvé de différences significatives sur les résultats aux posttests. Cependant les étudiants ont noté une meilleure acceptation et satisfaction lorsqu'ils apprennent avec une vidéo.

Une autre étude, réalisée auprès d'étudiants en médecine, relativise l'apport de la vidéo en comparaison à l'enseignement à partir de document papier pour l'activité de résolution de problèmes dans une étude de cas (Balslev et al., 2005). En effet, les étudiants qui ont visionné la vidéo ont eu plus d'informations à traiter et ont donc passé plus de temps pour analyser les différentes vues de la vidéo. Ils ont mis plus de temps à réaliser la tâche et

étaient moins engagés dans la tâche de méta-raisonnement⁴ que les étudiants de l'autre groupe. Les visualisations dynamiques imposent davantage de traitement cognitif que les images statiques du fait, entre autres, de la labilité de l'information (Bétrancourt & Tversky, 2000). L'apprentissage par vidéo est une méthode efficace pour l'apprentissage des compétences cliniques en santé, mais elles ne fournissent pas suffisamment d'interactivité (Matthew et al., 1998). Pour rendre cet apprentissage encore plus efficace, il paraît donc important de travailler sur cette question d'interactivité (Forbes et al., 2016)

2.3.3. Difficultés rencontrées dans l'apprentissage par vidéo

Malgré l'intérêt que présentent les vidéos et les animations, les visualisations dynamiques complexes ne sont pas toujours plus efficaces pour l'apprentissage que les images statiques (Bétrancourt & Tversky, 2000; Hegarty et al., 2003; Mayer et al., 2005; Phan, 2011; Spanjers, Wouters, van Gog, & van Merriënboer, 2011; Tversky et al., 2002). Cependant, pour certains types d'apprentissage, les visualisations dynamiques peuvent tout de même être plus efficaces, spécialement pour celles impliquant des mouvements humains (Höffler & Leutner, 2007; Van Gog et al., 2009). Cette supériorité est due à l'implication des neurones miroirs et à leurs activations qui facilitent l'apprentissage des gestes moteurs par l'observation d'un geste réalisé par un tiers (Castro-Alonso et al., 2014; Garland & Sanchez, 2013; Van Gog et al., 2009; Wong et al., 2009).

Les animations ou vidéos sont souvent trop complexes ou trop rapides pour être perçues avec précision (Tversky et al., 2002). Une des premières difficultés que rencontre l'apprenant lorsqu'il se trouve face à une visualisation dynamique est la labilité de l'information (*transient information*). En effet, ce type de média dynamique impose davantage de processus cognitifs que les images statiques. L'apprenant doit non seulement intégrer de nouvelles informations avec les connaissances stockées en mémoire à long terme, mais également l'information qu'il a pu voir juste avant, dans la séquence

⁴ Le méta-raisonnement correspond à la surveillance et au contrôle du raisonnement et de la résolution de problème (Ackerman & Thompson, 2017)

précédente, car l'information n'est plus disponible (Hegarty et al., 2003). Du fait de la capacité limitée de la mémoire de travail, cette tâche peut vite devenir insurmontable entraînant une charge cognitive inutile élevée et une surcharge de la mémoire de travail (Sweller, 2010).

Lorsque l'information est délivrée trop rapidement et que l'information nouvelle chasse la précédente, une surcharge cognitive peut survenir si les ressources cognitives de l'apprenant sont dépassées (Spanjers, van Gog, & Merriënboer, 2012). Dans ces conditions, les visualisations dynamiques peuvent s'avérer être moins efficaces que les images statiques.

Le modèle de partage temporel des ressources de la mémoire de travail (Camos & Barrouillet, 2014) indique que le centre d'attention de la mémoire de travail a une capacité limitée, ce qui implique que l'attention peut être dirigée vers une seule activité cognitive en même temps. Maintenir l'information, ce qui correspond à rafraichir les traces en mémoire, et la traiter requiert de l'attention. Cela doit être partagé entre les activités cognitives avec rapidité en déplaçant son attention rapidement d'une activité à une autre. La charge cognitive dépend donc à la fois du nombre du processus en compétition pour l'attention, mais également de la rapidité de traitement pour le réaliser et du temps que nécessite le traitement. Or, dans les vidéos, l'information est délivrée en continu et à un rythme soutenu. Dans des conditions de forte charge cognitive, certaines activités requièrent une attention sur un temps proportionnellement plus important au regard du temps disponible ce qui fait qu'il ne reste pas suffisamment de temps pour assister d'autres activités cognitives.

Une autre difficulté rencontrée dans l'apprentissage par des vidéos et animations complexes est de repérer les éléments pertinents au sein du flux d'information qui est délivré parmi les informations inutiles, mais parfois plus facilement perceptibles (van Gog, 2014). Les novices ont davantage de difficultés que des apprenants plus experts pour relever ces informations pertinentes, car ils n'ont pas suffisamment de connaissances sur le sujet (Schnotz & Lowe, 2003). Ils peuvent ainsi extraire les informations les plus visibles, mais pas nécessairement les plus utiles. Cela a donc un impact négatif sur leur apprentissage. L'étude de Arguel et Jamet (2009) a montré que l'ajout d'images clés d'une procédure aux étapes discrètes de celle-ci, lors d'un apprentissage par vidéo, améliore significativement les performances d'apprentissages. Dans cette expérimentation, les images ont permis aux

apprenants de percevoir plus clairement les informations pertinentes contenues dans le flux vidéo.

Enfin, une dernière difficulté recensée est la complexité des fonctions interactives proposées par les concepteurs dans certains contenus. Proposées essentiellement dans les animations, les fonctions interactives peuvent être simples (lecture/pause/stop/retour en arrière) ou plus complexes (navigation dans la barre de temps, clic à certains endroits de l'image pour animer un contenu, changement d'angle de vue par glisser-déposer, zoom...). Conçues à l'origine pour rendre l'apprenant davantage acteur de son apprentissage et proposer des contenus pédagogiques complémentaires, ces fonctions complexes peuvent rendre l'apprentissage moins efficace qu'avec des images statiques ou qu'avec une visualisation dynamique plus simple (Song et al., 2014). Une explication à ce phénomène est que les fonctions interactives augmentent seulement la charge cognitive inutile sans améliorer les apprentissages (Schnotz, Böckheler, & Grzondziel, 1999; Song et al., 2014)

L'apprentissage par l'intermédiaire de visualisations dynamiques a montré sa supériorité par rapport à l'apprentissage par images statiques. Cependant, malgré les recherches dans le domaine, il est encore difficile pour un concepteur de vidéo pédagogique de proposer un contenu permettant d'améliorer encore les apprentissages (Ploetzner & Lowe, 2004). Parmi les pistes proposées par les chercheurs en sciences cognitives pour réduire la surcharge cognitive, il est possible de mettre en place de l'indication visuelle de l'information importante pour fixer l'attention de l'apprenant (de Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2009, 2007), présenter les informations connexes avant la visualisation dynamique (Mayer, Mathias, & Wetzell, 2002), laisser la possibilité à l'apprenant d'interagir de façon raisonnée avec le contenu (Scheiter, 2014; Tversky et al., 2002; Wouters et al., 2007) ou agir sur la dimension temporelle en divisant l'information en segments (Mayer, 2009; Mayer & Pilegard, 2014; Spanjers et al., 2010). Dans la suite de notre travail, nous allons nous intéresser à l'interactivité dans les vidéos et plus particulièrement au contrôle du rythme par l'apprenant et à la segmentation.

3. Interactivité dans les vidéos

3.1. Interactivité et contrôle par l'apprenant

Le terme d'interactivité peut avoir différents sens en fonction de la discipline et du contexte dans lequel il est employé : divertissement, marketing, art, informatique, sciences de l'éducation, automobile, industrie, interfaces hommes-machines. Domagk et al. (2010) proposent cette définition de l'interactivité dans le contexte de l'apprentissage multimédia : « l'interactivité dans le contexte de l'apprentissage multimédia sur ordinateur est une activité réciproque entre un apprenant et un système d'apprentissage multimédia, dans laquelle la [re]action de l'apprenant dépend de la [re]action du système et vice versa » (Domagk, Schwartz, & Plass, 2010, p. 1025). Ainsi, pour permettre une interaction, dans ce contexte, l'apprenant doit pouvoir agir et contrôler le support pédagogique. Le contrôle par l'apprenant (*learner control*) peut se définir comme le degré de chaque apprenant à contrôler, entre autres, le rythme de la présentation (Lin & Hsieh, 2001), la sélection et le séquençage de l'information et d'une manière plus globale, la façon d'afficher le contenu d'apprentissage (Scheiter & Gerjets, 2007). La notion de contrôle par l'apprenant est à mettre en opposition avec la notion de contrôle par le système (*system control*). Le terme d'interaction indique qu'il est offert à l'utilisateur des options de contrôle tel que des options de pause et de relecture pour une vidéo ou un document sonore. Le terme de contrôle par l'apprenant est plus large et permet à l'apprenant d'avoir le contrôle sur l'ensemble de l'environnement multimédia, dont les informations interconnectées des éléments (liens hypermédias, contenus complémentaires dans des infobulles au passage de la souris...).

Le principe d'interactivité dans l'apprentissage multimédia indique qu'il faut donner aux apprenants le contrôle du rythme et l'ordre des informations pédagogiques pour permettre de diminuer la charge cognitive et d'augmenter le transfert des performances (Scheiter, 2014). L'interaction entre l'apprenant et l'environnement d'apprentissage pourrait être un moyen efficace pour encourager les apprenants à s'engager dans un traitement actif des matériels d'apprentissage et ainsi améliorer la qualité de l'apprentissage (Means,

Toyama, Murphy, Bakia, & Jones, 2009). Il s'agit d'offrir la possibilité pour chaque apprenant de choisir quoi, où, quand et comment apprendre (Kraiger & Jerden, 2007).

3.1.1. Les différents types d'interactivité

Les types et niveaux d'interactivité des contenus d'apprentissage multimédia varient en fonction des auteurs. Nous proposons ici de retenir trois propositions de catégorisation.

Tout d'abord, Kalyuga (2007a) distingue trois types différents de contrôle de l'apprenant qui peuvent être accordés par le système d'apprentissage :

- le contrôle de la diffusion des informations. Cela implique le contrôle du rythme (changement de la vitesse et possibilité de faire des pauses) et le séquençage (changement de l'ordre d'apparition) de l'information proposée ;
- le contrôle des formes de représentation : le changement des angles de vue, indigage visuel⁵, modalités de présentation ;
- le contrôle du contenu peut être réalisé en sélectionnant la quantité d'informations (feedback simple ou étendu, conseils, aide), en segmentant l'information en unités plus petites (e.g. en zoomant sur une partie d'un schéma) ou en sélectionnant des éléments d'information à apprendre (e.g. sélectionner un contenu à partir d'un menu).

Ensuite, Moreno et Mayer (2007) proposent 5 types d'interactivité dans un environnement d'apprentissage multimodal :

- le dialogue : l'apprenant reçoit des questions et des réponses ou des commentaires en fonction des actions qu'il réalise ;
- le contrôle : l'utilisateur détermine le rythme ou l'ordre de la présentation ;

⁵ L'indigage visuel correspond à « l'ajout d'un aspect non contenu dans une prose, qui met l'accent sur certains aspects du contenu sémantique ou souligne des aspects de la structure du contenu » (Meyer, 1975).

- la manipulation : l'apprenant contrôle l'aspect de la présentation (zoom, déplacement d'objets dans l'écran...) ;
- la recherche : l'apprenant trouve de nouveaux contenus (saisie des requêtes, la sélection des options) ;
- et la navigation : L'apprenant se déplace vers différents types de contenu en les sélectionnant parmi diverses sources d'informations disponibles.

Enfin, Wouters, Tabbers et Paas (2007) proposent quant à eux des lignes directrices pour l'interactivité qui favorisent l'apprentissage à partir de vidéos. Il s'agit en premier lieu du *contrôle du rythme*. Les apprenants sans connaissances préalables doivent naviguer dans une vidéo avec des segments prédéfinis (pauses imposées). Ceux avec un meilleur niveau de connaissances doivent quant à eux créer leurs propres segments en réalisant des pauses lorsqu'ils le souhaitent. En second lieu, il s'agit de *l'indigage*. Les apprenants avec le moins bon niveau de connaissances s'approprient les indices proposés dans une vidéo indicée. Ceux avec un bon niveau de connaissances font émerger par eux-mêmes les indices dans une vidéo sans indigage. Ensuite, les auteurs évoquent le *contrôle de l'apparence*, c'est à dire proposer un contrôle limité aux apprenants novices et un contrôle complet aux experts. La quatrième ligne directrice proposée est la *prédiction*, c'est-à-dire que l'apprenant répond à une incitation. Les auteurs parlent également du *travail en duo*, c'est-à-dire que la performance d'un apprenant a des implications pour l'observateur. Grâce à la *sélection de tâches personnalisées*, l'apprenant sélectionne une tâche / modèle à partir d'un sous-ensemble. Ensuite, les auteurs indiquent qu'il faut *inviter l'apprenant à réfléchir*. L'apprenant doit répondre à des incitations pour évaluer leurs performances. Enfin, la dernière ligne directrice est *la sélection personnalisée des tâches/travail partiel*. L'apprenant sélectionne une partie de tâches récurrentes à partir d'un sous-ensemble.

Dans la suite de ce document, nous nous intéresserons principalement aux types d'interaction faisant référence au contrôle de l'environnement d'apprentissage multimédia (le contrôle du rythme de la diffusion de l'information). En effet, les possibilités d'interaction

classiques pour les apprenants avec une vidéo sont : lecture/pause/stop et rejouer. Cela permet de revoir un segment, de marquer une pause et de passer les segments familiers (van der Meij & van der Meij, 2013).

3.1.2. Interactivité et charge cognitive

Les possibilités de contrôle de l'apprenant sur l'environnement multimédia d'apprentissage ont un impact au regard de la théorie de la charge cognitive (Sweller, 1994). En effet, cela permet de diminuer la charge cognitive inutile en permettant aux apprenants avec un meilleur niveau de connaissances de passer les passages qu'ils connaissent déjà (Hatsidimitris & Kalyuga, 2013). Cela permet également de diminuer la charge cognitive intrinsèque en gérant par eux-mêmes le rythme de la présentation ou en regardant plusieurs fois un passage difficile (Sweller, 2010). Cependant, la gestion des options de commande et du contrôle de la souris, ainsi que la réflexion nécessaire pour savoir à quel moment faire une pause, peut augmenter le niveau de charge cognitive. Les ressources de la mémoire de travail allouées à ce traitement peuvent alors impliquer une charge cognitive inutile. En revanche, si la balance entre le gain en charges cognitives intrinsèque et inutile, au regard des ressources en mémoire de travail que cela nécessite, est positive, cette stratégie d'apprentissage rend ces ressources utiles.

3.1.3. Impact des connaissances préalables de l'apprenant sur l'apport de l'interactivité

Des études ont montré que l'interactivité peut avoir un effet néfaste sur l'apprentissage en imposant de la charge cognitive inutile au lieu de la charge cognitive pertinente (Lowe, 2004; Schnotz & Rasch, 2005). Les activités qui produisent une charge cognitive pertinente pour les étudiants à faible niveau d'expertise peuvent engendrer une charge cognitive inutile pour les élèves avec un meilleur niveau de connaissances et inversement (Schnotz & Rasch, 2005).

L'apport de l'interactivité a surtout été montré pour les apprenants avec de bonnes connaissances en informatique (Lyons, Reysen, & Pierce, 2012). Dans l'étude de Lyons et al. (2012), les apprenants qui étaient plus à l'aise en informatique utilisaient davantage les fonctions d'interaction et avaient la perception de réaliser un meilleur apprentissage que les étudiants moins à l'aise en informatique. Selon le principe de l'interactivité, donner le contrôle à l'apprenant améliore l'apprentissage s'il possède de bonnes connaissances préalables et s'il obtient une aide par l'environnement d'apprentissage pour le guider et pour l'autoréguler (Scheiter, 2014). Des études ont souligné l'importance des connaissances préalables sur l'efficacité de l'interactivité. Une étude de Lowe a montré que les apprenants novices ont trouvé la possibilité d'interagir très utile (Lowe, 2004). Cependant, comme ils ne disposent pas de suffisamment d'expérience pour identifier les parties de l'animation qui nécessitent une exploration plus poussée, ils se sont engagés dans une interaction rudimentaire de l'animation et n'ont pas extrait les informations essentielles, ne sachant pas discriminer les informations pertinentes des informations non pertinentes. Ils sont souvent distraits en mettant l'accent sur les caractéristiques non essentielles de présentations au détriment d'une information plus importante.

3.1.4. Bénéfices de l'interactivité

Selon Tversky et al (2002), « *l'interactivité peut être la clé pour surmonter les inconvénients de l'animation ainsi que pour améliorer ses avantages* ».

Comme nous avons pu le voir précédemment, il est nécessaire d'adapter le contenu des supports d'apprentissage aux capacités cognitives de l'apprenant. Un environnement interactif, et surtout pour lequel le contrôle du rythme est possible permettrait cette adaptation (Schwan, 2002). Laisser le contrôle à l'apprenant permet d'adapter le matériel pédagogique à leurs capacités et besoins cognitifs (Lawless & Brown, 1997). La capacité de contrôler la séquence d'instruction peut améliorer l'apprentissage, améliorer les comportements et accroître l'auto-efficacité. Lorsque les options de contrôle sont disponibles, le rythme d'une animation n'est plus contrôlé par le programme ou imposé par le système, mais contrôlé directement par l'apprenant. Lors d'apprentissages à partir de

vidéos, l'interactivité peut stimuler les apprenants à s'engager dans des processus cognitifs actifs au cours de l'observation (Renkl & Atkinson, 2007; van der Meij & van der Meij, 2013; Wouters et al., 2007) et augmenter leur motivation (Scheiter, 2014; Steinberg, 1989) et leur satisfaction (McAlister, 2014; Zhang, Zhou, Briggs, & Nunamaker Jr., 2006). Plusieurs chercheurs ont donc préconisé d'opter pour un apprentissage actif (vs apprentissage passif tel que visionner une vidéo sans possibilité d'interaction, assister à un cours en amphithéâtre...) car cela permet aux apprenants de connecter les nouvelles informations avec les connaissances qu'ils possèdent déjà (Chi, Bassok, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989; Mayer, 2014d; Mayer & Fiorella, 2015). Les étudiants qui sont activement engagés dans l'exploration du sujet de l'apprentissage apprennent mieux que ceux qui sont passifs. Cela permet d'éviter ce qui est communément appelé la « couch potato-attitude » (Ertelt et al., 2005), ce qui correspond au fait de « rester assis toute la journée sur son canapé en regardant la télévision ».

Par ailleurs, les étudiants apprécient d'avoir la liberté de pouvoir faire des pauses, revenir en arrière et de rejouer les vidéos pour s'adapter à leurs besoins d'apprentissage (Schreiber et al., 2010). L'apport de l'interactivité a également été étudié par Akinlofa, Holt et Elyan (2013). Les participants devaient réaliser un apprentissage procédural (construction de Lego) à partir d'images statiques, d'une vidéo simple ou d'une vidéo interactive avec possibilité de déplacer les éléments avec la souris. Les auteurs ont pu constater que les acquisitions motrices dans cette tâche de construction étaient meilleures lorsque les mouvements des participants étaient mis en jeu par l'interactivité de la vidéo (déplacement avec la souris). Selon eux, accroître l'interactivité de l'interface permet d'améliorer les performances dans des tâches motrices.

Les bénéfices de l'interactivité ne sont pas systématiquement retrouvés. Dans une étude récente (Pedra, Mayer, & Albertin, 2015, Exp. 2), les apprenants ont visionné une animation montrant une procédure de maintenance d'un appareil mécanique. Ils avaient la possibilité de faire des pauses, revenir en arrière ou avancer (groupe avec faible interactivité), avec en plus des options de zoom et de rotation des pièces (groupe avec haute interactivité), ou bien aucun moyen d'interaction (groupe contrôle). Les étudiants de la condition avec haute interactivité ont marqué un plus grand intérêt sur le sujet de la vidéo,

mais aucun effet de l'interactivité n'a été trouvé sur les performances d'apprentissages (voir également Betrancourt & Realini, 2005 pour des résultats similaires).

3.1.5. Limites de l'interactivité

L'interactivité peut aider, mais aussi parfois nuire à l'apprentissage (Kennedy, 2004; Wouters et al., 2007). Des environnements multimédias très interactifs tels que des animations enrichies, des simulations, des cartes dynamiques, des environnements hypermédias, peuvent séduire apprenants et concepteurs par leur aspect esthétique et ludique. Cependant, lors de l'utilisation de ces outils d'apprentissage, souvent complétés par des fonctions de navigation sophistiquées, les apprenants peuvent négliger les objectifs d'apprentissage et rechercher à la place des matériels divertissants (Kalyuga & Liu, 2015). Gérer la complexité de ces environnements et fournir aux apprenants des tâches d'apprentissages qui sont adaptées à leurs capacités cognitives pourraient faciliter le traitement essentiel et réduire les activités non pertinentes. Il apparaît donc essentiel de proposer une phase d'entraînement à l'utilisation de ces fonctions interactives avant de débiter l'apprentissage en tant que tel (Merkt & Schwan, 2014).

Comme nous avons pu le voir, l'interactivité des documents multimédias peut imposer une charge cognitive supplémentaire (Scheiter, 2014). Les options de commande trop complexes peuvent entraîner plus d'activités métacognitives en exigeant aux apprenants de se concentrer sur quand et comment utiliser ces options de contrôle (Hasler, Kersten, & Sweller, 2007). Ainsi l'apprenant doit posséder de bonnes connaissances préalables pour faire un bon usage des options de contrôle qui lui sont offertes (Boucheix & Rouet, 2007). Selon Kraiger et Jerden (2007), les apprenants les plus âgés et avec le plus de capacités cognitives préfèrent avoir plus de contrôle et d'interaction avec les supports multimédias (dont les vidéos). Dans certains cas, les options d'interactivité, lorsqu'elles sont proposées, ne sont pas ou peu utilisées par les apprenants (Betrancourt & Realini, 2005; Hasler et al., 2007; Hatsidimitris & Kalyuga, 2013, Exp. 1; Jamet, 2015; Rey & Diehl, 2010; Sage, Bonacorsi, Izzo, & Quirk, 2015; Tabbers & Koeijer, 2010) et cela davantage chez les novices que ne les utilisent pas à bon escient (Lowe, 2004; Lowe, 1999).

D'autres auteurs, ont même retrouvé que l'interactivité augmente la charge cognitive sans améliorer les apprentissages (Pedra et al., 2015; Rey & Diehl, 2010; Schnotz et al., 1999) en engendrant par exemple un temps d'apprentissage plus long (Gerjets, Scheiter, Opfermann, Hesse, & Eysink, 2009; Tabbers & Koeijer, 2010).

Des études relèvent un effet néfaste de l'interactivité. Boucheix propose à des enfants d'apprendre le fonctionnement d'un système d'engrenage à partir d'une animation (Boucheix, 2008). Ils avaient la possibilité de faire bouger les roues dentées avec la souris. Les résultats montrent un apprentissage moins efficace avec l'interactivité. L'hypothèse avancée est que les manipulations interfèrent avec la tâche principale de compréhension.

Song et son équipe ont proposé à des étudiants en médecine d'apprendre à repérer les signes précoces de l'accident vasculaire cérébral ischémique à partir d'une animation (Song et al., 2014). Quatre formats de l'animation ont été réalisés : 1) animation avec contrôle du rythme par l'apprenant (lecture, pause), 2) manipulation de la barre de temps, 3) possibilité d'animer certaines parties en cliquant sur la zone concernée et 4) déplacement d'éléments avec la souris. Aucune différence n'a été relevée au niveau de l'acquisition de connaissances. En revanche, les étudiants des deux premières conditions ont obtenu de meilleurs résultats à la tâche de transfert que les groupes avec des niveaux d'interactions plus complexes. Pour ces derniers, un haut niveau d'interactions a sollicité davantage de ressources cognitives et a augmenté le niveau de charge cognitive inutile.

Une autre étude avec des étudiants en médecine a été réalisée par Kalet et al (2012). Les étudiants devaient apprendre comment réaliser un examen abdominal à partir d'une animation. Trois versions de l'animation ont été proposées : 1) animation avec contrôle du rythme par l'apprenant (lecture, pause), 2) possibilité de cliquer à certains endroits de l'animation pour avoir accès à un contenu multimédia complémentaire et 3) déplacement d'objets à différents endroits de l'écran à l'aide de la souris (placer le stéthoscope à différents endroits de l'abdomen par exemple). Les meilleurs résultats au test de connaissances ont été retrouvés pour le second groupe. Les hypothèses posées par les auteurs sont que la version proposée dans le groupe 1 a entraîné moins d'engagements de la part des apprenants dans le matériel pédagogique et qu'ils n'ont donc pas réalisé

suffisamment d'activité cognitive. En revanche, l'interactivité proposée dans le troisième groupe a engendré trop d'activité cognitive.

En conclusion, il s'avère indispensable d'inclure de l'interactivité dans les environnements d'apprentissage multimédia. Cependant, les concepteurs doivent être vigilants à ne pas en proposer trop, car cela peut avoir un effet inverse à celui escompté, et nuire à l'apprentissage. Dans la suite de ce travail, nous allons nous intéresser plus spécifiquement au contrôle du rythme des visualisations dynamiques (vidéos et animation) par les pauses, ce type de contrôle par l'apprenant permettant d'ajuster l'information à ses capacités cognitives (Domagk et al., 2010).

3.2. Le contrôle du rythme par les pauses

Selon la théorie de la charge cognitive, les vidéos peuvent être un matériel d'apprentissage plus efficace si les étudiants peuvent avoir le contrôle du rythme de présentation (Ayres & Paas, 2007a). Cependant, comme nous avons pu le voir précédemment, un niveau de contrôle trop complexe d'une visualisation dynamique, tel que interrompre, reprendre, changer de chapitre, changer la vitesse et la direction de la vidéo, induit une augmentation de la charge cognitive inutile qui va finalement diminuer l'efficacité du traitement par rapport à un contrôle minimal (Tabbers & Koeijer, 2010). En revanche, lorsqu'un apprenant a la possibilité d'avoir un contrôle minimal sur le rythme de défilement d'une animation ou d'une vidéo (interrompre et reprendre la vidéo), cela permet de diminuer la charge cognitive et d'améliorer l'efficacité de l'apprentissage. Ainsi, pour que ces supports puissent être plus efficaces, il est nécessaire de proposer plus d'interactivité aux étudiants afin de leur permettre de contrôler le rythme de présentation de l'information (Bétrancourt, 2005; Yue et al., 2013).

Le contrôle du rythme peut être exercé par l'apprenant ou par le système⁶. Selon Wouters (2007), il faut pouvoir laisser totalement le contrôle du rythme aux apprenants avec

⁶ Dans la suite de ce travail, nous aborderons la notion de contrôle du rythme par les pauses en utilisant cette distinction.

un bon niveau de connaissances préalables alors qu'il est préférable de proposer un contrôle du rythme avec des segments prédéfinis pour les apprenants novices qui ne peuvent discerner les moments pertinents de la séquence vidéo. Dans le cas d'un contrôle du rythme par le système, nous parlons de segmentation du matériel pédagogique. Nous nous intéresserons uniquement au contrôle du rythme par l'utilisateur dans cette partie. Selon le principe de contrôle du rythme (*spacing principle*), le transfert des connaissances est meilleur lorsque le rythme est contrôlé par l'apprenant plutôt que par le système, (Sorden, 2005) car cela facilite l'élaboration et le traitement profond de l'information (Van Merriënboer & Kester, 2014). L'élaboration est un processus exigeant et demandant beaucoup de temps, en particulier pour les informations labiles délivrées dans les vidéos et animations. Les apprenants ont besoin de temps différents pour s'engager dans les processus cognitifs de sélection, d'organisation et d'intégration des informations présentées dans un support pédagogique. Il paraît donc important de pouvoir leur offrir la possibilité de travailler à leur propre rythme en ralentissant ou accélérant la vidéo si besoin. Si le rythme de présentation est trop rapide, ces processus cognitifs peuvent ne pas être exécutés correctement et l'apprentissage sera de moins bonne qualité car la charge cognitive inutile sera augmentée (Ng, Kalyuga, & Sweller, 2013).

Les pauses ont des effets bénéfiques sur la charge cognitive inutile (Kalyuga, 2012) et donc sur les apprentissages, car ils donnent aux étudiants du temps pour effectuer les activités cognitives nécessaires pour apprendre avec des petites unités d'informations et les traiter en mémoire de travail, sans avoir à simultanément se préoccuper de la prochaine unité d'information (Mayer & Moreno, 2003; Moreno & Mayer, 2007). Cela permet de limiter des effets néfastes liés à la labilité de l'information (Ng et al., 2013; Sweller, 2010) en régulant le flot d'informations délivrées (Kalyuga, 2012), et en donnant du temps supplémentaire pour transférer l'information du segment précédent en mémoire à long terme et préparer le traitement de l'information à venir dans le prochain segment (Mayer & Moreno, 2003; Spanjers et al., 2010). Des études empiriques ont montré que des pauses de deux secondes pouvaient suffire pour libérer de l'espace en mémoire de travail et ainsi limiter la surcharge cognitive (Spanjers et al., 2010).

Les apprenants doivent profiter du temps alloué par les pauses pour traiter l'information qui vient d'être présentée (Hasler et al., 2007; Mayer & Chandler, 2001; Mayer et al., 2003). Si les étudiants peuvent segmenter eux même la vidéo en faisant des pauses, ils sont encouragés à porter leur attention sur l'étape qui est décrite, et cela a un effet positif sur les apprentissages (Spanjers et al., 2010). Les auteurs posent l'hypothèse que cet effet ne se retrouve que chez les étudiants avec le plus haut niveau de connaissances.

Selon Cheon et al, les étudiants doivent réaliser un minimum d'activités cognitives au cours des pauses afin de dynamiser la charge cognitive pertinente et soutenir l'engagement des apprenants dans le matériel pédagogique (Cheon, Chung, Crooks, Song, & Kim, 2014; Cheon, Crooks, & Chung, 2014). Demander aux apprenants de réaliser des activités cognitives, tel que répondre à des questions sur le segment qui vient d'être visionné, durant les pauses donne de meilleurs résultats que des pauses passives. En effet, cela exige des étudiants de coder et récupérer les informations présentées, permettant ainsi de promouvoir la charge cognitive pertinente en aidant à la construction du schéma cognitif.

Le tableau en Annexe 1 propose une synthèse des études réalisées sur l'effet des pauses et de la segmentation lors d'un apprentissage par vidéo ou animation.

3.2.1. Bénéfices des pauses

Dans l'étude de Schwan & Riempp (2004), les apprenants ont visionné une vidéo sur la réalisation de nœuds marins et avaient la possibilité d'accélérer, décélérer, arrêter ou répéter la vidéo. Ce contrôle du rythme a été beaucoup utilisé, surtout pour les nœuds les plus difficiles. Plus les nœuds étaient difficiles, plus les options de contrôle ont été utilisées avec comme résultats une meilleure compréhension des processus sous-jacents et un temps d'apprentissage plus réduit. Cependant, pour les apprenants avec le moins de connaissances préalables, le contrôle interactif du rythme était problématique car ils ne savaient pas où et quand faire des pauses. Les auteurs posent l'hypothèse que les novices pourraient tirer plus de bénéfices d'une combinaison de pauses libres et de segmentation par le concepteur de la vidéo, ce qui semble également être vérifié dans d'autres études sur les animations (Mayer & Chandler, 2001, Exp 2; Mayer et al., 2003, Exp 2a et 2b).

Hasler et al. (2007) comparent deux conditions de contrôle par l'apprenant (version segmentée sans pauses libres par l'apprenant, où il doit cliquer sur lecture pour redémarrer la vidéo et une version non segmentée avec pauses libres) d'une animation sur le phénomène du jour et de la nuit, à une présentation continue. Les apprenants des deux conditions avec des pauses (segmentée et non segmentée) ont de meilleurs résultats aux questions difficiles que le groupe sans pauses. Ces résultats confirment ceux déjà montrés dans d'autres études, à savoir que les pauses ont surtout été bénéfiques pour les novices (Moreno, 2007) et les étudiants avec le moins de capacités de mémoire de travail (Lusk et al., 2009). Cependant, la plupart des étudiants qui pouvaient faire des pauses n'ont pas utilisé cette fonction.

Les mêmes résultats ont été trouvés avec des animations sur la formation des éclairs (Mayer & Chandler, 2001) ou sur le fonctionnement d'un moteur électrique (Mayer et al., 2003). Dans ces études où des apprenants pouvaient contrôler les pauses, mais dans une moindre mesure (l'animation s'arrête automatiquement à la fin des segments et les participants décident quand ils veulent continuer avec le nouveau segment), il a été démontré que ceux qui pouvaient faire des pauses avaient de meilleurs résultats aux tests de transfert que ceux qui ne pouvaient pas faire de pauses. Ces mêmes résultats sont confirmés par Lusk et al (2009) qui ont trouvé que le contrôle du rythme facilite l'acquisition des connaissances basiques (rétention) et profondes (transfert).

Höffler et Schwartz (2011) ont proposé deux versions d'une animation sur des réactions chimiques. Une version avec les pauses gérées par les apprenants et une autre avec les pauses gérées par le système (les apprenants devaient cliquer sur le bouton lecture pour redémarrer). Le groupe qui avait la possibilité de gérer par eux-mêmes le rythme de la vidéo a obtenu de meilleures performances que le groupe avec la gestion du rythme par le système. Ils ont également exprimé une charge cognitive subjective plus faible (Castro-Alonso et al., 2014; Vandewaetere & Clarebout, 2013).

3.2.2. Limites des pauses

Malgré les avantages démontrés dans les précédentes études, d'autres auteurs ont pu identifier des limites au contrôle du rythme par l'apprenant. Moreno et Valdez (2005) et Tabbers et al. (2004) n'ont pas trouvé d'avantages du contrôle du rythme par l'apprenant par rapport au contrôle par le système pour les novices. La charge cognitive inutile engendrée par ce type d'interactivité vient éliminer des potentiels bénéfiques du contrôle du rythme par l'apprenant. De plus, contrairement aux experts qui peuvent tirer bénéfice de la gestion des pauses, les novices n'ont pas la structure cognitive suffisamment organisée pour apprendre les notions présentées (Gay, 1986). D'autres études ont montré qu'il n'y avait pas d'effets du contrôle du rythme pour l'apprentissage de tâches simples (Ertelt et al., 2005; Hasler et al., 2007; Mayer & Chandler, 2001). La méta-analyse réalisée par Berney et Bétrancourt (2016), portant sur cinquante études, a pu montrer un effet de taille important lorsque les visualisations dynamiques (animations) sont segmentées (system-paced), mais elles n'ont retrouvé aucun effet significatif du contrôle du rythme par les apprenants. De plus, dans leur méta-analyse, Berney et Bétrancourt (2016) ont pu relever un effet positif des animations et vidéos par rapport aux images statiques, uniquement lorsque le rythme était contrôlé par le système, mais pas lorsque le contrôle des pauses était laissé à l'apprenant.

Bétrancourt et Realini (2005) ont proposé une animation sur le phénomène biologique du potentiel d'action (signal électrique qui se propage le long d'un neurone) selon trois conditions : 1) aucun contrôle par l'apprenant, 2) possibilité de faire des pauses lorsqu'il le souhaite et 3) contrôle total de l'animation (possibilité de faire des pauses, revenir à l'étape précédente ou passer à l'étape suivante). Contrairement aux hypothèses posées, c'est le groupe sans possibilité de contrôler l'animation qui obtient les meilleures performances au questionnaire de compréhension. Selon les auteurs, deux explications peuvent expliquer ces observations. Tout d'abord, la possibilité donnée aux apprenants d'utiliser les pauses peut entraîner un partage de l'attention (*split attention effect*), tel que décrit par Sweller et al. (1998), entre l'information délivrée par l'animation et l'interactivité proposée, entraînant ainsi une augmentation de la charge cognitive inutile. Ce phénomène n'est pas conforme aux résultats obtenus par Mayer et Chandler (2001), car dans leur étude,

l'animation s'arrêtait par elle-même à des moments définis par le concepteur, ne causant donc pas de partage de l'attention. La seconde explication est qu'il y a eu une grande hétérogénéité dans l'utilisation des pauses. Les apprenants qui avaient la possibilité de contrôler le rythme de présentation de l'information ne l'ont pas forcément utilisé. Contrairement à Merkt et al. (2011a), qui indiquent que les fonctions interactives des vidéos sont utilisées spontanément par les étudiants, cette sous-utilisation de la possibilité de faire des pauses est également retrouvée par d'autres auteurs (Hatsidimitris & Kalyuga, 2013; Jamet, 2015; Tabbers & Koeijer, 2010). Une hypothèse donnée est que les apprenants surestiment leurs capacités cognitives et n'éprouvent pas le besoin de faire des pauses pour diminuer la charge cognitive et libérer la mémoire de travail (Hatsidimitris & Kalyuga, 2013).

Enfin, lorsque le concepteur d'une animation laisse la possibilité à l'apprenant de contrôler le rythme de présentation par des pauses, cela peut entraîner un temps d'apprentissage plus long (Gerjets et al., 2009; Tabbers & Koeijer, 2010). Si ce critère de temps est une contrainte ou un signe de l'efficacité de l'apprentissage, le contrôle du rythme par l'apprenant est donc moins efficace (Stiller, Freitag, Zinnbauer, & Freitag, 2009; Tabbers & Koeijer, 2010).

3.3. La segmentation

Selon le principe de segmentation (*segmentation principle*) de Mayer (2014c) le découpage d'une visualisation dynamique en parties ou segments significatifs, plutôt que présentée en flux continu, a un effet positif sur l'apprentissage et le transfert de connaissances (Van Merriënboer & Kester, 2014). Comme nous avons pu le voir précédemment (cf. 2.3.3), une des difficultés rencontrées par les apprenants lors d'un apprentissage par une vidéo ou une animation, est la labilité de l'information qui génère une charge cognitive inutile. Le fait de segmenter l'information permet d'éviter une charge cognitive trop importante lors du traitement de l'information. L'effet de la segmentation est d'autant plus important pour les animations et vidéos décrivant des tâches complexes (Clark & Mayer, 2011; Mayer, 2009).

Les auteurs s'accordent pour identifier deux principaux avantages à la segmentation dans les visualisations dynamiques: 1/ la réduction de l'effet néfaste de la labilité de l'information en découpant l'information en plus petites unités d'information et offrant ainsi plus de temps à l'apprenant pour la traiter et 2/ l'amélioration de la perception de la structure sous-jacente de l'information en mettant en saillance les limites d'évènements (Spanjers et al., 2010; van der Meij & van der Meij, 2013).

3.3.1. Réduire la labilité de l'information

Par définition, l'information délivrée dans une animation ou une vidéo est labile. Contrairement aux images statiques, une information qui vient d'être visionnée est immédiatement remplacée par la suivante. Or, pour comprendre l'information visionnée à un moment, il faut utiliser celle qui a été vue précédemment (Ayres & Paas, 2007b). Une vidéo peut permettre un meilleur apprentissage par rapport aux images statiques lorsqu'elle est segmentée, mais perdre sa supériorité lorsqu'elle est présentée en continu (Wong et al., 2012). Pour réaliser un apprentissage efficace, l'apprenant doit être capable de construire des schémas cognitifs qui seront stockés en mémoire à long terme. Pour ce faire, l'information présentée dans les vidéos doit être maintenue et traitée en mémoire de travail (Sweller et al., 1998). Selon la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014a), l'apprenant doit sélectionner l'information pertinente parmi le flux d'information vidéo, organiser cette information et enfin l'intégrer avec les informations présentées précédemment et avec les connaissances préalables afin de créer la représentation de l'information présentée (Moreno & Mayer, 2007).

Mayer et Pilegard (2014) indiquent que lorsqu'une animation contient une trop grande somme d'informations complexes et qu'elle est délivrée par l'ordinateur à un rythme trop soutenu, cela entraîne une surcharge cognitive appelée surcharge essentielle (*essential overload*). Elle apparaît lorsque la somme des traitements cognitifs requis par le document multimédia dépasse les capacités cognitives de l'apprenant. Ce traitement cognitif fait référence au modèle cognitif de l'apprentissage multimédia de Mayer (2014) et correspond à la sélection des mots et images et à leur organisation. Cette surcharge essentielle

correspond à la charge cognitive intrinsèque décrite par Sweller (Paas & Sweller, 2014). Le matériel essentiel (*essential material*) correspond aux mots et images dont l'apprenant a besoin pour comprendre le document pédagogique et atteindre le but d'apprentissage (Mayer & Pilegard, 2014). Cela correspond à la charge cognitive inutile de Sweller. Ainsi, pour aider l'apprenant dans ses apprentissages, il est possible de limiter la charge essentielle en proposant, entre autres, le principe de segmentation (*segmenting principle*), où l'information est délivrée en petites unités selon un rythme géré par l'apprenant. En effet, selon la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia de Mayer, les canaux verbaux et visuels en mémoire de travail ont une capacité limitée. Seulement une petite quantité d'informations peut être traitée en même temps. Donc si l'information émanant de l'animation ou de la vidéo arrive à un rythme trop soutenu, cela va engendrer de la surcharge essentielle. L'apprenant ne pouvant s'engager dans tous les traitements cognitifs nécessaires à donner du sens à l'information présentée, en même temps, il ne va pas pouvoir comprendre totalement l'information qui lui est présentée. Cette charge essentielle peut ainsi être limitée par une segmentation de la visualisation dynamique.

Segmenter une vidéo ou une animation permet de diviser le flux d'informations en petites unités de temps. Les pauses ainsi créées entre les segments permettent aux apprenants d'avoir plus de temps pour réaliser les activités cognitives nécessaires au traitement de l'information avec celle qui vient d'être présentée, sans avoir à traiter simultanément une nouvelle information (Mayer & Moreno, 2003; Moreno & Mayer, 2007; Spanjers et al., 2010). Ainsi, la segmentation réduit les activités de traitement simultanées, évite une surcharge cognitive et limite donc les effets néfastes de la labilité de l'information (Ayres & Paas, 2007b; Mayer & Moreno, 2003; Moreno & Mayer, 2007; Schnotz & Lowe, 2008). Mayer et Chandler (2001, Exp. 2) ont proposé à des étudiants d'apprendre le mécanisme de formation des éclairs à partir d'une animation. L'animation était proposée soit en version continue, soit en version segmentée. Dans la version segmentée, les apprenants pouvaient décider de poursuivre l'animation en cliquant sur le bouton « continu ». Les apprenants qui ont appris à partir de l'animation segmentée ont de meilleurs résultats au test de transfert, que ceux avec une version non segmentée. Aucune différence n'est retrouvée au test de rétention. Le fait de faire des pauses a donc une action

sur la charge cognitive en en diminuant la charge en mémoire de travail. Ainsi, les apprenants ont plus de possibilités d'organiser mentalement l'information présentée dans une chaîne de relations de causes à effet et de les mettre en relation avec leurs connaissances préalables (Mayer & Chandler, 2001).

3.3.2. Améliorer la perception de la structure sous-jacente

Alors que les vidéos proposent un flux continu d'informations, les événements ou procédures qui y sont décrites sont considérés comme une série d'étapes discrètes (Kurby & Zacks, 2008; Zacks, Speer, Swallow, Braver, & Reynolds, 2007). Dans beaucoup de visualisations dynamiques, de multiples sous-événements ou sous étapes d'une procédure sont présentés au cours du temps (Meyer, Rasch, & Schnotz, 2010; Schnotz & Lowe, 2008). Pour se représenter la procédure et la comprendre, l'apprenant doit donc segmenter mentalement le flux continu d'informations présentées. L'ajout de limites d'événements par l'insertion de pauses entre les segments permet d'améliorer la perception de la structure sous-jacente en donnant des indices sur les différentes étapes de la procédure qui composent la vidéo ou l'animation (Schwan, Garsoffky, & Hesse, 2000; Spanjers, van Gog, et al., 2012; Spanjers, van Gog, et al., 2012). L'indigage, ainsi créé par les limites d'événements, permet à l'apprenant de construire un schéma mental de la présentation, ce qui améliore à la fois le maintien et le transfert des connaissances (Mautone & Mayer, 2001). Cet indigage temporel (*temporal cueing*) permet de fournir à l'apprenant la manière dont est organisé le matériel pédagogique (Mayer & Moreno, 2003). La perception des événements est liée à l'identification des étapes discrètes qui les composent (Swallow, Zacks, & Abrams, 2009). Ce processus de segmentation d'un flux continu d'informations aurait une incidence directe sur la mémorisation des éléments ainsi extraits car cette segmentation permettrait de catégoriser les informations en mémoire à long terme. En effet, des recherches ont montré que l'apprentissage d'une nouvelle procédure par des adultes peut être facilité en représentant explicitement la structure hiérarchique de l'activité, ou bien être altéré en modifiant cette structure (Zacks & Tversky, 2003a). Selon Zacks et al. (2007), les apprenants

forment des modèles mentaux en mémoire de travail à partir des informations sensorielles entrantes et des connaissances préalables stockées en mémoire à long terme. À partir de ces modèles, ils peuvent établir des prédictions sur l'évènement qui va se produire juste après. En comparant ces prédictions avec l'évènement qui va effectivement se dérouler, il va pouvoir adapter son modèle si nécessaire. C'est ce que Zack nomme la limite d'évènement (*event boundary*). La distinction des limites d'évènements est facilitée par les changements d'état montrés dans les vidéos, tels que les changements de mouvements, de vitesse, d'angles de vues... (Zacks, 2004; Zacks et al., 2007). Par exemple, dans une vidéo qui montre comment confectionner une orthèse palmaire de repos avec la technique du patron, on peut s'attendre à ce que le clinicien débute par le tracé de la main et de l'avant-bras. Nous pouvons prédire qu'il poursuivra par annoter les différents points de repère représentés par les saillies osseuses et les structures anatomiques (Gable, 2010). Une fois cette étape réalisée, le clinicien va réaliser une autre sous-étape ce qui implique qu'il va être plus difficile de prédire la nouvelle information sensorielle à venir. Une limite d'évènement est ainsi distinguée (Zacks et al., 2007). Une personne novice dans la confection d'orthèse aura plus de difficultés à prédire la suite, car il n'a pas de schéma préétabli de la procédure à suivre, qu'une personne expérimentée.

Les représentations dans la mémoire de travail sont mises à jour à chaque limite d'évènements ce qui nécessitant davantage de traitement d'informations qu'entre ces limites. Ainsi, davantage d'informations sur ces limites sont stockées en mémoire à long terme que sur les parties entre les limites d'évènements (Zacks et al., 2007). En d'autres termes, nous retenons plus facilement ce qui marque un changement d'étape que l'étape elle-même. Au final, la segmentation d'une vidéo ou d'une animation favorise la segmentation de l'information et donc réduit la charge cognitive nécessaire à sa mémorisation (Kurby & Zacks, 2008; Schnotz & Lowe, 2008).

Les bénéfices de la segmentation sont retrouvés dans différents types de tâches tels que l'apprentissage de procédures dans le cadre des gestes de premiers secours (Arguel & Jamet, 2009), le montage d'un saxophone (Zacks & Tversky, 2003a), le nettoyage d'un pistolet (Schwan et al., 2000; Schwan & Garsoffky, 2004), l'apprentissage de stratégies dans

le football (Khacharem et al., 2013) ou dans l'apprentissage de phénomènes naturels tels que la formation des éclairs (Moreno & Valdez, 2005).

L'apport de la segmentation est surtout relevé chez les apprenants avec le moins de connaissances préalables, (Khacharem et al., 2013; Spanjers et al., 2011) car ils ne peuvent identifier la structure sous-jacente de l'information qui leur est présentée et se référer à un modèle mental déjà existant (Mayer & Pilegard, 2014). En revanche, ceux avec le plus de connaissances préalables peuvent mieux appréhender la labilité des animations et vidéos, car ils utilisent leurs connaissances disponibles pour encapsuler l'information en segments plus importants (Boucheix & Guignard, 2005; Kalyuga, 2007b). Ainsi, proposer aux moins expérimentés une vidéo segmentée peut les aider à discerner les moments importants de la vidéo (Wouters et al., 2007).

Les données empiriques démontrent que les apprenants novices manquent de connaissances nécessaires pour identifier les parties les plus pertinentes d'une animation pédagogique (Kettanurak, Ramamurthy, & Haseman, 2001) et ont tendance à concentrer leur attention sur des saillances perceptuelles plutôt que sur des informations thématiques pertinentes dans les animations (Lowe, 2003). Le fait de mettre en saillance les limites d'évènements lors de la conception d'une vidéo ou d'une animation, induit un effet d'indication temporel (*temporal cueing*) (Boltz, 1992; Schwan et al., 2000; Zacks et al., 2007). L'indication temporel met en évidence les éléments dans le temps plutôt qu'au niveau visuospatial. Plusieurs études montrent que l'indication temporel des limites d'évènements améliore la mémorisation des informations montrées. L'indication temporel permet de prévenir les erreurs d'interprétation entre les évènements montrés et les périodes entourant les limites d'évènements indicées sont mieux retenues en tâches de rappel (Schwan et al., 2000). Dans leur étude, Arguel et Jamet (2009), comparent 3 versions d'un matériel pédagogique sur les soins d'urgences : vidéo avec images clés des différentes étapes, vidéo sans les images clés et les images sans la vidéo. Dans leur première expérimentation, l'adjonction des images clés des différentes étapes de la procédure joue le rôle d'indication de la structure sous-jacente de la procédure qui doit être apprise. Les participants de cette condition ont ainsi de meilleurs résultats au post-test que les autres. Dans cette première expérimentation, toutes les images sont montrées dès le départ. Dans

une seconde expérimentation, les images sont montrées de manière séquentielle. Dans cette condition, les résultats des participants sont encore améliorés. Enfin, le fait de doubler le nombre d'images clés sur la même vidéo, montre des effets négatifs sur la performance au post-test. Cet effet néfaste est moins présent lorsque les images sont présentées de manière séquentielle. En plus d'indiquer la structure sous-jacente de l'événement, la présentation des images clés permet d'aider à maintenir et segmenter les informations présentées. Lorsqu'elles sont bien choisies, les images clés fournissent une représentation externe des étapes précédentes, ce qui permet aux apprenants de ne pas utiliser une proportion importante du temps disponible pour se rafraichir les traces en mémoire et sont donc capables d'intégrer mentalement ces informations avec celles qui seront présentées ensuite (Bétrancourt, Dillenbourg, & Clavier, 2008). Ainsi, cela permet de réduire les activités cognitives imposées par la charge cognitive extrinsèque au profit d'activités cognitives liées à l'apprentissage.

Les étudiants avec un meilleur niveau préalable de connaissances pourraient ne pas avoir besoin des indiçages temporels (Kalyuga, 2007b) et ceux-ci pourraient même avoir des effets néfastes. Deux études ont montré que les élèves avec des niveaux de connaissances préalables plus importants n'ont pas besoin de ce type d'aide (Boucheix & Guignard, 2005; Spanjers et al., 2011). Une explication possible est que les experts relient mieux leurs connaissances existantes en mémoire à long terme, à la structure proposée dans la vidéo et n'utilisent pas la segmentation comme indiçage temporel pour classer l'information en partie pertinente. En revanche, les novices ont besoin d'avoir des segments plus petits, car toutes les informations sont nouvelles pour eux, contrairement aux apprenants avec un meilleur niveau de connaissances préalables qui tirent davantage profit de segments plus importants (Spanjers et al., 2010). Selon Wouter (2007), il ne faut pas présenter de version segmentée aux experts, car ils pourront mettre en saillance par eux-mêmes les moments clés de la vidéo lorsqu'ils en ressentent le besoin. Pour les apprenants expérimentés, ces indices pourraient être redondants avec le matériel car ils sont capables de trouver par eux-mêmes les parties pertinentes du matériel. Par conséquent, pour eux, l'indiçage engendre de la charge cognitive inutile.

Ces résultats ne semblent pas confirmés lorsqu'il s'agit de l'apprentissage d'un geste sportif (Khacharem et al., 2013). Dans cette étude, trois versions d'une animation sur une phase de jeu de football (scène d'une contrattaque de 32 secondes) ont été montrées à des sportifs novices et à des footballeurs expérimentés. Une version de l'animation n'était pas segmentée, une deuxième était segmentée en micro-étapes et une troisième en macro-étapes. Les hypothèses posées par les auteurs étaient que les experts du football auraient les mêmes performances et auront besoin de voir la scène le même nombre de fois sur les versions non segmentées ou segmentées (micro ou macro), et que les novices auraient de meilleurs résultats sur la version segmentée en micro-étapes et de moins bons résultats sur la version non segmentée (micro > macro > non segmentées) car la version avec des micro-étapes entraîne moins d'informations à traiter simultanément. Conformément à ce qui était attendu, l'hypothèse est confirmée pour les novices. En revanche ce n'est pas le cas pour les experts. Ils obtiennent les mêmes performances d'apprentissage au test de rappel quel que soit le format de présentation. En revanche, ils ont de meilleurs résultats au niveau de l'efficacité de l'apprentissage, ont moins besoin de répéter l'animation et investissent moins d'effort mental avec les versions segmentées qu'avec la version continue. Aucune différence n'est notée entre les versions micro et macro. L'explication donnée par les auteurs est que les joueurs de football experts peuvent développer la perception dynamique des situations de jeu en raison d'une longue pratique. Les pauses engendrées par la segmentation invitent à prédire, anticiper et à planifier les futurs mouvements des joueurs qui apparaîtront dans le segment suivant. Dans ce cas, l'information présentée dans le segment suivant pourrait fournir une rétroaction visuelle explicite à laquelle ces apprenants pourraient comparer leurs prédictions ou la planification de la phase de jeu. Même si ces activités liées à la segmentation pourraient générer de la charge cognitive intrinsèque supplémentaire, il s'agit d'une charge productive qui permettrait d'accroître les ressources cognitives utiles facilitant ainsi la compréhension de la séquence de jeu par les apprenants.

Une étude portant sur la segmentation à l'aide d'indigage a été réalisée sur une vidéo montrant la vie des insectes (Ibrahim, 2012). Deux conditions expérimentales ont été comparées. Dans la première, la vidéo a été présentée sans segmentation ni indigage. Dans la deuxième, un texte décrivant la partie que les apprenants allaient visionner était ajouté à

chaque début de segment. Les étudiants n'avaient pas possibilité de faire de pauses. Les apprenants qui ont visionné la vidéo avec segmentation par indiçage ont mieux structuré leurs connaissances et ont obtenu de meilleurs résultats aux tests de rétention et de transferts de connaissance. Selon les auteurs, l'indiçage aide à organiser les informations pertinentes à l'intérieur d'une structure cohérente et diminue la charge cognitive inutile. Cela permet également d'extraire les indices sémantiques qui sont implicites dans les vidéos.

3.3.3. Études sur les effets de la réduction de la labilité de l'information et l'amélioration de la perception de la structure sous-jacente liés à la segmentation

Moreno (2007) a réalisé une étude sur l'apport de la segmentation et de l'indiçage temporel dans des vidéos (Exp. 1) et animations (Exp. 2) pour l'apprentissage des techniques d'enseignement. Cinq conditions ont été expérimentées : 1) condition contrôle avec un apprentissage au format papier, 2) visualisation non segmentée avec indiçage (le nom des étapes est indiqué au moment où elles sont diffusées), 3) visualisation segmentée (par insertion de pauses) sans indiçage, 4) visualisation sans segmentation, ni indiçage et 5) visualisation avec segmentation et indiçage. Les apprenants du groupe contrôle ont systématiquement de meilleurs résultats aux tâches de rétention. En revanche, en délivrant l'information en plus petites unités, les étudiants avec les versions segmentées et ceux avec les versions indicées obtiennent de meilleures performances dans les tâches de transfert, c'est-à-dire lorsqu'il faut appliquer les compétences enseignées. En comparant les groupes avec segmentations avec ceux sans segmentations, les scores aux différents posttests sont plus élevés de manière systématique pour le groupe avec une version segmentée. Ces résultats confirment que la segmentation des vidéos et des animations diminue la charge cognitive et facilite l'apprentissage des novices. Une autre étude où c'est l'enseignant qui stoppe l'animation qui est projetée aux étapes clés et qui la redémarre confirme ces résultats (Ali & Zamzuri, 2010, 2013).

Spanjer et al. ont réalisé plusieurs études sur l'effet de la segmentation dans des animations (Spanjers et al., 2011, 2012). Dans une première étude (Spanjers et al., 2011), ils

ont comparé l'apport de la segmentation en fonction du niveau de connaissances préalables des apprenants. L'animation utilisée portait sur l'apprentissage de procédures de calcul de probabilité. Dans la version segmentée, les segments étaient séparés par une pause automatique de deux secondes contrôlée par l'ordinateur. Durant les pauses le contenu de l'animation restait figé à l'écran, mais était légèrement obscurci. Au terme de ces deux secondes, l'animation reprenait automatiquement. Les résultats montrent que les apprenants avec le moins de connaissances préalables apprennent mieux avec une version segmentée qu'avec une animation en flux continu. Pour les étudiants avec un bon niveau de connaissances, aucun effet de la segmentation n'a été retrouvé. Ils apprennent aussi bien dans les deux versions de l'animation. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Kayluga (2007). Afin de vérifier si l'apport de la segmentation est lié au temps de pause généré entre les segments ou à l'indication temporelle, ils ont réalisé une seconde étude (Spanjers, van Gog, Wouters et al., 2012). Pour cela, ils ont utilisé le même matériel pédagogique que précédemment (animation sur le calcul de probabilité), mais avec quatre conditions : 1/ animation non segmentée, 2/ animation segmentée avec des pauses de deux secondes entre chaque segment, 3/ animation segmentée avec des pauses de deux secondes entre chaque segment durant lesquelles le contenu de l'animation restait figé à l'écran, mais était légèrement obscurci (identique à l'étude précédente), et 4/ animation segmentée par l'apparition furtive d'un écran noir faisant office d'indice temporel. Afin de s'assurer que la durée d'apprentissage était identique quelles que soient les conditions, un écran noir a été ajouté à la fin des animations pour les groupes sans pauses. Les résultats montrent que les groupes avec des pauses apprennent de manière plus efficace et ont de meilleurs résultats aux posttests que ceux avec une version segmentée. Les apprenants des groupes avec indication temporelle ont quant à eux investi moins d'effort mental que ceux sans indication. Selon les auteurs, les effets bénéfiques de la segmentation sont dus à la fois à l'indication temporelle et à l'ajout de pauses, mais d'une manière différente. L'insertion de pauses entre les segments a un effet positif sur l'apprentissage (meilleurs résultats au posttest), mais nécessite d'investir autant d'effort mental pour l'apprenant. Grâce aux pauses, les apprenants ont plus de temps pour traiter l'information entre chaque segment et peuvent le faire sans attendre l'information suivante. L'insertion d'indication temporelle permet de

diminuer l'effort mental, mais n'améliore pas les performances au posttest. L'indigage permet ainsi de mettre en saillance les limites d'évènements et l'apprenant n'a donc pas besoin de le faire par lui-même, réduisant ainsi la charge cognitive. Les auteurs concluent qu'il reste difficile de rendre des conclusions à partir de cette étude, car l'ajout de pauses entre les segments contribue également à apporter un indigage temporel car ils marquent aussi les limites d'évènements. Dans une troisième étude (Spanjers, van Gog, et Merriënboer, 2012), ils ont cherché à voir l'impact de la segmentation en demandant aux apprenants d'accroître leur participation en créant leurs propres segments. Les résultats montrent que demander aux apprenants de créer leurs propres segments demande plus d'effort mental et réduit donc l'efficacité de l'apprentissage par rapport aux étudiants avec des pauses prédéfinies entre les segments. Les apprenants qui créent la segmentation mobilisent davantage de ressources cognitives ce qui surcharge le système cognitif. Même si cette troisième étude n'a pas utilisé d'animations (travail à partir de textes écrits), les résultats peuvent être expliqués par Wouters et al. (2007). Les auteurs préconisent de donner le contrôle du rythme de la présentation, avec des segments prédéfinis, aux étudiants avec le moins de connaissances préalables. En revanche, ils indiquent qu'il est préférable de laisser les apprenants avec le plus de connaissances préalables décider par eux-mêmes à quel moment faire des pauses et donc de les laisser créer leurs propres segments.

Dans l'environnement d'apprentissage de Mayer, Dow et Mayer (2003), un agent pédagogique animé a expliqué le fonctionnement d'un moteur électrique avec des animations. Dans une condition, les étudiants pouvaient décider, lors de la fin de chaque segment, de poursuivre avec le prochain segment, de revoir le segment ou de répéter l'animation. Dans l'autre condition, le même matériel a été montré dans une présentation continue. Ils ont constaté que les étudiants qui ont étudié l'environnement d'apprentissage segmenté et interactif ont obtenu de meilleurs résultats au test de transfert que les étudiants avec la présentation continue.

Merkt et al (2016) ont étudié l'influence de la durée des pauses et de leur emplacement dans une vidéo d'apprentissage segmentée portant sur l'acoustique. Ils ont proposé quatre formats de la vidéo aux apprenants : 1/ vidéo continue, 2/ version

segmentée avec un écran noir de 1.5 seconde aux étapes clés 3/ pause de 3 secondes aux étapes clés et 4/ pause de 3 secondes à des endroits aléatoires de la vidéo. Les hypothèses posées par les auteurs sont que si l'effet bénéfique des pauses lors de la segmentation est lié à la réduction de la charge cognitive, les conditions 3 et 4 devraient avoir un effet bénéfique. De plus, si l'effet bénéfique de la segmentation est lié à la structuration du contenu et donc à la compréhension de la structure sous-jacente, les conditions 2 et 3 devraient être supérieures. Les résultats obtenus ne montrent pas d'effet bénéfique de la durée des pauses ou de la segmentation. Selon les auteurs, le bénéfice attendu dépendrait de l'emplacement des pauses, et donc de la mise en saillance de la structure sous-jacente du contenu pédagogique. De plus la segmentation est d'autant plus bénéfique que le niveau de complexité de l'information à apprendre est important.

Les études précédentes montrent que la segmentation peut être bénéfique. Cependant, les études de Mayer & Chandler (2001) et de Moreno (2007) avaient moins de possibilités de contrôle que les étudiants des études de Boucheix & Guignard (2005), Hasler et al. (2007) ou Mayer et al. (2003). Les effets de la segmentation peuvent être influencés par les options de contrôle d'apprentissage qui sont données aux apprenants et le design du matériel d'apprentissage (Mayer & Pilegard, 2014). La partie suivante va s'intéresser à l'association de la segmentation au contrôle du rythme de présentation (pauses) par l'apprenant.

3.4. Association de la segmentation et du contrôle du rythme

Pour surmonter les difficultés liées à la forte charge cognitive engendrée par le traitement de l'information labile, de nombreuses études ont suggéré que les apprenants devaient contrôler le rythme de la présentation ou que la vidéo soit divisée en segments significatifs (Mayer & Chandler, 2001; Mayer et al., 2003; Moreno & Valdez, 2005; Tabbers et al., 2004). Ces solutions sont résumées dans la Figure 3. Selon Mayer, « *les personnes apprennent mieux lorsque le message multimédia est présenté avec des segments rythmés par l'utilisateur plutôt que comme une unité continue* » (Mayer, 2009, p. 175). Comme nous

avons pu le voir précédemment, la labilité de l'information engendre une charge cognitive inutile importante. Pour réduire cet effet néfaste à l'apprentissage, Kalyuga (2012) propose de réduire la vitesse de l'animation ou de la vidéo en permettant un contrôle du rythme par l'apprenant qui pourra ainsi ralentir ou stopper le flot d'information. Sa seconde recommandation est de segmenter l'information en petites unités, chaque point d'arrêt correspondant à des étapes essentielles et informatives.

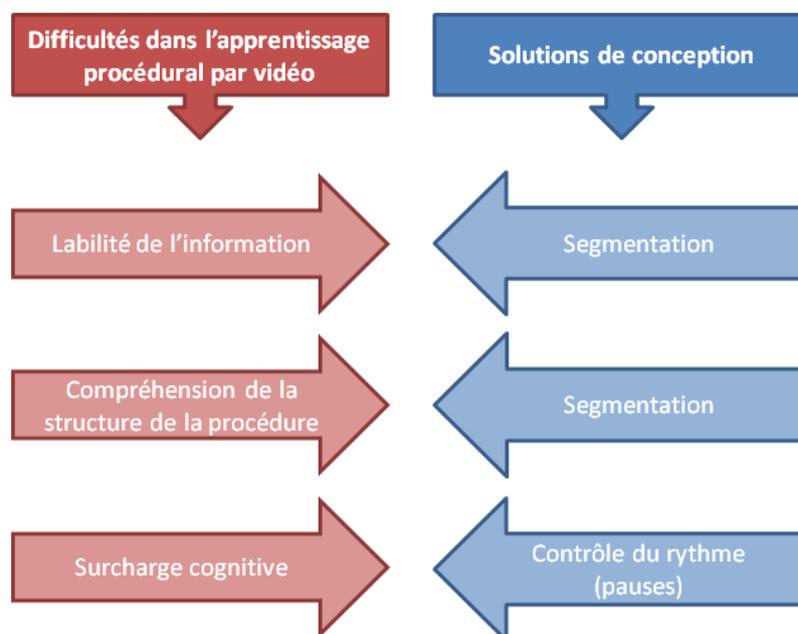


Figure 3 : Solutions de conception d'une visualisation dynamique

Les pauses permettent aux apprenants d'adapter le rythme de la présentation à leurs besoins cognitifs individuels, par exemple en leur fournissant des options de contrôle qui peuvent être utilisés pour faire une pause et de continuer la vidéo à tout moment. La segmentation permet aux apprenants de voir une présentation en segments discrets plutôt que comme une présentation continue, en arrêtant automatiquement entre les segments aux endroits pertinents. Le contrôle du rythme par l'apprenant, associé à une segmentation du matériel en plus petite section aide donc l'apprenant à compenser les conséquences négatives de la labilité de l'information (Singh, Marcus, & Ayres, 2012). Ainsi, la

segmentation d'une visualisation dynamique peut être réalisée soit par l'apprenant (stratégie de contrôle du rythme), soit par le concepteur de la vidéo en incluant des pauses automatiques aux limites d'évènements (Castro-Alonso et al., 2014).

Les recherches sur la segmentation et le contrôle du rythme ont donné des résultats contradictoires. Certains trouvent des effets positifs de l'association de ces deux modalités (Ertelt et al., 2005; Mayer & Chandler, 2001; Mayer et al., 2003), d'autres trouvent des limites voire un effet délétère ou inverse (Hasler et al., 2007; Moreno & Valdez, 2005; Tabbers et al., 2004).

Dans son étude, Ertelt (2007) a analysé l'influence d'une combinaison d'un système de segmentation, généré par l'insertion de pauses automatiques, et du contrôle par un utilisateur. L'apprenant devait cliquer sur le bouton « Play » pour redémarrer la vidéo. Cette présentation d'une vidéo montrant le fonctionnement d'un logiciel (tutoriel) a été comparée à une version présentée sans segmentation et sans pause. Les moments marqués par des pauses imposées correspondaient à une limite d'évènements importante et invitaient donc l'apprenant à réfléchir sur le segment de vidéo qu'il venait de regarder. L'hypothèse avancée par les auteurs était que l'apprentissage serait renforcé avec la manipulation de l'interface car cela permettrait de rendre l'apprentissage plus actif (Salomon, 1984). Cette dernière a été validée car la version avec des pauses imposées et contrôles par l'apprenant a donné de meilleures performances au niveau de l'apprentissage procédural que la version continue. Ces mêmes résultats ont été retrouvés par Hassanabadi, Robotjazi, & Savoji (2011). Le matériel expérimental utilisé était composé d'une animation montrant le mécanisme de formation des éclairs. Ils ont comparé deux versions segmentées de l'animation. Dans la première, la pause durait trois secondes, puis l'animation reprenait automatiquement. Dans la seconde, c'est l'apprenant qui décidait quand il souhaitait reprendre. Les résultats montrent que la version avec le contrôle du rythme par l'apprenant entraînait de meilleurs résultats au niveau de la mémorisation et diminuait la charge cognitive que dans la version avec le contrôle du rythme par le système. Selon ces auteurs, l'effet de la segmentation est plus important lorsque les apprenants peuvent contrôler le rythme.

Une équipe américaine a réalisé une série d'expérimentations sur l'association de la segmentation avec le contrôle du rythme par l'apprenant ou par le système (Sage, 2014;

Sage et al., 2015; Sage & Baldwin, 2014). Dans ces trois expérimentations, le matériel était composé d'une vidéo pédagogique montrant comment réaliser un geste procédural : la réalisation de tours de magie. Dans une première étude (Sage et al., 2015), ils ont comparé quatre versions de la vidéo : 1) contrôle du rythme par l'apprenant (pauses libres); 2) version segmentée aux étapes clés avec action de l'apprenant pour reprendre la vidéo ; 3) version segmentée de manière aléatoire (toutes les 20 images) et 4) version continue (pas de possibilité de faire des pauses). La version continue de la vidéo a été la moins appréciée des quatre formats proposés, par plus de la moitié des participants. Plus de la moitié ont indiqué que leur format préféré était la version avec le contrôle du rythme par l'apprenant (pauses libres) car ils avaient la sensation de mieux contrôler leur apprentissage. Cependant, seulement un quart d'entre eux ont utilisé la fonction pauses. D'un point de vue subjectif, le fait de savoir que l'apprenant conserve le contrôle sur ses apprentissages, plutôt que ce ne soit le système qui le fasse, permet d'avoir un meilleur niveau de satisfaction. Cependant, aucune différence n'a été repérée entre les groupes au niveau du test de rappel. Dans une seconde étude (Sage & Baldwin, 2014), les apprenants ont visionné une présentation segmentée de la vidéo, mais aux endroits où des novices se sont arrêtés. La conclusion est qu'il est préférable de faire des pauses imposées aux limites d'évènements plutôt qu'aux endroits où des utilisateurs novices se sont arrêtés. La segmentation doit donc être réalisée par des experts plutôt que par d'autres apprenants car ils ne savent pas quelles sont les étapes clés de la procédure. Enfin, la conclusion de la troisième étude (Sage, 2014) est qu'une combinaison d'un contrôle du rythme par l'apprenant associée à une segmentation par des pauses imposées par le système peut aider à améliorer les résultats d'apprentissage pour les apprenants.

Hasler et al (2007) ont réalisé une étude sur la segmentation et le contrôle du rythme. Quatre versions d'une animation montrant le mécanisme d'apparition du jour et de la nuit ont été montrées à des enfants : 1/ version segmentée, 2/ version non segmentée avec possibilité de faire des pauses, 3/ version non segmentée sans possibilité de faire des pauses (flux continu) et 4/ uniquement la narration. Le temps d'apprentissage était identique dans les quatre conditions. Les résultats montrent que les conditions avec segmentation ou avec le contrôle du rythme par l'apprenant étaient supérieures aux

questions lors du posttest. Ils ont également montré que les segments prédéfinis ne sont pas efficaces pour tous les élèves car les apprenants avec une bonne capacité de mémoire de travail n'ont pas besoin de segmentation. Ainsi, selon les auteurs, il faut laisser à l'étudiant la possibilité de faire des pauses quand il le souhaite pour qu'il puisse définir lui-même la longueur des segments en fonction de ses capacités et de ses besoins pour éviter une surcharge cognitive. Paradoxalement, les élèves qui avaient la possibilité de faire des pauses ont peu utilisé cette fonction.

4. Conclusion

La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia indique, entre autres, qu'il faut laisser la possibilité à l'apprenant d'interagir avec un environnement pédagogique pour l'aider à sélectionner, organiser et intégrer les mots et images provenant de plusieurs sources d'informations. Nous avons vu dans cette première partie qu'il existe un certain nombre de possibilités pour rendre les vidéos davantage interactives. Parmi elles, il est préconisé de laisser l'apprenant faire des pauses lorsqu'il le souhaite (e.g. Wouters et al., 2007). Cependant, les études montrent que cela n'est pas toujours suffisant, surtout pour les apprenants sans connaissances préalables du sujet étudié. Mayer et Pilegard (2014) indiquent que les recherches à venir doivent montrer s'il est préférable de laisser l'apprenant déterminer la longueur des segments de la visualisation dynamique (en le laissant faire des pauses lorsqu'il le souhaite) ou si c'est au concepteur de créer des segments prédéterminés avec des pauses imposées par le système entre chacun d'entre eux. A ce jour, peu d'études ont été réalisées sur l'association de la segmentation au contrôle du rythme par l'apprenant. La suite de ce travail de recherche va tenter de vérifier si cette association est bénéfique pour les apprenants dans le cadre d'un apprentissage d'une procédure médicale.

Partie Expérimentale

1. Introduction générale

1.1.Rappel de la problématique générale

L'usage des vidéos est de plus en plus fréquent en formation (Kay, 2012; Sherer & Shea, 2011). Ce type d'enseignement multimédia est notamment utilisé dans la formation médicale (e.g. Ganier & de Vries, 2016; Kalet et al., 2012; Song et al., 2014) et paramédicale (e.g. Forbes et al., 2016; Hagemann, Williams, McKee, Stefanovich, & Carnahan, 2014; Kelly, Lyng, McGrath, & Cannon, 2009; Weeks & Horan, 2013) pour apprendre des gestes techniques.

Même si l'utilisation de vidéos sur des plateformes en ligne présente un intérêt certain en pédagogie (Kay, 2012; Sherer & Shea, 2011), peu d'études ont été réalisées sur l'optimisation du format de présentation des vidéos, et aucune étude n'a été réalisée pour comparer le contrôle du rythme par l'ordinateur, avec segments préfinis, au contrôle du rythme par l'étudiant (Cheon, Chung, et al., 2014, p. 298). Selon Ibrahim et al. (2012), examiner les conditions d'apprentissages lorsque l'étudiant a la possibilité de contrôler le rythme de la vidéo ou lorsque les pauses sont imposées par le système, permettrait de donner des indications plus spécifiques pour la conception de vidéos éducatives adaptées pour l'apprentissage en ligne ou à distance.

L'enjeu des études réalisées dans le cadre de ce travail de recherche est de pouvoir proposer des solutions pragmatiques pour améliorer l'efficacité des vidéos dans la cadre de l'apprentissage d'un geste professionnel. Nous proposons ainsi d'étudier les effets de la segmentation et du contrôle du rythme lors d'un apprentissage d'une procédure médicale par vidéo. Si la présentation de ce type de document pédagogique est optimisée, cela devrait faciliter le traitement cognitif des informations pour les apprenants et ainsi améliorer la qualité de l'apprentissage. Les modèles cognitifs et les différentes études réalisées dans ce champ de recherche serviront de base à ce travail.

1.2.Présentation du matériel expérimental

1.2.1. Choix du matériel expérimental

Le matériel expérimental utilisé dans ce travail de recherche porte sur la conception des orthèses de membre supérieur.

Ce matériel a été choisi pour plusieurs raisons. La première raison est que ce type de procédure possède une dimension temporelle s'inscrivant dans une procédure suffisamment complexe, d'un point de vue du traitement cognitif, pour que les effets de présentation du document d'apprentissage puissent être mesurables.

La seconde raison est liée à la population d'étude. Travaillant dans un institut de formation en ergothérapie et masso-kinésithérapie, le recrutement des participants a été facilité. La conception des appareillages, et plus particulièrement des orthèses, faisant partie intégrante de leurs programmes de formation, les étudiants étaient extrêmement motivés pour participer à l'étude. Le recrutement et l'intérêt des participants auraient sans doute été plus compliqués si le thème avait été sur une thématique plus abstraite ou plus éloignée du domaine de la rééducation ou de la réadaptation. Le nombre d'étudiants par promotion est suffisant pour constituer des groupes expérimentaux permettant de mesurer un effet (environ 75 étudiants par promotion en ergothérapie et 95 en masso-kinésithérapie).

Enfin, la troisième raison qui nous amène à choisir la thématique des orthèses est le contrôle du niveau de connaissances préalable des participants. La conception des orthèses est étudiée au début du second semestre de deuxième année des études en ergothérapie et en fin de second semestre de la troisième année des études en kinésithérapie. Ainsi, nous avons pu contrôler leur niveau de connaissances préalables en positionnant les expérimentations en amont des cours qui portent sur cette thématique. La fabrication des orthèses ne fait pas partie d'un apprentissage fondamental enseigné en école élémentaire ou secondaire. A priori, un individu lambda n'a jamais eu l'occasion de s'initier à cette pratique. Ainsi, la majorité des étudiants était donc novice. Seuls les étudiants qui ont pu concevoir des orthèses en stage clinique avaient plus de connaissances, sans pour autant être considérés experts. Un pré-test a été prévu pour identifier ces étudiants.

Contrairement aux prothèses qui sont destinées à remplacer un membre amputé, une orthèse est un appareillage destiné à compenser, prévenir ou corriger une partie du corps qui est atteinte. Les orthèses de repos permettent de prévenir de mauvais positionnements ou postures et évitent ainsi des déformations ou rétractations ligamentaires. Dans un rapport de 2010⁷, la Haute Autorité de Santé (HAS) distingue les orthèses statiques dont l'effet attendu est le maintien passif d'une position fixe d'une ou plusieurs articulations ou d'un segment de membre, des orthèses dynamiques dont l'effet attendu est la récupération, l'entretien ou la mobilité d'un segment tout en favorisant la mobilité active ou contrôlée d'un ensemble d'articulations et des membres adjacents. Les orthèses peuvent être fabriquées en séries et délivrées en pharmacie ou fabriquées sur mesure, pour un patient donné. Les orthèses sur mesures sont fabriquées de deux façons :

- d'après moulage : ces orthèses sont considérées comme du « grand appareillage » et pour une durée d'utilisation longue ou définitive
- avec des matériaux à basse température (température de chauffe autour de 70°C) : ces orthèses sont considérées comme du « petit appareillage » et sont destinées à une utilisation temporaire. Le matériau utilisé pour fabriquer ces orthèses est un composé plastique appelé « thermoformable » (voir Figure 4).

Les indications concernées par la prescription des orthèses concernent les pathologies relevant de la traumatologie, du postopératoire orthopédique, de la rhumatologie et de la neurologie. Les orthèses sur mesures peuvent être réalisées par les médecins, pharmaciens, orthopédistes orthésistes, orthoprothésistes, masseur-kinésithérapeutes ou ergothérapeutes.

⁷ Evaluation des orthèses du membre supérieur, HAS, janvier 2010 - https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2010-03/rapport_ortheses_membre_superieur.pdf

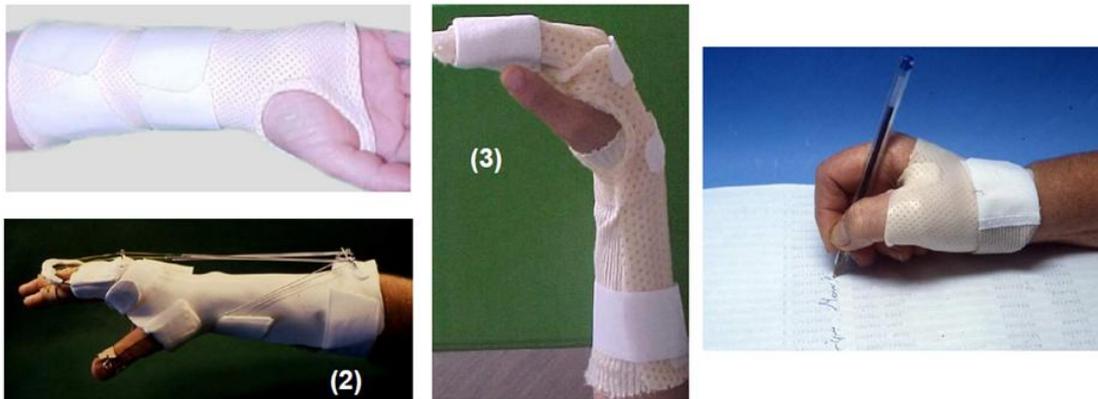


Figure 4 : Exemples d'orthèses sur mesure basse température (d'après Gable, 2010)

Les orthèses basse température des membres supérieurs sont communément réalisées par les ergothérapeutes (Clark, 2002) et les kinésithérapeutes. Cette pratique professionnelle fait donc partie intégrante de l'enseignement dans la formation initiale des ergothérapeutes (Arrêté du 5 juillet 2010 relatif au diplôme d'Etat d'ergothérapeute, 2010) et des kinésithérapeutes (Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute, 2015). Cette compétence est enseignée par des méthodes pédagogiques didactiques traditionnelles avec de l'enseignement magistral, des lectures, de l'observation et des exercices pratiques avec d'autres étudiants qui ont souvent des membres sans aucune déformation pathologique (Stefanovich et al., 2012). Certains instituts de formation utilisent la vidéo pour l'apprentissage de la fabrication des orthèses (Stefanovich et al., 2012). En fonction du parcours clinique suivi par l'étudiant au cours de ses stages, il pourra se former sur des personnes ayant des pathologies pour lesquelles les orthèses sont indiquées.

Pour fabriquer une orthèse, le clinicien doit suivre un certain nombre d'étapes, réalisées dans un ordre précis. Chaque étape peut elle-même être découpée en micro étapes. Le nombre d'étapes va dépendre de l'orthèse qui sera réalisée et de la technique employée. A notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée sur ce type d'apprentissage procédural.

1.2.2. Descriptif du matériel

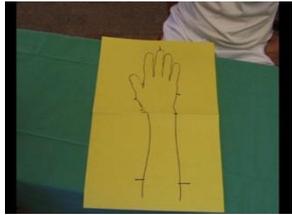
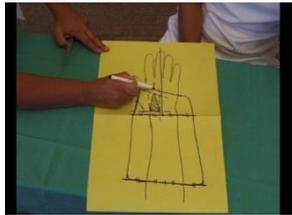
Le matériel utilisé dans le cadre des expérimentations est une vidéo issue d'un DVD montrant comment réaliser des orthèses (Gable, 2010) à partir de la méthode du patron. Cette technique a été retenue car cela fait partie du référentiel de compétences des ergothérapeutes et des masseurs-kinésithérapeutes. La méthode du patron consiste à préparer un modèle en papier à partir des repères morphologiques de la main de la personne avec laquelle la forme de l'orthèse prescrite est découpée (Gable, 2010). Cette méthode est rigoureuse et pratique. L'utilisation du papier, avant l'utilisation du thermoformable, permet de procéder à d'éventuelles retouches de manière rapide et répétée. La technique du patron est adaptée pour tout type d'orthèses, statique ou dynamique. Elle permet un apprentissage plus rapide pour la conception et la réalisation des orthèses du fait de la visualisation préalable du rendu final sur le papier.

Le DVD de Gable⁸ est récent et fait office de référence dans les instituts de formation français. Il reprend les principaux types d'orthèses que les cliniciens peuvent réaliser au cours de leur pratique. De plus il est commercialisé par un éditeur, ce qui autorise d'autres équipes à reproduire l'expérience. Le DVD est composé de dix vidéos pédagogiques montrant comment réaliser des orthèses. Quatre vidéos décrivent la conception de quatre modules de base qui permettent ensuite de concevoir n'importe quel type d'orthèses : le module palmaire, le module dorsal, le module radial et le module circulaire. Six autres vidéos décrivent comment ajouter des éléments dynamiques aux modules de base pour réaliser des orthèses dynamiques : lames de ressort (ou de Levame), élastiques de jokari, corde à piano, bande élastique, néoprène et ressort étalonné. Chaque vidéo est construite selon le même format. Une clinicienne montre les différentes étapes de la réalisation selon un flux continu. Une narratrice décrit à l'oral ce qui se passe à l'écran, donne des indications verbales sur les repères anatomiques concernés et complète l'information visuelle. Les vidéos sont accompagnées d'un livret au format numérique reprenant les différentes étapes de la procédure.

⁸ L'auteur du DVD nous a donné l'autorisation écrite pour utiliser et modifier ses vidéos dans le cadre de ce travail

La vidéo retenue pour cette étude est celle sur la réalisation d'une orthèse palmaire avec la technique du patron. La durée de la vidéo est de 312 secondes. Elle est composée de cinq étapes découpées en 25 sous-étapes. Ce découpage a été réalisé par l'auteur de cette thèse, lui-même ergothérapeute et formateur. Les étapes et sous-étapes de la procédure sont décrites ci-dessous (voir Tableau 1).

Tableau 1 : Etapes de la procédure de conception d'une orthèse palmaire présentée dans la vidéo servant de matériel expérimental (Gable, 2010). MP : métacarpo-phalangienne; TM : trapézo-métacarpienne

Etape	Sous-étape	Durée	Description
Réalisation du patron – points de repères (45s) 	Positionnement du membre supérieur	13s	La main et l'avant-bras sont placés face palmaire sur la feuille. Inclinaison ulnaire à 0° et ouverture de la 1 ^{ère} commissure à 30°
	Tracé du contour	11s	Tracer le contour de la main et de l'avant-bras
	Tracé des points de repères au niveau du poignet	7s	Bords ulnaire et radial du poignet et de l'avant-bras
	Tracé des points de repères de la main	8s	Pli de flexion du poignet, de la TM, de la MP et du pli de flexion des MP des doigts longs
	Tracé des points de repères de l'avant-bras et du 3 ^{ème} doigt	6s	Union tiers supérieur/tiers moyen de l'avant-bras et axe du 3 ^{ème} doigt
Réalisation du patron – lignes de repères (121s) 	Tracé des lignes de repères du poignet, avant-bras et pli de flexion des MP	22s	Tracer les lignes de repères au niveau du poignet, de l'avant-bras et du pli de flexion des MP
	Tracé de la ligne de repère de l'axe du 3 ^{ème} doigt	10s	Tracer la ligne de repère de l'axe du 3 ^{ème} doigt, perpendiculairement au milieu du pli du poignet

	Elargissement des lignes de repères avant-bras et poignet	25s	Reporter une demi-largeur de l'avant-bras de part et d'autre de la ligne de repère de l'avant-bras. Idem pour la ligne de repère du poignet.
	Jonction des lignes de repères avant-bras et poignet	14s	Joindre les extrémités des lignes de repères de l'avant-bras et du poignet, de part et d'autre.
	Jonction bord radial et ulnaire au niveau de la main	16s	Prolongé le bord ulnaire jusqu'au pli de flexion des MP. Idem pour le bord radial en passant par la MP du pouce.
	Tracé du passage du pouce	17s	Tracer le passage du pouce qui est déterminé par 4 lignes : 1/ parallèle au pli des MP passant par le fond de la 1 ^{ère} commissure, 2/ parallèle au pli de flexion du poignet passant par la TM, 3/ parallèle à l'axe du 3 ^{ème} doigt, 4/ ligne allant du bord radial de l'index au bord radial du poignet
	Tracé d'un triangle isocèle	9s	Tracer un triangle isocèle dans le quadrilatère formé
	Tracé de la médiane du triangle	8s	Tracer la médiane du triangle
Découpage du patron (43s) 	Découpage du patron et pliage sur le tracé de la médiane	10s	Découper les contours du patron et le plier en 2 au niveau de la médiane
	Découpage du triangle	9s	Découper le triangle pour le passage du pouce
	Crantage des bords	10s	Cranter les bords du patron
	Essai du patron	14s	Essayer le patron sur le patient pour vérifier ses limites et faire d'éventuelles retouches

<p>Modelage (64s)</p> 	<p>Chauffé et séchage de l'orthèse</p>	7s	<p>Découper le thermoformable en fonction du patron. Chauffer le thermoformable dans une étuve à 60° et sécher la face en contact avec le patient</p>
	<p>Réalisation des ourlets</p>	12s	<p>Réaliser les ourlets qui peuvent être faits à plat avant de positionner sur le patient (pli de flexion des MP et pli d'opposition du pouce)</p>
	<p>Moulage sur la patient - 1</p>	13s	<p>Placer le matériau sur le patient en dessous du pli de flexion des MP. Appliquer le passage du pouce en dessous du pli d'opposition et libérer l'éminence thénar</p>
	<p>Moulage sur le patient – 2</p>	14s	<p>Modeler le talon de la main, du poignet puis la face dorsale et les bords latéraux de l'orthèse.</p>
	<p>Appuis et contre-appuis</p>	18s	<p>Exercer les appuis et contre appuis sur le pli de flexion des MP, face dorsale des MP et partie moyenne de l'avant-bras</p>
<p>Finitions (39s)</p> 	<p>Découpe du surplus et vérification sur le patient</p>	17s	<p>Après refroidissement et durcissement du thermoformable, découper le surplus. Repositionner l'orthèse sur le patient pour vérifier ses limites, les zones à risques et la bonne position du moulage</p>
	<p>Pose des velcros</p>	13s	<p>Placer les velcros 1/ sur la partie proximale de l'orthèse, 2/ sur la partie distale et 3/ sous la styloïde ulnaire</p>
	<p>Résultat final</p>	9s	<p>Images du rendu final de l'orthèse sur la patient</p>

La même vidéo a été utilisée dans toutes les expériences. Les différentes versions de présentation ont été réalisées à l'aide du logiciel iMovie®.

2. Etude 1 : Impact des pauses et de la segmentation dans l'apprentissage par vidéo

L'objectif de cette étude est de déterminer si l'association de la segmentation au contrôle du rythme par l'apprenant à l'aide d'un bouton « pause » améliore l'apprentissage d'une procédure par l'intermédiaire d'une vidéo.

2.1.Introduction

Comme nous avons pu le voir précédemment, les vidéos présentent un intérêt certain pour l'apprentissage, et plus particulièrement pour l'apprentissage des phénomènes impliquant un mouvement (e.g. Arguel & Jamet, 2009; Ganier, 2013; Schwan & Riemp, 2004). Cependant, peu d'études ont été réalisées sur l'optimisation du format de présentation des vidéos. Une manière de gérer l'information labile de la vidéo est de proposer du contrôle à l'apprenant (Chien & Chang, 2012; Hasler et al., 2007; Merkt, Weigand, Heier, & Schwan, 2011b). Les effets bénéfiques retrouvés du contrôle du rythme peuvent être expliqués dans le cadre de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014). Selon Mayer et Pilegard (2014), une solution pour gérer les traitements essentiels et éviter la surcharge essentielle, est de segmenter les vidéos. Il préconise ainsi de présenter l'information en petits segments dont le rythme est contrôlé par l'apprenant, plutôt qu'en unité continue. Il est donc essentiel de mieux comprendre comment les possibilités de contrôle par l'utilisateur de la vidéo, par exemple en interrompant le flux d'informations, peuvent permettre de limiter cette surcharge des processus essentiels.

Plusieurs études ont étudié les effets de la segmentation d'images dynamiques sur les apprentissages (Boucheix & Guignard, 2005; Mayer & Chandler, 2001; Moreno, 2007; Spanjers, van Gog, Wouters, & van Merriënboer, 2012). Dans ces études, comparant des animations segmentées à des animations non segmentées, les segments sont distingués par l'insertion de pauses entre eux. Les images dynamiques s'arrêtent automatiquement à la fin

de chaque segment et les participants peuvent décider quand continuer vers le nouveau segment. Dans les visualisations dynamiques segmentées, le flux d'informations est divisé en petites unités et les pauses entre les segments permettent aux étudiants d'avoir suffisamment de temps pour réaliser les activités cognitives de traitement de l'information avec celles présentées dans le segment précédent, sans avoir à traiter simultanément une nouvelle information qui arrive (Mayer & Moreno, 2003; Moreno & Mayer, 2007).

Enfin, le fait de découper l'animation en morceaux significatifs favoriserait ainsi la compréhension de la structure sous-jacente du processus ou de la procédure décrite (Spanjers et al., 2010; Spanjers, van Gog, Wouters, et al., 2012). Selon les auteurs, la segmentation permet de découper l'animation en éléments significatifs permettant ainsi aux apprenants de percevoir la structure sous-jacente de la procédure présentée dans l'animation, mais également de faire des pauses ce qui donne plus de temps à l'apprenant pour réaliser les traitements cognitifs nécessaires. Selon eux, la segmentation permet de rendre plus saillantes les limites d'évènements et permet ainsi de diminuer la charge cognitive.

L'objectif de cette première expérimentation est d'étudier si le rythme de présentation d'une vidéo pédagogique peut avoir une influence sur l'apprentissage de compétences professionnelles. Peu d'études ont été réalisées sur l'apprentissage procédural par vidéo. Celles-ci ont comparé des vidéos avec d'autres médias (e.g. Arguel & Jamet, 2009; Boucheix & Forestier, 2017; Ganier & de Vries, 2016; Michas & Berry, 2000), ou ont examiné des éléments d'interaction permettant d'adapter le rythme de la vidéo (Schwan & Riempp, 2004). À notre connaissance, deux de ces études ont comparé la segmentation de la vidéo par une gestion du rythme par l'ordinateur (pauses prédéfinies) avec le contrôle des pauses par l'apprenant (Hasler et al., 2007; Höffler & Schwartz, 2011). Dans ces deux études, il ne s'agissait pas d'un apprentissage procédural. En outre, aucun de ces auteurs n'a étudié la complémentarité possible de l'interactivité autorisant le contrôle du rythme par l'apprenant et de la segmentation. Comme indiqué précédemment, la segmentation d'une vidéo pourrait aider les apprenants novices à identifier les points clés de la vidéo (Wouters et al.,

2007), ce qui pourrait s'avérer particulièrement utile dans le cadre d'un apprentissage procédural.

2.2. Hypothèses

Notre hypothèse générale est que les apprenants n'ayant aucune connaissance préalable des compétences professionnelles enseignées (ici, la fabrication d'orthèses) éprouvent des difficultés à repérer les étapes clés de la procédure dans la vidéo et à faire des pauses à ces étapes afin de mémoriser le contenu. L'originalité de cette première étude réside dans la pré-segmentation de la vidéo (pause marquant la fin de chaque étape clé de la procédure), en plus de la pause de l'apprenant. Selon Spanjers et al. (2012), une présentation vidéo interactive avec des pauses imposées devrait améliorer l'apprentissage des compétences professionnelles en 1) interrompant le flux vidéo, réduisant ainsi la charge cognitive générée par le traitement de cette information (hypothèse de charge cognitive) et 2) aidant à segmenter la vidéo en unités plus petites, ce qui rend la structure sous-jacente de la procédure plus facile à discerner (hypothèse d'indigence temporel). Nous émettons l'hypothèse que les apprenants utilisent spontanément peu le bouton de pause, car ils ne savent pas quand arrêter la vidéo. Aussi, le contrôle du rythme par l'apprenant ne peut améliorer la qualité de l'apprentissage procédural que lorsqu'il est combiné avec une segmentation du contenu présentée sous forme de pauses imposées intégrées à la vidéo au moment de sa conception.

La très grande majorité des interfaces permettant de lire une vidéo offre la possibilité de stopper le contenu et de reprendre la lecture. Malgré la généralisation de ces options d'interaction, l'utilisation des options de contrôle du rythme de présentation par l'apprenant a été rarement abordée dans les travaux de recherches. Seulement quelques rares études (e.g., Hasler et al., 2007; Schwan & Riemp, 2004; Tabbers & Koeijer, 2010) ont déjà exploré cette utilisation. Ce n'est pas parce que ces fonctionnalités sont disponibles qu'elles seront effectivement utilisées par les apprenants, surtout si ces derniers sont novices (Hasler et al., 2007). Ainsi, cette potentielle sous-utilisation de la fonction pause par les apprenants pourrait aider à expliquer l'apport de la segmentation pour les novices.

Pour tester cette hypothèse, trois conditions, décrites plus précisément dans la section 2.3.2, seront utilisées : vidéo non interactive (l'apprenant n'a pas possibilité de faire de pauses), vidéo interactive (l'apprenant peut faire des « pauses libres » lorsqu'il le souhaite) et vidéo interactive segmentée (des pauses sont imposées par le système aux étapes clés de la procédure et l'apprenant peut faire des pauses libres lorsqu'il le souhaite).

Sur la base de cette hypothèse générale, nous pouvons formuler trois prédictions plus spécifiques :

- Hypothèse 1 - Stratégie d'apprentissage : les apprenants novices, ne sachant pas à quel moment il est opportun d'arrêter la vidéo, n'utiliseront pas ou peu la fonction pause (apprenants des 2 groupes avec la possibilité d'interactions). Ainsi, la durée totale des pauses (« pauses libres » et « pauses imposées » par le système) sera plus importante dans le groupe avec vidéo interactive et segmentée que dans le groupe avec une vidéo interactive, car la durée de « pauses libres » sera faible alors que la durée des « pauses imposées » sera plus importante.
- Hypothèse 2 - score au test de rappel : conformément aux hypothèses de charge cognitive et d'indigence temporel, les participants de la condition avec vidéo interactive et segmentée devraient obtenir de meilleures performances au test de rappel que ceux des deux autres groupes.
- Hypothèse 3 - apprentissage procédural : conformément aux hypothèses de charge cognitive et d'indigence temporel, les participants de la condition avec vidéo interactive et segmentée devraient avoir un meilleur apprentissage procédural. Ils devraient obtenir un score supérieur aux deux autres groupes au test de reproduction de la procédure décrite dans la vidéo.

2.3.Méthode

2.3.1. Participants

Les participants à l'étude ont été recrutés à l'Institut de Formation en Pédiatrie-podologie, Ergothérapie et masso-Kinésithérapie (IFPEK) de Rennes. Soixante-huit étudiants de deuxième année d'ergothérapie ont participé à l'étude. L'échantillon était constitué de 9 hommes et 59 femmes. L'âge moyen était de 21,9 ans ($ET = 3.12$). Les participants ont été répartis aléatoirement et équitablement dans les trois groupes expérimentaux. Il s'agissait des groupes « vidéo non-interactive » ($n = 23$), « vidéo interactive » ($n = 23$) et « vidéo interactive et segmentée » ($n = 22$).

Pour contrôler que tous les participants soient novices, nous avons planifié les expérimentations au début du second semestre, avant le démarrage des travaux dirigés. Ils ont tous assisté à un cours magistral de deux heures qui a permis de découvrir les généralités sur la conception des orthèses, définir les termes employés et connaître les propriétés des matériaux. Nous nous sommes assurés qu'ils étaient novices en leur demandant d'auto évaluer leur degré d'expertise sur une échelle de Likert allant de 1 à 10. La moyenne obtenue est de 1,96 ($ET = 1.60$) pour le groupe « vidéo non-interactive », 2,13 ($ET = 1.51$) pour le groupe « vidéo interactive » et 1,95 ($ET = 1.64$) pour le groupe « vidéo interactive et segmentée ». Aucune différence n'est retrouvée entre les trois groupes ($F < 0.1$). À partir du même type d'échelle, nous leur avons demandé d'auto-évaluer leur niveau d'expertise en informatique afin de voir si ce facteur pouvait avoir un impact sur l'utilisation des fonctions interactives et sur les performances d'apprentissage à partir d'un contenu multimédia. La moyenne obtenue est de 5,09 ($ET = 1.47$) pour le groupe « vidéo non-interactive », 4,96 ($ET = 1.74$) pour le groupe « vidéo interactive » et 4,95 ($ET = 1.29$) pour le groupe « vidéo interactive et segmentée ». Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes ($F < 0.1$).

2.3.2. Matériel

Le matériel utilisé dans cette expérimentation provenait de l'adaptation de la vidéo expliquant comment concevoir une orthèse palmaire (Gable, 2010). La procédure décrite comporte six grandes étapes, elles-mêmes divisées en 25 sous-étapes (cf partie 1.2.2). Trois versions du matériel expérimental ont été réalisées à partir du logiciel iMovie :

- *Vidéo non-interactive* : la vidéo est diffusée en flux continu. Les participants n'ont pas la possibilité de faire de pauses.
- *Vidéo interactive* : la vidéo est diffusée en en flux continu. Les participants ont la possibilité de faire des pauses s'ils le souhaitent. Seul le bouton lecture/pause (play/pause) apparaît à l'écran
- *Vidéo interactive et segmentée* : la vidéo est découpée en 25 segments. La vidéo s'arrête automatiquement (l'image se fige) à la fin des segments (24 pauses imposées) et l'apprenant doit cliquer sur le bouton lecture pour continuer la vidéo et passer au segment suivant. Il a également la possibilité de faire des pauses lorsqu'il le souhaite. Le découpage de la vidéo en segments significatifs a été réalisé par un ergothérapeute expert.

Le matériel était présenté sur des ordinateurs de type PC (processeur Intel Pentium dual-core cadencé à 3,2 GHz, mémoire vive 4 Go, système d'exploitation Microsoft Windows 7), équipés d'un écran LCD de 22 pouces (résolution de 1680 x 1050 pixels), d'une souris optique, d'un clavier et d'un casque Hi-Fi. Les expérimentations se sont déroulées dans la salle informatique de l'IFPEK. Cette salle est composée de 20 ordinateurs strictement identiques.

Les vidéos étaient affichées, par l'intermédiaire du navigateur Chrome, dans une fenêtre de 762 x 540 pixels, placée au centre de l'écran. Elles étaient diffusées dans un lecteur développé par le laboratoire de psychologie (LP3C) de Rennes. Cela nous permettait de contrôler les fonctions interactives qui étaient affichées à l'écran et de pouvoir recueillir les informations concernant la stratégie d'apprentissage, à savoir le nombre, le moment et la

durée des pauses. Ces informations étaient enregistrées sur un serveur de l'Université. Aucun bouton permettant une interaction n'était disponible pour le groupe avec la vidéo non-interactive (voir Figure 5). Seul un bouton play/pause était disponible pour les deux autres groupes (voir Figure 6). Dans toutes les conditions, les participants ne pouvaient pas revenir en arrière, accélérer la vidéo ou la revoir.



Figure 5 : copie d'écran de l'interface utilisée par le groupe avec la vidéo non-interactive

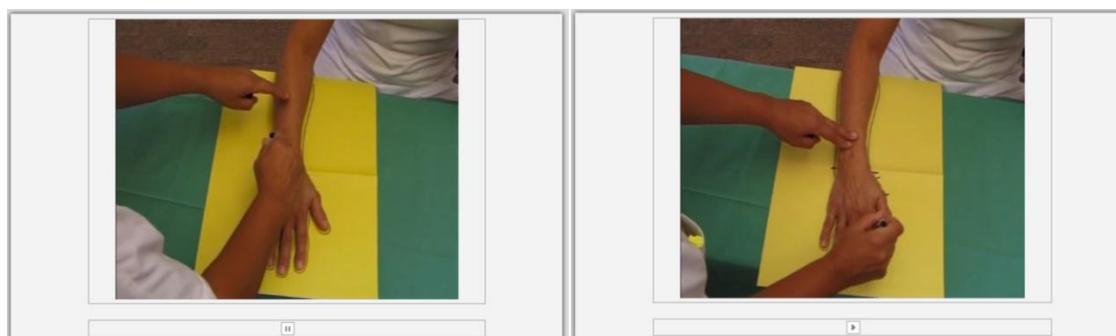


Figure 6 : copies d'écrans de l'interface utilisée par les groupes avec la vidéo interactive (à gauche la vidéo est en lecture ; à droite la vidéo est en pause)

La tâche de reproduction de la procédure décrite dans les vidéos (réalisation du patron) était réalisée sur une tablette tactile. La taille de l'écran était de 12,1 pouces. Quatre tablettes strictement identiques étaient mises à notre disposition pour l'expérimentation. La fonction « écran tactile au doigt » était désactivée et les étudiants pouvaient écrire, à l'aide d'un stylet, dans le logiciel Paint. Afin d'uniformiser la reproduction de la procédure, un gabarit en carton d'une main et d'un avant-bras leur était fourni. De cette manière, toutes

les productions étaient de la même taille. Toute l'étape de reproduction de la procédure a été enregistrée et sauvegardée grâce à l'enregistreur d'écran BB FlashBack Express®. Cela nous a permis d'évaluer la procédure déployée par le participant pour reproduire le patron, de contrôler l'ordre de réalisation des étapes de la procédure et de mesurer le temps qui lui a été nécessaire pour aller au bout de la tâche.

2.3.3. Procédure expérimentale

Les étudiants de deuxième année de formation en ergothérapie ont été invités à participer à l'étude. L'expérimentation a eu lieu sous forme de travaux dirigés et des créneaux ont été libérés dans leur emploi du temps pour pouvoir y participer. Ce TD est intervenu en plus de l'enseignement habituel des techniques de confection d'orthèses. Nous avons la possibilité de faire passer jusque quatre étudiants simultanément. L'expérimentation durait entre 30 et 45 minutes au total par étudiant. La répartition dans les groupes a été réalisée de manière aléatoire en amont de la passation. Les étudiants qui passaient en même temps faisaient partie du même groupe et avaient donc la même version de la vidéo.

Une fois installés devant leur poste informatique, l'expérimentateur leur donnait la consigne d'être attentifs et de bien observer le contenu de la vidéo qui leur était proposé, car ils devront ensuite reproduire ce qu'ils auront appris. Il leur a également été précisé qu'ils ne pourraient voir la vidéo qu'une seule fois et que la prise de note n'était pas possible. Les deux groupes avec une présentation de la vidéo interactive ont été informés qu'ils pouvaient faire des pauses s'ils le souhaitaient. Un questionnaire d'auto-évaluation de leur niveau de connaissances préalables dans la conception des orthèses et au niveau informatique leur a été administré. Les participants ont ensuite pu visionner la vidéo d'apprentissage dans la version correspondante au groupe. Une fois terminé, un questionnaire subjectif permettant de noter leur impression générale et leur ressenti sur l'apprentissage par cette vidéo leur a été administré. Après avoir répondu à des questions de rappel libre, les étudiants devaient reproduire le patron sur une tablette tactile à l'aide d'un stylet et d'un gabarit. En fin de séance, l'expérimentateur a remercié les étudiants pour leur

présence et leur a communiqué les références du DVD d'où la vidéo a été extraite afin qu'ils puissent la consulter de manière plus approfondie s'ils le souhaitent.

L'ensemble de la procédure expérimentale est résumé dans la Figure 7.

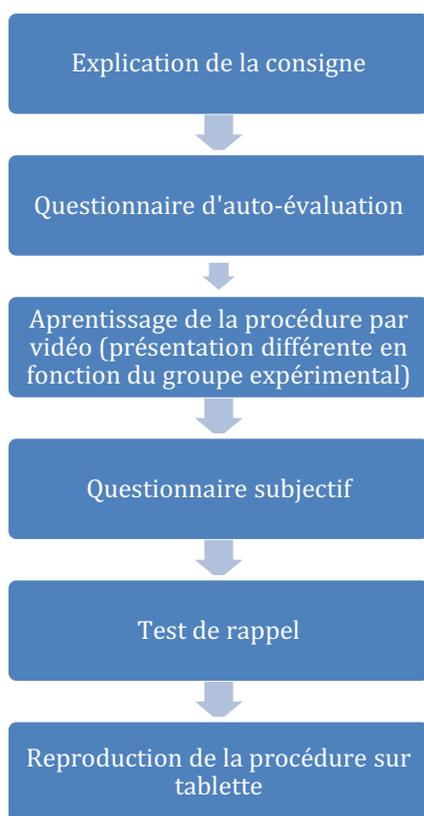


Figure 7 : Résumé de la procédure expérimentale de l'étude 1

2.3.4. Mesures

2.3.4.1. Utilisation du bouton de pause

Pour les groupes avec une présentation interactive de la vidéo (vidéo interactive et vidéo interactive segmentée), nous avons mesuré :

- Le nombre de pauses réalisées par l'apprenant (pauses libres)
- La durée des pauses libres

- Le moment des pauses libres
- La durée des pauses imposées par le système (groupe avec la vidéo interactive segmentée)
- La durée totale de visionnage de la vidéo

2.3.4.2. Qualité de l'apprentissage

La qualité de l'apprentissage a été mesurée par les résultats au test de rappel et au test d'apprentissage de la procédure.

2.3.4.2.1. Test de rappel

Pour le test de rappel, les étudiants devaient répondre à cinq questions ouvertes sur un formulaire papier (voir Annexe 2). Les questions portaient sur des éléments qu'ils ont pu voir dans la vidéo :

- *Citer 3 points de repère*
- *Citer 3 lignes de repères à tracer*
- *Quelles lignes de repère faut-il élargir d'une demi-largeur d'avant bras ?*
- *Quelles lignes déterminent le passage du pouce ?*
- *Après le moulage, où doivent s'exercer les appuis et contre appuis ?*

Chaque bonne réponse donnait un point. Le total de points était de 15. La cotation de cette épreuve a été réalisée à partir d'une grille de cotation comprenant les réponses attendues (voir Annexe 3).

2.3.4.2.2. Test d'apprentissage de la procédure

L'apprentissage de la procédure a été mesuré par l'intermédiaire de la tâche de reproduction du patron (voir Figure 8). A notre connaissance, il n'existe pas d'échelle

permettant d'évaluer la qualité de réalisation d'un patron pour la réalisation d'une orthèse (Stefanovich et al., 2012). Nous avons donc créé une grille de cotations strictement précise et rigoureuse, permettant de mesurer la réussite à cette tâche (voir Annexe 4). Le score total était sur 60 points : 1 point par point de repère présent (10 points de repère) et 1 point par point de repère correctement placé (sous-total = 20 points). Le système de cotation était identique pour les 20 lignes de repères (sous-total = 40 points).

La cotation a été réalisée, en aveugle, par un ergothérapeute. Afin d'éviter tout biais dans la correction, nous avons utilisé un masque indiquant les zones de tolérance pour le bon positionnement des points de repère (voir Annexe 5). Ainsi la cotation a pu se faire en toute objectivité et une double correction par un autre examinateur n'était pas nécessaire.

Nous avons également mesuré le temps mis par le participant pour reproduire la procédure. En effet, selon Ganier et al (2000), le temps d'exécution de la procédure est un bon indicateur de la compréhension de la tâche.

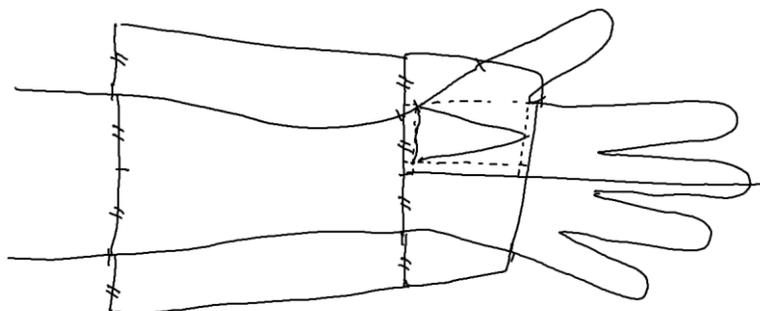


Figure 8 : exemple de reproduction complète du patron

2.3.4.3. Questionnaire subjectif

Un questionnaire sous format papier-crayon est administré immédiatement après avoir visionné la vidéo. Les participants devaient indiquer leur ressenti sur une échelle visuelle analogique allant de « pas du tout d'accord » (= 0) à « tout à fait d'accord » (= 10)

(voir Annexe 6). Il est composé de 23 affirmations permettant d'explorer huit dimensions (voir Annexe 7) :

- satisfaction globale (1 question) : « Je suis globalement satisfait de ce mode d'apprentissage par vidéo »
- charge cognitive / effort mental (3 questions). Par exemple : « Comprendre l'information contenue dans la vidéo m'a demandé beaucoup d'efforts »
- attention (3 questions). Par exemple : « La manière dont les informations de cette vidéo sont présentées m'a aidé à rester vigilant »
- facilité d'apprentissage (4 questions). Par exemple : « Il était facile d'apprendre à faire une orthèse par cette vidéo »
- quantité d'informations (2 questions). Par exemple : « Le contenu de la vidéo était dense »
- intérêt/motivation (3 questions). Par exemple : « J'ai été intéressé par ce mode d'apprentissage par vidéo »
- utilité perçue (3 questions). Par exemple : « L'apprentissage par vidéo permettrait d'améliorer mes performances au moment des évaluations »
- l'interaction (4 questions). Par exemple : « J'ai eu le sentiment de pouvoir apprendre à mon rythme »

Les affirmations sont mélangées entre elles au sein du questionnaire afin que celles mesurant une même dimension ne soient pas présentées les unes à la suite des autres.

2.3.4.4. Analyse des données

Les données ont été analysées par l'intermédiaire du logiciel SPSS version 21. Nous avons utilisé une analyse de variance (ANOVA) pour mesurer la différence entre les groupes. Le seuil de significativité était fixé à $p = 0.05$. Les tests de normalité et d'homogénéité de variances ont été réalisés et n'ont pas révélé de violations. Des comparaisons par paires ont

été utilisées pour comparer les groupes. La taille de l'effet a été mesurée par le calcul de l'éta-carré partiel (η^2). Un indice autour de 0.01 est interprété comme un effet de petite taille, un indice autour de 0.06 comme un effet de taille moyenne et un indice de 0.14 et plus comme un effet de grande taille (Cohen, 1988).

2.4. Résultats

2.4.1. Utilisation du bouton pause

Les statistiques descriptives de l'utilisation du bouton pause sont reportées dans le Tableau 2.

Malgré l'incitation à utiliser la fonction pause lors de la consultation de la vidéo, près de la moitié des étudiants choisissent de ne pas faire de pause dans le groupe avec la vidéo interactive (47,83%) et dans le groupe avec vidéo interactive segmentée (40,91%). Ceux qui ont utilisé la fonction pause ne l'ont fait en moyenne que 2 fois sur la totalité du visionnage et leur durée était relativement courte.

Les pauses imposées par le système dans la condition avec vidéo interactive segmentée, engendre une durée totale de pauses dix fois plus longue que pour le groupe avec vidéo interactive ($M = 158.0$, $ET = 70.25$ vs. $M = 16.33$, $ET = 28.01$), $F(1, 43) = 80.31$, $p < .001$, $\eta^2 = .65$ (voir Figure 9).

Tableau 2 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause

Condition	Nombre de pauses libres		Durée totale des pauses libres (s)		Durée totale des pauses (s)	
	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>
Vidéo interactive	2.35	3.70	16.33	28.01	16.33	28.01
Vidéo interactive segmentée	2.18	3.63	10.23	17.96	158.06*	70.25

Note. *M* = Moyenne; *ET* = Ecart-type.

* $p < .05$.

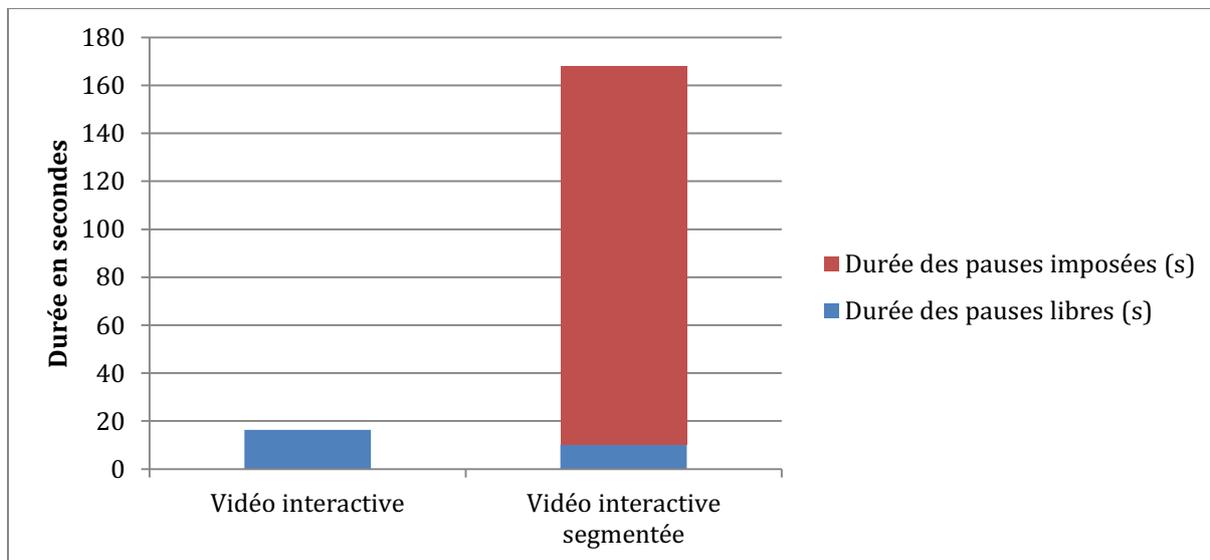


Figure 9 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo

Nous avons essayé de voir à quel moment de la vidéo les apprenants réalisaient les pauses libres dans les deux conditions avec une vidéo interactive. Le faible nombre de pauses ne nous permettent pas de vérifier si les pauses réalisées concordent avec les limites d'évènements de la procédure décrite. Nous pouvons simplement observer que la grande majorité des pauses libres est effectuée dans le premier tiers de la vidéo, lors des deux étapes montrant la phase de réalisation du patron (voir Figure 10)

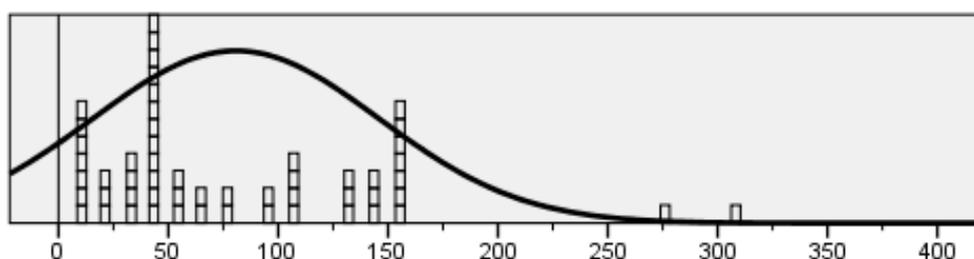


Figure 10 : moment de la vidéo où les étudiants réalisent des pauses libres

2.4.2. Qualité de l'apprentissage

Les statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage sont reportées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage

Condition	Test de rappel ^a		Test d'apprentissage de la procédure ^b		Temps de réalisation de la procédure (s)	
	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>
Vidéo non-interactive	4.52	345.83	38.43	8.52	305.03	96.90
Vidéo interactive	4.52	294.36	37.09	9.92	333.18	138.70
Vidéo interactive segmentée	4.73	314.11	44.77*	8.86	285.60	103.99

Note. *M* = Moyenne; *ET* = Ecart-type.

^a La variation possible des scores au test de rappel était 0-15.

^b La variation possible des scores au test d'apprentissage de la procédure était 0-60.

* $p < .05$.

2.4.2.1. Test de rappel

Contrairement à nos attentes, nous ne retrouvons pas de différences significatives entre les différentes conditions au test de rappel ($F < 1$).

2.4.2.2. Test d'apprentissage de la procédure

Un effet de la condition est retrouvé au test d'apprentissage de la procédure, $F(2, 65) = 4.51$, $p = .015$, $\eta^2 = .12$ (voir Figure 11). Les étudiants du groupe avec la vidéo interactive segmentée réussissent mieux à reproduire le patron ($M = 44.7$, $ET = 8.86$) que ceux du

groupe avec une vidéo non-interactive ($M = 38.4$, $ET = 8.52$), $t(65) = 2.44$, $p = .023$, $\eta^2 = .12$, ou avec la vidéo interactive ($M = 37.1$, $ET = 9.92$), $t(65) = 2.74$, $p = .006$, $\eta^2 = .14$. Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes vidéo non-interactive et vidéo interactive.

Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes en ce qui concerne le temps de réalisation de la procédure ($F < 1$).

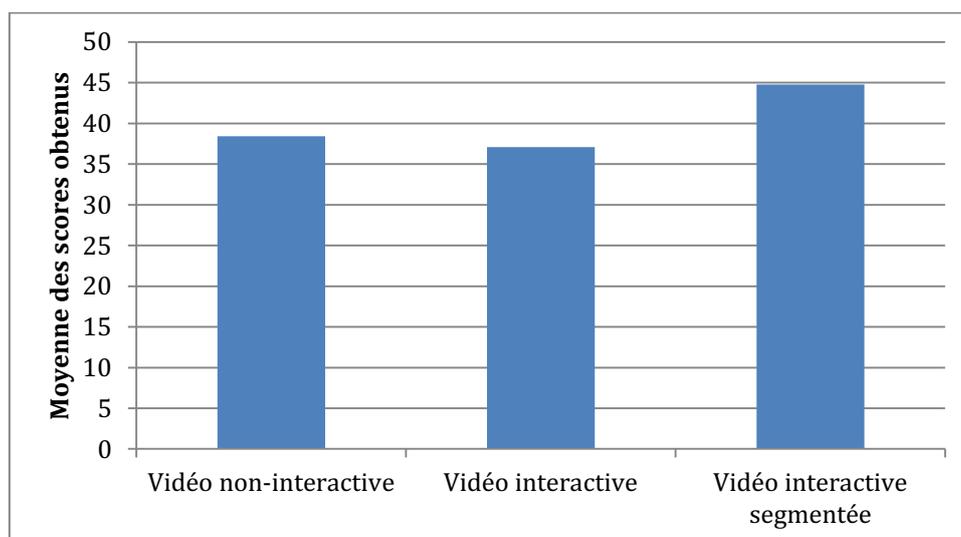


Figure 11 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron

2.4.3. Questionnaire subjectif

La cohérence interne des items a été évaluée par l'alpha de Cronbach. Elle n'est jugée satisfaisante⁹ uniquement pour la dimension « facilité d'apprentissage » ($\alpha = .75$). En revanche, elle est inférieure au seuil d'acceptabilité pour les six autres dimensions (charge cognitive ($\alpha = .64$), attention ($\alpha = .61$), quantité d'informations ($\alpha = .68$), intérêt/motivation ($\alpha = .62$), utilité perçue ($\alpha = .38$) et interaction ($\alpha = .65$)). La dimension « satisfaction globale », ne comportant qu'un seul item, est analysée. En supprimant l'item 6 renvoyant à la l'intérêt/motivation et l'item 18 renvoyant à l'interaction, la cohérence interne est cette fois satisfaisante (respectivement $\alpha = .70$ et $\alpha = .77$). Ces deux dimensions seront donc

⁹ Avec un seuil d'acceptabilité à .70.

analysées après suppression des items 6 et 18. En revanche, l'impossibilité d'arriver à un alpha de Cronbach satisfaisant pour les dimensions « charge cognitive », « attention », « quantité d'informations » et « utilité perçue », ces dernières n'ont pas été analysées. Le Tableau 4 présente les données relatives aux quatre dimensions conservées en fonction de la condition expérimentale.

Tableau 4 : Moyennes et écart-types des réponses aux différentes dimensions du questionnaire subjectif en fonction de la condition expérimentale

Condition	Satisfaction globale		Facilité d'apprentissage		Intérêt/motivation		Interaction	
	M	ET	M	ET	M	ET	M	ET
Vidéo non-interactive	6.80	1.96	4.83	1.72	6.91	1.57	2.08*	1.85
Vidéo interactive	6.47	2.60	5.05	1.49	6.90	1.70	4.48	2.13
Vidéo interactive segmentée	6.00	2.31	4.73	1.82	6.46	2.14	4.55	2.03

Note. M = Moyenne; ET = Ecart-type.

* $p < .05$.

La variation possible des scores au test de rappel était 0-15

Les analyses statistiques n'ont montré aucune différence significative entre les conditions pour les dimensions « satisfaction globale », « facilité d'apprentissage » et « intérêt/motivation ». En revanche, une différence est retrouvée pour la dimension « interaction », $F(2, 65) = 11.15$, $p < .001$. Les participants de la condition avec les vidéos non-interactives estiment avoir moins de possibilités d'interaction et moins de contrôle sur leur apprentissage ($M = 2.08$, $ET = 1.85$) que les groupes avec vidéo interactive ($M = 4.48$, $ET = 2.13$), $t(65) = 4.07$, $p < .001$, $\eta^2 = .27$ ou avec vidéo interactive segmentée ($M = 4.55$, $ET = 2.03$), $t(65) = 4.24$, $p < .001$, $\eta^2 = .29$.

2.5.Conclusion

Le but de cette étude était de mesurer les effets de l'association des possibilités de contrôle du rythme de présentation d'une vidéo par les apprenants (pauses) et de la segmentation, lors de l'apprentissage d'une procédure de rééducation/réadaptation. Notre hypothèse principale était que le fait de donner aux personnes, qui apprennent un geste professionnel à partir d'une vidéo, la possibilité de faire des pauses leur permettrait de contrôler le rythme de présentation de l'information qui leur était délivrée. Ainsi, cela aurait un impact positif sur la qualité de leur apprentissage. Nous pensons également que les apprenants novices n'utiliseraient pas ou peu la possibilité de faire des pauses et que la présentation d'une vidéo segmentée, avec des pauses imposées aux moments significatifs de la procédure, pourrait être un moyen efficace pour surmonter leur difficulté.

Dans cette première étude, nous n'avons constitué que trois groupes pour deux raisons. La première est que la population pouvant participer à cette étude est extrêmement réduite du fait des caractéristiques spécifiques liées au thème de la vidéo. Ainsi, nous ne pouvions inclure que des étudiants en 2^{ème} année d'ergothérapie ou en 3^{ème} année de kinésithérapie. De ce fait, notre taille d'échantillon était relativement faible. La seconde est que la revue de littérature que nous avons réalisée montre que les apprenants novices utilisent peu, ou pas du tout, la fonction pause lors d'apprentissage par vidéo. Aussi, l'association de la segmentation à la possibilité de faire des pauses par l'apprenant, comme réalisé dans la troisième condition, revient probablement, en termes d'interaction, à une condition comprenant uniquement de la segmentation sans possibilité de faire de pauses. Cela évite ainsi la nécessité de former un quatrième groupe.

Concernant les stratégies employées par les étudiants pour apprendre à partir de la vidéo, très peu d'entre eux ont utilisé la fonction pause lorsque celle-ci était disponible. Le peu de pauses réalisées étaient de courte durée. La segmentation de la vidéo, engendrant ainsi des pauses imposées entre chaque séquence, ont entraîné un plus grand nombre de pauses au cours de l'apprentissage. La durée totale de pause était dix fois supérieure que dans le groupe avec la vidéo interactive. En somme, les apprenants novices semblent faire très peu de pauses de leur propre initiative, même s'ils ont la possibilité de le faire lorsqu'ils

le souhaitent. Ces résultats confirment notre première hypothèse. Il est possible que les apprenants aient surestimé leurs capacités cognitives lors de l'apprentissage. Ne ressentant pas le besoin de faire des pauses, ils ne savaient donc qu'ils devaient en faire. La notion d'auto-efficacité est définie par Bandura comme étant les « Croyances en ses propres capacités à organiser et à exécuter les plans d'action nécessaires pour produire une réalisation donnée » (Bandura, 1977, 1997). Lorsque les personnes sont en situation d'apprentissage à partir de matériel multimédia, surtout pour la 1^{ère} fois, ils se sentent moins en confiance, malgré un usage quotidien de ces technologies (Taipjutorus, Hansen, & Brown, 2012). Ils peuvent encore manquer de stratégies d'apprentissage et de compétences technologiques essentielles suffisantes pour que cet apprentissage soit totalement efficace. Ainsi, de futures études pourraient étudier le rôle du monitoring métacognitif et de l'autorégulation de l'apprentissage. Ces processus sont essentiels dans l'apprentissage (Azevedo & Cromley, 2004) et sont étroitement liés aux résultats d'apprentissage dans les environnements multimédias (e.g., Fernandez & Jamet, 2017).

Les apprenants ayant réalisé peu de pauses, il ne nous est pas possible de déterminer précisément si ces pauses sont réalisées aux limites d'évènements de la procédure. Nous pouvons simplement noter que la majorité des pauses sont effectuées au début de la vidéo, lorsque le modèle montre comment réaliser le patron. Nous pouvons émettre deux hypothèses à ce constat. La première est qu'il s'agit de la partie de la vidéo la plus dense en termes de contenu et comportant le plus d'éléments à retenir. Il s'agit également de la partie la plus complexe. Les étudiants ressentiraient donc plus de besoins de faire des pauses que dans les parties suivantes. La seconde hypothèse est que les apprenants s'épuisent au fur et à mesure du visionnage. Le caractère nouveau de ce mode d'apprentissage s'amointrissant à mesure que la vidéo avance, ils sont peut-être moins attentifs et enclins à utiliser la fonction pause. Dans la consigne, il leur a été indiqué qu'ils devraient reproduire ce qu'ils voient sans préciser qu'il s'agirait de la première étape, celle de reproduction du patron. Ils n'avaient donc pas d'intérêt particulier à passer moins de temps pour apprendre les deux derniers tiers de la vidéo.

Nous n'avons pas retrouvé d'effet de la présentation sur les performances au test de rappel. Notre seconde hypothèse n'est donc pas confirmée. Cette absence d'effet pourrait

être due à un effet plancher du test utilisé. Dans chacune des trois conditions, moins d'un tiers des réponses étaient correctes. Il est également possible que la tâche était trop complexe au regard du temps qu'ils avaient à leur disposition pour apprendre la procédure. Une autre explication serait qu'ils n'avaient pas prêté suffisamment attention aux termes employés par la narratrice lors de la présentation vidéo. En effet, les rééducateurs sont avant tout formés, formatés, pour savoir-faire, reproduire une procédure telle que la réalisation du patron, et peut être moins pour retenir les informations verbales qui leurs sont délivrées et pourtant nécessaires pour la bonne application de la procédure enseignée. De plus, dans la consigne, il leur était dit qu'ils devraient reproduire ce qu'ils voient, mais il ne leur a pas été fait mention d'un posttest portant sur des informations verbales.

Toutefois, dans la tâche d'apprentissage procédural, les apprenants du groupe avec la vidéo interactive segmentée ont obtenu de meilleurs résultats que ceux avec la vidéo non-interactive ou ceux avec la vidéo interactive. Aucune différence n'a été relevée entre les groupes avec les vidéos non-interactive et interactive. Notre troisième hypothèse est donc confirmée.

Selon le principe de segmentation décrit par Mayer (2014), segmenter le contenu pédagogique en plusieurs séquences, plutôt que de le présenter en une seule séquence continue, évite de surcharger la mémoire de travail des apprenants (Mayer & Pilegard, 2014). Cette hypothèse est confirmée, dans notre étude pour les performances à la tâche d'apprentissage procédurale, mais pas sur la tâche de rappel. Mayer et Chandler ont obtenu des résultats dans leurs études avec comme support d'apprentissage une animation décrivant le processus de formation des éclairs (Mayer & Chandler, 2001). Une autre hypothèse, complémentaire, mais dépendante, pouvant expliquer ce résultat, est que la segmentation d'une présentation vidéo, à chaque étape de la procédure, rend les limites d'évènements plus saillantes (Spanjers, van Gog, Wouters, et al., 2012). Cela est d'autant plus vrai, que la structure d'une procédure est déjà naturellement segmentée (Arguel & Jamet, 2009). Dans ce cas, la segmentation servirait de guide pour la construction d'un modèle mental pertinent. Tout comme dans l'étude de Spanjers et al. (2012), nos résultats ne nous permettent pas de choisir entre ces deux hypothèses complémentaires, mais interdépendantes.

Les résultats de l'analyse des stratégies des apprenants dans notre étude suggèrent une autre explication complémentaire, dans laquelle l'effet de la segmentation est non seulement dû aux interruptions du système (pauses imposées), mais aussi aux pauses qui suivent ces interruptions dans la vidéo. Si ce temps supplémentaire a été utilisé par les apprenants pour construire un modèle mental plus pertinent de la procédure, il pourrait expliquer pourquoi l'effet de segmentation tend à être observé dans les tâches où une représentation mentale bien structurée de la procédure est nécessaire pour réussir, comme c'est le cas dans notre tâche d'apprentissage procédural. Comme l'ont souligné Merkt, Ballman, Felfeli, et Schwan dans leur étude récente (2016), les recherches futures devraient tester plus en profondeur cette hypothèse en étudiant plus précisément le type de segmentation, c'est-à-dire l'ajout de pauses ou d'un marqueur d'évènements (écran noir par exemple), et la taille des segments. L'analyse des caractéristiques d'une segmentation efficace et de ses effets sur les stratégies d'apprentissage des étudiants, devrait aider davantage les concepteurs de vidéos à fournir des environnements d'apprentissages pertinents.

Lors des pauses imposées par le système dans la condition présentant la vidéo avec interaction et segmentation, la vidéo se figeait et la dernière image de la séquence qui venait d'être vue restait à l'écran. Les résultats ont montré que la durée totale des pauses était dix fois supérieure dans cette condition. Les apprenants ont de ce fait pu voir des images fixes présentant les étapes clés de la procédure ce qui n'était pas le cas dans les autres conditions. Ce temps d'exposition supérieur peut expliquer en partie les meilleures performances au test d'apprentissage procédural. Dans l'expérimentation suivante, nous allons tenter de valider ou d'invalider cette explication possible.

3. Etude 2 : Effet de la durée d'exposition à des images statiques aux étapes clés de la procédure

L'objectif de cette étude est de vérifier si l'effet positif retrouvé par la combinaison du contrôle des pauses par l'apprenant et la segmentation d'une vidéo est lié à un temps d'exposition plus important avec visualisation d'images fixes aux étapes clés de la procédure.

3.1.Introduction

Les études réalisées sur l'effet des pauses ou de la segmentation dans les vidéos ont démontré que cela pouvait avoir un effet bénéfique sur la qualité et l'efficacité de l'apprentissage (cf. partie 3). L'utilisation des pauses permet à l'apprenant d'avoir plus de temps pour réaliser le traitement cognitif de l'information qui vient d'être reçu en limitant les effets néfastes de la labilité de l'information (Wouters et al., 2007). La segmentation permet de recevoir l'information en plus petites unités et offre des indices temporels. L'indiçage temporel apporte des limites naturelles plus saillantes aux évènements donnant ainsi des indications sur la structure sous-jacente de la procédure (e.g. Schwan et al., 2000; Spanjers et al., 2010). La première étude a montré que laisser la possibilité aux apprenants de faire des pauses ne permet pas d'améliorer l'apprentissage d'une procédure. Conformément aux études dans ce domaine, nos résultats montrent que les étudiants novices utilisent pas ou peu la possibilité de contrôle du rythme de la vidéo soit parce qu'ils surestiment leurs capacités et n'en ressentent donc pas le besoin, soit parce qu'ils ne savent pas à quel moment faire des pauses.

Dans la condition avec vidéo interactive et segmentée, les apprenants ont fait un total de pauses dix fois supérieur à la condition avec la vidéo interactive. Lors des pauses imposées par le système, l'image restait figée sur la dernière image de la procédure,

correspondant par nature à une étape clé de la procédure qui devait être apprise par le participant. Ainsi, les apprenants ont été à la fois exposés plus longuement au matériel d'apprentissage et ils ont également pu bénéficier de l'adjonction d'images statiques aux limites d'évènements de la procédure en plus de la vidéo. Arguel et Jamet (2009) ont montré que l'association d'une vidéo avec des images fixes aux étapes clés d'une procédure, améliore les apprentissages. Dans la deuxième expérience de cette étude, portant sur les soins d'urgence, ils ont démontré que la présentation séquentielle simultanée d'images fixes aux limites d'évènements d'une procédure présentée dans une vidéo, permet d'améliorer la qualité de l'apprentissage. L'hypothèse des auteurs est liée au fait que l'ajout d'images statiques à une vidéo permettrait de limiter la labilité de l'information et de mettre en saillance les étapes importantes de la procédure.

L'objectif de cette seconde expérimentation est donc de tenter de vérifier si les meilleurs résultats obtenus par le groupe avec vidéo interactive segmentée dans la première étude sont liés ou non à un temps d'exposition plus important au matériel pédagogique et à l'adjonction d'images statiques aux étapes de la procédure.

3.2. Hypothèses

Notre première hypothèse est que, conformément aux résultats obtenus lors de la première expérimentation, les participants qui apprendront à partir d'une vidéo segmentée par un écran noir seront davantage incités à faire des pauses libres que ceux qui apprendront avec la version interactive (non segmentée) du matériel. De plus, n'ayant pas accès à une image fixe montrant une étape de la procédure au cours de cette pause, ils devraient faire plus de pauses libres que le groupe avec une vidéo interactive segmentée par des images fixes (nombre de pauses libres version interactive segmentée écran noir > interactive segmentée images fixes > interactive non segmentée).

Notre seconde hypothèse est que le bénéfice retrouvé dans la condition avec la vidéo interactive segmentée est lié aux pauses qui évitent une surcharge de la mémoire de travail du fait de la labilité de l'information, et de la segmentation qui donne des indices sur la structure de la procédure et délivre l'information en plus petites unités. Nous pensons que la

supériorité de ce mode de présentation n'est pas liée à l'augmentation de l'exposition au matériel, ni à l'insertion d'images fixes aux étapes de la procédure.

Ainsi, nous prédisons que si l'effet bénéfique est lié au temps d'exposition au matériel et l'insertion d'images fixes aux étapes clés, les participants de la condition avec vidéo interactive et segmentée par une image fixe auront de meilleurs résultats que le groupe avec vidéo interactive segmentée par un écran noir. Le groupe avec une vidéo interactive aura un résultat inférieur aux deux autres (vidéo interactive segmentée par une image fixe > vidéo interactive segmentée par un écran noir > vidéo interactive).

Si l'effet bénéfique est lié à l'association de la segmentation et des pauses, les participants de la condition avec vidéo interactive et segmentée par une image fixe auront les mêmes performances que le groupe avec vidéo interactive segmentée par un écran noir. Le groupe avec une vidéo interactive aura un résultat inférieur aux deux autres (vidéo interactive segmentée par une image fixe = vidéo interactive segmentée par un écran noir > vidéo interactive).

3.3.Méthode

3.3.1. Participants

Comme pour la première étude, les participants à l'étude ont été recrutés à l'Institut de Formation en Pédiatrie-podologie, Ergothérapie et masso-Kinésithérapie (IFPEK) de Rennes. Dans cette expérimentation, il s'agissait d'étudiants en troisième année de formation en masso-kinésithérapie. L'échantillon était constitué de 80 étudiants (37 femmes et 43 hommes). L'âge moyen était de 22,91 ans (ET = 3.30). Les participants ont été répartis aléatoirement et équitablement dans les trois groupes expérimentaux. Il s'agissait des groupes « vidéo interactive » (n = 26), « vidéo interactive segmentée par une image fixe » (n = 27) et « vidéo interactive segmentée par un écran noir » (n = 27).

N'ayant pas retrouvé de différences sur les performances d'apprentissage dans la première étude entre le groupe avec vidéo non interactive et le groupe avec vidéo interactive, nous avons pris le parti de ne pas reproduire la condition avec la vidéo non

interactive. De plus les apprenants réalisent peu de pauses par eux-mêmes (en moyenne 2). Ce mode de présentation ne reproduit pas une condition écologique car dans la grande majorité des cas un apprenant peut faire des pauses lorsqu'il consulte une vidéo sur un support informatique.

Pour contrôler que tous les participants soient novices, nous avons planifié les expérimentations à la fin du second semestre de troisième année (S6), avant le démarrage des travaux dirigés. Ils ont tous assisté à un cours magistral de deux heures qui a permis de découvrir les généralités sur la conception des orthèses, définir les termes employés et connaître les propriétés des matériaux. Nous nous sommes assurés qu'ils étaient novices en leur demandant d'auto évaluer leur degré d'expertise sur une échelle de Likert allant de 1 à 10. La moyenne obtenue est de 2,77 ($ET = 1.36$) pour le groupe « vidéo interactive », 3,37 ($ET = 1.49$) pour le groupe « vidéo interactive segmentée par une image fixe » et 3,26 ($ET = 1.37$) pour le groupe « vidéo interactive segmentée par un écran noir ». Aucune différence n'est retrouvée entre les trois groupes ($F = 1.34, p = .266$). En ce qui concerne l'auto-évaluation de leur niveau d'expertise en informatique, la moyenne obtenue est de 5,42 ($ET = 1.92$) pour le groupe « vidéo interactive », 4,70 ($ET = 1.40$) pour le groupe « vidéo interactive segmentée par une image fixe » et 5,26 ($ET = 1.48$) pour le groupe « vidéo interactive segmentée par un écran noir ». Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes ($F = 1.45, p = .240$).

3.3.2. Matériel

Le matériel utilisé dans cette expérimentation est identique à la première étude. Trois versions du matériel ont été réalisées :

- *Vidéo interactive* (identique expérience 1) : la vidéo est diffusée en flux continu. Les participants ont la possibilité de faire des pauses s'ils le souhaitent. Seul le bouton lecture/pause (play/pause) apparaît à l'écran
- *Vidéo interactive et segmentée par une image fixe* (identique expérience 1) : la vidéo est découpée en 25 segments et s'arrête automatiquement à la fin des segments. Lors des pauses, l'image est figée sur la dernière image du

segment qui vient d'être visionné. L'apprenant doit cliquer sur le bouton lecture pour continuer la vidéo et passer au segment suivant. Il a également la possibilité de faire des pauses lorsqu'il le souhaite.

- *Vidéo interactive et segmentée par écran noir* : la vidéo est identique à la précédente. Lors des pauses imposées par le système, l'image figée est remplacée par un écran noir.

Le matériel était présenté dans les mêmes conditions que pour la première étude (disposition de la salle, matériel informatique, logiciels utilisés, lecteur vidéo).

3.3.3. Procédure expérimentale

La procédure est identique à celle de l'expérience 1. Toutefois, pour alléger la procédure et compte tenu du peu d'informations obtenues par le questionnaire subjectif dans la première étude, nous avons décidé de ne pas l'administrer. Le test de rappel et le test d'apprentissage de la procédure sont identiques. La consigne donnée par l'examineur était également la même.

3.3.4. Mesures

Les mesures sont identiques à l'expérimentation 1, aussi bien au niveau de l'utilisation du bouton de pause que pour la qualité de l'apprentissage (test de rappel et test d'apprentissage de la procédure).

3.4. Résultats

3.4.1. Utilisation du bouton pause

Les statistiques descriptives de l'utilisation du bouton pause sont reportées dans le Tableau 5.

Plus de la moitié des étudiants ont utilisé la fonction pause au cours de la vidéo : 57,69% dans le groupe avec vidéo interactive, 62,96% dans le groupe avec vidéo interactive segmentée par une image fixe et 70,37% dans le groupe avec vidéo interactive segmentée par un écran noir. Aucune différence significative n'est retrouvée entre les groupes en ce qui concerne le nombre de pauses ($F < 1$).

En revanche la durée des pauses libres est significativement plus importante dans le groupe avec vidéo interactive que le groupe avec vidéo segmentée par des images fixes ($M = 40.76$, $ET = 52.27$ vs $M = 15.04$, $ET = 22.98$), $F(1, 51) = 5.44$, $p = 0.024$, $\eta^2 = .09$. Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec vidéo interactive et vidéo interactive segmentée par un écran noir, ainsi qu'entre les groupes avec vidéo interactive segmentée par une image fixe et vidéo interactive segmentée par un écran noir ($F < 1$).

Tableau 5 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause

Condition	Nombre de pauses libres		Durée des pauses libres (s)		Durée des pauses imposées (s)		Durée totale des pauses (s)	
	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>
Vidéo interactive	2.81	3.33	40.76*	52.27	-	-	40.76*	52.27
Vidéo interactive segmentée images fixes	2.41	3.00	15.04	22.98	136.10*	70.15	151.15*	75.75
Vidéo interactive segmentée écran noir	3.63	5.30	25.74	45.35	64.22	31.33	89.97*	50.86

Note. *M* = Moyenne; *ET* = Ecart-type.

* $p < .05$.

Les étudiants du groupe avec la vidéo interactive segmentée par des images fixes a une durée moyenne de pauses imposées par le système deux fois plus longue que le groupe avec la vidéo interactive segmentée par un écran noir ($M = 136.10$, $ET = 70.15$ vs $M = 64.22$, $ET = 31.33$), $F(1, 52) = 23.63$, $p < 0.001$, $\eta^2 = .31$ (voir Figure 12).

De fait, un effet est retrouvé sur la durée totale de pauses (pauses libres gérées par l'apprenant et pauses imposées par le système) $F(2, 77) = 23.63$, $p < .001$, $\eta^2 = .36$. Les participants du groupe avec vidéo interactive segmentée par images fixes ont un temps de pauses total supérieur ($M = 151.15$, $ET = 75.75$) au groupe avec vidéo interactive ($M = 40.76$, $ET = 52.27$), $t(51) = 6.15$, $p < .001$, $\eta^2 = .42$, ou avec la vidéo interactive segmentée par un écran noir ($M = 89.97$, $ET = 50.86$), $t(52) = 3.48$, $p = .006$, $\eta^2 = .18$. De même le groupe avec vidéo interactive segmentée par un écran noir a un temps de pause total plus de deux fois supérieur au groupe avec vidéo interactive $F(1, 51) = 3.47$, $p = 0.004$, $\eta^2 = .19$.

Le temps total de pauses ayant un impact direct sur le temps de consultation de la vidéo, les apprenants du groupe avec vidéo interactive segmentée par des images fixes ont mis plus de temps pour apprendre que les deux autres groupes.

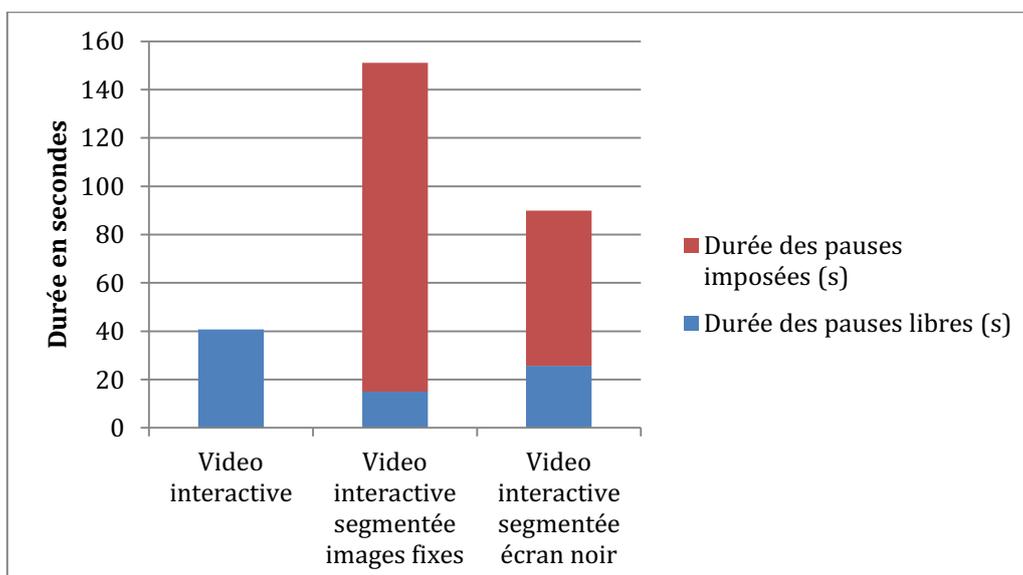


Figure 12 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo

3.4.1. Qualité de l'apprentissage

Les statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage sont reportées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage

Condition	Test de rappel ^a		Test d'apprentissage de la procédure ^b		Temps de réalisation de la procédure (s)	
	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>
Vidéo interactive	5.35	2.46	39.08*	6.15	311.71	97.49
Vidéo interactive segmentée images fixes	5.19	2.78	45.07	8.25	410.28*	169.27
Vidéo interactive segmentée écran noir	4.52	1.90	42.96	6.61	312.29	106.82

Note. *M* = Moyenne; *ET* = Ecart-type.

^a La variation possible des scores au test de rappel était 0-15.

^b La variation possible des scores au test d'apprentissage de la procédure était 0-60.

* $p < .05$.

3.4.1.1. Test de rappel

Aucune différence significative n'est retrouvée entre les différentes conditions au test de rappel ($F < 1$).

Une corrélation linéaire semble exister entre la durée des pauses imposées par le système et les performances au test de rappel (plus la durée des pauses est importante, meilleur est le test de rappel). Le coefficient de corrélation de Pearson indique un effet de taille moyenne selon les balises de Cohen (1988) $r = .31$ ($p = .021$).

3.4.1.2. Test d'apprentissage de la procédure

Un effet de la condition est retrouvé au test d'apprentissage de la procédure, $F(2, 77) = 4.87, p = .010, \eta^2 = .11$ (voir Figure 13). Les étudiants du groupe avec la vidéo interactive réussissent moins bien à la tâche de reproduction du patron ($M = 39.08, ET = 6.15$) que ceux du groupe avec une vidéo interactive segmentée par des images fixes ($M = 45.07, ET = 8.25$), $t(51) = 2.99, p = .003, \eta^2 = .14$, ou avec la vidéo interactive segmentée par un écran noir ($M = 42.96, ET = 6.61$), $t(51) = 2.21, p = .049, \eta^2 = .08$. Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec vidéo interactive segmentée par des images fixes et avec vidéo interactive segmentée par un écran noir.

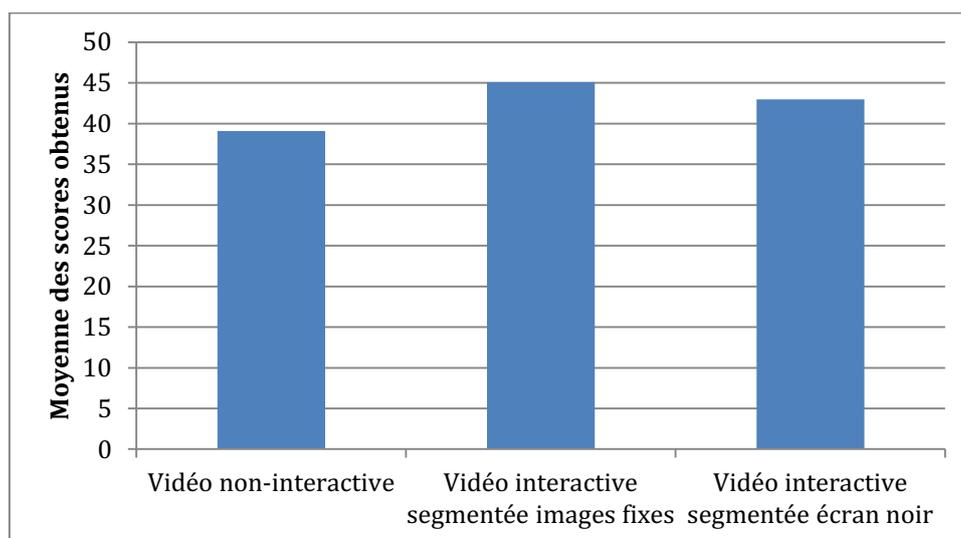


Figure 13 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron

Un effet est également retrouvé au niveau du temps de réalisation de la procédure $F(2, 77) = 5.08, p = .009, \eta^2 = .12$. Les participants du groupe avec vidéo interactive segmentée par des images fixes mettent significativement plus de temps à reproduire la procédure ($M = 410.28, ET = 169.27$) que ceux des groupes avec vidéo interactive ($M = 311.71, ET = 97.49$), $t(50) = 2.54, p = .008, \eta^2 = .11$, ou avec la vidéo interactive segmentée par un écran noir ($M = 312.29, ET = 106.82$), $t(51) = 2.50, p = .007, \eta^2 = .11$. Aucune

différence n'est retrouvée entre les groupes avec vidéo interactive et avec vidéo interactive segmentée par un écran noir.

3.5.Conclusion

La première étude a montré que l'association de pauses contrôlées par l'apprenant et de la segmentation engendrée par des pauses imposées par le système améliorerait l'apprentissage d'une procédure par vidéo. Lors des pauses imposées, la dernière image de la séquence qui venait d'être visionnée restait figée à l'écran. Cela entraînait un temps d'apprentissage plus long, une exposition aux étapes clés de la procédure plus importante et l'affichage d'images fixes aux limites d'évènements. Des études ont pu montrer que l'apprentissage était amélioré lorsque la vidéo était associée à des images fixes aux étapes clés d'une procédure (Arguel & Jamet, 2009). L'objectif de cette seconde étude était donc de vérifier si les bénéfices de cette association de pauses par l'utilisateur et de segmentation gérée par le système sont liés à la mise à disposition d'images fixes aux limites d'évènements.

Notre première hypothèse était que les participants qui apprennent avec une vidéo interactive segmentée par un écran noir seront incités à faire des pauses. N'ayant pas accès à du contenu au cours de ces pauses, ils devaient en réaliser plus que les deux autres groupes. Notre seconde hypothèse était que le bénéfice retrouvé lorsque la vidéo est interactive et segmentée est lié aux pauses qui évitent une surcharge de la mémoire de travail du fait de la labilité de l'information, et de la segmentation qui donne des indices sur la structure de la procédure et délivre l'information en plus petites unités.

Concernant la stratégie d'apprentissage, les résultats montrent que les apprenants novices font peu de pauses par eux-mêmes. Cela confirme les résultats retrouvés dans la première expérimentation, ainsi que dans d'autres études (e.g. Hasler et al., 2007; Sage et al., 2015; Tabbers & Koeijer, 2010). Nous ne retrouvons pas de différences significatives entre les groupes en ce qui concerne le nombre de pauses réalisées. Notre première hypothèse ne peut donc pas être validée. Il est possible que le fait de voir la vidéo s'arrêter seule à 24 reprises, sans afficher de contenu, ait engendré une certaine lassitude de la part

des étudiants du groupe avec la vidéo interactive segmentée par un écran noir au fur et à mesure de la vidéo. Cela pourrait contrebalancer l'incitation à réaliser davantage de pauses par eux-mêmes.

Le groupe avec la vidéo interactive a fait des pauses libres plus longues que les deux autres groupes. Cependant, leur temps de pause total est très inférieur aux deux autres groupes qui ont pu bénéficier de 24 pauses imposées par le système. Les étudiants du groupe avec la vidéo interactive segmentée par des images fixes ont un temps de pauses imposées plus important (plus du double) que ceux avec écran noir. Cela peut tout à fait se comprendre car les étudiants, se trouvant devant un écran noir, ont plus vite appuyé sur le bouton lecture. Ils ont toutefois attendu en moyenne 2,6 secondes avant de relancer la lecture de la vidéo (contre 5,6 secondes pour le groupe avec vidéo interactive segmentée par des images fixes). Ce temps leur a donc été profitable pour réaliser les traitements cognitifs de l'information qui leur a été présentée et ainsi libérer de l'espace en mémoire de travail. Les apprenants du groupe avec la vidéo segmentée présentant des images fixes ont pu, en plus de ce même traitement de l'information et de la libération d'espace en mémoire de travail, consulter de manière plus approfondie le contenu de l'image affichée qui correspondait à une étape clé de la procédure. Il semblerait donc que les apprenants réalisent une tâche cognitive complémentaire à ce moment-là et profiteraient de l'affichage des étapes clés pour la construction du modèle mental de la procédure. Cela pourrait confirmer les résultats de l'étude de Arguel et Jamet (2009).

Concernant la qualité de l'apprentissage, comme dans la première étude, nous ne trouvons pas de différence au niveau du test de rappel. Les apprenants avec les deux versions de la vidéo interactive segmentée réussissent mieux à la tâche de réalisation de la procédure que ceux avec la version uniquement interactive. Ce résultat conforte ceux de la première étude. En revanche, nous ne retrouvons pas de différence entre les groupes avec la vidéo segmentée par des images fixes et ceux avec un écran noir. Cela confirme notre seconde hypothèse. Les bénéfices des pauses et de la segmentation pour l'apprentissage d'une procédure ne semblent donc pas être liés à l'insertion d'images fixes aux étapes de la procédure ou à un temps d'exposition plus important au matériel. Ce bénéfice est donc davantage lié à la réduction de la charge cognitive et à une meilleure compréhension de la

structure sous-jacente de l'information (e.g. Merkt et al., 2016; Spanjers, van Gog, Wouters, et al., 2012).

Contre toute attente, les étudiants du groupe avec la version interactive et segmentée par des images fixes ont mis plus de temps pour reproduire le patron que les deux autres groupes. Si le temps de réalisation est un critère d'efficacité de l'apprentissage, nous pouvons considérer que ces étudiants ont moins bien appris que les autres. De plus, ils ont mis plus de temps pour apprendre la procédure car leur temps de pause total est plus important que celui des deux autres groupes. Une explication à ce résultat serait qu'ils ont stocké différemment l'information en mémoire à long terme, en l'intégrant dans leur modèle mental et qu'ils ont mis plus de temps pour rappeler cette information lors de la tâche qui leur était demandée. L'encodage de l'information étant meilleur, ils se sont peut-être rappelés de plus d'éléments de la procédure ce qui leur a demandé plus de temps pour la reproduire. De la même manière, les apprenants des groupes avec la vidéo interactive et avec la vidéo interactive segmentée par un écran noir ont peut être mis moins de temps car ils ne se rappelaient plus de la procédure et ont donc terminé plus tôt ne sachant quoi faire. Cependant, cette hypothèse ne peut être retenue car les apprenants avec la version interactive segmentée par une image fixe ont obtenu les mêmes performances à cette tâche que par ceux avec un écran noir. Une autre hypothèse expliquant ce résultat serait que les apprenants du groupe avec un écran noir se sont focalisés sur les limites d'évènements créés par les pauses générées par le système. Dans le cas du groupe avec des images fixes, ils avaient, en plus de ces limites d'évènements, à traiter l'information donnée par les images fixes. Ils étaient ainsi en double tâche. Il est donc probable que cela a augmenté la charge cognitive inutile avec un effet délétère sur la qualité de l'apprentissage (e.g. Arguel & Jamet, 2009).

Il semblerait exister un lien entre la durée des pauses imposées et les performances au test de rappel. Toutefois, nos résultats montrent un effet de taille moyenne, ce qui rend difficile d'affirmer ce résultat. La troisième expérimentation va tenter de vérifier si la durée des pauses imposées influe positivement sur les performances au test de rappel.

4. Etude 3 : Impact de la durée des pauses imposées

L'objectif de cette étude est de voir si la durée des pauses imposées par le système a un impact sur les performances d'apprentissage d'une procédure par l'intermédiaire d'une vidéo.

4.1.Introduction

Les deux études précédentes ont validé l'apport de la segmentation gérée par le système, associé au contrôle du rythme par l'apprenant lors de l'apprentissage d'une procédure médicale par vidéo. Les résultats montrent que les apprenants réalisent peu de pauses par eux-mêmes et que l'ajout de pauses imposées aux étapes clés de la procédure permet de souligner les limites d'évènements et donne ainsi des indices sur la structure sous-jacente de la procédure (Mayer & Pilegard, 2014; Spanjers et al., 2010). Cette segmentation aide l'étudiant à construire le modèle mental de la procédure enseignée. Lors des pauses, les apprenants peuvent réaliser les activités cognitives nécessaires au traitement de l'information qu'ils viennent de recevoir, limitant ainsi les effets néfastes de la labilité de l'information (Ayres & Paas, 2007a; Mayer & Moreno, 2003; Moreno & Mayer, 2007; Wouters et al., 2007).

Dans la seconde expérimentation, les étudiants avec les vidéos interactives segmentées ont attendu en moyenne 5,6 secondes avant de redémarrer la vidéo lors des pauses imposées avec une image fixe, et 2,6 secondes pour la vidéo avec un écran noir. Dans la première étude, la durée moyenne des temps de pauses imposées était de 6,1 secondes. Il semblerait que ce temps de pause soit important pour les apprenants et qu'ils profitent de ce moment pour réaliser des activités cognitives nécessaires au traitement de l'information. Il semblerait que plus la durée des pauses imposées est importante, plus l'apprenant obtient un score important au test de rappel. Cependant les résultats des études précédentes ne permettent pas de l'affirmer. A notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée pour vérifier l'impact de la durée des pauses imposées sur la qualité de l'apprentissage par

vidéo. Seules des études empiriques ont montré que des pauses de 2 secondes pouvaient suffire pour éviter une surcharge cognitive en mémoire de travail (Spanjers et al., 2010). Mayer et Pilegard (2014) suggèrent d'insérer des courtes pauses de 2 à 5 secondes entre chaque segment.

Les équipes de recherche ayant étudié les effets des pauses entre des segments lors d'apprentissage par des visualisations dynamiques ont imposé des pauses d'une durée différente avant que la vidéo ou l'animation ne reprenne automatiquement. A la lecture, des articles relayant leurs expérimentations, aucune argumentation ne semble justifier ce choix de durée. La durée des pauses entre les segments varie de 2 secondes (Khacharem et al., 2013; Spanjers, van Gog, Wouters, et al., 2012; Spanjers et al., 2011) à 5 secondes (Singh et al., 2012). Schwan et Garsoffky (2004) ont utilisé un écran noir d'une seconde pour marquer les limites d'évènements. Dans l'étude de Hasler et al. (2007), un premier groupe d'apprenants pouvaient faire des pauses avant de reprendre la lecture de la vidéo lorsqu'ils le souhaitaient. Dans un second groupe, l'animation s'arrêtait à la fin de chaque segment et l'apprenant devait cliquer sur le bouton lecture pour redémarrer la visualisation. Alors que les participants du premier groupe n'ont que très rarement utilisé la fonction pause, les étudiants du second groupe ont attendu en moyenne 2,40 secondes avant de redémarrer la vidéo.

Dans leur étude où l'animation s'arrêtait automatiquement aux limites d'évènements pendant 2 secondes avant de reprendre automatiquement, Spanjers et al. (2011) concluent en indiquant que des pauses de deux secondes sont probablement trop courtes pour que l'apprenant puisse réaliser le traitement cognitif nécessaire de l'information qui vient de lui être présentée. Cette conclusion rejoint les résultats de nos deux premières études où les apprenants ont attendu entre 5,6 et 6,1 secondes avant de reprendre la lecture de la vidéo lors des pauses imposées avec une image fixe de la procédure.

L'objectif de cette étude est donc de vérifier si le temps de pause imposée par le système entre chaque segment de la procédure a un impact sur la qualité de l'apprentissage.

4.2. Hypothèse

Notre hypothèse est que les apprenants novices ont besoin d'un temps de pause important entre chaque étape d'une procédure présentée dans une vidéo, pour réaliser le traitement cognitif nécessaire et limiter la charge cognitive en mémoire de travail. Certains étudiants surestiment leurs capacités d'apprentissage et ont ainsi tendance à reprendre la vidéo trop rapidement. Le fait d'imposer une durée minimale de pauses entre les segments devrait améliorer la qualité de l'apprentissage, que ce soit au test de rappel ou au test d'apprentissage de la procédure (vidéo segmentée avec temps de pause imposé > vidéo segmentée).

4.3. Méthode

4.3.1. Participants

Les participants de cette étude ont été recrutés en deuxième année de formation en ergothérapie à l'Institut de Formation en Pédiatrie-podologie, Ergothérapie et masso-Kinésithérapie (IFPEK) de Rennes. L'échantillon était constitué de 65 étudiants (60 femmes et 5 hommes). L'âge moyen était de 21,65 ans ($ET = 3.64$). Les participants ont été répartis aléatoirement et équitablement dans les trois groupes expérimentaux. Il s'agissait des groupes « vidéo interactive » ($n = 22$), « vidéo interactive segmentée » ($n = 22$) et « vidéo interactive segmentée avec durée de pause imposée » ($n = 21$).

Le recrutement s'est déroulé de la même manière que lors des deux précédentes études. Les étudiants étaient novices et la manipulation s'est déroulée entre le cours magistral et les travaux dirigés. La moyenne obtenue à l'autoévaluation de leur degré d'expertise sur la conception des orthèses est de 1,95 ($ET = 1.17$) pour le groupe « vidéo interactive », 2,32 ($ET = 1.39$) pour le groupe « vidéo interactive segmentée » et 2,24 ($ET = 1.41$) pour le groupe « vidéo interactive segmentée avec durée de pause imposée ». Aucune différence n'est retrouvée entre les trois groupes ($F < 1$). En ce qui concerne l'autoévaluation de leur niveau d'expertise en informatique, la moyenne obtenue est de 4,91 ($ET = 1.26$) pour le groupe « vidéo interactive », 5,36 ($ET = 0.95$) pour le groupe « vidéo interactive

segmentée » et 5,00 ($ET = 1.44$) pour le groupe « vidéo interactive segmentée avec durée de pause imposée ». Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes ($F < 1$).

4.3.2. Matériel

Le matériel utilisé dans cette expérimentation est identique aux deux premières études. Trois versions du matériel ont été réalisées :

- *Vidéo interactive* (identique expériences 1 et 2) : la vidéo est diffusée en un flux continu. Les participants ont la possibilité de faire des pauses s'ils le souhaitent. Seul le bouton lecture/pause (play/pause) apparaît à l'écran
- *Vidéo interactive et segmentée* (identique expériences 1 et 2) : la vidéo est découpée en 25 segments et s'arrête automatiquement à la fin des segments. Lors des pauses, l'image est figée sur la dernière image du segment qui vient d'être visionné. L'apprenant doit cliquer sur le bouton lecture pour continuer la vidéo et passer au segment suivant. Il a également la possibilité de faire des pauses lorsqu'il le souhaite.
- *Vidéo interactive et segmentée avec durée de pause imposée* : la vidéo est identique à la précédente. Lors des pauses imposées par le système, l'apprenant ne peut pas appuyer sur le bouton lecture avant 3,39 secondes, le bouton n'apparaissant qu'après ce délai. Il a la possibilité de rester en pause plus longtemps s'il le souhaite. Pour calculer ce temps de 3,39 secondes, nous avons retenu uniquement les 50% de l'échantillon de la seconde expérimentation ayant obtenu le meilleur score au test de rappel. Nous avons choisi de prendre ce critère en considération car nous avons retrouvé une corrélation entre le score au test de rappel et la durée des pauses imposées par le système, mais avec une faible force. La durée de 3,39 secondes correspond à la médiane de la durée des pauses imposées réalisées par ces treize participants du groupe avec vidéo interactive segmentée par des images fixes.

Le matériel était présenté dans les mêmes conditions que pour les deux premières études (disposition de la salle, matériel informatique, logiciels utilisés, lecteur vidéo).

4.3.3. Procédure expérimentale

La procédure est identique à celles de l'expérience 1 et 2. Le test de rappel et le test d'apprentissage de la procédure sont identiques. La consigne donnée par l'examineur était également la même.

4.3.4. Mesures

Les mesures sont identiques aux deux premières expérimentations, aussi bien au niveau de l'utilisation du bouton de pause que pour la qualité de l'apprentissage (test de rappel et test d'apprentissage de la procédure).

4.4. Résultats

4.4.1. Utilisation du bouton pause

Les statistiques descriptives de l'utilisation du bouton pause sont reportées dans le Tableau 7.

Les étudiants des groupes avec la vidéo interactive et avec la vidéo interactive segmentée ont majoritairement réalisé des pauses libres lors de la consultation de la vidéo (respectivement 20/22, soit 90,9% et 18/22, soit 81,8%). En revanche, seulement la moitié des apprenants du groupe avec la vidéo interactive segmentée avec une durée de pause imposée ont réalisé des pauses libres (11/21, soit 52,3%). Un effet est retrouvé sur le nombre de pauses libres réalisées $F(2, 62) = 5.94, p = .004, \eta^2 = .16$. Les apprenants qui ont fait des pauses libres, en ont fait significativement moins dans le groupe avec la vidéo interactive segmentée avec une durée de pause imposée ($M = 1.33, ET = 1.88$) que ceux du groupe avec la vidéo interactive ($M = 5.86, ET = 6.25$), $t(41) = 3.18, p = .001, \eta^2 = .19$. Aucune

différence n'est retrouvée entre le groupe avec la vidéo interactive segmentée ($M = 3.41$, $ET = 3.54$) et les deux autres groupes ($F < 1$).

Un effet est également retrouvé sur la durée des pauses libres $F(2, 62) = 7.09$, $p = .002$, $\eta^2 = .18$. Les apprenants du groupe avec la vidéo interactive ont une durée de pauses libres significativement plus importantes ($M = 62.89$, $ET = 68.82$) que ceux du groupe avec la vidéo interactive segmentée ($M = 21.40$, $ET = 30.16$), $t(42) = 2.58$, $p = .004$, $\eta^2 = .13$ ou ceux du groupe avec la vidéo interactive segmentée avec une durée de pause imposée ($M = 14.63$, $ET = 23.69$), $t(41) = 3.04$, $p = .001$, $\eta^2 = .18$. Même si le groupe avec la vidéo interactive segmentée semble faire des pauses libres plus longues que le groupe avec la vidéo interactive segmentée avec une durée de pause imposée, aucune différence n'est notée entre ces deux groupes ($F < 1$).

Tableau 7 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause

Condition	Nombre de pauses libres		Durée des pauses libres (s)		Durée des pauses imposées (s)		Durée totale des pauses (s)	
	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>
Vidéo interactive	5.86*	6.25	62.89*	68.82	-	-	62.89*	68.82
Vidéo interactive segmentée	3.41	3.41	21.40	30.16	106.20	44.92	127.61*	50.70
Vidéo interactive segmentée avec durée de pause imposée	1.33*	1.88	14.63	23.69	185.60*	62.62	200.23*	77.99

Note. *M* = Moyenne; *ET* = Ecart-type.

* $p < .05$.

Les étudiants du groupe avec la vidéo interactive segmentée avec une durée de pause imposée a une durée moyenne de pauses imposées par le système plus importante que le groupe avec la vidéo interactive segmentée ($M = 185.60, ET = 62.62$ vs $M = 106.20, ET = 44.92$), $F(1, 41) = 22.98, p < 0.001, \eta^2 = .35$.

Dans la condition avec la vidéo interactive segmentée avec une durée de pause imposée, la somme totale des pauses imposées pendant laquelle les apprenants ne pouvaient relancer la vidéo est de 81,36 secondes (24 pauses inter-segments x 3,39s). En retirant ce temps de la durée totale des pauses imposées de ce groupe (185,60s), nous retrouvons une moyenne de 104,24 secondes, ce qui est comparable à la durée totale de pauses imposées dans le groupe avec vidéo interactive segmentée (106,20 s).

De fait, un effet est retrouvé sur la durée totale de pauses (pauses libres gérées par l'apprenant et pauses imposées par le système) $F(2, 62) = 22.84, p < .001, \eta^2 = .42$. Les participants du groupe avec vidéo interactive segmentée avec une durée de pause imposée ont un temps de pauses total supérieur ($M = 200.23, ET = 77.99$) au groupe avec vidéo interactive ($M = 62.89, ET = 68.82$), $t(41) = 6.13, p < .001, \eta^2 = .47$, ou avec la vidéo interactive segmentée ($M = 127.61, ET = 50.71$), $t(41) = 3.63, p = .001, \eta^2 = .24$. De même le groupe avec vidéo interactive segmentée a un temps de pause total plus de deux fois supérieur au groupe avec vidéo interactive, $t(41) = 3.55, p = 0.002, \eta^2 = .23$ (voir Figure 14).

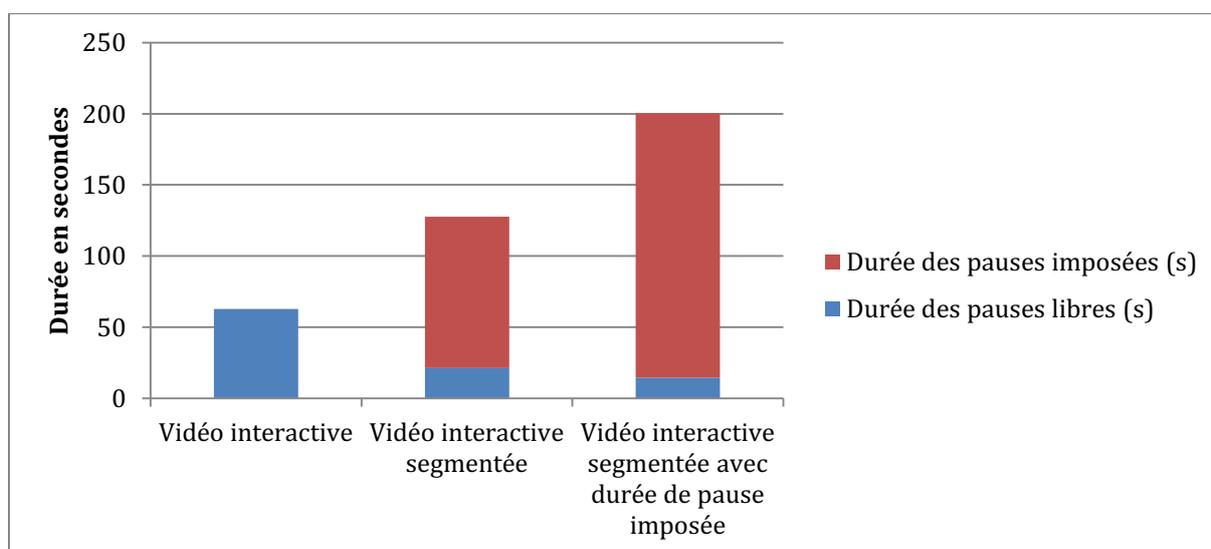


Figure 14 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo

Le temps total de pauses ayant un impact direct sur le temps de consultation de la vidéo, les apprenants du groupe avec vidéo interactive segmentée avec durée de pause imposée ont mis plus de temps pour apprendre que les deux autres groupes.

4.4.2. Qualité de l'apprentissage

Les statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage sont reportées dans le Tableau 8.

Tableau 8 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage

Condition	Test de rappel ^a		Test d'apprentissage de la procédure ^b		Temps de réalisation de la procédure (s)	
	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>
Vidéo interactive	4.05	3.28	44.41	8.23	345.83	83.11
Vidéo interactive segmentée	4.86	2.31	49.91*	6.18	294.36	81.19
Vidéo interactive segmentée avec durée de pause imposée	4.71	3.56	47.95	5.68	314.11	79.31

Note. *M* = Moyenne; *ET* = Ecart-type.

^a La variation possible des scores au test de rappel était 0-15.

^b La variation possible des scores au test d'apprentissage de la procédure était 0-60.

* $p < .05$.

4.4.2.1. Test de rappel

Aucune différence significative n'est retrouvée entre les différentes conditions au test de rappel ($F < 1$). Nous ne retrouvons pas de corrélation entre le temps de pause imposée par le système et les résultats au test de rappel $r = .04$ ($p = .759$).

4.4.2.2. Test d'apprentissage de la procédure

Un effet de la condition est retrouvé au test d'apprentissage de la procédure, $F(2, 62) = 3.68$, $p = .031$, $\eta^2 = .10$ (voir Figure 15). Les étudiants du groupe avec la vidéo interactive segmentée obtiennent de meilleurs scores à la tâche de reproduction du patron ($M = 49.91$, $ET = 6.18$) que ceux du groupe avec une vidéo interactive ($M = 44.41$, $ET = 8.23$), $t(42) = 2.50$, $p = .016$, $\eta^2 = .13$. Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec vidéo interactive segmentée et avec vidéo interactive segmentée avec durée de pause imposée. Aucune différence n'est retrouvée non plus entre ce dernier groupe et le groupe avec la vidéo interactive.

Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes en ce qui concerne le temps de réalisation de la procédure ($F < 1$).

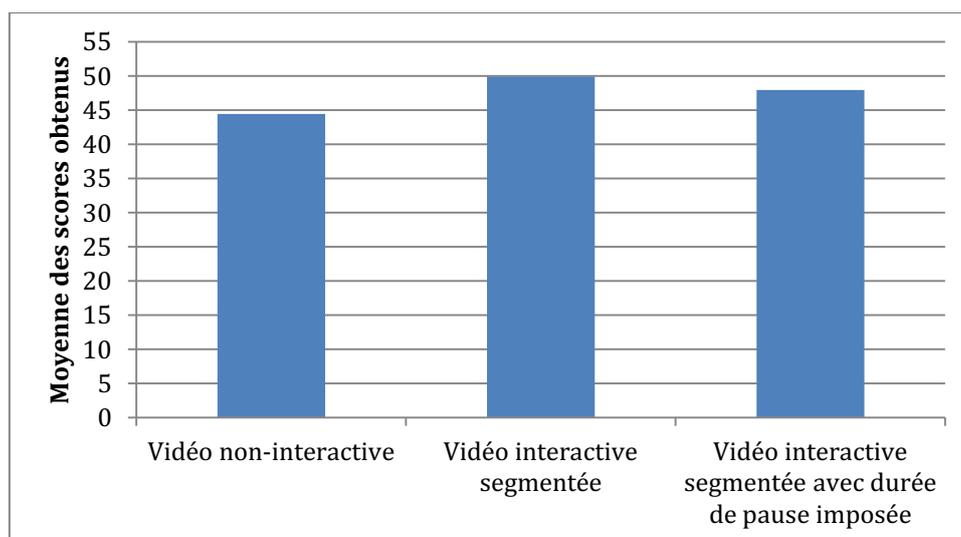


Figure 15 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron

4.5. Conclusion

Nos deux premières études ont pu démontrer que l'association du contrôle du rythme par l'apprenant (utilisation du bouton pause) et de la segmentation aux étapes clés (pauses contrôlées par le système) améliore l'apprentissage d'une procédure médicale présentée sous forme de vidéo. Les résultats obtenus dans la seconde expérimentation laissaient entrevoir qu'il pouvait y avoir un effet de la durée des pauses libres sur la réussite au test de rappel. L'objectif de cette troisième expérimentation était donc de vérifier si la durée des pauses entre deux segments a réellement un impact sur la qualité de l'apprentissage. La revue de littérature ne nous a pas fourni d'éléments à ce sujet. Les auteurs indiquent simplement que les pauses doivent durer entre de 2 à 5 secondes (Mayer & Pilegard, 2014), sans pour autant étayer cette affirmation. Suite à leur étude sur la segmentation, Spanjers et al. (2011) concluent qu'une durée de pause de deux secondes serait probablement trop courte pour que l'apprenant puisse réaliser le traitement cognitif nécessaire de l'information qui vient de lui être présentée.

La méthode expérimentale réalisée dans cette troisième étude nous a permis de tester l'hypothèse suivante : les apprenants novices ont besoin d'un temps de pause important entre chaque étape d'une procédure présentée dans une vidéo, pour réaliser le traitement cognitif nécessaire en mémoire de travail. Certains étudiants surestiment leurs capacités d'apprentissage et ont ainsi tendance à reprendre la vidéo trop rapidement. Le fait d'imposer une durée minimale de pauses entre les segments devrait améliorer la qualité de l'apprentissage.

Les résultats montrent que les apprenants du groupe avec la vidéo interactive segmentée avec une durée de pause imposée réalisent beaucoup moins de pauses par eux-mêmes que les étudiants des deux autres groupes. Seulement la moitié en réalise alors que la grande majorité des participants qui ont appris avec les autres versions de la vidéo utilisent la fonction pause. Parmi la moitié des apprenants qui font des pauses, ils n'utilisent le bouton que 1,33 fois en moyenne contre 3,41 à 5,86 dans les autres groupes. Il est possible que les apprenants aient été gênés lors de leur apprentissage par le fait d'avoir imposé une durée minimale des pauses entre les segments. Ces pauses provoquées par le

système ont pu entraîner un sentiment de manque de contrôle par l'apprenant et ainsi générer de la charge cognitive inutile. Ne pouvant redémarrer la vidéo dès lors qu'ils se sentaient prêts, c'est-à-dire une fois qu'ils avaient traité cognitivement l'information, ils ont peut-être eu l'impression de perdre du temps. De ce fait, ils ont moins utilisé la possibilité de faire des pauses qui leur était offerte.

Imposer une durée minimale de pauses entre les segments a une influence sur le nombre de pauses libres réalisées à l'intérieur des segments, mais pas sur leur durée. Les deux groupes avec la vidéo interactive segmentée ont des durées de pauses libres similaires. En revanche, le temps de pause total réalisé par les apprenants est plus important dans le groupe avec une vidéo interactive segmentée avec une durée de pause minimale. Cela est directement lié à la durée imposée des pauses entre les segments. Naturellement, les apprenants du groupe avec la vidéo interactive segmentée ont fait des pauses plus courtes que les 3,39 secondes que nous avons proposées dans cette expérimentation. Pour autant, le groupe avec un temps de pause minimal imposé a prolongé ce temps de pauses d'une durée équivalente à ceux qui pouvaient relancer la vidéo lorsqu'ils le souhaitaient. Ce résultat est quelque peu surprenant car ils auraient pu relancer la vidéo plus rapidement s'ils avaient ressenti de la lassitude ou de l'ennui en attendant l'apparition du bouton lecture. Cela pourrait vouloir dire que, lors du temps de pause minimal, durant lequel le bouton lecture n'apparaissait pas, l'attention des apprenants n'était pas portée sur l'information pédagogique. Imposer un temps de pause minimal pourrait donc avoir un effet distracteur sur les apprenants en augmentant la charge cognitive inutile.

Concernant la qualité de l'apprentissage, les résultats de cette étude confirment ceux déjà retrouvés dans les deux précédentes. La combinaison de pauses contrôlées par l'apprenant et de la segmentation de la vidéo améliore l'apprentissage d'une procédure. Tout comme dans les deux autres études, nous ne retrouvons pas d'effets sur la tâche de rappel.

Les apprenants des deux groupes avec la vidéo interactive segmentée obtiennent donc les mêmes résultats au test de rappel et au test d'apprentissage de la procédure. Nous pouvons donc conclure de cette expérimentation que la durée des pauses imposées par le système entre deux segments n'a pas d'impact sur la qualité de l'apprentissage. La durée des

pauses réalisées dépend avant tout des besoins cognitifs de l'apprenant pour traiter l'information qui vient de lui être présentée (Wouters et al., 2007). Ce temps étant différent selon les individus, il est donc préférable de laisser décider l'étudiant le moment qu'il juge opportun pour redémarrer la vidéo lors de l'apprentissage d'une procédure. De plus, le fait d'imposer une durée minimale des pauses entre deux segments augmente considérablement la durée de l'apprentissage. Cela n'ayant aucun impact sur les performances lors de la reproduction de la procédure, nous pouvons en conclure, qu'imposer des temps de pauses réduit l'efficacité de l'apprentissage procédural par vidéo.

Enfin, nous ne retrouvons pas l'effet du mode de présentation de la vidéo sur le temps mis par l'apprenant pour reproduire la procédure. Cela ne confirme pas les résultats obtenus dans l'étude précédente. Nous n'avons pas d'explication sur ce phénomène observé précédemment. Cette mesure sera reproduite dans les prochaines expérimentations pour vérifier si cet effet se reproduit.

En conclusion, cette étude a permis de montrer que la durée des pauses générées par le système aux étapes clés d'une procédure n'a pas d'impact sur l'apprentissage. Au contraire, cela pourrait gêner l'apprenant dans ses apprentissages en allongeant inutilement le temps d'apprentissage et en générant de la charge cognitive inutile. La durée des pauses imposées était de 3,39 secondes. Contrairement aux études précédentes (Khacharem et al., 2013; Singh et al., 2012; Spanjers, van Gog, Wouters, et al., 2012; Spanjers et al., 2011), nous avons calculé cette durée à partir de la médiane des pauses réalisées dans la seconde expérimentation. Il est possible que nos résultats aient été différents si nous avons choisi une durée plus courte ou plus importante. De futures études pourraient explorer ce point en essayant d'obtenir une durée de pause minimale optimale. Toutefois, il peut paraître illusoire de définir une durée de pause universelle. En effet, cela est certainement dépendant de la nature de l'information pédagogique étudiée et des capacités de traitements cognitifs individuelles des apprenants. Dans la suite de ce travail, nous allons explorer d'autres pistes permettant d'optimiser l'apprentissage procédural par vidéo.

Dans la prochaine étude, nous allons nous intéresser à une autre modalité permettant de réduire les traitements cognitifs inutiles : l'indigage.

5. Etude 4 : Impact de l'indiciage verbal

L'objectif de cette étude est de tester l'apport de l'indiciage verbal, par ajout de titres des étapes de la procédure, sur les performances d'apprentissage d'une procédure par l'intermédiaire d'une vidéo.

5.1.Introduction

Les trois premières études réalisées ont pu démontrer l'apport de la combinaison du contrôle du rythme par l'apprenant et de la segmentation lors de l'apprentissage d'un geste professionnel à partir d'une vidéo. En accord avec la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer, 2014c), nous allons tester maintenant un nouveau principe qui, combiné à la segmentation et au contrôle du rythme par l'apprenant, devrait accroître encore l'efficacité de l'apprentissage à partir d'une vidéo.

Selon Mayer (2014), une surcharge inutile (*extraneous overload*) apparaît lorsque les traitements cognitifs essentiels (*essential cognitive processing*) et les traitements cognitifs inutiles (*extraneous cognitive processing*) dépassent les capacités cognitives de l'apprenant. Mayer et Fiorella (2014) proposent cinq principes permettant de réduire les traitements cognitifs inutiles. Parmi eux, se trouve le principe de signalement ou d'indiciage (*signaling principle*). L'indiciage a été défini à l'origine par Meyer (1975) comme étant « *l'ajout d'un aspect non contenu dans une prose, qui met l'accent sur certains aspects du contenu sémantique ou souligne des aspects de la structure du contenu* ».

Selon le principe d'indiciage, les personnes apprennent mieux lorsque des indices sont ajoutés à la présentation multimédia. L'indiciage permet d'aider les apprenants lors de la première étape de l'apprentissage multimédia, c'est-à-dire lors de la sélection. Cela permet de mettre en évidence l'organisation de l'information délivrée (van Gog, 2014). Ainsi, l'indiciage complète l'effet de mise en saillance des étapes clés d'une procédure, permise par la segmentation lors d'un apprentissage par vidéo. En ajoutant des indices visuels dans une

animation complexe, on cherche à réduire la charge cognitive inutile pour allouer plus de ressources cognitives à l'apprentissage (de Koning et al., 2007). De Koning et al (2009), identifient trois principales fonctions à l'indiciage : 1/ guider l'attention de l'apprenant pour faciliter la sélection et l'extraction des informations pertinentes, 2/ mettre l'accent sur les principales idées de l'information et leur organisation et 3/ établir des relations entre différents éléments pour favoriser leur intégration

Le principe d'indiciage peut revêtir plusieurs formes (Mayer & Fiorella, 2014; van Gog, 2014; Wouters, Tabbers, & Paas, 2007). Il peut s'agir d'indiciage visuel tel que ajouter un élément, comme une flèche, dans une animation pour attirer l'attention (de Koning et al., 2009, 2007; Kriz & Hegarty, 2007; Lin & Atkinson, 2011; Lowe & Boucheix, 2011), faire apparaître les informations de manière progressive (Boucheix, Lowe, Putri, & Groff, 2013), surligner un mot ou une phrase d'un texte, ajouter une image aux étapes clés d'une procédure (Arguel & Jamet, 2009), ajouter des mots clés en gras (Mautone & Mayer, 2001). Il peut également s'agir d'indiciage verbal tel que changer d'intonation sur un élément important lors de la narration, ou encore donner un titre à une séquence qui va avoir lieu (Ertelt et al., 2005; Moreno, 2007; Ng et al., 2013). Quel que soit leur type, les indices n'apportent pas de nouvelles informations, mais mettent en évidence les éléments importants de la leçon.

Lors d'un apprentissage par l'intermédiaire d'une visualisation dynamique, donner un titre à chaque séquence ou segment permet à l'apprenant de comprendre le sens de ce qu'il va voir et ainsi mieux appréhender les éléments clés de la procédure en donnant un aperçu de la structure sous-jacente (voir Yue et al., 2013 pour une revue). Pour que cette aide soit efficiente, il est nécessaire que les titres soient bien définis (van der Meij & van der Meij, 2013), c'est-à-dire qu'ils doivent apporter de l'information sur le but de la séquence présentée. Ils doivent être suffisamment explicites et donner du sens à l'action qui va avoir lieu.

Quatre études ont exploré l'apport de l'indiciage verbal associé au contrôle du rythme par l'apprenant (Ng et al., 2013) ou à la segmentation (Ertelt et al., 2005; Ibrahim, 2012; Moreno, 2007) lors d'un apprentissage par vidéo ou animation. Ertelt et al (2005), ont comparé cinq versions d'une vidéo pour apprendre à utiliser un logiciel informatique : 1/

vidéo en flux continu avec support papier (correspond au mode d'apprentissage classique de ce type de logiciel), 2/ vidéo segmentée avec indiçage verbal (nom de la séquence au début de chaque segment), 3/ vidéo segmentée avec pause imposée entre chaque segment (l'apprenant doit appuyer sur le bouton lecture pour reprendre la vidéo), 4/ vidéo segmentée avec pause entre chaque segment et indiçage verbal et 5/ vidéo en flux continu sans indiçage. L'efficacité de l'apprentissage est évaluée par des posttests d'acquisition de connaissances, administrés immédiatement après avoir visionné la vidéo et à trois jours. Les résultats montrent que le groupe contrôle avec la vidéo et le support papier a des résultats inférieurs aux quatre autres groupes. En revanche, aucune différence n'est retrouvée entre les quatre autres groupes.

Moreno (2007) a comparé deux formes de segmentation (insertion de pauses entre les segments ou indication du nom de la séquence au début de chaque segment) à une version continue d'une animation ou d'une vidéo. Les étudiants des groupes avec segmentation obtiennent de meilleurs résultats que ceux du groupe sans segmentation. Selon Moreno, la segmentation, engendrée par l'insertion de pause ou l'indiçage au début des segments, permet de diminuer la charge cognitive et aide les novices à apprendre à partir de ce type de média. Cette étude n'a pas montré d'impact de l'indiçage sur la qualité de l'apprentissage ou sur la diminution de la charge cognitive. Selon Moreno, cela peut être dû à l'effet de partage de l'information (*split-attention effect*) qui survient lorsque l'apprenant doit intégrer mentalement des informations présentées sous des formats différents (Chandler & Sweller, 1992; Moreno & Mayer, 1999; Sweller et al., 1998). L'auteur conclut en indiquant que l'indiçage aurait pu apporter un bénéfice supérieur si le titre des séquences avait été intégré directement dans la vidéo ou l'animation. Une recherche récente (Cojean, 2018) a étudié l'effet d'un double étayage (segmentation de la barre de navigation et table des matières interactive à côté de la vidéo) sur la recherche d'informations et sur la performance d'apprentissage. L'adjonction de ce double étayage améliore la recherche d'informations dans le document vidéo, mais n'a pas d'effet sur les performances d'apprentissage. Selon l'auteur, lorsque trop d'informations sont présentes dans des présentations vidéo, l'apprenant ne peut les traiter simultanément et se perd dans l'exploration du document. L'intégration spatiale du titre des séquences de la vidéo dans la

barre de navigation (étude 3), par l'intermédiaire de *pop-ups*, permet de limiter l'effet d'attention divisée mais n'a pas d'impact sur les performances lors d'une tâche de recherche d'informations. Toutefois, la tâche est perçue comme moins difficile par les apprenants.

Dans son étude utilisant comme matériel expérimental une vidéo sur la vie des insectes, Ibrahim (2012) trouve un impact positif de l'indigage sur les performances d'apprentissage. Selon lui, l'indigage, associé à la segmentation d'une vidéo, aide à organiser les informations pertinentes à l'intérieur d'une structure cohérente et diminue ainsi la charge cognitive inutile. De plus, l'indigage permet d'extraire les indices sémantiques qui sont implicites dans les vidéos.

Une quatrième étude a testé l'impact de l'indigage verbal dans une animation expliquant le fonctionnement d'un circuit imprimé (Ng et al., 2013). L'indigage était réalisé par l'incrustation de textes dans l'animation. Six conditions étaient testées (3x2) : animation continue, animation avec contrôle du rythme par l'apprenant (pause/lecture) et images statiques, avec à chaque fois indigage ou non de l'étape clé. En l'absence d'indigage, les participants qui ont pu faire des pauses ont obtenu de meilleurs résultats que les autres. En revanche, en présence d'indigage, les participants qui ont réalisé des pauses avaient de moins bons résultats que ceux avec l'animation en flux continu qui n'avaient pas possibilité de faire des pauses. Les conclusions de l'étude indiquent que, en présence d'une animation complexe et avec un haut niveau d'interactivité des éléments d'information, les étudiants qui réalisent des pauses peuvent correctement traiter l'information et la consolider avant de reprendre la lecture. En présence d'indigage, le besoin de faire des pauses étant réduit, les apprenants perdent le bénéfice du contrôle du rythme. Ainsi, le groupe avec contrôle des pauses sans indigage obtiennent de meilleurs résultats d'apprentissage avec effort mental moindre.

A notre connaissance, aucune étude n'a exploré l'impact de l'association du contrôle du rythme, de la segmentation et de l'indigage verbal lors de l'apprentissage d'une procédure par vidéo. L'objectif de cette étude est donc de tester l'apport de l'indigage verbal sur les performances d'apprentissage.

5.2. Hypothèse

Notre hypothèse est que l'indiciage verbal, associé à une segmentation et au contrôle du rythme par l'apprenant, facilite l'apprentissage d'une procédure par vidéo pour des novices en diminuant la charge cognitive inutile et en donnant davantage d'informations sur la structure sous-jacente de l'information ainsi délivrée. Ainsi, nous posons l'hypothèse que les groupes avec la version segmentée et les groupes avec les versions indicées auront de meilleures performances au test de rappel et au test d'apprentissage de la procédure. De plus, nous pensons qu'une interaction sera retrouvée entre la segmentation et l'indiciage (vidéo segmentée et indicée > vidéo uniquement segmentée ou uniquement indicée > vidéo ni segmentée ni indicée).

5.3. Méthode

5.3.1. Participants

Les participants de cette étude ont été recrutés en troisième année de formation en masso-kinésithérapie à l'IFPEK de Rennes. L'échantillon était constitué de 89 étudiants (41 femmes et 48 hommes). L'âge moyen était de 22,40 ans (ET = 3.17). Les participants ont été répartis aléatoirement et équitablement dans les quatre groupes expérimentaux (voir Tableau 9).

Tableau 9 : Répartition de l'effectif dans les quatre conditions expérimentales

		Segmentation (pauses imposées)	
		Sans	Avec
Indiciage	Sans	23	23
	Avec	22	21

Le recrutement s'est déroulé de la même manière que lors des trois précédentes études. Les étudiants étaient novices et la manipulation s'est déroulée entre le cours magistral et les travaux dirigés. La moyenne obtenue à l'autoévaluation de leur degré d'expertise sur la conception des orthèses est de 2,52 ($ET = 1.88$) pour le groupe « vidéo interactive », 2,85 ($ET = 1.56$) pour le groupe « vidéo interactive et segmentée », 2,05 ($ET = 1.04$) pour le groupe « vidéo interactive et indicée » et 2,29 ($ET = 1.45$) pour le groupe « vidéo interactive, segmentée et indicée ». Aucune différence n'est retrouvée entre les quatre groupes ($F < 1$). En ce qui concerne l'auto-évaluation de leur niveau d'expertise en informatique, la moyenne obtenue est de 5,13 ($ET = 1.68$) pour le groupe « vidéo interactive », 5,17 ($ET = 1.69$) pour le groupe « vidéo interactive et segmentée », 5,14 ($ET = 1.55$) pour le groupe « vidéo interactive et indicée » et 4,95 ($ET = 1.35$) pour le groupe « vidéo interactive, segmentée et indicée ». Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes ($F < 0.1$).

5.3.2. Matériel

Le matériel utilisé dans cette expérimentation est identique aux trois premières études. Quatre versions du matériel ont été réalisées selon un plan factoriel 2x2 comparant l'ajout ou non de la segmentation (pauses imposées entre les segments) de la vidéo aux étapes clés de la procédure et l'ajout ou non de l'indication verbale (incrustation du titre du segment au début de celui-ci) :

- *Vidéo interactive* (identique expériences précédentes)
- *Vidéo interactive et segmentée* (identique expériences précédentes)
- *Vidéo interactive et indicée* : le numéro et le titre de la séquence (voir Tableau 1) qui va être visionné sont incrustés dans la partie basse de la vidéo au début de chaque segment. L'indication reste visible quatre secondes avant de disparaître (voir Figure 16).
- *Vidéo interactive, segmentée et indicée* : il s'agit de la version segmentée avec ajout de l'indication comme précisé ci-dessus.

Dans les quatre versions du matériel, l'apprenant a possibilité de faire des pauses lorsqu'il le souhaite.

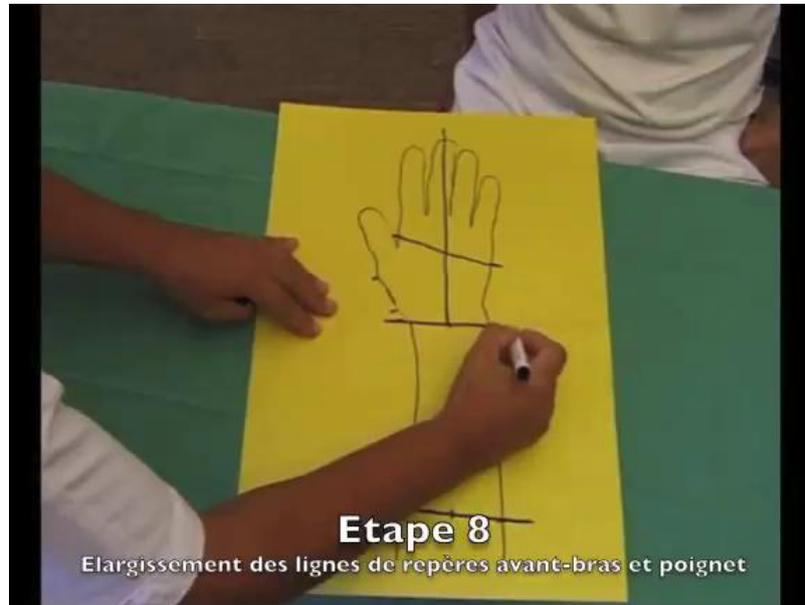


Figure 16 : Copie d'écran de l'incrustation du numéro et du titre de la séquence dans les versions indiquées

5.3.3. Procédure expérimentale

La procédure est identique à celles des expériences précédentes. Le test de rappel et le test d'apprentissage de la procédure sont identiques. La consigne donnée par l'examineur était également la même.

5.3.4. Mesures

Les mesures sont identiques aux précédentes expérimentations, aussi bien au niveau de l'utilisation du bouton de pause que pour la qualité de l'apprentissage (test de rappel et test d'apprentissage de la procédure).

5.4. Résultats

5.4.1. Utilisation du bouton pause

Les statistiques descriptives de l'utilisation du bouton pause sont reportées dans le Tableau 10 et le Tableau 11.

Tableau 10 : Nombre d'étudiants ayant fait des pauses libres

Condition	Indiçage	Nombre d'étudiants à faire des pauses libres	Effectif	Pourcentage
Vidéo non segmentée	Sans	19	23	82,60%
	Avec	17	22	77,27%
Vidéo segmentée	Sans	20	23	86,95%
	Avec	14	21	66,66%

Les apprenants ont majoritairement réalisé spontanément des pauses libres lors du visionnage de la vidéo (voir Tableau 10). Nous avons effectué une analyse de variance avec les facteurs de segmentation (non segmenté vs segmenté) et d'indiçage (non indicé vs indicé). Aucune différence n'est retrouvée sur le nombre de pauses libres réalisées entre les groupes avec segmentation ($M = 3.20$, $ET = 4.67$) et sans segmentation ($M = 4.55$, $ET = 4.41$), $F(1, 85) = 1.96$, $p = .165$, $\eta^2 = .02$, ainsi qu'entre les groupes avec indiçage ($M = 3.20$, $ET = 3.34$) et sans indiçage ($M = 4.52$, $ET = 5.43$), $F(1, 85) = 1.88$, $p = .173$, $\eta^2 = .02$. L'interaction entre l'indiçage et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

Les groupes avec la vidéo segmentée ($M = 22.64$, $ET = 7.49$) ont une durée de pauses libres deux fois inférieure aux groupes avec vidéo non segmentée ($M = 46.11$, $ET = 7.40$), $F(1, 85) = 4.95$, $p = .029$, $\eta^2 = .05$. Il n'y a pas de différence entre les groupes avec la version indiquée ($M = 30.28$, $ET = 7.57$) et non indiquée ($M = 38.48$, $ET = 7.32$) de la vidéo, $F(1, 85) = 0.65$, $p = .439$, $\eta^2 = .00$. L'interaction entre l'indiçage et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

En ce qui concerne la durée totale de pauses imposées, nous ne retrouvons pas de différence significative entre le groupe avec la version indiquée de la vidéo ($M = 139.43$, $ET = 13.38$) et le groupe avec la version non indiquée ($M = 103.50$, $ET = 12.78$), $F(1, 42) = 3.85$, $p = .056$, $\eta^2 = .08$.

Tableau 11 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause

Condition	Indiçage	Nombre de pauses libres		Durée des pauses libres (s)		Durée des pauses imposées (s)		Durée totale des pauses (s)	
		<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>
Vidéo non segmentée	Sans	5.43	4.86	49.74	57.22	-	-	49.74	57.22
	Avec	3.64	3.78	42.49	51.08	-	-	42.49	51.08
Vidéo segmentée	Sans	3.61	5.92	27.22	56.47	103.50	58.94	130.72*	93.89
	Avec	2.76	2.82	18.07*	25.24	139.83	63.81	157.91*	67.29

Note. *M* = Moyenne; *ET* = Ecart-type.

* $p < .05$.

L'analyse de variance révèle un effet de la segmentation sur la durée totale des pauses (voir Figure 17). Les groupes avec la version segmentée de la vidéo ($M = 144.32$, $ET = 10.49$) ont une durée totale de pauses trois fois supérieure aux groupes avec la version non segmentée de la vidéo ($M = 46.11$, $ET = 10.37$), $F(1, 85) = 44.27$, $p < .001$, $\eta^2 = .34$. Aucun effet de l'indiçage n'est retrouvé sur la durée totale des pauses ($F < 1$). L'interaction entre l'indiçage et la segmentation n'est pas significative $F(1, 85) = 1.36$, $p = .247$, $\eta^2 = .01$.

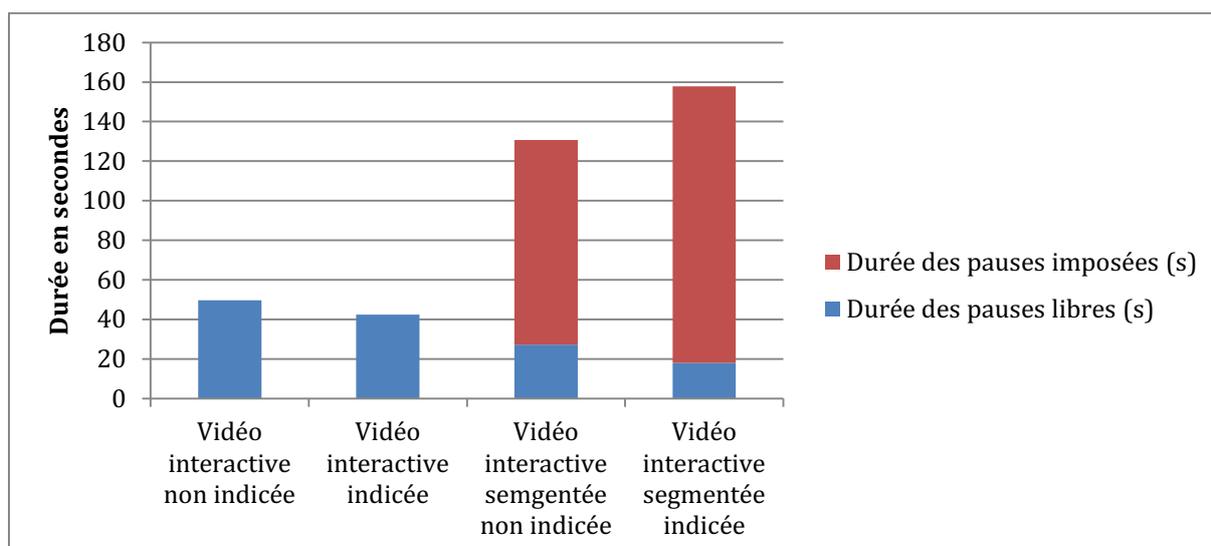


Figure 17 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo

5.4.2. Qualité de l'apprentissage

Les statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage sont reportées dans le Tableau 12.

Tableau 12 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage

Condition	Indiçage	Test de rappel ^a		Test d'apprentissage de la procédure ^b		Temps de réalisation de la procédure (s)	
		M	ET	M	ET	M	ET
Vidéo non segmentée	Sans	5.26	2.39	40.43	7.24	279.24	78.11
	Avec	5.29	1.97	41.68	8.74	266.51	81.82
Vidéo segmentée	Sans	6.04	2.38	45.83	7.81	252.98	65.19
	Avec	6.19	2.42	47.10	6.66	288.67	84.33

Note. M = Moyenne; ET = Ecart-type.

^a La variation possible des scores au test de rappel était 0-15.

^b La variation possible des scores au test d'apprentissage de la procédure était 0-60.

* $p < .05$.

5.4.2.1. Test de rappel

Au test de rappel, aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec segmentation ($M = 6.11$, $ET = 2.37$) et sans segmentation ($M = 5.27$, $ET = 2.18$), $F(1, 85) = 2.93$, $p = .090$, $\eta^2 = .03$, ainsi qu'entre les groupes avec indiçage ($M = 5.74$, $ET = 2.23$) et sans indiçage ($M = 5.65$, $ET = 2.39$), $F(1, 85) = 0.03$, $p = .862$, $\eta^2 = .00$. L'interaction entre l'indiçage et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

5.4.2.2. Test d'apprentissage de la procédure

La Figure 18 présente les moyennes des scores obtenus au test d'apprentissage de la procédure dans les quatre conditions expérimentales.

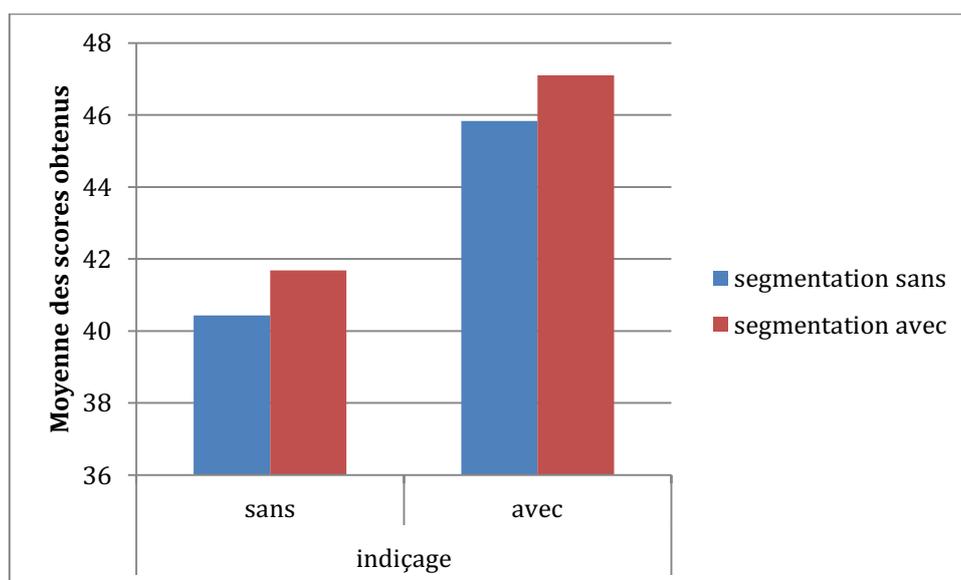


Figure 18 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron

Une analyse de variance à plan factoriel permet de mettre en évidence un effet de la segmentation sur les performances au test de réalisation de la procédure. Les groupes avec la version segmentée de la vidéo ($M = 46.43$, $ET = 7.23$) obtiennent de meilleures performances que les groupes avec la version non segmentée ($M = 41.04$, $ET = 7.94$), $F(1, 85) = 11.04$, $p = .001$, $\eta^2 = .11$. En revanche, aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec indiçage ($M = 44.32$, $ET = 8.17$) et sans indiçage ($M = 43.13$, $ET = 7.93$), $F(1, 85) = 0.59$, p

= .441, $\eta^2 = .00$. L'interaction entre l'indication et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

Concernant le temps de réalisation de la procédure, aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec segmentation ($M = 269.13$, $ET = 75.67$) et sans segmentation ($M = 273.03$, $ET = 79.25$), $F(1, 85) = 0.01$, $p = .903$, $\eta^2 = .00$, ainsi qu'entre les groupes avec indication ($M = 277.04$, $ET = 82.71$) et sans indication ($M = 265.82$, $ET = 72.20$), $F(1, 85) = 0.46$, $p = .496$, $\eta^2 = .00$. L'interaction entre l'indication et la segmentation n'est pas significative $F(1, 85) = 2.07$, $p = .153$, $\eta^2 = .02$.

5.5. Conclusion

Après avoir étudié l'apport de la segmentation d'une vidéo combinée au contrôle du rythme par l'apprenant, cette quatrième expérimentation avait pour objet d'explorer l'apport de l'indication verbale, associé à la segmentation et au contrôle du rythme, lors de l'apprentissage d'une procédure médicale par vidéo. Selon le principe de signalement (Mayer & Fiorella, 2014) l'indication permet de diminuer la charge cognitive inutile et participe à la mise en évidence de l'organisation de l'information délivrée en mettant en saillance les étapes clés de la procédure (van Gog, 2014). Partant de ce principe, l'hypothèse posée était que l'ajout d'indices verbaux au début de chaque segment améliore l'efficacité de l'apprentissage d'une procédure. Afin de tester cette hypothèse, nous avons présenté quatre formats d'une vidéo à des étudiants en 3^{ème} année de formation en masso-kinésithérapie selon un plan factoriel 2x2 comparant l'ajout ou non de la segmentation de la vidéo aux étapes clés de la procédure et l'ajout ou non de l'indication verbale.

Les résultats montrent que le nombre de pauses libres effectuées spontanément par les apprenants est identique quelle que soit la condition. L'indication ne semble donc pas influencer le comportement des étudiants sur l'utilisation du bouton pause.

En ce qui concerne la qualité de l'apprentissage, aucun effet de la segmentation ou de l'indigage n'est retrouvé au test de rappel de la procédure. Tout comme dans les trois précédentes expérimentations, nous retrouvons un effet de la segmentation au test de réalisation du patron. En revanche, contrairement à notre hypothèse, nous ne retrouvons aucun effet de l'indigage au test d'apprentissage de la procédure. Ces résultats soutiendraient la thèse que l'indigage verbal, associé à la segmentation d'une vidéo, n'améliore pas la qualité de l'apprentissage procédural. Cela vient conforter les résultats des études réalisées précédemment (Cojean, 2018; Ertelt et al., 2005; Moreno, 2007; Ng et al., 2013). Cojean (2008) et Ertelt et al. (2005) n'avaient pas trouvé de différences entre les groupes avec une présentation segmentée ou indicée d'une vidéo. Moreno (2007) a relevé un effet de la segmentation, mais pas de l'indigage et les résultats de Ng et al. (2013) ont montré que l'indigage avait un effet moindre que le contrôle de la présentation par l'apprenant. L'absence d'effet de l'indigage pourrait être lié au partage de l'attention (*split-attention effect*) (Sweller et al., 1998) engendré par l'apparition des titres de chaque séquence au début de celles-ci. Une autre hypothèse serait que l'apprenant ne pourrait traiter simultanément un nombre trop important d'informations présentes dans la vidéo et qu'il se perdrait dans l'exploration du document (Cojean, 2018). Cela viendrait contrebalancer l'apport de l'indigage dans la compréhension de la structure sous-jacente. L'adjonction d'une segmentation à l'indigage améliore les performances d'apprentissage. Les temps de pauses imposées à chaque séquence permettraient à l'apprenant de traiter l'information visuelle complémentaire apportée par l'indigage. Une fois cette information traitée, son attention se porterait à nouveau totalement sur le contenu de l'information délivrée par la vidéo.

Cependant, notre modèle expérimental ne nous permet pas d'affirmer que les apprenants ont bien traité l'information donnée par l'ajout des titres des séquences. Une future étude pourrait exploiter les outils d'*eye-tracking* afin de s'en assurer.

Il est également possible que les titres des séquences n'étaient pas suffisamment explicites pour apporter une réelle aide aux apprenants. Dans une prochaine étude, il serait intéressant de demander à un panel d'experts de nommer les séquences afin de s'assurer de

la pertinence des titres et de vérifier si les titres donnés dans cette expérimentation étaient suffisamment explicites.

En conclusion, nous pouvons retenir de cette étude que la segmentation d'une vidéo serait suffisante pour aider l'apprenant à relever la structure sous-jacente d'une vidéo et à diminuer la charge cognitive nécessaire au traitement de cette information. Il semblerait que l'adjonction d'indication verbale n'améliore pas l'apprentissage procédural, mais cette expérimentation ne nous permet pas de conclure sur l'aide complémentaire que l'indication verbale apporterait dans ce traitement cognitif.

Dans la prochaine étude, nous allons nous intéresser à l'impact de la consigne dans le comportement des apprenants sur la réalisation de pauses.

6. Etude 5 : impact de la consigne sur l'utilisation des pauses

L'objectif de cette étude est de tester l'effet de la consigne sur l'utilisation des pauses par un apprenant lors de l'apprentissage vidéo d'une procédure.

6.1.Introduction

Les études précédentes ont pu montrer que la segmentation associée au contrôle du rythme par l'apprenant, améliorerait l'apprentissage d'une procédure médicale à partir d'une vidéo. Les résultats ont également montré que les apprenants novices réalisent peu de pauses par eux-mêmes. Or il a été démontré, dans de nombreuses études, que les pauses avaient un effet positif sur l'apprentissage à partir de visualisations dynamiques en limitant les effets néfastes de la labilité de l'information délivrée dans ce type de support et en évitant une surcharge cognitive de la mémoire de travail (voir partie 3.2). L'étudiant est rendu plus actif dans son apprentissage par sa propre gestion du rythme de présentation de l'information. Il doit, en théorie, réaliser un monitoring métacognitif pour réguler son apprentissage et décider si l'information qu'il vient de voir est bien assimilée ou s'il a besoin de temps complémentaire pour traiter cette information (Azevedo & Cromley, 2004; Fernandez & Jamet, 2017). Ce monitoring aide à l'acquisition d'un modèle mental. Le traitement cognitif plus profond ainsi réalisé permet d'augmenter la charge cognitive utile et donc d'améliorer l'apprentissage (Hasler et al., 2007). Les apprenants novices peuvent ne pas avoir conscience de la nécessité de faire des pauses pour réguler leur apprentissage. Surestimant leurs capacités cognitives lors de la tâche, ils ne ressentent pas le besoin de stopper la vidéo et ne font donc pas de pauses.

Une piste permettant de pousser les étudiants à faire des pauses lors de la consultation de la vidéo est de leur donner comme consigne de faire des pauses aux moments qui leur semblent importants. En effet, proposer une consigne permet d'encourager l'apprenant à mettre en œuvre une stratégie de consultation d'un document

pédagogique plus efficace (Bartholomé & Bromme, 2009; Kombartzky, Ploetzner, Schlag, & Metz, 2010; Peeck, 1993).

A notre connaissance, aucune étude n'a exploré l'impact de l'incitation à contrôler le rythme d'une présentation vidéo (faire des pauses) par l'intermédiaire de la consigne lors de l'apprentissage d'une procédure. L'objectif de cette cinquième étude est donc d'évaluer l'impact de la consigne sur la stratégie de consultation de la vidéo mise en œuvre, et donc sur la qualité de l'apprentissage procédural.

6.2. Hypothèses

Notre première hypothèse est que les apprenants qui auront été incités, par l'intermédiaire d'une consigne explicite, à faire des pauses lors de la consultation de la vidéo, réaliseront davantage de pauses libres que ceux sans incitation. La réalisation de pauses par les apprenants permettant de diminuer la charge cognitive liée au traitement de l'information labile d'une vidéo, notre seconde hypothèse est que l'incitation à faire des pauses permet d'améliorer la qualité de l'apprentissage, que ce soit au niveau du test de rappel ou du test d'apprentissage de la procédure (vidéo segmentée avec incitation > vidéo uniquement segmentée ou vidéo uniquement avec incitation > vidéo non segmentée et sans incitation). De plus, nous pensons qu'une interaction sera retrouvée entre la segmentation et l'incitation.

6.3. Méthode

6.3.1. Participants

Soixante-trois étudiants en deuxième année de formation en ergothérapie à l'IFPEK ont été recrutés pour cette étude. L'échantillon était constitué de 54 femmes et 9 hommes. L'âge moyen était de 21,76 ans (ET = 4.20). Les participants ont été répartis aléatoirement et équitablement dans les quatre groupes expérimentaux (voir Tableau 13).

Tableau 13 : Répartition de l'effectif dans les quatre conditions expérimentales

		Segmentation (pauses imposées)	
		Sans	Avec
Incitation	Sans	15	15
	Avec	17	16

Le recrutement s'est déroulé de la même manière que lors des quatre précédentes études. Les étudiants étaient novices et la manipulation s'est déroulée entre le cours magistral et les travaux dirigés. La moyenne obtenue à l'autoévaluation de leur degré d'expertise sur la conception des orthèses est de 2,33 ($ET = 1.75$) pour le groupe « vidéo interactive », 1,80 ($ET = 0.77$) pour le groupe « vidéo interactive et segmentée », 2,18 ($ET = 1.51$) pour le groupe « vidéo interactive avec incitation » et 1,38 ($ET = 1.02$) pour le groupe « vidéo interactive, segmentée avec incitation ». Aucune différence n'est retrouvée entre les quatre groupes ($F = 1.00, p = .399$). En ce qui concerne l'auto-évaluation de leur niveau d'expertise en informatique, la moyenne obtenue est de 5,33 ($ET = 1.34$) pour le groupe « vidéo interactive », 5,47 ($ET = 1.50$) pour le groupe « vidéo interactive et segmentée », 5,71 ($ET = 1.31$) pour le groupe « vidéo interactive avec incitation » et 4,81 ($ET = 1.87$) pour le groupe « vidéo interactive, segmentée avec incitation ». Aucune différence n'est retrouvée entre les groupes ($F = 1.63, p = .191$).

6.3.2. Matériel

Le matériel utilisé dans cette expérimentation est identique aux quatre premières études. Quatre versions du matériel ont été réalisées selon un plan factoriel 2x2 comparant l'ajout ou non de la segmentation (pauses imposées entre les segments) de la vidéo aux étapes clés de la procédure et l'ajout ou non d'une consigne écrite au début de la vidéo :

- *Vidéo interactive* (identique expériences précédentes). Les étudiants étaient informés par oral, avant le début du visionnage, qu'ils avaient la possibilité de faire des pauses quand ils le souhaitaient.
- *Vidéo interactive et segmentée* (identique expériences précédentes). Une information orale sur la possibilité de faire des pauses était donnée.
- *Vidéo interactive avec incitation* : avant le début de la vidéo, la consigne suivante était donnée par écrit : « *Pour vous aider à assimiler le contenu de cette vidéo, nous vous conseillons vivement de **faire des pauses** aux moments qui vous semblent importants* ». L'apprenant devait cliquer sur le bouton « OK » pour lancer la vidéo (voir Figure 19).
- *Vidéo interactive, segmentée avec incitation* : il s'agit de la version segmentée avec ajout d'une consigne écrite comme précisé ci-dessus.

Dans les quatre versions du matériel, l'apprenant a possibilité de faire des pauses lorsqu'il le souhaite.

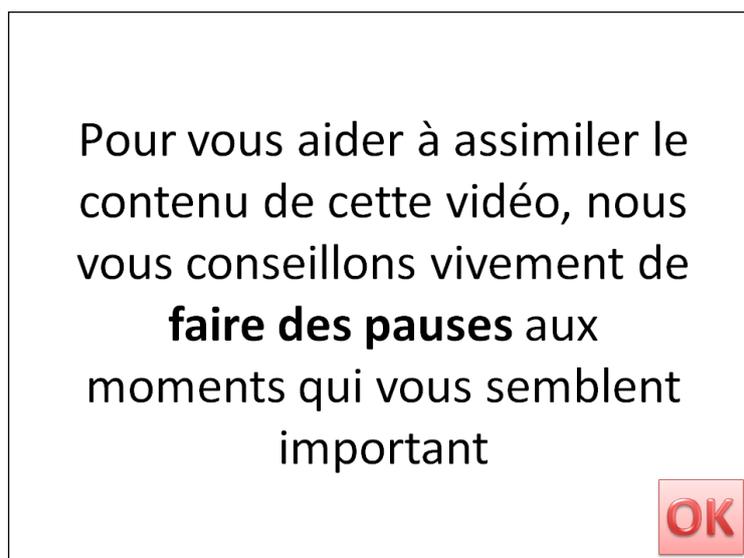


Figure 19 : Copie d'écran de la consigne donnée au début de la vidéo pour les groupes avec incitation.

6.3.3. Procédure expérimentale

La procédure est identique à celles des expériences précédentes. Le test de rappel et le test d'apprentissage de la procédure sont identiques. La consigne donnée par l'examineur pour les deux groupes sans incitation était également la même.

6.3.4. Mesures

Les mesures sont identiques aux précédentes expérimentations, aussi bien au niveau de l'utilisation du bouton de pause que pour la qualité de l'apprentissage (test de rappel et test d'apprentissage de la procédure).

6.4. Résultats

6.4.1. Utilisation du bouton pause

Les statistiques descriptives de l'utilisation du bouton pause sont reportées dans le Tableau 14 et le Tableau 15.

Tableau 14 : Nombre d'étudiants ayant fait des pauses libres

Condition	Incitation	Nombre d'étudiants à faire des pauses libres	Effectif	Pourcentage
Vidéo interactive	Sans	13	15	86,66%
	Avec	17	17	100%
Vidéo interactive segmentée	Sans	13	15	86,66%
	Avec	14	16	87,50%

Les apprenants ont majoritairement réalisé spontanément des pauses libres lors du visionnage de la vidéo (voir Tableau 14). Nous avons effectué une analyse de variance avec

les facteurs de segmentation (non segmenté vs segmenté) et d'incitation (sans incitation vs incitation). Un effet de la consigne est retrouvé (voir Tableau 15). Les groupes avec incitation réalisent près de deux fois plus de pauses ($M = 7.42$, $ET = 5.25$) que les groupes sans incitation ($M = 3.97$, $ET = 4.03$), $F(1, 61) = 8.27$, $p = .006$, $\eta^2 = .12$. Aucune différence n'est retrouvée sur le nombre de pauses libres réalisées entre les groupes avec segmentation ($M = 5.03$, $ET = 4.95$) et sans segmentation ($M = 6.50$, $ET = 4.99$), $F(1, 61) = 1.39$, $p = .243$, $\eta^2 = .02$. L'interaction entre l'incitation et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

Tableau 15 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause

Condition	Incitation	Nombre de pauses libres		Durée des pauses libres (s)		Durée des pauses imposées (s)		Durée totale des pauses (s)	
		M	ET	M	ET	M	ET	M	ET
Vidéo interactive	Sans	4.60	4.42	47.56	48.00	-	-	47.56	48.00
	Avec	8.18*	4.97	79.18*	50.86	-	-	79.18*	50.86
Vidéo interactive segmentée	Sans	3.33	3.63	26.86	31.20	113.20	54.23	142.07*	69.97
	Avec	6.63	5.57	55.71	50.74	109.22	59.18	164.94*	88.35

Note. M = Moyenne; ET = Ecart-type.

* $p < .05$.

Les groupes avec incitation ($M = 67.80$, $ET = 51.40$) ont une durée de pauses libres près de deux fois supérieure aux groupes sans incitation ($M = 38.21$, $ET = 40.90$), $F(1, 61) = 6.29$, $p = .015$, $\eta^2 = .09$. Il n'y a pas de différence entre les groupes avec la version segmentée ($M = 42.72$, $ET = 43.91$) et non segmentée ($M = 64.36$, $ET = 51.31$) de la vidéo, $F(1, 61) = 3.27$, $p = .076$, $\eta^2 = .05$. L'interaction entre l'indication et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

Le groupe avec la version de la vidéo avec consigne ($M = 109.22$, $ET = 59.18$) a une durée totale de pauses imposées équivalente au groupe avec la version sans consigne ($M = 113.20$, $ET = 54.23$), ($F < 1$).

L'analyse de variance révèle un effet de la segmentation sur la durée totale des pauses (Figure 20). Les groupes avec la version segmentée de la vidéo ($M = 153.87$, $ET = 79.52$) ont une durée totale de pauses près de trois fois supérieures aux groupes avec la version non segmentée de la vidéo ($M = 64.36$, $ET = 51.31$), $F(1, 61) = 29.03$, $p < .001$, $\eta^2 = .33$. Les apprenants des groupes avec les versions segmentées ont ainsi mis davantage de temps pour apprendre que les groupes avec les versions non segmentées. Les groupes avec incitation ($M = 120.76$, $ET = 82.74$) ont une durée totale de pauses équivalente aux groupes sans incitation ($M = 94.81$, $ET = 76.06$), $F(1, 61) = 2.65$, $p = .109$, $\eta^2 = .04$. L'interaction entre l'incitation et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

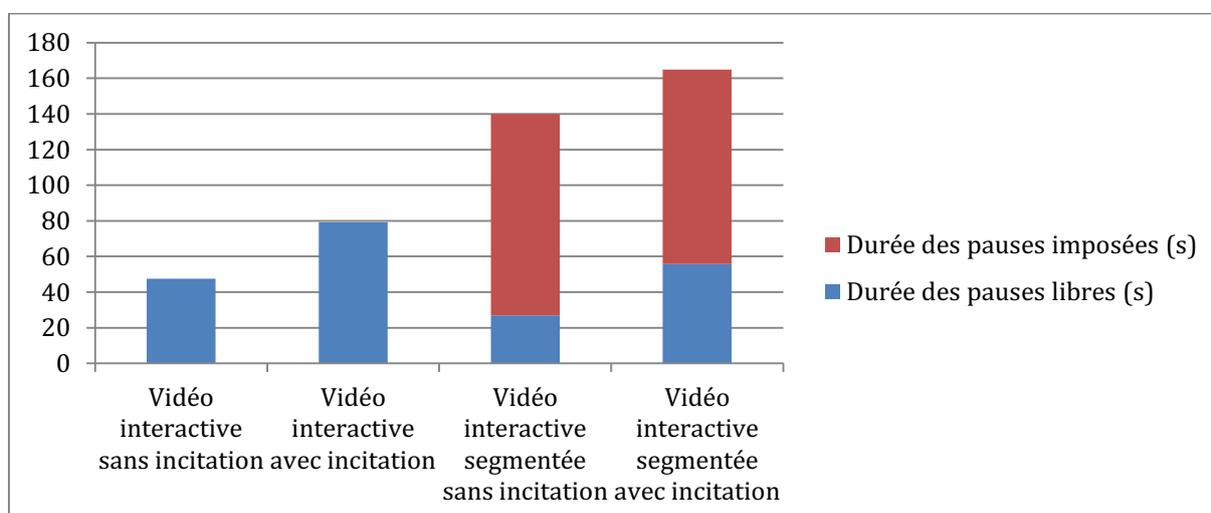


Figure 20 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo

6.4.2. Qualité de l'apprentissage

Les statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage sont reportées dans le Tableau 16.

Tableau 16 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage

Condition	Incitation	Test de rappel ^a		Test d'apprentissage de la procédure ^b		Temps de réalisation de la procédure (s)	
		<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>
Vidéo interactive	Sans	5.13	2.53	42.33*	8.55	280.07	91.24
	Avec	5.41	2.37	48.41	7.47	270.87	110.59
Vidéo interactive segmentée	Sans	5.67	2.46	47.27	5.13	290.26	75.75
	Avec	5.88	3.18	48.38	4.87	312.18	102.03

Note. *M* = Moyenne; *ET* = Ecart-type.

^a La variation possible des scores au test de rappel était 0-15.

^b La variation possible des scores au test d'apprentissage de la procédure était 0-60.

* $p < .05$.

6.4.2.1. Test de rappel

Au test de rappel, aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec segmentation ($M = 5.77$, $ET = 2.81$) et sans segmentation ($M = 5.28$, $ET = 2.41$), $F(1, 61) = 0.55$, $p = .460$, $\eta^2 = .00$, ainsi qu'entre les groupes avec incitation ($M = 5.64$, $ET = 2.75$) et sans incitation ($M = 5.40$, $ET = 2.47$), $F(1, 61) = 0.13$, $p = .718$, $\eta^2 = .00$. L'interaction entre l'incitation et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

6.4.2.1. Test d'apprentissage de la procédure

La Figure 21 présente les moyennes des scores obtenus au test d'apprentissage de la procédure dans les quatre conditions expérimentales.

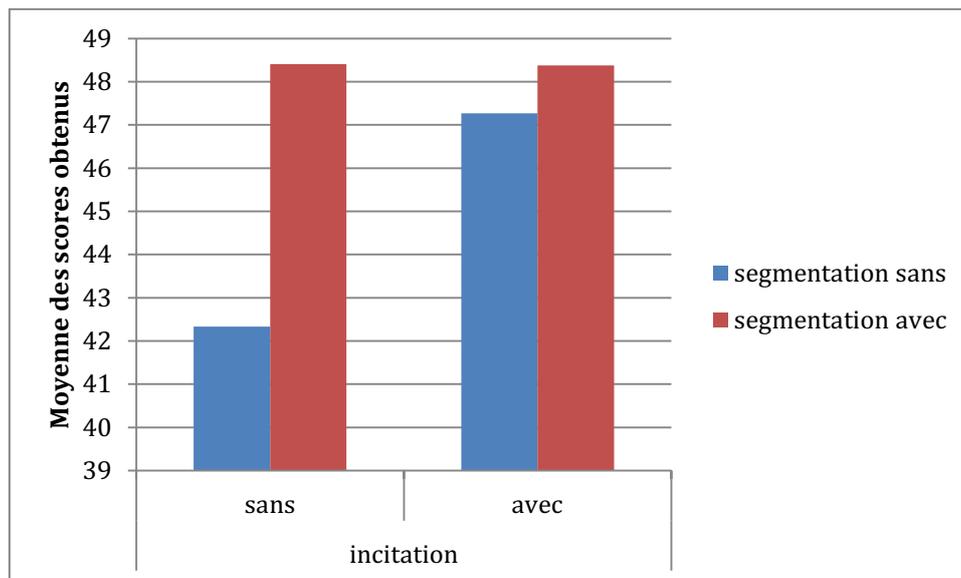


Figure 21 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron

Une analyse de variance à plan factoriel permet de mettre en évidence un effet de la consigne sur les performances au test de réalisation de la procédure. Les groupes avec la version de la vidéo avec incitation ($M = 48.39$, $ET = 6.25$) obtiennent de meilleures performances que les groupes avec la version sans incitation ($M = 44.80$, $ET = 7.37$), $F(1, 61) = 4.52$, $p = .038$, $\eta^2 = .07$. En revanche, aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec segmentation ($M = 47.84$, $ET = 4.94$) et sans segmentation ($M = 45.56$, $ET = 8.45$), $F(1, 61) = 2.10$, $p = .153$, $\eta^2 = .03$. L'interaction entre l'incitation et la segmentation n'est pas significative, $F(1, 61) = 2.16$, $p = .147$, $\eta^2 = .03$.

Concernant le temps de réalisation de la procédure, aucune différence n'est retrouvée entre les groupes avec segmentation ($M = 301.57$, $ET = 89.48$) et sans segmentation ($M = 275.19$, $ET = 100.47$), $F(1, 61) = 1.11$, $p = .294$, $\eta^2 = .01$, ainsi qu'entre les groupes avec incitation ($M = 290.90$, $ET = 106.93$) et sans incitation ($M = 285.17$, $ET = 82.56$), $F(1, 61) = 0.06$, $p = .795$, $\eta^2 = .00$. L'interaction entre l'incitation et la segmentation n'est pas significative ($F < 1$).

6.5.Conclusion

Les précédentes expérimentations ont pu mettre en évidence l'intérêt de la segmentation d'une vidéo, associée au contrôle du rythme par l'apprenant, lors de l'apprentissage d'une procédure médicale. Nous avons également montré que les novices, surestimant peut-être leurs capacités d'apprentissages, ou n'en ressentant pas le besoin, réalisaient peu de pauses par eux-mêmes. Or il a été montré par ailleurs que les pauses avaient un réel bénéfice pour limiter la charge cognitive en mémoire de travail et limiter la charge cognitive liée au caractère labile de l'information présentée dans des visualisations dynamiques. Dans cette étude, nous avons souhaité vérifier si une incitation des apprenants à faire des pauses lors de la consultation de la vidéo permettait d'augmenter le nombre de pauses qu'ils pouvaient réaliser (hypothèse 1) et ainsi améliorer l'efficacité de l'apprentissage (hypothèse 2). L'incitation a été proposée par l'intermédiaire d'une consigne, présentée à l'écrit au début de la vidéo.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que la plupart des apprenants réalisent spontanément au moins une pause, que la vidéo soit segmentée ou non. Cependant, ceux qui ont été incités à faire des pauses par l'intermédiaire de la consigne, en ont réalisé davantage que les autres. La consigne a plus d'impact sur le comportement des apprenants pour la réalisation des pauses que le fait de segmenter ou non la vidéo. De plus, la durée des pauses libres est plus importante pour les étudiants des groupes qui ont été incités à faire des pauses par exposition à la consigne. Notre première hypothèse est donc validée.

Les précédentes évaluations ont toutes montré de meilleures performances au test d'apprentissage de la procédure lorsque la vidéo était segmentée par rapport à une version non segmentée de la vidéo. Cependant, dans cette expérimentation, les résultats obtenus indiquent que les groupes avec une version segmentée de la vidéo obtiennent des résultats similaires aux groupes avec la version non segmentée au test de reproduction du patron. Les apprenants qui ont pu apprendre à partir de vidéos avec incitation à faire des pauses par l'intermédiaire d'une consigne, présentée au début de la vidéo, ont été plus performants que ceux sans incitation. Ils ont même obtenu des résultats similaires aux deux groupes avec

la version segmentée de la vidéo. Notre seconde hypothèse est donc partiellement validée. Nous pouvons donc en conclure que l'incitation à réaliser des pauses lors de la lecture d'une vidéo permet d'atteindre les mêmes performances d'apprentissage qu'en segmentant une vidéo. Or, les apprenants qui ont regardé la vidéo avec segmentation ont mis plus de temps pour visionner la vidéo du fait des pauses imposées entre chaque segment. Si on considère que le temps d'apprentissage est un indicateur de performance de l'apprentissage, nous pouvons conclure que l'incitation à réaliser des pauses par l'intermédiaire d'une consigne est plus performante que la segmentation par insertion de pauses.

Nous ne retrouvons pas d'effet additif de la segmentation et de la consigne sur ces performances. Cela peut être dû à un effet plafond de l'apprentissage procédural ou à un effet plafond du test proposé dans le cadre de ces expérimentations. En revanche, il semblerait que l'incitation et la segmentation aient un rôle redondant. En effet, le groupe sans incitation et sans segmentation obtiennent des résultats significativement inférieurs aux trois autres groupes, qui eux ont des résultats équivalents. Ainsi, ajouter soit de la segmentation, soit de l'incitation, soit les deux, concourt au même résultat en termes de qualité d'apprentissage.

Comme nous avons pu le voir précédemment, les pauses permettent d'éviter une surcharge de la mémoire de travail (Mayer & Pilegard, 2014) et la segmentation permet de mettre en saillance les limites d'événements d'une procédure (Spanjers, van Gog, Wouters, et al., 2012). Contrairement à ce qui a été trouvé dans des études précédentes (e.g. Khacharem et al., 2013; Mayer & Moreno, 2003; Schwan et al., 2000; Spanjers, van Gog, & Merriënboer, 2012; Spanjers, van Gog, Wouters, et al., 2012), nos résultats indiquent que le contrôle du rythme peut être suffisant lors de l'apprentissage d'une procédure à partir du moment où l'apprenant est encouragé à utiliser cette fonction. Il réalise ainsi plus de pauses et d'une durée plus importante. Cela pourrait vouloir dire que limiter la charge cognitive en mémoire de travail a davantage d'effet sur l'apprentissage que la mise en saillance des limites d'événements. L'incitation à faire des pauses a rendu l'apprenant plus actif dans ses apprentissages en l'incitant à mettre en œuvre une stratégie d'exploration plus efficace (Bartholomé & Bromme, 2009; Kombartzky et al., 2010; Peeck, 1993), ce qui a permis d'augmenter la charge cognitive utile et donc d'améliorer l'apprentissage (Hasler et al.,

2007). De nombreuses études ont mis en évidence que les novices ne savaient pas quand faire des pauses (e.g. Moreno, 2007; Wouters et al., 2007) et que la segmentation permet de marquer ces temps de pauses, au bon moment, à leur place (e.g. Spanjers, van Gog, Wouters, et al., 2012). Il est possible que, étant plus actifs grâce à l'incitation, ils aient mieux repéré les limites d'évènements et réussi à faire des pauses au bon moment. Si ce n'est pas le cas, l'hypothèse d'un bénéfice plus important de la limitation de la charge cognitive par les pauses est renforcée. En tout état de cause, il sera nécessaire de mener d'autres études pour vérifier cette hypothèse.

Toutefois, une limite à ces résultats est la faible taille de notre échantillon. Il est donc difficile de tirer des conclusions définitives à partir de cette étude et il serait nécessaire de poursuivre cette recherche sur des échantillons plus importants pour valider ou non ce résultat. De plus, de futures recherches devraient être menées sur l'apport de l'incitation par ajout d'une consigne avec d'autres types de vidéos d'apprentissage, des animations ou avec des apprentissages non procéduraux vérifier la reproductibilité de nos résultats.

7. Discussion générale

La vidéo est un média utilisé de plus en plus fréquemment en formation, que ce soit pour apprendre des éléments théoriques, tel que l'apprentissage de l'algèbre, ou pour apprendre à réaliser une procédure. Les étudiants en formation médicale ou paramédicale sont donc de plus en plus confrontés à ce type d'apprentissage multimédia. Malgré l'apport certain qu'elles apportent en comparaison à l'enseignement via des images statiques associées à du texte, les vidéos présentent également un certain nombre de limites liées, entre autres, à la labilité de l'information. De nombreuses études ont permis d'évaluer ces difficultés. La théorie de la charge cognitive et le modèle d'apprentissage multimédia présentés dans la première partie de cette thèse nous ont permis de mieux comprendre les processus cognitifs engagés lors d'un tel apprentissage. Pour diminuer la charge cognitive générée par la labilité de l'information, certains chercheurs en psychologie cognitive proposent d'intervenir sur le rythme de présentation de l'information ou de segmenter l'information en unités de temps plus petites afin de limiter la charge cognitive en mémoire de travail et d'aider l'apprenant à comprendre la structure sous-jacente du contenu d'apprentissage. Selon ces mêmes auteurs, ces modalités permettent d'améliorer l'apprentissage, mais ils indiquent également que cet apprentissage peut encore être optimisé. L'objectif de ce travail de recherche était de tester des hypothèses, selon différentes modalités de présentation, sur les effets de la segmentation associée au contrôle du rythme de présentation par l'apprenant sur la qualité de l'apprentissage d'une procédure médicale.

Dans la première étude, nous avons mesuré les effets de l'association du contrôle du rythme par l'apprenant (pauses) et de la segmentation. Nos résultats ont montré que les étudiants obtiennent de meilleures performances dans la tâche d'apprentissage procédural lorsque l'association du contrôle du rythme et de la segmentation était effective. Les apprenants, réalisant peu de pauses par eux-mêmes, lorsqu'ils ont la possibilité de le faire, obtiennent des résultats similaires au groupe qui n'avaient pas la possibilité de stopper la vidéo lorsqu'ils le souhaitaient. En revanche, aucune différence n'a été notée en ce qui concerne le test de rappel. La segmentation engendrant un temps de pauses généré par le

système entre les segments, les apprenants du groupe avec segmentation associée au contrôle du rythme ont ainsi réalisé un temps de pause dix fois supérieur aux deux autres groupes. Ils ont donc pu voir des images fixes des étapes clés de la procédure contrairement aux deux autres groupes. De même, ils ont été exposés plus longtemps au contenu d'apprentissage. L'objet de la seconde étude était de vérifier si ces meilleures performances étaient liées ou non à ce temps d'exposition des étapes clés de la procédure, ou si le bénéfice observé était lié à la segmentation en tant que telle.

Dans la seconde étude, les apprenants avec une présentation segmentée de la vidéo associée au contrôle du rythme ont obtenu des résultats supérieurs au groupe sans segmentation. Les performances au test d'apprentissage procédural étaient similaires, que les segments soient séparés d'une image fixe ou d'un écran noir. Nous avons donc pu conclure que les bénéfices observés étaient liés à la segmentation et non au temps d'exposition au matériel pédagogique. Les résultats ont semblé montrer un effet du temps de pauses de l'apprenant sur ses performances au test de rappel, sans toutefois l'affirmer du fait d'un effet de taille moyenne. La troisième étude a tenté de vérifier cette hypothèse.

Dans la troisième étude, nous avons donc vérifié si le fait d'imposer une durée minimale de pauses entre les segments améliorerait la qualité d'apprentissage chez des apprenants novices. Les résultats ont permis de montrer que la contrainte d'une durée minimale de pause entre les segments n'avait pas d'effet sur la qualité d'apprentissage. Ainsi, même si la pause imposée par la segmentation est de courte durée, elle est suffisante pour limiter la charge cognitive en mémoire de travail et pour comprendre la structure sous-jacente de la procédure. Chaque apprenant, ayant des capacités cognitives différentes, il est préférable de les laisser décider du moment opportun pour relancer la vidéo.

Selon Mayer (2014), l'indigage permettrait de réduire les traitements cognitifs inutiles et de mettre en évidence l'organisation de l'information délivrée en mettant en saillance les étapes clés de la procédure. Nous avons donc testé dans notre quatrième étude si la combinaison de l'indigage verbal à la segmentation et au contrôle du rythme permettait d'accroître l'efficacité de l'apprentissage procédural par vidéo. Les résultats ont montré que l'indigage n'avait pas d'impact sur le nombre de pauses réalisées par les apprenants, ainsi

que sur leur durée. De plus, contrairement à la segmentation, l'indiçage verbal ne semble pas avoir d'effet sur la qualité de l'apprentissage.

Les quatre premières études ont toutes montré que les apprenants novices réalisaient peu de pauses par eux-mêmes et que l'apprentissage était amélioré lorsque la vidéo était segmentée, entraînant ainsi des temps de pauses imposées entre chaque segment. De nombreuses études ont pu démontrer que les pauses permettaient de diminuer la charge cognitive liée au caractère labile de l'information présentée dans une vidéo, en évitant une surcharge cognitive en mémoire de travail. Dans une cinquième étude, nous avons voulu tester si l'incitation à faire des pauses par l'intermédiaire d'une consigne de consultation du contenu de la vidéo avait une incidence sur le nombre et la durée des pauses réalisées, et ainsi sur la qualité de l'apprentissage. Les apprenants qui ont reçu comme consigne écrite de faire des pauses aux moments qui leur semblent importants, ont réalisé des pauses plus fréquentes et plus longues que les autres. Les étudiants avec la version non segmentée mais avec incitation par la consigne ont obtenu des résultats similaires aux deux groupes avec la version segmentée. Nous avons donc pu conclure que l'incitation à réaliser des pauses lors d'un apprentissage par vidéo permet d'obtenir la même qualité d'apprentissage qu'en segmentant la vidéo, sans toutefois retrouver un effet cumulatif de ces deux optimisations. Les pauses imposées générées par la segmentation augmentant considérablement le temps d'apprentissage, nous pouvons donc conclure que l'incitation serait plus performante que la segmentation lors d'un apprentissage d'une procédure par vidéo.

Une synthèse des principaux résultats sur les performances d'apprentissage de ces cinq études est présentée dans le Tableau 17.

Tableau 17 : Tableau récapitulatif des études menées dans cette thèse et les résultats obtenus sur les performances d'apprentissage.

Etude	Variable testée	Résultats sur les performances d'apprentissage
Etude 1	Association du contrôle du rythme à la segmentation	Amélioration à la tâche d'apprentissage procédural, mais pas au test de rappel
Etude 2	Durée d'exposition à des images statiques aux étapes clés de la procédure	Pas d'effet
Etude 3	Durée des pauses imposées	Pas d'effet
Etude 4	Indiçage verbal	Pas d'effet
Etude 5	Consigne pour inciter à faire des pauses	Amélioration à la tâche d'apprentissage procédural, mais pas au test de rappel. Pas d'effet cumulatif de l'incitation et de la segmentation Temps d'apprentissage moins long avec incitation qu'avec la segmentation, donc performance d'apprentissage meilleure

Les trois premières expérimentations ont montré un effet positif des pauses associées à la segmentation. Toutefois, il ne nous était pas possible de conclure si cet effet était lié à la diminution de la charge cognitive induite par les pauses ou à la compréhension de la structure sous-jacente permise par la segmentation. Les résultats de notre quatrième étude indiquent que l'indiçage verbal, mettant en saillance les étapes clés de la procédure, et donc donnant des indications sur la structure sous-jacente, n'améliore pas la qualité d'apprentissage comparativement à la segmentation. Notre cinquième étude a permis de montrer l'effet positif des pauses sur la qualité d'apprentissage grâce à l'incitation par ajout d'une consigne. Ainsi, ces deux dernières expérimentations nous permettent d'apporter un

éclairage nouveau sur les résultats des trois précédentes. Au regard de l'ensemble de nos résultats, il semblerait que les effets de la segmentation retrouvés dans les trois premières études seraient davantage liés à la diminution de la charge cognitive plutôt qu'à la mise en saillance de la structures sous-jacente.

L'environnement d'apprentissage utilisé dans notre étude était très simple en termes de contrôle par l'apprenant (uniquement la possibilité de faire des pauses) et ne reprenait pas l'ensemble des options d'interaction habituellement offertes lors de la lecture de vidéo. De futures études évaluant l'effet des pauses combinées à la segmentation pourraient ainsi être menées en incluant des options de contrôle plus élaborées. Il faudra alors être vigilant et garder à l'esprit que si les contrôles sont trop complexes (stop, lecture, chapitre suivant, contrôle de la vitesse, contrôle de la direction), ils puissent induire une charge cognitive considérable et entraîner une diminution de l'efficacité d'apprentissage (Tabbers & Koeijer, 2010). Dans de futures études, il serait intéressant de mesurer spécifiquement la charge cognitive perçue par l'apprenant afin d'évaluer l'impact de l'utilisation des options de contrôle.

Dans notre étude, les participants ont été invités à reproduire la procédure après avoir visionné la vidéo pédagogique. De nouvelles expérimentations pourraient être menées en explorant les stratégies employées par les apprenants lorsque la procédure est effectuée en regardant la vidéo, comme c'est le cas dans d'autres études (e.g., Boucheix & Forestier, 2017). Il serait probable que les apprenants utiliseraient davantage les fonctionnalités interactives qu'ils ne l'ont fait dans notre étude (Schwan & Riempp, 2004).

Une limite de notre étude est que nous avons mesuré les résultats d'apprentissage peu de temps après que les apprenants aient visionné la vidéo. Dans une future étude, nous pourrions demander aux apprenants de reproduire la procédure quelques jours plus tard afin de mesurer la rétention à long terme.

En conclusion, ce travail de recherche montre que les apprenants novices utilisent très peu, par eux-mêmes, les pauses pour segmenter une vidéo d'apprentissage. Cette sous-

utilisation est probablement liée au fait qu'ils ne savent pas identifier les étapes clés d'une procédure à apprendre. Ces résultats mettent en avant les effets positifs de la segmentation sur la qualité de l'apprentissage, et sont conformes aux résultats obtenus dans des études antérieures sur des documents non procéduraux (e.g., Boucheix & Guignard, 2005; Kalyuga, 2007b; Mayer & Chandler, 2001; Moreno, 2007; Spanjers et al., 2011). Il nous est donc possible d'étendre l'apport de la segmentation pour l'apprentissage procédural de geste professionnel. Ces résultats montrent également que les vidéos doivent être segmentées par le concepteur ou l'enseignant avant de les proposer aux élèves afin d'améliorer leur apprentissage. Il est vrai toutefois que cette segmentation peut être plus ou moins complexe à réaliser en fonction de la nature du contenu pédagogique présenté et de sa structure (nombre d'étapes, durée, complexité du matériel...). Dans les cas où la segmentation n'est pas possible ou difficile, le concepteur a la possibilité d'optimiser la qualité d'apprentissage en incitant les apprenants à faire des pauses par l'intermédiaire d'une consigne spécifique. D'autres études seraient nécessaires pour étendre ces résultats et éventuellement les généraliser. L'effet bénéfique de l'ajout d'une consigne, retrouvé dans notre dernière étude, mériterait d'être davantage exploré dans de futures recherches pour confirmer nos résultats.

À l'issue de ce travail, des recherches futures pourraient s'intéresser à d'autres types d'apprentissages procéduraux, tels que des gestes chirurgicaux, de mécanique (e.g. apprendre à changer une pièce dans un moteur de voiture) ou de loisirs (e.g. apprendre à réaliser un origami), afin de vérifier la reproductibilité des résultats obtenus. De même, de futures études pourraient vérifier si les résultats obtenus seraient identiques pour des apprentissages non procéduraux.

Les personnes incluses dans notre étude avaient comme consigne initiale de devoir reproduire les informations apprises à l'issue de la vidéo. Ils étaient donc très engagés dans un apprentissage actif, ce qui n'est probablement pas le cas dans d'autres situations d'apprentissage. Cela est d'autant plus vrai que les expérimentations ont été réalisées lors d'un TD, intégré en plus de l'enseignement habituel, mais totalement en lien avec les compétences qu'ils doivent acquérir au terme de leur formation. Ils étaient donc

particulièrement motivés et intéressés par le sujet. Cela est certainement une différence importante avec d'autres études qui ont été menées en laboratoire, sur des sujets plus éloignés des préoccupations des apprenants. Il serait donc intéressant de tester nos résultats dans d'autres conditions pour comparer nos résultats à ceux des études précédentes.

L'utilisation de dispositifs d'Eye-tracking permettrait sans doute de mieux appréhender ce que réalisent les apprenants au cours des pauses. En fonction de cette exploration, de nouvelles perspectives de recherche pour améliorer la qualité de l'apprentissage pourraient émerger.

Enfin, nos résultats démontrent que la présence d'un bouton de pause, fonction interactive la plus fréquemment utilisée dans un environnement d'apprentissage vidéo, est nécessaire, mais évidemment pas suffisante pour améliorer l'apprentissage multimédia. D'autres expérimentations devront donc être menées pour valider ce principe dans un environnement plus écologique, en situation réelle d'apprentissage avec des plateformes et des interfaces habituellement utilisées par les étudiants.

L'apprentissage est de plus en plus présent dans la formation médicale et paramédicale. Cependant, les enseignants, qu'ils soient permanents ou vacataires avec une pratique clinique, manquent de formation en sciences de l'apprentissage avant de commencer leurs fonctions en tant qu'enseignants (Levinson, 2010) et qu'ils devraient acquérir des connaissances sur la compréhension des processus cognitifs impliqués dans l'apprentissage (DiGiacinto, 2007; Issa et al., 2011; Kalet et al., 2012). L'AAMC suggère d'ailleurs que les enseignants dans ces disciplines devraient utiliser les principes de l'apprentissage multimédia lors de la conception des présentations pédagogiques pour leurs étudiants (Association of American Medical Colleges, 2007). Etant amené à donner des formations auprès d'étudiants en ergothérapie ou de professionnels de la rééducation et de la santé, ce travail m'a apporté des connaissances sur les théories cognitives de l'apprentissage multimédia et plus particulièrement sur l'apprentissage vidéo de procédures. Ce travail nous apporte, en tant que formateurs, des solutions pratiques pour améliorer nos

supports vidéo afin de limiter la charge cognitive de nos étudiants (ou professionnels en formation continue) et faciliter leurs apprentissages.

Bibliographie

- Abrami, P. C., Bernard, R. M., Bures, E. M., Borokhovski, E., & Tamim, R. M. (2011). Interaction in distance education and online learning: Using evidence and theory to improve practice. *Journal of Computing in Higher Education*, 23(2-3), 82–103.
- Ackerman, R., & Thompson, V. A. (2017). Meta-Reasoning: Monitoring and Control of Thinking and Reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(8), 607-617. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.05.004>
- Akinlofa, O. R., Holt, P. O., & Elyan, E. (2013). Effect of interface dynamism on learning procedural motor skills. *Interacting with Computers*, 25(3), 259–269.
- Albanese, M. (2005). Coming to a medical school near you: full motion video medical education. *Medical Education*, 39(11), 1081-1082. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2005.02311.x>
- Albero, B., & Nagels, M. (2011). La compétence en formation. *Education & Formation*, (296), 13-30.
- Ali, M., & Zamzuri, A. (2010). Effects of Teacher Controlled Segmented-Animation Presentation in Facilitating Learning. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 19(4), 367-378.
- Ali, M., & Zamzuri, A. (2013). Effects of Segmented-Animation in Projected Presentation Condition. *Journal of Educational Technology & Society*, 16(3), 234-245.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological review*, 89(4), 369.
- Arguel, A., & Jamet, E. (2009). Using video and static pictures to improve learning of procedural contents. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 354-359. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.014>
- Arrêté du 2 septembre 2015 relatif au diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute, Pub. L. No. AFSH1516238A, 15584 (2015). Consulté à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031127778&categorieLien=id>

Arrêté du 5 juillet 2010 relatif au diplôme d'Etat d'ergothérapeute, Pub. L. No. SASH1017858A, 12558 (2010). Consulté à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022447668&categorieLien=id>

Association of American Medical Colleges [AAMC]. (2007). *Effective Use of Educational Technology in Medical Education* (p. 18). Washington, DC: Institute for Improving Medical Education.

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.

Ayres, P., & Paas, F. (2007a). Can the cognitive load approach make instructional animations more effective? *Applied Cognitive Psychology*, 21(6), 811-820.

Ayres, P., & Paas, F. (2007b). Making instructional animations more effective: a cognitive load approach. *Applied Cognitive Psychology*, 21(6), 695-700. <https://doi.org/10.1002/acp.1343>

Ayres, P., & Sweller, J. (2014). The split-attention principle in multimedia learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Vol. 2, p. 206-226).

Azevedo, R., & Cromley, J. G. (2004). Does training on self-regulated learning facilitate students' learning with hypermedia? *Journal of educational psychology*, 96(3), 523.

Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559.

Baggett, P. (1987). Learning a Procedure from Multimedia Instructions: the Effects of Film and practice. *Applied Cognitive Psychology*, 1(3), 183-195.

Bailliard, A. L. (2015). Video methodologies in research: Unlocking the complexities of occupation. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 82(1), 35–43.

Balslev, T., de Grave, W. S., Muijtjens, A. M. M., & Scherpbier, A. J. J. A. (2010). Enhancing diagnostic accuracy among nonexperts through use of video cases. *Pediatrics*, 125(3), e570-576. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-0438>

- Balslev, T., De Grave, W. S., Muijtjens, A. M., & Scherpbier, A. (2005). Comparison of text and video cases in a postgraduate problem-based learning format. *Medical education*, 39(11), 1086–1092.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, 84(2), 191.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: Freeman.
- Bartholomé, T., & Bromme, R. (2009). Coherence formation when learning from text and pictures: What kind of support for whom? *Journal of Educational Psychology*, 101(2), 282.
- Berney, S., & Bétrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. *Computers & Education*, 101, 150-167. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.06.005>
- Bétrancourt, M., & Realini, N. (2005). Faut-il vraiment laisser le déroulement d'une animation sous le contrôle de l'apprenant? In *JETCSICS* (p. 8). Nice. Consulté à l'adresse <https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00016538/>
- Bétrancourt, M., & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on users' performance: A review. *Le Travail Humain: A Bilingual and Multi-Disciplinary Journal in Human Factors*, 63(4), 311-329.
- Bétrancourt, Mireille. (2005). The Animation and Interactivity Principles in Multimedia Learning. In R. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (p. 287-296). Cambridge: Cambridge University Press. Consulté à l'adresse <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9780511816819A027>
- Bétrancourt, Mireille, Dillenbourg, P., & Clavier, L. (2008). Display of Key Pictures from Animation: Effects on Learning. In J.-F. Rouet, R. Lowe, & W. Schnotz (Éd.), *Understanding Multimedia Documents* (p. 61-78). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73337-1_4

- Blandin, Y., Lhuisset, L., & Proteau, L. (1999). Cognitive processes underlying observational learning of motor skills. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 52(4), 957–979.
- Boltz, M. (1992). Temporal accent structure and the remembering of filmed narratives. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(1), 90-105. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.1.90>
- Borgman, C. L. (1986). The user's mental model of an information retrieval system: an experiment on a prototype online catalog. *International Journal of man-machine studies*, 24(1), 47–64.
- Boucheix, J. -M. (2008). Contrôle d'animations multimédias par des enfants de dix à 11 ans : quel effet des dispositifs de contrôle ? *Psychologie Française*, 53(2), 239-257. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2007.10.001>
- Boucheix, J. -M. (2012). Bénéfices des technologies pour l'apprentissage dans le domaine de la santé. *Soins cadres*, 20(N° 80 SU), 8-10.
- Boucheix, J. -M., & Forestier, C. (2017). Reducing the transience effect of animations does not (always) lead to better performance in children learning a complex hand procedure. *Computers in Human Behavior*, 69, 358–370.
- 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*. <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. <https://doi.org/10.1007/BF03173563>
- Boucheix, J. -M., Lowe, R. K., Putri, D. K., & Groff, J. (2013). Cueing animations: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. *Learning and Instruction*, 25, 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.11.005>

- Boucheix, J. -M., & Rouet, J.-F. (2007). Les animations interactives multimédias sont-elles efficaces pour l'apprentissage ? *Revue française de pédagogie*, (160), 133-156. <https://doi.org/10.4000/rfp.832>
- Boucheix, J. -M., & Schneider, E. (2009). Static and animated presentations in learning dynamic mechanical systems. *Learning and Instruction*, 19(2), 112-127. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.03.004>
- Bovair, S., & Kieras, D. E. (1991). Toward a model of acquiring procedures from text. *Handbook of reading research*, 2, 206–229.
- Brucker, B., Ehlis, A.-C., Häußinger, F. B., Fallgatter, A. J., & Gerjets, P. (2015). Watching corresponding gestures facilitates learning with animations by activating human mirror-neurons: An fNIRS study. *Learning and Instruction*, 36, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.11.003>
- Brunyé, T. T., Taylor, H. A., Rapp, D. N., & Spiro, A. B. (2006). Learning procedures: the role of working memory in multimedia learning experiences. *Applied Cognitive Psychology*, 20(7), 917-940. <https://doi.org/10.1002/acp.1236>
- Buccino, G., Vogt, S., Ritzl, A., Fink, G. R., Zilles, K., Freund, H.-J., & Rizzolatti, G. (2004). Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron*, 42(2), 323–334.
- Byrne, R. W., & Russon, A. E. (1998). Learning by imitation: A hierarchical approach. *Behavioral and brain sciences*, 21(05), 667–684.
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2014). Le développement de la mémoire de travail : perspectives dans le cadre du modèle de partage temporel des ressources. *The development of working memory: The time-based resource sharing approach (English)*, (59), 21-39. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2012.12.003>
- Carroll, W. R., & Bandura, A. (1982). The role of visual monitoring in observational learning of action patterns: Making the unobservable observable. *Journal of motor behavior*, 14(2), 153–167.

- Caspi, A., Gorsky, P., & Privman, M. (2005). Viewing comprehension: Students' learning preferences and strategies when studying from video. *Instructional Science*, 33(1), 31–47.
- Castro-Alonso, J. C., Ayres, P., & Paas, F. (2014). Dynamic Visualisations and Motor Skills. In W. Huang (Éd.), *Handbook of Human Centric Visualization* (p. 551-580). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7485-2_22
- Chandler, P. (2009). Dynamic visualisations and hypermedia: Beyond the “Wow” factor. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 389-392. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.018>
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and instruction*, 8(4), 293–332.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62(2), 233–246.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied cognitive psychology*, 10(2), 151–170.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive: Théorie et applications*. Paris: Armand Colin.
- Chen, S. Y., Fan, J.-P., & Macredie, R. D. (2006). Navigation in hypermedia learning systems: experts vs. novices. *Computers in Human Behavior*, 22(2), 251–266.
- Cheon, J., Chung, S., Crooks, S. M., Song, J., & Kim, J. (2014). An Investigation of the Effects of Different Types of Activities during Pauses in a Segmented Instructional Animation. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(2), 296-306.
- Cheon, J., Crooks, S., & Chung, S. (2014). Does segmenting principle counteract modality principle in instructional animation? *British Journal of Educational Technology*, (1), 56-64.
- Chi, M. T., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive science*, 13(2), 145–182.

- Chien, Y.-T., & Chang, C.-Y. (2012). Comparison of Different Instructional Multimedia Designs for Improving Student Science-Process Skill Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1), 106-113. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9286-3>
- Clark, G. (2002). The case for hand therapy. *The Case Manager*, 13(4), 75–78.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2011). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. Pfeiffer: John Wiley & Sons. Consulté à l'adresse <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=twoLz3jlkRgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=E-learning+and+the+science+of+instruction:+Proven+guidelines+for+consumers+and+designers+of+multimedia+learning.&ots=MeD3piYzej&sig=Sve7Suq9BykqfiAYIBP1Zuel ejw>
- Clark, R. C., Nguyen, F., & Sweller, J. (2006). *Efficiency in learning: Evidence-based guidelines to manage cognitive load*. John Wiley & Sons. Consulté à l'adresse https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=9nwESAIRzxoC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Efficiency+in+learning:+Evidence-based+guidelines+to+manage+cognitive+load&ots=C2c6C2y_ST&sig=K7n66E_vVRs_ROAaNTPk-ytPya4
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1988. Consulté à l'adresse <http://trove.nla.gov.au/version/45409193>
- Cojean, S. (2018). *Etayage des activités de recherche d'information et d'apprentissage en environnement vidéo : apports de la segmentation et de la structuration*. Université Rennes 2, Rennes. Consulté à l'adresse <http://www.theses.fr/s147278>
- Cook, D. A., Garside, S., Levinson, A. J., Dupras, D. M., & Montori, V. M. (2010). What do we mean by web-based learning? A systematic review of the variability of interventions. *Medical Education*, 44(8), 765–774.
- Cooper, G., & Sweller, J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79(4), 347-362. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.79.4.347>

- Corr, P. (2012). Using e-learning movies to teach radiology to students. *Medical education*, 46(11), 1119–1120.
- Cross, E. S., Hamilton, A. F. de C., & Grafton, S. T. (2006). Building a motor simulation de novo: observation of dance by dancers. *Neuroimage*, 31(3), 1257–1267.
- Davids, M. r., Chikte, U. m. e., & Halperin, M. I. (2015). Optimising cognitive load and usability to improve the impact of e-learning in medical education : review. *African Journal of Health Professions Education*, 7(2), 147-152. <https://doi.org/10.7196/AJHPE.569>
- de Koning, B. B., & Tabbers, H. K. (2011). Facilitating Understanding of Movements in Dynamic Visualizations: an Embodied Perspective. *Educational Psychology Review*, 23(4), 501.
- de Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2009). Towards a Framework for Attention Cueing in Instructional Animations: Guidelines for Research and Design. *Educational Psychology Review*, (21), 113-140.
- de Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M., & Paas, F. (2007). Attention cueing as a means to enhance learning from an animation. *Applied Cognitive Psychology*, 21(6), 731–746.
- Derry, S. J., Sherin, M. G., & Sherin, B. L. (2014). Multimedia learning with video. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.038>
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*, 91(1), 176–180.
- DiGiacinto, D. (2007). Using multimedia effectively in the teaching-learning process. *Journal of Allied Health*, 36(3), 176-179.
- Dixon, P. (1982). Plans and written directions for complex tasks. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 21(1), 70-84. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(82\)90456-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(82)90456-X)

- Dixon, P. (1987). The structure of mental plans for following directions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(1), 18-26. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.1.18>
- Domagk, S., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2010). Interactivity in multimedia learning: An integrated model. *Computers in Human Behavior*, 26(5), 1024-1033. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.03.003>
- Doody, S. G., Bird, A. M., & Ross, D. (1985). The effect of auditory and visual models on acquisition of a timing task. *Human Movement Science*, 4(4), 271–281.
- Dowrick, P. W. (1991). *Practical guide to using video in the behavioral sciences*. John Wiley & Sons Inc.
- Dowrick, P. W. (2000). A review of self modeling and related interventions. *Applied and preventive psychology*, 8(1), 23–39.
- Dowrick, P. W., & Hood, M. (1981). Comparison of self-modeling and small cash incentives in a sheltered workshop. *Journal of Applied Psychology*, 66(3), 394.
- Eick, C. J., & King, D. T. (2012). Nonscience majors' perceptions on the use of YouTube video to support learning in an integrated science lecture. *Journal of College Science Teaching*, 42(1), 26–30.
- El-Sayed, R. E.-S. H., & El-Sayed, S. E.-H. A. E.-R. (2013). Video-based lectures: An emerging paradigm for teaching human anatomy and physiology to student nurses. *Alexandria Journal of Medicine*, 49(3), 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2012.11.002>
- Elwyn, G. J., & Smail, S. A. (1998). Planning and producing an educational videotape on the cervical screening programme in Wales. *Medical education*, 32(4), 396–400.
- Ertelt, A. (2007). *On-screen videos as an effective learning tool* (Doctoral Dissertation). Albert-Ludwigs Universität Freiburg, Germany, Freiburg, Germany. Consulté à l'adresse <https://www.freidok.uni-freiburg.de/dnb/download/3095>
- Ertelt, A., Renkl, A., & Spada, H. (2005). Learning a new computer application using on-screen videos. *Recent research developments in learning technologies*, 2, 757–762.

- Fernandez, J., & Jamet, E. (2017). Extending the testing effect to self-regulated learning. *Metacognition and Learning, 12*(2), 131–156.
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2015). Eight ways to promote generative learning. *Educational Psychology Review, 28*(4), 717–741.
- Forbes, H., Oprescu, F. I., Downer, T., Phillips, N. M., McTier, L., Lord, B., ... Visser, I. (2016). Use of videos to support teaching and learning of clinical skills in nursing education: A review. *Nurse Education Today, 42*, 53-56.
<https://doi.org/10.1016/j.nedt.2016.04.010>
- Föböl, T., Ebner, M., Schön, S., & Holzinger, A. (2016). A Field Study of a Video Supported Seamless-Learning-Setting with Elementary Learners. *Journal of Educational Technology & Society, 19*(1), 321-336.
- Gable, C. (2010). Guide pratique d'application des orthèses de la main. Editions Solal ; ANFE.
- Ganier, F. (2004). Factors affecting the processing of procedural instructions: implications for document design. *IEEE Transactions on Professional Communication, 47*(1), 15–26.
- Ganier, F. (2013). *Comprendre la documentation technique*. Presses Universitaires de France - PUF.
- Ganier, F. (2016). Écrire pour transmettre des connaissances procédurales: le cas des documents techniques procéduraux. *Pratiques. Linguistique, littérature, didactique, (171-172)*. Consulté à l'adresse <http://pratiques.revues.org/3168>
- 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.
<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., 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.
- Garland, T. B., & Sanchez, C. A. (2013). Rotational perspective and learning procedural tasks from dynamic media. *Computers & Education*, 69, 31–37.
- Gay, G. (1986). Interaction of learner control and prior understanding in computer-assisted video instruction. *Journal of Educational Psychology*, 78(3), 225.
- Gerjets, P., Scheiter, K., Opfermann, M., Hesse, F. W., & Eysink, T. H. (2009). Learning with hypermedia: The influence of representational formats and different levels of learner control on performance and learning behavior. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 360–370.
- Giannakos, M. N. (2013). Exploring the video-based learning research: A review of the literature. *British Journal of Educational Technology*, 44(6), E191–E195.
- Giles, A. K., Carson, N. E., Breland, H. L., Coker-Bolt, P., & Bowman, P. J. (2014). Use of simulated patients and reflective video analysis to assess occupational therapy students' preparedness for fieldwork. *American Journal of Occupational Therapy*, 68(Supplement_2), S57–S66.
- Gomersall, C. D., Lam, P., & Joynt, G. M. (2010). Electronic interactive learning to supplement acute care teaching. *Medical education*, 44(5), 526–526.
- Govindaraja, C., Aung, K. K. M., & Chandramouli, A. (2012). Video clips in medical lectures: Students' perceptions and performance. In *ResearchGate* (p. 49-51). Singapore. https://doi.org/10.5176/2251-1814_EeL12.31
- Granry, J.-C., & Moll, M.-C. (2012). *Guide de bonnes pratiques en matière de simulation en santé* (Haute Autorité de Santé) (p. 110). Saint-Denis: HAS.
- Gray, J. T., Neisser, U., Shapiro, B. A., & Kouns, S. (1991). Observational learning of ballet sequences: The role of kinematic information. *Ecological Psychology*, 3(2), 121–134.

- Hagemann, E., Williams, C. K., McKee, P., Stefanovich, A., & Carnahan, H. (2014). Using Model Hands for Learning Orthotic Fabrication. *American Journal of Occupational Therapy*, *68*(1), 86-94. <https://doi.org/10.5014/ajot.2014.009001>
- Hall, E. G., & Erffmeyer, E. S. (1983). The effect of visuo-motor behavior rehearsal with videotaped modeling on free throw accuracy of intercollegiate female basketball players. *Journal of Sport Psychology*, *5*(3). Consulté à l'adresse <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1984-11302-001>
- Hamet, M., Bonnetain, E., Boucheix, J.-M., Reszkiewicz, C., & Freysz, M. (2009). Intérêt de l'utilisation d'un logiciel de simulation médicale dans l'apprentissage de la prise en charge initiale de l'arrêt cardiaque. *Journal Européen des Urgences*, *22*, *Supplement 2*, A15. <https://doi.org/10.1016/j.jeur.2009.03.492>
- Hasler, B. S., Kersten, B., & Sweller, J. (2007). Learner control, cognitive load and instructional animation. *Applied Cognitive Psychology*, *21*(6), 713-729. <https://doi.org/10.1002/acp.1345>
- Hassanabadi, H., Robotjazi, E. S., & Savoji, A. P. (2011). Cognitive consequences of segmentation and modality methods in learning from instructional animations. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *30*, 1481-1487. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.10.287>
- Hatsidimitris, G., & Kalyuga, S. (2013). Guided self-management of transient information in animations through pacing and sequencing strategies. *Educational Technology Research and Development*, *61*(1), 91–105.
- Hegarty, M., Keehner, M., Cohen, C., Montello, D., & Lippa, Y. (2007). The role of spatial cognition in medicine: Applications for selecting and training professionals. *Applied spatial cognition*, 285–315.
- Hegarty, M., Kriz, S., & Cate, C. (2003). The Roles of Mental Animations and External Animations in Understanding Mechanical Systems. *Cognition and Instruction*, *21*(4), 209-249. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2104_1

- Heurley, L., & Ganier, F. (2006). L'utilisation des textes procéduraux: Lecture, compréhension et exécution d'instructions écrites. *Intellectica*, 44(2), 45–62.
- Hoc, J.-M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Presses universitaires de Grenoble.
- Höffler, T. N. (2010). Spatial ability: Its influence on learning with visualizations—a meta-analytic review. *Educational psychology review*, 22(3), 245–269.
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722-738. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.013>
- Höffler, T. N., & Schwartz, R. N. (2011). Effects of pacing and cognitive style across dynamic and non-dynamic representations. *Computers & Education*, 57(2), 1716–1726.
- Holland, A., Smith, F., McCrossan, G., Adamson, E., Watt, S., & Penny, K. (2013). Online video in clinical skills education of oral medication administration for undergraduate student nurses: A mixed methods, prospective cohort study. *Nurse Education Today*, 33(6), 663-670. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2012.01.006>
- Holzinger, A., Kickmeier-Rust, M. D., Wassertheurer, S., & Hessinger, M. (2009). Learning performance with interactive simulations in medical education: Lessons learned from results of learning complex physiological models with the HAEMOdynamics SIMulator. *Computers & Education*, 52(2), 292–301.
- Ibrahim, M. (2012). Implications of Designing Instructional Video Using Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Critical Questions in Education*, 3(2), 83-104.
- Ibrahim, M., Antonenko, P. D., Greenwood, C. M., & Wheeler, D. (2012). Effects of segmenting, signalling, and weeding on learning from educational video. *Learning, Media and Technology*, 37(3), 220–235.
- Imhof, B., Ehlis, A.-C., & Gerjets, P. (2012). Learning with Dynamic Visualizations: The Role of the Human Mirror Neuron System. *Staging knowledge and experience: how to take advantage of representational technologies in education and training?*, 94.

- Imhof, B., Scheiter, K., Edelman, J., & Gerjets, P. (2012). How temporal and spatial aspects of presenting visualizations affect learning about locomotion patterns. *Learning and Instruction, 22*(3), 193–205.
- Issa, N., Schuller, M., Santacaterina, S., Shapiro, M., Wang, E., Mayer, R. E., & DaRosa, D. A. (2011). Applying multimedia design principles enhances learning in medical education. *Medical Education, 45*(8), 818-826. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2011.03988.x>
- Jaffar, A. A. (2012). YouTube: An emerging tool in anatomy education. *Anatomical sciences education, 5*(3), 158–164.
- Jamet, E. (2015). Impact de la redondance verbale et du contrôle du document pendant l'apprentissage multimédia. *Psychologie Française*. Consulté à l'adresse <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033298415000187>
- Jamet, Eric. (2008). *La compréhension des documents multimédias : de la cognition à la conception*. De Boeck Supérieur.
- Kalet, A., Song, H. s., Sarpel, U., Schwartz, R., Brenner, J., Ark, T. k., & Plass, J. (2012). Just enough, but not too much interactivity leads to better clinical skills performance after a computer assisted learning module. *Medical Teacher, 34*(10), 833-839. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2012.706727>
- Kalyuga, S. (2007a). Enhancing Instructional Efficiency of Interactive E-learning Environments: A Cognitive Load Perspective. *Educational Psychology Review, 19*(3), 387-399. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9051-6>
- Kalyuga, S. (2007b). Expertise Reversal Effect and Its Implications for Learner-Tailored Instruction. *Educational Psychology Review, 19*(4), 509-539. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9054-3>
- Kalyuga, S. (2012). Interactive distance education: a cognitive load perspective. *Journal of Computing in Higher Education, 24*(3), 182–208.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational psychologist, 38*(1), 23–31.

- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of Expertise and Instructional Design. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 40(1), 1-17. <https://doi.org/10.1518/001872098779480587>
- Kalyuga, S., & Liu, T.-C. (2015). Guest editorial: managing cognitive load in technology-based learning environments. *Educational Technology & Society*, 18(4), 1–8.
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2014). The Redundancy Principle in Multimedia Learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning* (p. 247-262).
- Kay, R. H. (2012). Exploring the use of video podcasts in education: A comprehensive review of the literature. *Computers in Human Behavior*, 28(3), 820-831. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.01.011>
- Kelly, M., Lyng, C., McGrath, M., & Cannon, G. (2009). A multi-method study to determine the effectiveness of, and student attitudes to, online instructional videos for teaching clinical nursing skills. *Nurse Education Today*, 29(3), 292-300. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2008.09.004>
- Kennedy, G. E. (2004). Promoting cognition in multimedia interactivity research. *Journal of Interactive Learning Research*, 15(1), 43-61.
- Kettanurak, V. N., Ramamurthy, K., & Haseman, W. D. (2001). User attitude as a mediator of learning performance improvement in an interactive multimedia environment: an empirical investigation of the degree of interactivity and learning styles. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54(4), 541–583.
- Khacharem, A., Spanjers, I. A., Zoudji, B., Kalyuga, S., & Ripoll, H. (2013). Using segmentation to support the learning from animated soccer scenes: An effect of prior knowledge. *Psychology of Sport and Exercise*, 14(2), 154–160.
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and instruction*, 12(1), 1–10.
- Kitsantas, A., Zimmerman, B. J., & Cleary, T. (2000). The role of observation and emulation in the development of athletic self-regulation. *Journal of Educational Psychology*, 92(4), 811-817.

- Kombartzky, U., Ploetzner, R., Schlag, S., & Metz, B. (2010). Developing and evaluating a strategy for learning from animations. *Learning and Instruction, 20*(5), 424–433.
- Kraiger, K., & Jerden, E. (2007). A meta-analytic investigation of learner control: Old findings and new directions. *Toward a science of distributed learning, (65-90)*. Consulté à l'adresse <http://psycnet.apa.org/psycinfo/2007-06007-004>
- Kriz, S., & Hegarty, M. (2007). Top-down and bottom-up influences on learning from animations. *International Journal of Human-Computer Studies, 65*(11), 911–930.
- Kurby, C. A., & Zacks, J. M. (2008). Segmentation in the perception and memory of events. *Trends in Cognitive Sciences, 12*(2), 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.11.004>
- Lammers, R. L. (2007). Simulation: The new teaching tool. *Annals of Emergency Medicine, 49*(4), 505–507.
- Lawless, K. A., & Brown, S. W. (1997). Multimedia learning environments: Issues of learner control and navigation. *Instructional Science, 25*(2), 117–131.
- Le Boterf, G. (1997). Compétence et navigation professionnelle. *Les Editions d'organisation, Paris*.
- Le Boterf, G. (2000). *Construire les compétences individuelles et collectives*. Ed. d'Organisation. Consulté à l'adresse http://www.eyrolles.com/Chapitres/9782708137059/TDM_Leboterf.pdf
- Leahy, W., & Sweller, J. (2011). Cognitive load theory, modality of presentation and the transient information effect. *Applied Cognitive Psychology, 25*(6), 943–951.
- Lee, D. Y., & Lehto, M. R. (2013). User acceptance of YouTube for procedural learning: An extension of the Technology Acceptance Model. *Computers & Education, 61*, 193–208.
- Levinson, A. J. (2010). Where is evidence-based instructional design in medical education curriculum development? *Medical Education, 44*(6), 536-537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2010.03715.x>

- Lin, B., & Hsieh, C. (2001). Web-based teaching and learner control: a research review. *Computers & Education, 37*, 377-386. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(01\)00060-4](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(01)00060-4)
- Lin, L., & Atkinson, R. K. (2011). Using animations and visual cueing to support learning of scientific concepts and processes. *Computers & Education, 56*(3), 650–658.
- Low, R., & Sweller, J. (2005). The modality principle in multimedia learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Mayer, p. 147-158). New-York. Consulté à l'adresse <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=Cvw6BAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA227&dq=The+modality+principle+in+multimedia+learning&ots=HuW9QcCUXQ&sig=rhS0LR1UIFP8yikJrzw4Ekg6Zr4>
- Lowe, R. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning. *Learning and instruction, 14*(3), 257–274.
- Lowe, R., & Boucheix, J.-M. (2011). Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes? *Learning and Instruction, 21*(5), 650-663. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.02.002>
- Lowe, R. K. (2003). Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction, 13*(2), 157-176. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00018-X)
- Lowe, Richard K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education, 14*(2), 225-244. <https://doi.org/10.1007/BF03172967>
- Lusk, D. L., Evans, A. D., Jeffrey, T. R., Palmer, K. R., Wikstrom, C. S., & Doolittle, P. E. (2009). Multimedia learning and individual differences: Mediating the effects of working memory capacity with segmentation. *British Journal of Educational Technology, 40*(4), 636-651. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00848.x>

- Lyons, A., Reysen, S., & Pierce, L. (2012). Video lecture format, student technological efficacy, and social presence in online courses. *Computers in Human Behavior*, 28(1), 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2011.08.025>
- Lysaght, R., & Bent, M. (2005). A comparative analysis of case presentation modalities used in clinical reasoning coursework in occupational therapy. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 59(3), 314-324.
- 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.
- Marcus, N., Cooper, M., & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of educational psychology*, 88(1), 49.
- Martin, E. (2016, février 12). The State of Online Video. Consulté 11 mai 2016, à l'adresse <http://www.econtentmag.com/Articles/Editorial/Feature/The-State-of-Online-Video-108662.htm>
- Martin, F. G. (2012). Will massive open online courses change how we teach? *Communications of the ACM*, 55(8), 26–28.
- Matthew, I. R., Pollard, D. J., & Frame, J. W. (1998). Development and evaluation of a computer-aided learning package for minor oral surgery teaching. *Medical education*, 32(1), 89–94.
- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2001). Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 377-389.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2008). Applying the science of learning: evidence-based principles for the design of multimedia instruction. *American Psychologist*, 63(8), 760.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. Cambridge university press. Consulté à l'adresse <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=5g0AM1CHysgC&oi=fnd&pg=PR1&dq=Multimedia+learning+&ots=T92vCpc1EZ&sig=9aKyirit92XF3IUauCgTe0ADQ5g>

- Mayer, R. E. (2014a). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (Second Edition, p. 43-72). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2014b). Introduction to Multimedia Learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd Edition, p. 1-24). Cambridge University Press. Consulté à l'adresse <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139547369.002>
- Mayer, R. E. (2014c). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (Second Edition). 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.
- Mayer, R. E., Dow, G. T., & Mayer, S. (2003). Multimedia Learning in an Interactive Self-Explaining Environment: What Works in the Design of Agent-Based Microworlds? *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 806-812. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.4.806>
- Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2015). *Learning as a Generative Activity*. Cambridge University Press.
- 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. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.11.4.256>
- 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. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.3.147>
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Animation as an Aid to Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 14(1), 87-99. <https://doi.org/10.1023/A:1013184611077>
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.

- Mayer, R. E., & Pilegard, C. (2014). Principles for Managing Essential Processing in Multimedia Learning: Segmenting, Pre-training, and Modality Principles. In R. Mayer (Éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2^e éd., p. 316-344). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.016>
- Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2014). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (Cambridge University Press, p. 279-315). Cambridge: Richard E. Mayer, University of California, Santa Barbara. Consulté à l'adresse [/core/books/the-cambridge-handbook-of-multimedia-learning/principles-for-reducing-extraneous-processing-in-multimedia-learning-coherence-signaling-redundancy-spatial-contiguity-and-temporal-contiguity-principles/CD5B7AE1279A9AB81F8EEBB53DBEC86E](https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.016)
- McAlister, R. B. (2014). Use of Instructor-Produced YouTube® Videos to Supplement Manual Skills Training in Occupational Therapy Education. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 68 Suppl 2, S67-72. <https://doi.org/10.5014/ajot.2014.685S04>
- Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Bakia, M., & Jones, K. (2009). *Evaluation of evidence-based practices in online learning: A meta-analysis and review of online learning studies*. (p. 93). US Department of Education. Consulté à l'adresse <http://eric.ed.gov/?id=eD505824>
- Merkt, M., Ballmann, A., Felfeli, J., & Schwan, S. (2016). Why do pauses in videos benefit learning? In *Learning and instruction at the crossroads of technology Special interest Group (SIG) 6 & 7* (p. 32). Dijon, Frankreich.
- Merkt, M., Ballman, A., Felfeli, J., & Schwan, S. (2016). Why do pauses in videos benefit learning? Présenté à European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI). Special Interest Group (SIG) 6 & 7, Dijon, France.
- Merkt, M., & Schwan, S. (2014). Training the use of interactive videos: effects on mastering different tasks. *Instructional Science*, 42(3), 421–441.

- Merkt, M., Weigand, S., Heier, A., & Schwan, S. (2011a). Learning with videos vs. learning with print: The role of interactive features. *Learning and Instruction, 21*(6), 687-704. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.03.004>
- Merkt, M., Weigand, S., Heier, A., & Schwan, S. (2011b). Learning with videos vs. learning with print: The role of interactive features. *Learning and Instruction, 21*(6), 687-704. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.03.004>
- Meyer, B. J. (1975). *The organization of prose and its effects on memory* (Vol. 1). New York: North-Holland Publishing Co.
- Meyer, K., Rasch, T., & Schnotz, W. (2010). Effects of animation's speed of presentation on perceptual processing and learning. *Learning and Instruction, 20*, 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.016>
- Michas, I. C., & Berry, D. C. (2000). Learning a procedural task: effectiveness of multimedia presentations. *Applied Cognitive Psychology, 14*(6), 555-575. [https://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)
- Moreno, R. (2007). Optimising learning from animations by minimising cognitive load: cognitive and affective consequences of signalling and segmentation methods. *Applied Cognitive Psychology, 21*(6), 765-781. <https://doi.org/10.1002/acp.1348>
- Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive Multimodal Learning Environments. *Educational Psychology Review, 19*(3), 309-326. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2>
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of educational psychology, 91*(2), 358.
- 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.
- 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: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 44*(3), 354–364.

- Narayanan, N. H., & Hegarty, M. (2002). Multimedia design for communication of dynamic information. *International journal of human-computer studies*, 57(4), 279–315.
- Ng, H. K., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2013). Reducing transience during animation: a cognitive load perspective. *Educational Psychology*, 33(7), 755-772.
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. *Mental models*, 7(112), 7–14.
- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of educational psychology*, 84(4), 429.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- 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.
<https://doi.org/10.1007/s10648-011-9179-2>
- Paas, F., & Sweller, J. (2014). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd Edition, p. 27-42). Cambridge University Press.
- Park, O., & Gittelman, S. S. (1992). Selective use of animation and feedback in computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 40(4), 27–38.
- Pedra, A., Mayer, R. E., & Albertin, A. L. (2015). Role of Interactivity in Learning from Engineering Animations. *Applied Cognitive Psychology*, (4), 614.
<https://doi.org/10.1002/acp.3137>
- Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and instruction*, 3(3), 227–238.
- Perlman, C., Weston, C., & Gisel, E. (2010). Enabling meaningful learning through Web-based instruction with occupational therapy students. *Educational Technology Research and Development*, 58(2), 191–210.

- Phan, H. (2011). A cognitive multimedia environment and its importance: A conceptual model for effective learning and development. *International Journal on E-Learning*, 10(2), 199–221.
- Pintrich, P. R. (2003). A motivational science perspective on the role of student motivation in learning and teaching contexts. *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 667.
- Ploetzner, R., Lippitsch, S., Galmbacher, M., Heuer, D., & Scherrer, S. (2009). Students' difficulties in learning from dynamic visualisations and how they may be overcome. *Computers in Human Behavior*, 25(1), 56–65.
- Ploetzner, R., & Lowe, R. (2004). Dynamic visualisations and learning. *Learning and Instruction*, 14(3), 235–240.
- Pociask, F. D., DiZazzo-Miller, R., & Samuel, P. S. (2013). Reducing cognitive load while teaching complex instruction to occupational therapy students. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 67(5), e92-99. <https://doi.org/10.5014/ajot.2013.008078>
- Renkl, A. (2014). The Worked Examples Principle in Multimedia Learning. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, 391.
- Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2007). Interactive learning environments: Contemporary issues and trends. An introduction to the special issue. *Educational Psychology Review*, 19(3), 235–238.
- Rey, G. D., & Diehl, S. (2010). Controlling presentation speed, labels, and tooltips in interactive animations. *Journal of Media Psychology: Theories, Methods, and Applications*, 22(4), 160-170. <https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000021>
- Richard, J.-F. (2004). *Les activités mentales: de l'interprétation de l'information à l'action*. A. Colin.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2008). *Neurones miroirs (Les)*. Odile Jacob.

- Roland, D., & Balslev, T. (2015). Use of patient video cases in medical education. *Archives of disease in childhood-Education & practice edition*, edpract–2014.
- Roncarrelli, R. (1989). *The computer animation dictionary: Including related terms used in computer graphics, film and video, production.* and desktop publishing. Springer-Verlag, New York, NY.
- Ross, D., Bird, A. M., Doody, S. G., & Zoeller, M. (1985). Effects of modeling and videotape feedback with knowledge of results on motor performance. *Human Movement Science*, 4(2), 149–157.
- Rowe, A. L., & Cooke, N. J. (1995). Measuring mental models: Choosing the right tools for the job. *Human resource development quarterly*, 6(3), 243–255.
- Ruiz, J. G., Cook, D. A., & Levinson, A. J. (2009). Computer animations in medical education: a critical literature review. *Medical Education*, 43(9), 838-846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03429.x>
- Sage, K. (2014). What pace is best? Assessing adults' learning from slideshows and video. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 23(1), 91–108.
- Sage, K., Bonacorsi, N., Izzo, S., & Quirk, A. (2015). Controlling the slides: Does clicking help adults learn? *Computers & Education*, 81, 179–190.
- Sage, K., & Baldwin, D. (2014). Looking to the hands: Where we dwell in complex manual sequences. *Visual Cognition*, 22(8), 1092–1104.
- Salomon, G. (1984). Television is "easy" and print is "tough": The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of educational psychology*, 76(4), 647.
- Scheiter, K. (2014). The learner control principle in multimedia learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (RE Mayer (Ed.), p. 487–512). Cambridge: Cambridge University Press.
- Scheiter, Katharina, & Gerjets, P. (2007). Learner control in hypermedia environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 285–307.

- Schladen, M., Libin, A., Ljungberg, I., Tsai, B., & Groah, S. (2011). Toward literacy-neutral spinal cord injury information and training. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 16(3), 70–83.
- Schnotz, W. (2014). Integrated model of text and picture comprehension. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (RE Mayer (Ed.), p. 72-103). Cambridge: Cambridge: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., Böckheler, J., & Grzondziel, H. (1999). Individual and co-operative learning with interactive animated pictures. *European Journal of Psychology of Education*, 14(2), 245-265. <https://doi.org/10.1007/BF03172968>
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A Reconsideration of Cognitive Load Theory. *Educational Psychology Review*, (4), 469.
- Schnotz, W., & Lowe, R. (2003). External and internal representations in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 13(2), 117-123. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00015-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00015-4)
- Schnotz, W., & Lowe, R. K. (2008). A unified view of learning from animated and static graphics. In *Learning with animation : Research implications for design* (Cambridge University Press, p. 304-356). New York. Consulté à l'adresse http://espace.library.curtin.edu.au/R/?func=dbin-jump-full&object_id=216451&local_base=GEN01-ERA02
- Schnotz, W., Picard, E., & Hron, A. (1993). How do successful and unsuccessful learners use texts and graphics? *Learning and Instruction*, 3(3), 181–199.
- Schnotz, W., & Rasch, T. (2005). Enabling, Facilitating, and Inhibiting Effects of Animations in Multimedia Learning: Why Reduction of Cognitive Load Can Have Negative Results on Learning. *Educational Technology Research and Development*, (3), 47.
- Schols, M. (2012). Examining and Understanding Transformative Learning to Foster Technology Professional Development in Higher Education. *iJET*, 7(1), 42–49.

- Schreiber, B. E., Fukuta, J., & Gordon, F. (2010). Live lecture versus video podcast in undergraduate medical education: A randomised controlled trial. *BMC Medical Education, 10*, 68. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-10-68>
- Schunk, D. H., & Zimmerman, B. J. (1997). Social origins of self-regulatory competence. *Educational Psychologist, 32*(4), 195-208.
- Schwan, S., Garsoffky, B., & Hesse, F. W. (2000). Do film cuts facilitate the perceptual and cognitive organization of activity sequences? *Memory & Cognition, 28*(2), 214-223.
- Schwan, S. (2002). Do it yourself? Interactive visualizations as cognitive tools. In *International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning* (p. 1501–1506). Consulté à l'adresse <http://www.iwm-kmrc.de/workshops/visualization/schwan.pdf>
- Schwan, S., & Garsoffky, B. (2004). The cognitive representation of filmic event summaries. *Applied Cognitive Psychology, 18*(1), 37-55. <https://doi.org/10.1002/acp.940>
- Schwan, S., & Riempp, R. (2004). The cognitive benefits of interactive videos: learning to tie nautical knots. *Learning and Instruction, 14*(3), 293-305. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.005>
- Service kiné CHN William Lennox. (2016). *Positionnement de la main HD*. Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=_PvsGk57-H4&spfreload=10
- Sharp, G. (1981). Acquisition of lecturing skills by university teaching assistants: Some effects of interest, topic relevance, and viewing a model videotape. *American Educational Research Journal, 18*(4), 491–502.
- Sherer, P., & Shea, T. (2011). Using Online Video to Support Student Learning and Engagement. *College Teaching, 59*(2), 56-59. <https://doi.org/10.1080/87567555.2010.511313>
- Singh, A.-M., Marcus, N., & Ayres, P. (2012). The Transient Information Effect: Investigating the Impact of Segmentation on Spoken and Written text. *Applied Cognitive Psychology, 26*(6), 848-853. <https://doi.org/10.1002/acp.2885>
- Song, H. S., Pusic, M., Nick, M. W., Sarpel, U., Plass, J. L., & Kalet, A. L. (2014). The cognitive impact of interactive design features for learning complex materials in medical

- education. *Computers & Education*, 71, 198-205.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.017>
- Sorden, S. D. (2005). A cognitive approach to instructional design for multimedia learning. *Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 8, 263–279.
- Spangenberg, R. W. (1973). The motion variable in procedural learning. *AV Communication Review*, 21(4), 419–436.
- Spanjers, I. A. E., van Gog, T., & Merriënboer, J. J. G. (2010). A Theoretical Analysis of How Segmentation of Dynamic Visualizations Optimizes Students' Learning. *Educational Psychology Review*, 22(4), 411-423. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9135-6>
- Spanjers, I. A. E., van Gog, T., & Merriënboer, J. J. G. (2012). Segmentation of Worked Examples: Effects on Cognitive Load and Learning. *Applied Cognitive Psychology*, 26(3), 352-358. <https://doi.org/10.1002/acp.1832>
- Spanjers, I. A. E., van Gog, T., Wouters, P., & Merriënboer, J. J. G. (2012). Explaining the segmentation effect in learning from animations: The role of pausing and temporal cueing. *Computers & Education*, 59(2), 274-280.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.12.024>
- Spanjers, I. A. E., Wouters, P., van Gog, T., & van Merriënboer, J. J. G. (2011). An expertise reversal effect of segmentation in learning from animated worked-out examples. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 46-52.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.011>
- Staggers, N., & Norcio, A. F. (1993). Mental models: concepts for human-computer interaction research. *International Journal of Man-machine studies*, 38(4), 587–605.
- Stefanovich, A., Williams, C., McKee, P., Hagemann, E., & Carnahan, H. (2012). Development and validation of tools for evaluation of orthosis fabrication. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 66(6), 739-746. <https://doi.org/10.5014/ajot.2012.005553>

- Steinberg, E. R. (1989). Cognition and learner control: A literature review, 1977–1988. *Journal of computer-based instruction*. Consulté à l'adresse <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1990-13333-001>
- Sticht, T. (1985). Understanding readers and their uses of texts. *Designing usable texts*, 315–340.
- Stiller, K. D., Freitag, A., Zinnbauer, P., & Freitag, C. (2009). How pacing of multimedia instructions can influence modality effects: A case of superiority of visual texts. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25(2), 184-203. <https://doi.org/10.14742/ajet.1149>
- Swallow, K. M., Zacks, J. M., & Abrams, R. A. (2009). Event boundaries in perception affect memory encoding and updating. *Journal of Experimental Psychology: General*, 138(2), 236.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4), 295–312.
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and instruction*, 12(3), 185–233.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Tabbers, H. K., & Koeijer, B. de. (2010). Learner control in animated multimedia instructions. *Instructional Science*, 38(5), 441-453. <https://doi.org/10.1007/s11251-009-9119-4>

- Tabbers, H. K., Martens, R. L., & van Merriënboer, J. J. G. (2004). Multimedia instructions and cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Psychology*, 74(1), 71-81.
- Taipjutorus, W., Hansen, S., & Brown, M. (2012). Investigating a relationship between learner control and self-efficacy in an online learning environment. *Journal of Open, Flexible and Distance Learning*, 16(1), 56–69.
- 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., & Chanquoy, L. (1996). La charge mentale, «vertu dormitive» ou concept opérationnel?: La charge mentale. *Psychologie française*, 41(4), 313–318.
- Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 247-262.
<https://doi.org/10.1006/ijhc.2002.1017>
- van der Meij, H., & van der Meij, J. (2013). Eight guidelines for the design of instructional videos for software training. *Technical communication*, 60(3), 205–228.
- van Gog, T. (2014). The Signaling (or Cueing) Principle in Multimedia Learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning - 2nd edition* (Cambridge University Press, p. 263-278). Richard E. Mayer. Consulté à l'adresse [https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=Cvw6BAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA263&dq=the+signaling+\(or+cueing\)+principle&ots=HuW7V8zZ_T&sig=MUU_qhEDbn2jkr_kWNgqdNCSw5M](https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=Cvw6BAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA263&dq=the+signaling+(or+cueing)+principle&ots=HuW7V8zZ_T&sig=MUU_qhEDbn2jkr_kWNgqdNCSw5M)
- Van Gog, T., Paas, F., Marcus, N., Ayres, P., & Sweller, J. (2009). The Mirror Neuron System and Observational Learning: Implications for the Effectiveness of Dynamic Visualizations. *Educational Psychology Review*, 21(1), 21-30.
<https://doi.org/10.1007/s10648-008-9094-3>
- Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. (2004). Process-oriented worked examples: Improving transfer performance through enhanced understanding. *Instructional Science*, 32(1-2), 83–98.

- van Hooijdonk, C., & Kraemer, 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.
- Van Merriënboer, J. J. (1997). *Training complex cognitive skills: A four-component instructional design model for technical training* (Englewood Cliffs, NJ). Educational Technology. Consulté à l'adresse https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=o0I3IXLfXuAC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Training+complex+cognitive+skills:+A+four-component+instructional+design+model+for+technical+training&ots=QOS4sInt_T&sig=meAlg7f7dOYKjisOzBJViEfi3U
- van Merriënboer, J. J. G., 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.
- Van Merriënboer, J. J., & Kester, L. (2014). The four-component instructional design model: Multimedia principles in environments for complex learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 104-148.
- Vandewaetere, M., & Clarebout, G. (2013). Cognitive load of learner control: extraneous or germane load? *Education Research International*, 2013. Consulté à l'adresse <http://downloads.hindawi.com/journals/edu/2013/902809.pdf>
- Vermersch, P. (1985). Données d'observation sur l'utilisation d'une consigne écrite: L'atomisation de l'action. *Le Travail Humain*, 161–172.
- Watson, G., Butterfield, J., Curran, R., & Craig, C. (2010). Do dynamic work instructions provide an advantage over static instructions in a small scale assembly task? *Learning and Instruction*, 20(1), 84–93.
- Weeks, B. K., & Horan, S. A. (2013). A video-based learning activity is effective for preparing physiotherapy students for practical examinations. *Physiotherapy*, 99(4), 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2013.02.002>

- Wetzel, C. D., Radtke, P. H., & Stern, H. W. (1994). *Instructional effectiveness of video media*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Consulté à l'adresse <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1994-98518-000>
- Wittorski, R. (1998). de la fabrication des compétences. *Éducation permanente*, 135, 57 à 69.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.05.004>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.012>
- Wouters, P., Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (2008). How to Optimize Learning From Animated Models: A Review of Guidelines Based on Cognitive Load. *Review of Educational Research*, 78(3), 645-675. <https://doi.org/10.3102/0034654308320320>
- Wouters, P., Tabbers, H. K., & Paas, F. (2007). Interactivity in Video-based Models. *Educational Psychology Review*, 19(3), 327-342. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9045-4>
- Wright, P. (1977). Presenting technical information: A survey of research findings. *Instructional Science*, 6(2), 93-134. <https://doi.org/10.1007/BF00121082>
- Wulf, G., & Shea, C. H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic bulletin & review*, 9(2), 185–211.
- Yousef, A. M. F., Chatti, M. A., & Schroeder, U. (2014a). The State of Video-Based Learning: A Review and Future Perspectives. *International Journal On Advances in Life Sciences*, 6(3/4), 122–135.
- Yousef, A. M. F., Chatti, M. A., & Schroeder, U. (2014b). Video-Based Learning: A Critical Analysis of The Research Published in 2003-2013 and Future Visions (p. 112-119). Présenté à he Sixth International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning, Barcelona, Spain: eLmL. Consulté à l'adresse

https://www.researchgate.net/profile/Ahmed_Mohamed_Fahmy_Yousef/publication/278707623_Video-Based_Learning_A_Critical_Analysis_of_The_Research_Published_in_2003-2013_and_Future_Visions/links/5584230f08ae8bf4ba72ab58.pdf

- Yue, C., Kim, J., Ogawa, R., Stark, E., & Kim, S. (2013). Applying the cognitive theory of multimedia learning: an analysis of medical animations. *Medical Education*, 47(4), 375-387. <https://doi.org/10.1111/medu.12090>
- Zacks, J. M. (2004). Using movement and intentions to understand simple events. *Cognitive Science*, 28(6), 979-1008. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2806_5
- Zacks, J. M., Speer, N. K., Swallow, K. M., Braver, T. S., & Reynolds, J. R. (2007). Event perception: a mind-brain perspective. *Psychological Bulletin*, 133(2), 273-293. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.2.273>
- Zacks, J. M., & Tversky, B. (2003). Structuring information interfaces for procedural learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9(2), 88-100. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.9.2.88>
- Zhang, D., Zhou, L., Briggs, R. O., & Nunamaker Jr., J. F. (2006). Instructional video in e-learning: Assessing the impact of interactive video on learning effectiveness. *Information & Management*, 43(1), 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.im.2005.01.004>

Annexes

Annexe 1 : Synthèse des études réalisées sur les pauses et la segmentation des visualisations dynamiques

Annexe 2 : Test de rappel

Annexe 3 : Grille de cotation du test de rappel

Annexe 4 : Grille de cotation du test d'apprentissage de la procédure

Annexe 5 : Masque de cotation indiquant les zones de tolérance pour le bon positionnement des points de repères

Annexe 6 : Feuille de passation du questionnaire subjectif

Annexe 7 : grille d'interprétation des 8 dimensions du questionnaire subjectif

Annexe 1 : synthèse des études réalisées sur les pauses et la segmentation des visualisations dynamiques

Etude	Type de média	Objet	Conditions	Conclusions
(Betrancourt & Realini, 2005)	Animation	Fonctionnement du potentiel d'action d'un neurone	3 conditions = aucun contrôle / pauses libres / contrôle total (possibilité de stopper la vidéo, revenir à l'étape précédente ou passer l'étape suivante).	groupe sans contrôle ont les meilleures performances au questionnaire de compréhension. Les apprenants n'ont pas beaucoup utilisé les fonctions de contrôle
(Boucheix & Guignard, 2005)	Animation	Système d'engrenage	Contrôle du rythme par apprenant (passer à diapo suivante) + 2 versions sans contrôle (rapide et lent)	Effet positif sur mémoire à long terme du contrôle du rythme par l'apprenant.
(Hasler et al., 2007)	Animation	Mécanisme du jour et de la nuit	1/ segmentée sans possibilité de faire des pauses, 2/ non segmentée avec possibilité de faire des pauses, 3/ non segmentée sans possibilité de faire des pauses, 4/ version audio non segmentée avec possibilité de faire des pauses	Étudiants avec version segmentée ou possibilité de faire des pauses ont de meilleurs résultats aux questions difficiles que les étudiants des 2 autres groupes. la plupart des étudiants qui pouvaient faire des pauses n'ont pas utilisés cette fonction.
(Hassanabadi et al., 2011)	Animation	Formation des éclairs	Segmentation avec pauses automatique de 3s vs segmentation avec pause	Condition 2>1 en tâche de mémorisation avec diminution de la charge cognitive

			automatique et reprise de l'animation par l'apprenant	
(Hatsidimitris & Kalyuga, 2013) exp1	Animation	Reproduction caractère chinois	Pas de contrôle vs utilisation d'une scrollbar (gestion du rythme)	Meilleurs résultats avec scrollbar au test de rappel immédiat. permet de réduire charge cognitive liée à la labilité de l'information. Apprenants n'utilisent pas fonctions pauses ou replay car surestiment leur capacités cognitives.
(Hatsidimitris & Kalyuga, 2013) exp2	Animation	Information scientifique complexe	Pas de contrôle vs utilisation d'une scrollbar (gestion du rythme)	Scrollbar bénéfique pour novices mais pas pour experts. Pour les experts, la fonction play/pause est plus bénéfique que scrollbar
(Höffler & Schwartz, 2011)	Animation	Réactions chimiques	pause imposées vs pause libres	Groupe avec possibilité de gérer eux même le rythme de la vidéo ont de meilleurs performances que groupe avec gestion du rythme par le système
(Jamet, 2015)	Animation	bases cérébrales de la production du langage	2X2 : Groupe avec contrôle (pauses imposées et libres), sans contrôle, redondance verbale, sans redondance verbale	Aucun effet de la possibilité de contrôle relevé. Aucun apprenant n'a fait de pauses libres. Les pauses imposées ont donc été jugées suffisantes
(Khacharem et al., 2013)	Animation	Actions de football	3 groupes : non segmentée, 2 types de segmentation = micro étapes ou macro	Version segmentée > non segmentée

			étapes. Pauses automatiques de 2s	
(Mayer & Chandler, 2001)	Animation	Formation des éclairs	Segmenté (pause automatique et user décide qd repartir) vs non segmenté	Segmenté > non segmenté au test de transfert de connaissance
(Mayer et al., 2003)	Animation	Moteur électrique	Présentation continue vs pause automatique à la fin du segment et l'élève décide de passer au suivant, de revoir le segment ou de répéter l'animation	Version segmentée > continu au test de transfert
(Ng et al., 2013)	Animation	Circuit imprimé électrique	3x2 conditions = animation continue, version avec play/pause et images statiques avec à chaque fois rappel ou non de l'étape clé par une image statique ou texte qui reste dans l'image (trace vs no trace)	Le groupe avec play/pause sans traces ont de meilleurs résultats d'apprentissage avec moins d'effort mental. Étudiants font plus de pauses dans version avec traces que dans version sans traces.
(Pedra, Mayer, & Albertin, 2015, Exp. 2)	Animation	Procédure de maintenance d'un appareil mécanique	Pas d'interaction, interaction faible (pause, retour arrière et avant) et interaction haute (+ zoom et rotation à partir d'un écran tactile)	Plus d'intérêt pour interaction haute, mais pas d'effet sur qualité d'apprentissage
(Spanjers et al., 2011)	Animation	Calcul probabilité	Version segmentée (pause automatique de 2s) vs non segmentée	Version segmentée > non segmentée uniquement pour étudiants avec moins de

				connaissances préalables
(Tabbers & Koeijer, 2010)	Animation	Formation des éclairs	Groupe contrôle (passage vers slide suivant automatiquement au bout de 13s) vs contrôle par l'apprenant (possibilité de faire des pauses, écouter une narration et naviguer dans un menu)	Fonction pause peu utilisée Score meilleur en transfert mais pas en rétention. Mais mettent plus de temps. Est-ce vraiment apprentissage efficace ?
(Ali & Zamzuri, 2013) (Ali & Zamzuri, 2010)	Vidéo		Version segmentée vs non segmentée. C'est le prof qui stoppe l'animation qui est projetée et qui la redémarre.	version segmentée d'une animation > version non segmentée.
(Arguel & Jamet, 2009)	Vidéo	Soins premiers secours	vidéo avec images clés des différentes étapes, vidéo sans les images clés et les images sans la vidéo.	La présentation des images clés de manière séquentielle en plus de la vidéo > aux autre conditions.
(Ertelt et al., 2005)	vidéo	Apprentissage logiciel informatique	5 conditions = 1/ contrôle = apprentissage classique pour apprendre à se servir d'un logiciel informatique = animations vidéos + support papier, 2/ vidéo segmentée avec indiçage verbal (nom de la séquence avant	groupe contrôle 1 < à toutes les autres conditions. Pas de différence entre les autres conditions. L'indiçage n'est favorable que lorsqu'il n'est pas associé au pacing.

			le segment et à la fin du segment) 3/ pacing = pause imposée avec action de l'apprenant pour redémarrer vidéo ; 4/ indiçage + pacing 5/ groupe contrôle vidéo = sans pacing, ni indiçage	
(Merkt & Schwan, 2014)	Vidéo	2 nd e guerre mondiale	1/ Vidéo standard avec start/stop/avance et retour rapide vs 2/ vidéo améliorée avec start/stop et timeline avec découpage en chapitres dans un menu	2>1 si précédé d'une phase d'entraînement à l'utilisation du chapitrage
(Merkt et al., 2016)	Vidéo	Acoustique	4 conditions 1/ vidéo sans pause et marqueurs, 2/ écran noir de 1.5s aux étapes clés 3/ pause de 3s aux étapes clés 4/ pause de 3s à des endroits aléatoires. Dans expé 1 : comparent cond 1/2/3. Ds expé 2 : comparent 1/3/4	Pour la rétention : pas d'effet entre les conditions Ds expé 2 = cond 4>1 pour les items faciles des QCM. Pas de différence pour items difficiles et pour transfert. Conclusion : pas de preuve de bénéfice de l'effet des pauses ou de segmentation. Cela dépend sans doute de l'emplacement des pauses et de la difficulté de la tâche
(Moreno, 2007)	vidéo	Apprentissage théorique des compétences d'enseignement	Groupe sans segmentation, groupe avec version segmentée (par insertion de pauses) et	Groupe avec segmentation et groupe avec indiçage ont meilleurs résultats que ceux sans segmentation dans l'application des compétences

			groupe avec indiçage (information donnée sur le nom des étapes	enseignées). Groupe avec segmentation ont moins de charge cognitive Groupe contrôle meilleurs résultats au niveau de la rétention d'infos théoriques
(Sage & Baldwin, 2014)	Vidéo	Tours de magie	2 groupes : Groupe avec self paced devait cliquer pour passer à l'image suivante. L'autre groupe regardait la vidéo au rythme d'une autre personne (les images avançaient au rythme du premier participant du groupe self paced)	Rythme imposées > rythme libres (self paced) car rythme libre demande de faire beaucoup de clics (plus de 500).
(Sage, Bonacorsi, Izzo, & Quirk, 2015)	Vidéo	Tours de magie	4 conditions : pauses libres / pauses imposées à la fin des étapes clés avec action de l'apprenant pour reprendre vidéo / pauses imposées toutes les 20 images / pas de pauses	Tests de rappel de mémoire < dans groupe sans pauses par rapport aux 3 autres conditions. Apprenants indiquent qu'ils apprécient la possibilité de faire des pauses, mais seulement ¼ des apprenants qui pouvaient utiliser la fonction pause l'a utilisé
(Schwan & Riempp, 2004)	Vidéo	Réalisation nœuds marins	Pas de contrôle (possibilité de s'exercer à la fin de la vidéo) vs contrôle pause et vitesse (possibilité de s'exercer quand pause)	Les apprenants qui pouvaient utiliser les options de contrôle mettaient moins de temps pour apprentissage que ceux qui avaient une version non interactive.

(Wong et al., 2012)	Vidéo	Origami	1/ Segments courts de vidéo, 2/section courte d'images statiques, 3/ vidéo non segmentée, 4/ images statiques dans leur intégralité	Vidéo > images statiques lorsque vidéo segmentée. Pas de différences quand vidéo en entier
(Zhang et al., 2006)	Video	Moteurs de recherche sur internet	4 groups = vidéo interactive, vidéo mais pas d'interaction, pas de vidéo, groupe avec face à face	Version avec vidéo interactive ont de meilleurs résultats en terme de performance d'apprentissage et de satisfaction.

Annexe 2 : Test de rappel

Evaluation des connaissances

N° de dossier : _____

1/ Citer 3 points de repère

-
-
-

2/ citer 3 lignes de repères à tracer

-
-
-

3/ quelles lignes de repères faut il élargir d'une demi largeur d'avant bras**4/ quelles lignes déterminent le passage du pouce ?****5/ après le moulage, où doivent s'exercer les appuis et contre appuis ?**

Annexe 3 : Grille de cotation du test de rappel

Evaluation des connaissances

Grille de correction

1/ citer 3 points de repère **3**

- pli de flexion du poignet radial OU ulnaire
- TM
- MP du pouce
- pli de flexion des MP des doigts longs radial OU ulnaire
- union 1/3 moyen 1/3 supérieur de l'avant bras radial OU ulnaire
- axe du 3^{ème} doigt

2/ citer 3 lignes de repères à tracer **3**

cf doc

3/ quelles lignes de repères faut il élargir d'une demi largeur d'avant bras **2**

- pli de flexion du poignet
- union 1/3 moyen - 1/3 supérieur de l'avant bras

4/ quelles lignes déterminent le passage du pouce ? **4**

- parallèle au pli de flexion des MP doigts long
- parallèle au pli de flexion du poignet passant par la TM
- parallèle à l'axe du 3^{ème} doigt
- bord radial de l'index au bord radial du poignet

5/ après le moulage, où doivent s'exercer les appuis et contre appuis ? **3**

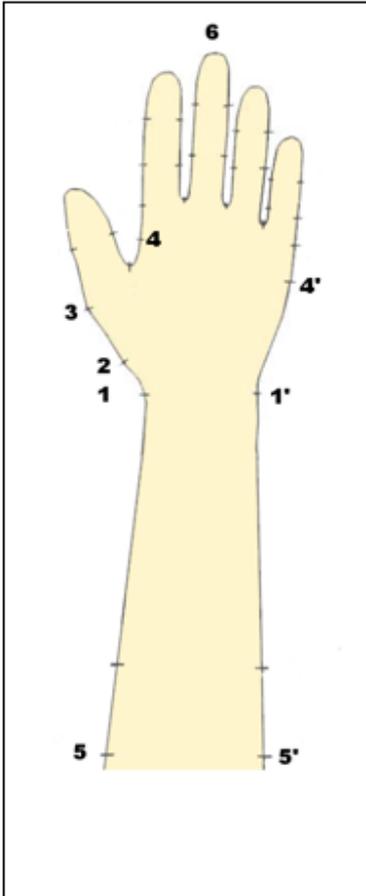
- pli de flexion des MP
- face dorsale des métacarpiens
- partie moyenne de l'avant bras

Total /15

Annexe 4 : Grille de cotation du test d'apprentissage de la procédure

Nom :	Prénom :	
Date de passation :	Date de naissance :	Age :
Genre : <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> H		
Groupe : <input type="checkbox"/> 1a <input type="checkbox"/> 1b <input type="checkbox"/> 1c	référence du dossier :	

Grille cotation du patron**Points de repères**

	Intitulé	Réalisé*	Correct*	Ordre de réalisation
		Tracé du contour de la main		
	1 - pli de flexion du poignet / radial			
	1' - pli de flexion du poignet / ulnaire			
	2 - TM			
	3 - MP du pouce			
	4 - Pli de flexion des MP des doigts longs / radial			
	4' - Pli de flexion des MP des doigts longs / ulnaire			
	5 - union 1/3 moyen 1/3 supérieur de l'avant bras / radial			
	5' - union 1/3 moyen 1/3 supérieur de l'avant bras / ulnaire			
	6 - axe du 3 ^{ème} doigt			
	TOTAL	/10	/10	

* oui = 1 ; non = 0

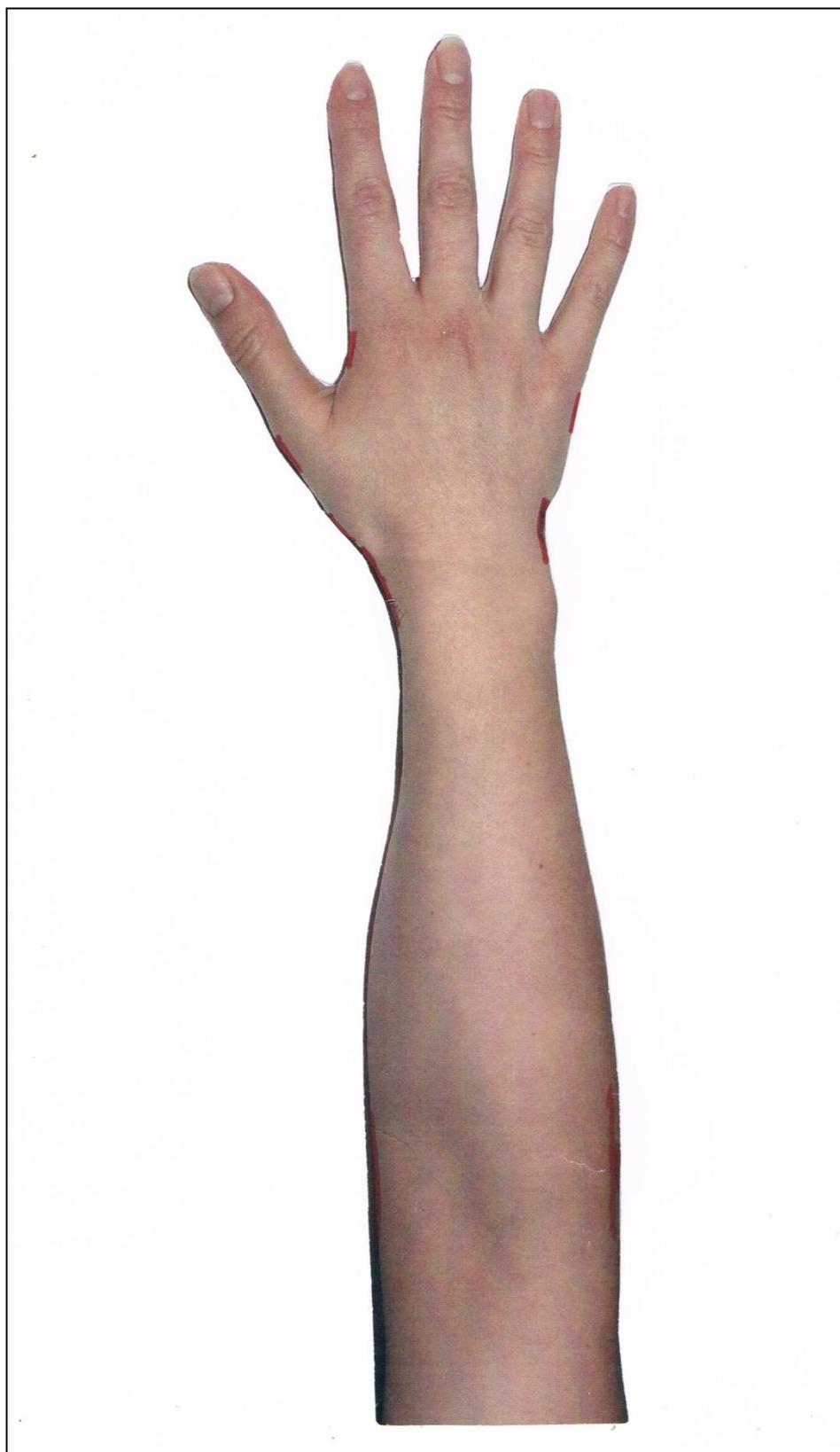
Lignes de repères

	Intitulé	Réalisé*	Correct*	Ordre de réalisation
	1- pli de flexion du poignet			
2- union 1/3 moyen 1/3 supérieur avant bras				
3- pli de flexion des MP doigts long				
4- axe du 3 ^{ème} doigt				
5- élargissement du 2 côté radial				
5'- élargissement du 2 côté ulnaire				
6- élargissement du 1 côté radial				
6'- élargissement du 1 côté ulnaire				
7- jonction 1-2 côté ulnaire				
7'- jonction 1-2 côté radial				
8- jonction 1-3 côté ulnaire				
8'- jonction 1-3 côté radial en passant par MP du pouce				
9- parallèle à 3				
10- parallèle à 1 passant par TM				
11- parallèle à 4				
12- bord radial de l'index au bord radial du poignet				
13- côté ulnaire du triangle du pouce				
14- côté radial du triangle du pouce				
15- côté inférieur du triangle du pouce				
16- médiane du triangle				
TOTAL		/20	/20	

* oui = 1 ; non = 0

Temps de réalisation du patron (en s) :

Annexe 5 : Masque de cotation indiquant les zones de tolérance pour le bon positionnement des points de repères



Annexe 6 : Feuille de passation du questionnaire subjectif

Questionnaire de satisfaction

Nom :	Prénom :		
Date de passation :	Date de naissance :	Age :	
Genre : <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> H	Condition de passation: <input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c	référence du dossier :	

A votre avis, quel est votre niveau d'expérience en informatique ?

Novice	<input type="radio"/>	Expert
--------	---	--------

A votre avis, quel est votre niveau de compétences sur la réalisation d'orthèses

Novice	<input type="radio"/>	Expert
--------	---	--------

Même si certaines questions vous semblent très similaires entre elles, merci de répondre à toutes les questions. Répondez le plus sincèrement possible à toutes les questions qui suivent. Il n'y a pas de « bonnes » ou « mauvaises » réponses, c'est votre avis qui nous intéresse.

Veuillez indiquer votre degré d'accord avec les affirmations suivantes : Pas du tout d'accord à Tout à fait d'accord

	Pas du tout d'accord	Tout à fait d'accord
EXEMPLE		
1. Je suis content d'être présent pour cet exercice		

QUESTIONNAIRE	Pas du tout d'accord	Tout à fait d'accord
1. Je suis globalement satisfait de ce mode d'apprentissage par vidéo	_____	
2. L'apprentissage par vidéo est un outil complémentaire de la formation pratique en TP	_____	
3. J'ai eu le sentiment de contrôler la vidéo lors de mon apprentissage	_____	
4. J'estime avoir bien mémoriser le geste qui a été présenté dans la vidéo	_____	
5. Comprendre l'information contenue dans la vidéo m'a demandé beaucoup d'effort	_____	
6. J'ai été intéressé par ce mode d'apprentissage par vidéo	_____	
7. Le contenu de la vidéo était dense	_____	
8. Il était facile de se concentrer sur les éléments importants de la vidéo	_____	
9. J'ai tellement apprécié ce document que j'aimerais en savoir plus sur le sujet	_____	
10. Il était facile d'apprendre à faire une orthèse par cette vidéo	_____	
11. Apprendre avec la vidéo m'a demandé un effort mental important	_____	
12. J'ai eu le sentiment de pouvoir apprendre à mon rythme	_____	
13. La manière dont les informations de cette vidéo sont présentées m'a aidé à rester vigilant.	_____	
14. L'apprentissage par vidéo permettrait d'améliorer mes performances au moment des évaluations	_____	

15. Il faut être concentré pour utiliser ce type de document	<input type="text"/>
16. Acquérir de nouvelles compétences par cette vidéo était aisé	<input type="text"/>
17. L'apprentissage par vidéo peut totalement remplacer la formation pratique en TP	<input type="text"/>
18. Ce document est suffisamment interactif	<input type="text"/>
19. Il était facile de repérer les informations importantes de la vidéo	<input type="text"/>
20. Comprendre cette vidéo me paraît facile	<input type="text"/>
21. Cette vidéo présentait trop d'informations	<input type="text"/>
22. Je me sens motivé après avoir visionné cette vidéo	<input type="text"/>
23. Les informations contenues dans la vidéo sont apparues à un rythme qui me convient	<input type="text"/>

Commentaires :

Annexe 7 : Grille d'interprétation des 8 dimensions du questionnaire subjectif**Questionnaire Post-Apprentissage (interprétation)**

Composé de 8 dimensions pour un ensemble de 23 items

- **Satisfaction globale : 1**

1 - Je suis globalement satisfait de ce mode d'apprentissage par vidéo

- **Charge cognitive / Effort mental : 5-11-15**

5 - Comprendre l'information contenue dans la vidéo m'a demandé beaucoup d'efforts.

11 - Apprendre avec la vidéo m'a demandé un effort mental important.

15 - Il faut être concentré pour utiliser ce type de document.

- **Attention - Focalisation de l'attention / Attention maintenue : 8-13-19**

8 - Il était facile de se concentrer sur les éléments importants de la vidéo.

13 - La manière dont les informations de cette vidéo sont présentées m'a aidé à rester vigilant.

19 - Il était facile de repérer les informations importantes de la vidéo.

- **Facilité d'apprentissage : 4-10-16-20**

4 - J'estime avoir bien mémorisé le geste qui a été présenté dans la vidéo

10 - Il était facile d'apprendre à faire une orthèse par cette vidéo.

16 - Acquérir de nouvelles compétences avec cette vidéo était aisé.

20 - Comprendre cette vidéo me paraît facile.

- **Quantité d'informations : 7-21**

7 - Le contenu de la vidéo était dense.

21 - Cette vidéo présentait trop d'informations.

- **Intérêt / Motivation : 6-9-22**

6 - J'ai été intéressé par ce mode d'apprentissage par vidéo

9 - J'ai tellement apprécié ce document que j'aimerais en savoir plus sur le sujet.

22 - Je me sens motivé après avoir visionné cette vidéo

- **Interaction 3-12-18-23**

3 - J'ai eu le sentiment de contrôler la vidéo lors de mon apprentissage

12 - J'ai eu le sentiment de pouvoir apprendre à mon rythme

18 - Ce document est suffisamment interactif

23 - Les informations contenues dans la vidéo sont apparues à un rythme qui me convient

- **Utilité perçue : 2-14-17**

2 - L'apprentissage par vidéo est un outil complémentaire de la formation pratique en TP

14 – l'apprentissage par vidéo permettrait d'améliorer mes performances au moment des évaluations

17 – l'apprentissage par vidéo peut totalement remplacer la formation pratique en TP

Index des tableaux

Tableau 1 : Etapes de la procédure de conception d'une orthèse palmaire présentée dans la vidéo servant de matériel expérimental (Gable, 2010). MP : métacarpo-phalangienne; TM : trapézo-métacarpienne	103
Tableau 2 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause	118
Tableau 3 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage	120
Tableau 4 : Moyennes et écart-types des réponses aux différentes dimensions du questionnaire subjectif en fonction de la condition expérimentale.....	122
Tableau 5 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause	132
Tableau 6 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage	134
Tableau 7 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause	144
Tableau 8 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage	146
Tableau 9 : Répartition de l'effectif dans les quatre conditions expérimentales	155
Tableau 10 : Nombre d'étudiants ayant fait des pauses libres	158
Tableau 11 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause	159
Tableau 12 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage	160
Tableau 13 : Répartition de l'effectif dans les quatre conditions expérimentales	167
Tableau 14 : Nombre d'étudiants ayant fait des pauses libres	169
Tableau 15 : statistiques descriptives de l'utilisation du bouton de pause	170
Tableau 16 : statistiques descriptives de la qualité de l'apprentissage	172
Tableau 17 : Tableau récapitulatif des études menées dans cette thèse et les résultats obtenus sur les performances d'apprentissage.	180

Index des figures

Figure 1 : Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia selon Mayer (2014).....	25
Figure 2 : Modèle de traitement d'instructions procédurales (Ganier et al, 2000).....	34
Figure 3 : Solutions de conception d'une visualisation dynamique	93
Figure 4 : Exemples d'orthèses sur mesure basse température (d'après Gable, 2010)	101
Figure 5 : copie d'écran de l'interface utilisée par le groupe avec la vidéo non- interactive.....	112
Figure 6 : copies d'écrans de l'interface utilisée par les groupes avec la vidéo interactive (à gauche la vidéo est en lecture ; à droite la vidéo est en pause)	112
Figure 7 : Résumé de la procédure expérimentale de l'étude 1	114
Figure 8 : exemple de reproduction complète du patron	116
Figure 9 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo ..	119
Figure 10 : moment de la vidéo où les étudiants réalisent des pauses libres	119
Figure 11 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron	121
Figure 12 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo	133
Figure 13 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron	135
Figure 14 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo	145
Figure 15 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron	147
Figure 16 : Copie d'écran de l'incrustation du numéro et du titre de la séquence dans les versions indicées.....	157
Figure 17 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo	160

Figure 18 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron	161
Figure 19 : Copie d'écran de la consigne donnée au début de la vidéo pour les groupes avec incitation.	168
Figure 20 : Durée des pauses libres et imposées lors de la consultation de la vidéo	171
Figure 21 : Comparaison des moyennes obtenues à la tâche de réalisation du patron	173

Titre : L'APPRENTISSAGE DE PROCEDURES MEDICALES PAR VIDEO : EFFETS DE LA SEGMENTATION ET DU CONTROLE DU RYTHME PAR L'APPRENANT

Mots clés : Apprentissage procédural, multimédia, vidéo, contrôle du rythme, segmentation, charge cognitive

Résumé : Les vidéos sont de plus en plus utilisées dans l'enseignement. C'est également le cas dans la formation médicale et paramédicale et, entre autres, dans l'apprentissage de procédures qui seront à réaliser de manière différée. Malgré l'intérêt pédagogique qu'elles offrent aux apprenants, leur utilisation peut entraîner des difficultés spécifiques dans le processus d'apprentissage des utilisateurs en raison de la nature transitoire des informations fournies. Pour limiter la surcharge cognitive que cela peut engendrer, il est possible de laisser le contrôle du rythme de la vidéo à l'apprenant, avec un bouton pause sur l'interface du lecteur par exemple. Cependant, les modèles mentaux des apprenants novices peuvent ne pas être suffisamment pertinents pour savoir à quel moment de la procédure arrêter la vidéo. Ainsi, l'introduction d'une segmentation, avec des pauses imposées par le système à chaque étape de la procédure, peut s'avérer plus efficace lors d'un apprentissage d'une compétence clinique. Ces modalités de présentation de l'information ont été étudiées sous l'angle de la théorie de la charge cognitive et de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia.

Une série d'études est menée afin de déterminer la manière dont il est préférable de présenter l'information délivrée par les vidéos pour faciliter son apprentissage. Nous avons tout d'abord vérifié que l'association de la segmentation au contrôle du rythme par l'apprenant améliore la qualité de l'apprentissage (expé. 1) et que cet effet positif était bien lié à la segmentation et non au temps d'exposition au matériel pédagogique (expé. 2) ou à la durée des pauses imposées (expé. 3). Enfin, deux autres modalités, permettant d'optimiser encore l'apprentissage, ont été testées. Alors que l'indication verbale n'a pas amélioré l'apprentissage (expé. 4), nous avons pu montrer qu'une incitation à faire des pauses lors de la consigne avait un effet positif sur les comportements des apprenants et sur la qualité de l'apprentissage (expé. 5). Les résultats de ces études sont discutés et des perspectives proposées.

Title : LEARNING MEDICAL PROCEDURES BY VIDEO : EFFECTS OF SEGMENTATION AND PACING

Keywords : Procedural learning, multimedia, video, pacing, segmentation, cognitive load

Abstract : Videos are increasingly being used in education. This is also the case in medical and paramedical training and, among other things, in the learning of procedures that will have to be carried out later. Their use can lead to specific difficulties in term of users' learning processes, owing to the transient nature of the information that is delivered. To cope with potential cognitive overload, learner controls can be provided (e.g., pause button), but novice users' mental models may not be sufficiently relevant for them to know when to halt the video. Thus, the introduction of segmentation, with breaks imposed by the system at each step of the procedure, may be more effective when learning a clinical skill. These information presentation modalities were studied from the perspective of the cognitive load theory and the cognitive theory of multimedia learning.

A series of studies is being conducted to determine how it is best to present the information provided by the videos to facilitate learning. We first verified that the combination of segmentation and pacing improves the quality of learning (exp 1) and that this positive effect was related to segmentation and not to the time of exposure to the teaching material (exp 2) or the duration of the imposed breaks (exp 3). Finally, two other modalities, to further optimize learning, were tested. While signaling did not improve learning (exp 4), we were able to show that an incentive to pause during the instruction had a positive effect on learners' behaviors and on the quality of their learning (exp 5). The results of these studies are discussed and perspectives proposed.