



# **Améliorer la Compréhension des Processus Dynamiques avec des Animations Interactives**

**Thèse de Doctorat**

De l'Université de Bourgogne

Mention Psychologie

**Emmanuel SCHNEIDER**

Sous la direction de **Jean-Michel Boucheix**

## **Jury**

Thierry Baccino	Professeur, LPEQ, Université de Nice-Sophia Antipolis
Mireille Bétrancourt	Professeur, TECFA, Université de Genève
Jean-Michel Boucheix	Maitre de conférences HDR, LEAD, Université de Bourgogne, Dijon
Mary Hegarty	Professeur, University of California, Santa Barbara
Pierre Perruchet	Directeur de Recherche CNRS, LEAD, Dijon

21 Novembre 2007





# **Améliorer la Compréhension des Processus Dynamiques avec des Animations Interactives**

**Thèse de Doctorat**

De l'Université de Bourgogne

Mention Psychologie

**Emmanuel SCHNEIDER**

Sous la direction de **Jean-Michel Boucheix**

## **Jury**

Thierry Baccino	Professeur, LPEQ, Université de Nice-Sophia Antipolis
Mireille Bétrancourt	Professeur, TECFA, Université de Genève
Jean-Michel Boucheix	Maitre de conférences HDR, LEAD, Université de Bourgogne, Dijon
Mary Hegarty	Professeur, University of California, Santa Barbara
Pierre Perruchet	Directeur de Recherche CNRS, LEAD, Dijon

21 Novembre 2007

*À mes parents et à mon frère*

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Jean-Michel Boucheix pour la confiance qu'il m'a accordée tout au long de ces nombreuses années, ainsi que pour sa disponibilité et ses conseils avisés. Merci pour la richesse des échanges et pour m'avoir fait découvrir le milieu de la recherche par nos multiples escapades riches en péripéties.

J'exprime toute ma gratitude aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter cette tâche.

Je remercie également le laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement et plus particulièrement son directeur Emmanuel Bigand, qui m'a permis de réaliser cette thèse dans des conditions exceptionnelles. Merci également à tous les chercheurs, post-doctorants, doctorants du laboratoire avec lesquels j'ai eu des interactions enrichissantes tant sur le plan humain que professionnel. Merci pour l'aide et les conseils qu'ils m'ont prodigués. Merci à Corinne, Sandrine, Philippe et Laurent qui m'ont toujours aidé à résoudre mes problèmes d'ordre administratif et informatique.

Je souhaite dire un grand merci à Stéphane Argon pour sa disponibilité et son investissement dans la conception des diverses animations. Sans lui, cette thèse aurait été moins animée et beaucoup plus statique.

Je désire remercier tous les chercheurs que j'ai côtoyés au cours de cette thèse et avec qui les échanges ont été très fructueux. Notamment à Mireille Bétrancourt, Cyril Rebetez, Ric Lowe, Mary Hegarty, Thierry Baccino, toute la dynamique équipe de Tuebingen (qui sait pratiquer la recherche à la plage) et aux membres très accueillants des communautés JETCSIC et EARLI SIG2.

Merci à tous les étudiants de Master qui ont participé à ce travail ainsi qu'aux participants des différentes expériences.

Je tiens enfin à exprimer toute ma reconnaissance à mes parents, ma famille, Elise, ainsi qu'à tous mes amis pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ces années.

Petites caresses à Sydney et Uji qui m'ont supporté pendant mes sauts d'humeurs ces derniers mois.

# Tables de Matières

<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
<b>Partie théorique .....</b>	<b>5</b>
<b>Chapitre 1 –Le rôle des illustrations dans la compréhension de documents multimédias</b>	<b>6</b>
1. De la compréhension de texte à la compréhension du multimédia.....	8
1.1. Le modèle de construction-intégration .....	9
1.2. Le modèle de construction de structures .....	11
2. Le rôle des illustrations dans la compréhension de documents.....	12
2.1. Le traitement cognitif des documents illustrés : l'intégration texte - image.....	14
2.1.1. Le modèle intégratif de compréhension de texte et d'image.....	15
2.1.2. Intégration texte – image du point de vue empirique.....	17
2.1.3. Le « modèle initial » de compréhension.....	19
2.1.4. Traitement des images sans texte : un modèle analytique de traitement.....	21
3. Les facteurs affectant l'intégration multimédia.....	24
3.1. Le principe de multimédia.....	24
3.2. Le principe de modalité.....	25
3.3. Le principe de redondance.....	26
3.4. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia .....	26
3.5. Le principe de contiguïté spatiale.....	30
3.6. Le principe de contiguïté temporelle.....	31
3.7. Le principe de cohérence.....	31
3.8. Le principe d' <i>indication</i> ou de <i>signaling</i> .....	33
3.9. Le principe des différences individuelles.....	34
3.10. Traitement multimédia et charge cognitive.....	35
4. Conclusions.....	36
<b>Chapitre 2 – Les animations sont-elles efficaces ?.....</b>	<b>37</b>
1. Qu'est ce qu'une animation ?.....	38
2. Les promesses des animations.....	39
3. Bilan : les animations et les illustrations statiques.....	40

3.1.L'effet des animations sur les performances de compréhension.....	41
3.1.1. Les études montrant des effets positifs des animations.....	41
3.1.2. Les études ne montrant aucun effet des animations.....	54
3.1.3. Les études montrant des effets négatifs des animations.....	57
3.1.4. Le contenu des animations.....	59
3.2.L'effet des animations sur les préférences d'utilisation.....	59
4. Synthèse des données empiriques concernant l'effet des animations comparativement à des illustrations statiques.....	60
5. Les difficultés de traitement des animations.....	61
6. Conclusions.....	62

**Chapitre 3 – Méthodes d'études de la compréhension : l'apport de l'oculométrie dans l'étude des processus de traitement d'une représentation externe ..... 63**

1. La mesure de la compréhension d'une leçon multimédia et d'une animation.....	64
2. La technique d'enregistrement oculométrique.....	65
3. Les mesures dépendantes.....	69
4. Le traitement « on line » des illustrations.....	72

**Partie empirique ..... 75**

**Introduction ..... 76**

**Chapitre 4 – Rôle du format de présentation et du contrôle de l'animation ..... 81**

1. Le format de l'illustration.....	82
2. Le contrôle d'une animation.....	86
3. Expérience 1.....	94
3.1. Méthode.....	94
3.2. Résultats.....	100
<i>Performances au test de compréhension</i> .....	100
<i>Durée d'étude du document</i> .....	104
<i>Mesures oculométriques</i> .....	105
<i>Comparaison texte et illustration</i> .....	105
<i>Nombre de fixations</i> .....	105
<i>Durée de fixations</i> .....	107
<i>Nombre de transitions</i> .....	107
<i>Mesures oculométriques approfondies</i> .....	107

<i>Nombre de fixations pour les sept AOI du format incluant 5 schémas juxtaposés</i> .....	110
<i>Nombre de transitions entre les sept AOI du format incluant 5 schémas juxtaposés</i> .....	111
<i>Nombre de fixations pour les sept AOI des trois autres formats</i> .....	113
<i>Nombre de transitions entre les sept AOI des trois autres formats</i> .....	114
3.3. Conclusions .....	116
4. Expérience 2.....	118
4.1. Méthode.....	118
4.2.Résultats.....	120
<i>Performances au test de compréhension</i> .....	120
<i>Durée d'étude du document</i> .....	124
4.3.Conclusions .....	125
5. Synthèse sur les deux expériences.....	126
<b>Chapitre 5 – Fréquence d'exposition et guidage attentionnel .....</b>	<b>128</b>
1. L'exposition à l'animation.....	129
2. Le guidage attentionnel.....	130
2.1.L'effet du guidage attentionnel sur les performances.....	130
2.2.Les différents indicateurs attentionnels.....	132
3. Expérience 3.....	135
3.1. Méthode.....	135
3.2. Résultats.....	139
<i>Performances au test de compréhension</i> .....	139
<i>Temps de réaction pour les questions portant sur la configuration et sur les aspects cinématiques locaux</i> .....	141
<i>Durée d'étude du document</i> .....	142
3.3. Conclusions .....	144
4. Expérience 4.....	145
4.1. Méthode.....	145
4.1. Résultats.....	148
<i>Performances au test de compréhension</i> .....	148
<i>Durée d'étude du document</i> .....	152



<i>Mesures oculométriques</i> .....	153
<i>Comparaison texte et animation</i> .....	153
<i>Nombre de fixations</i> .....	155
<i>Durée de fixations</i> .....	157
<i>Nombre de transitions</i> .....	159
<i>Mesures oculométriques approfondies</i> .....	160
<i>Rapport entre Nombre de fixations et superficie pour les six AOI</i> ....	161
<i>Rapport entre durée de fixations et superficie pour les six AOI</i> .....	163
<i>Nombre de transitions entre les six AOI</i> .....	163
<i>Etude du type de transitions</i> .....	166
4.2. Conclusions .....	168
5. Expérience 5.....	169
5.1. Méthode.....	169
5.2. Résultats.....	172
<i>Performances au test de compréhension</i> .....	172
<i>Durée d'étude du document</i> .....	175
<i>Mesures oculométriques</i> .....	176
<i>Nombre de fixations</i> .....	178
<i>Durée de fixations</i> .....	180
<i>Nombre de transitions</i> .....	181
<i>Etude du type de transitions</i> .....	182
5.3. Conclusions .....	184
6. Le rôle du texte et de l'animation dans la construction d'une animation mentale : comparaison des expériences 4 et 5.....	185
6.1. Résultats.....	186
<i>Performances au test de compréhension</i> .....	186
<i>Durée d'étude du document</i> .....	189
<i>Mesures oculométriques</i> .....	190
<i>Nombre de fixations</i> .....	190
<i>Durée de fixations</i> .....	194
<i>Nombre de transitions</i> .....	194
<i>Etude du type de transition</i> .....	197
6.2. Conclusions.....	199
7. Expérience 6.....	200
7.1. Méthode.....	201

7.2. Résultats.....	203
<i>Performances au test de compréhension.....</i>	203
<i>Indicateurs complémentaires dans l'évaluation du modèle mental fonctionnel.....</i>	205
<i>Ratio entre le nombre de verbes de mouvements et le nombre de mots.....</i>	205
<i>Ratio entre le nombre d'erreurs de mouvements et le nombre de verbes de mouvement.....</i>	205
<i>Durée d'étude du document.....</i>	207
<i>Mesures oculométriques.....</i>	208
<i>Nombre de fixations.....</i>	209
<i>Durée de fixations.....</i>	211
<i>Nombre de transitions.....</i>	212
<i>Etude du type de transition.....</i>	215
7.3. Conclusions .....	215
8. Synthèse sur les quatre expériences.....	217
<b>Chapitre 6 – Discussion générale .....</b>	<b>221</b>
1. L'apport de nos travaux dans l'étude du traitement des animations.....	222
1.1. Le format de présentations.....	226
1.2. Le contrôle de l'animation.....	227
1.3. La fréquence d'exposition.....	228
1.4. Le guidage attentionnel.....	228
1.5. Le rôle du texte.....	229
1.6. L'apport des données <i>oculométriques</i> .....	230
1.7. Un premier modèle de traitement des animations.....	231
2. Les limites de nos travaux.....	231
3. Perspectives de recherches futures.....	232
4. Recommandations pour l'élaboration d'animations efficaces.....	233
<b>Références.....</b>	<b>236</b>



# **Introduction générale**

Les documents incluant des illustrations animées ont un potentiel extraordinaire pour délivrer des informations en ce qui concerne les processus dynamiques. Néanmoins, les premières études qui se sont intéressées au rôle des animations dans la compréhension ont mis en évidence des résultats contradictoires. Ces résultats contradictoires sont principalement liés aux modalités de délivrance des informations. Dans ce travail de recherche, nous avons étudié l'effet de différentes modalités de présentation des informations dans le but de faciliter l'intégration de processus dynamiques : le format de présentation, le contrôle de l'animation, la fréquence d'exposition et le guidage attentionnel.

Cette thèse a pour objectif d'analyser les processus cognitifs mis en œuvre lors d'activités de compréhension à partir d'animations, comparativement à des illustrations statiques, accompagnées ou non de texte à travers des mesures de compréhension standards et des mesures « on line » qui utilisent l'*oculométrie*.

En effet, l'évolution croissante des technologies de l'information a permis de démocratiser les outils multimédia incluant toutes sortes d'animation. Malgré l'utilisation importante de ces supports dans plusieurs domaines, tels que l'éducation ou la formation professionnelle, nous possédons peu de connaissances quant aux apports des animations dans ces domaines. La conception de ces supports peut s'appuyer sur deux approches (Mayer, 2001). La première centrée sur la technologie, porte son intérêt sur la puissance technologique et essaye d'incorporer ces avancées dans les technologies de la communication. En d'autres mots, il s'agit de donner le maximum d'informations dans le temps le plus court. La seconde approche est centrée sur l'apprenant a pour objectif l'utilisation de la technologie pour optimiser la cognition humaine afin de faciliter les apprentissages. Ainsi, depuis peu on assiste à une multiplication des travaux aussi bien en ergonomie qu'en psychologie cognitive pour comprendre les processus cognitifs induits par le traitement de documents multimédia pour améliorer l'apprentissage.

Le plan du document présenté comprendra deux parties, une partie théorique constituée de trois chapitres (1, 2 & 3) et une partie empirique composée également de trois chapitres (4, 5 & 6) :

Dans le chapitre 1, nous ferons un bref bilan des premiers travaux concernant le rôle des illustrations statiques dans la compréhension de texte. Dans ce bilan nous nous

focaliserons principalement sur l'apport et les limites des modèles cognitifs de la compréhension multimédia pour l'étude des animations. Nous mettrons en évidence que les modèles existant ne rendent pas compte des processus cognitifs impliqués dans la compréhension d'illustrations animées.

Dans le chapitre 2, nous réaliserons une synthèse des travaux en psychologie cognitive portant sur le rôle des animations dans la compréhension de documents concernant des processus dynamiques. A partir des résultats contradictoires rapportés dans cette synthèse, nous décrirons les difficultés liées au traitement des animations.

Ayant principalement utilisé la méthode de poursuite des mouvements oculaires, le chapitre 3 sera consacré à la présentation de cette méthodologie utilisée avec des animations en complément d'autres méthodes « *off-line* » traditionnelles pour mesurer la compréhension.

Après avoir précisé la problématique et les objectifs de ce travail de recherche, le chapitre 4, sera consacré à l'étude du rôle du format de présentation des illustrations puis du contrôle d'une animation.

Dans le chapitre 5, nous nous intéresserons à deux autres moyens d'améliorer l'appréhension d'une animation : la fréquence d'exposition et le guidage attentionnel soit verbal grâce à des instructions, soit graphiques grâce à des flèches. Nous testerons ces autres voies dans quatre expériences. La première s'attachera à étudier la fréquence d'exposition, la seconde et la troisième étudieront le guidage attentionnel à travers des instructions verbales et la quatrième étudiera le guidage attentionnel graphique en utilisant à des flèches directionnelles.

La deuxième et la troisième expérience se distinguant uniquement sur la présence ou non d'un texte explicatif accompagnant l'animation, nous réaliserons une comparaison entre ces deux expériences pour évaluer le rôle du texte dans la compréhension d'un système mécanique à partir d'une animation. Cette comparaison constituera un autre axe de recherche étudiant le rôle du texte dans la compréhension à partir d'animation.

Enfin lors de notre chapitre 6, nous récapitulerons l'ensemble des résultats pertinents relevés durant ce travail de recherche. Nous proposerons des directions pour des recherches

futures, ainsi que des préconisations pour la conception d'animations efficaces permettant d'aider les apprenants.

# **PARTIE THEORIQUE**



## **Chapitre 1**

# **Le rôle des illustrations dans la compréhension de documents multimédias**

Dans ce chapitre nous dresserons un bilan sur le rôle des illustrations statiques dans la compréhension de documents. Nous ne présenterons pas une revue exhaustive et complète des travaux portant sur ce domaine de recherche. Nous mettrons plutôt l'accent sur les modèles de compréhension de documents illustrés dans le but de distinguer leurs limites pour l'étude du traitement des animations.

Fayol & Gaonac'h (2003) décrivent la compréhension comme une activité et non pas comme le simple résultat de cette activité. Elle consiste à intégrer les informations provenant de diverses sources externes (sensorielles, sociales) et internes (connaissances antérieures stockées en mémoire, attitudes, réactions émotionnelles), afin de constituer des représentations du monde nous permettant d'interpréter ce qui est advenu et de modifier nos actions, savoirs, savoir-faire et croyances en vue de nous assurer la meilleure adaptation possible au monde environnant et à son évolution.

L'activité de compréhension correspond donc à une dimension transversale indépendante des différents média qui peut s'appliquer aux textes, aux discours, aux diagnostics, aux modes d'emploi, mais aussi aux informations délivrées par la radio, la télévision, aux informations présentées sous formes de textes et/ou d'images telles que dans des films, des bandes dessinées, des pages internet. La compréhension d'un document multimédia se définit comme la construction d'un modèle mental unique et cohérent à partir de plusieurs sources d'information. L'étude de la compréhension en psychologie cognitive a été très largement dominée par l'étude de la compréhension de texte, or ceci ne constitue qu'un cas particulier de la compréhension. Une des conséquences de cette domination est que les modèles classiques et actuels ont privilégié la compréhension de texte et ont délaissé la compréhension des illustrations statiques et animées pour elles-mêmes.

Plusieurs auteurs ont proposé une modélisation susceptible de rendre compte des processus cognitifs de compréhension tout d'abord lors de la lecture de textes, puis lors de la lecture de documents intégrant divers médias.

## 1. De la compréhension de texte à la compréhension du multimédia

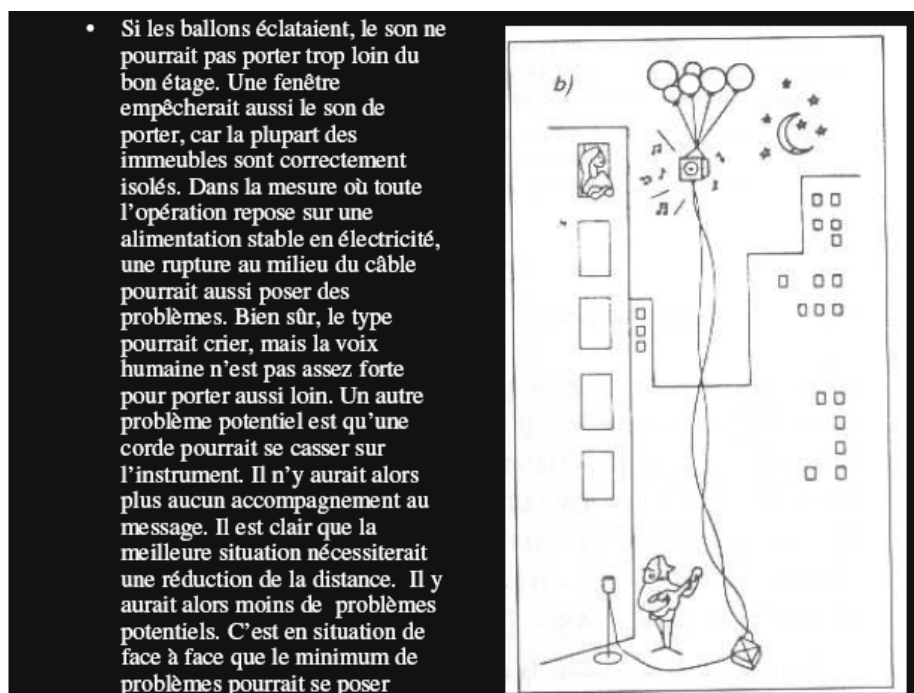


Figure 1.1. Matériel tiré de l'expérience de Bransford & Johnson (1972).

Les travaux portant sur le rôle des documents illustrés ont montré que les illustrations se révélaient bénéfiques pour aider à la compréhension d'un texte. Bransford & Johnson (1972) ont comparé la présentation d'un texte seul à la présentation d'un texte accompagné d'une illustration (figure 1.1). Les résultats indiquaient de meilleures performances en rétention et en compréhension pour les participants qui avaient étudié les deux médias. Dans ce cas, l'illustration se montrait indispensable pour permettre aux sujets de comprendre la situation décrite par le texte. Il faut préciser qu'une illustration peut se révéler bénéfique pour la compréhension uniquement si son contenu est cohérent avec celui du texte. Merlet (1998) a mis en évidence qu'une illustration dont le contenu était incohérent avec le contenu du dialogue oral était une source d'erreur de compréhension importante lorsque les connaissances linguistiques préalables étaient insuffisantes pour interpréter littéralement le dialogue oral.

Malgré l'existence de ces travaux, les modèles de compréhension se sont principalement appuyés sur des données empiriques issues des travaux portant sur la compréhension de texte. Ces modèles de compréhension de texte ne permettaient pas d'expliquer précisément le rôle de l'illustration dans la compréhension, mais ils ont servi de références pour la conception de modèles expliquant la compréhension de document

multimédia. Nous présenterons donc dans un premier temps les principaux modèles de compréhension de texte et nous en dégagerons les limites pour la compréhension des documents illustrés.

### **1.1. Le modèle construction-intégration, Kintsch (1978, 1998)**

Le modèle de compréhension de texte de type construction-intégration, élaboré par Kintsch & Van Dijk (1978), Van Dijk & Kintsch (1983), Kintsch (1988, 1998) est un des plus complet. Il a été considéré comme le modèle de référence pour de nombreuses autres modélisations de la compréhension.

Ce modèle définit l'état des représentations élaborées lors de l'activité de compréhension ainsi que la mise en œuvre des processus cognitifs qui permettent la construction de ces représentations. Il distingue trois niveaux de représentation des informations textuelles : la structure de surface, la représentation sémantique et le modèle de situation.

Au premier niveau le sujet construit les représentations les plus élémentaires, celles des caractéristiques de surface du texte. Elles correspondent à la forme linguistique de l'écrit (comprenant les informations lexicales et syntaxiques) mais également aux informations paralinguistiques (comprenant la ponctuation, la mise en forme, etc.).

Au second niveau, la représentation sémantique est construite par le *compreneur* à partir d'une analyse de la signification des mots du texte. Dans un premier temps, le lecteur organise son analyse à un niveau local. Il s'agit de la microstructure du texte. Il réalise une décomposition du texte sous forme de propositions (prédicats et arguments) et construit un réseau propositionnel structuré. Ensuite, le lecteur organise le contenu sémantique à un niveau plus global. Il s'agit de la macrostructure du texte. A ce stade, le lecteur construit une série de propositions organisées de façon hiérarchique en vue de l'intégration des informations, par l'intermédiaire des mécanismes de mises en relation et d'inférence, à l'aide des connaissances préalables (Kintsch, 1988).

Les deux premiers niveaux sont désignés sous l'expression de « base de texte » puisqu'ils ne sont construits qu'à partir des informations linguistiques. Cette base de texte prend la forme d'un réseau propositionnel constitué d'éléments linguistiques, de relations et d'inférences issues du texte.

Une fois cette base de texte créé, le lecteur peut construire un modèle représentant la situation évoquée par le texte.

La compréhension de certains textes décrivant des relations visuo-spatiales entraîne la construction d'un modèle analogue de la situation (Kintsch, 1998). Les lecteurs qui construisent uniquement la base de texte sont susceptibles de ne construire qu'une compréhension superficielle. Elle est suffisante pour des tâches de rappel et de reconnaissance, mais insuffisante pour des tâches de rappel libre ou pour réaliser des inférences. Pour ces dernières tâches, le lecteur doit être capable de construire un modèle de la situation spatiale induite par le texte. Haenggi, Kintsch & Gernsbacher (1995) ont mis en évidence à l'aide de trois expériences que les lecteurs créent des inférences spatiales pour mettre à jour leurs modèles de situation pendant la compréhension de textes narratifs. Les auteurs concluent que la structure du modèle de construction-intégration permet d'expliquer la construction de ces modèles de situation même avec une forte composante spatiale. Néanmoins, il s'avère que ce modèle peut sembler inadapté aux traitements des informations de type graphes, plans, animations, pour lesquelles nous ne disposons pas encore de modèle cognitif précis.

La structure générale du modèle étant décrite, nous évoquerons maintenant les processus cognitifs spécifiques qui permettent l'élaboration des ces différents types de représentation : le processus de construction et le processus d'intégration (Kintsch, 1988, 1998). Les représentations mentales sont élaborées à partir de règles de production opérant à différents niveaux (règles pour la construction des propositions, règles pour interconnecter les propositions dans un réseau, règles pour l'activation des connaissances, règles pour la construction d'inférences). Dans une première étape, les représentations correctes du point de vue de leur construction interne peuvent être en désordre, redondantes et contradictoires. Une fois que le réseau de propositions a été construit grâce aux règles, le processus d'intégration est supposé prendre en compte les caractéristiques spécifiques de la situation décrite par le texte. Les connaissances du lecteur stabilisent le réseau en effaçant ou en renforçant des informations en mémoire. Le résultat de ce processus d'intégration est une représentation mentale structurée.

En résumé, le modèle de construction-intégration élaboré par Kintsch et ses collaborateurs est un modèle de compréhension de texte qui distingue trois niveaux de représentation et qui est principalement centré sur les étapes du processus de compréhension.

Si l'on considère que l'activité de compréhension est indépendante des différents médias, alors peut-on supposer que les processus de construction et d'intégration sont des

processus généraux de compréhension qui peuvent être impliqués également dans l'élaboration d'un modèle de situation (ou modèle mental, Johnson-Laird, 1983) à partir d'illustrations statiques ou animées ?

Le modèle de construction de structures de Gernsbacher (1990) reste dans la lignée de celui de Kintsch (1988, 1998) mais prend en compte le problème sur la compréhension de documents multimédias.

### **1.2. Le modèle de construction de structures (*structure building framework*), Gernsbacher (1990)**

Le modèle de construction de structures élaboré par Gernsbacher (1990) constitue une théorie générale de la compréhension. Gernsbacher (1990) le caractérise comme un modèle de compréhension multimédia, c'est pourquoi nous l'exposerons dans ce chapitre. Ce modèle s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle les processus et les mécanismes cognitifs de la compréhension et de la production du langage peuvent être à la base des processus et des mécanismes de compréhension d'informations non linguistiques (Gernsbacher, 1990, 1991, 1995, 1997, Gernsbacher & Foertsch, 1999). Néanmoins ce modèle a été construit spécialement sur la base d'expériences concernant le langage.

Au cours de la lecture, le *compreneur* s'engage dans l'élaboration d'une structure mentale (*laying foundation*). Une fois cette première étape réalisée, le lecteur intègre les informations subséquente du texte à la structure mentale en cours de développement. Lorsque l'information entrante est cohérente ou se rapporte à l'information précédente, il développe sa structure mentale à l'aide d'un processus appelé « *mapping* » (que l'on peut traduire par processus d'organisation). Par ailleurs, si l'information entrante est moins cohérente ou ne se rapporte que faiblement à l'information précédente, les *compreneurs* emploient alors un processus différent : celui de « *shifting* » (que l'on peut traduire par processus de changement) et initialisent une nouvelle structure mentale.

Le modèle prévoit également l'intervention de deux mécanismes au cours de la construction des structures mentales : la suppression (*suppression*) et le renforcement (*enhancing*). Selon Gernsbacher (1990), les éléments constitutifs des structures mentales sont symbolisés par des nœuds en mémoire. Les nœuds mnésiques sont renforcés lorsque l'information qu'ils représentent est nécessaire pour la construction des structures mentales en cours. Ils sont supprimés lorsque l'information qu'ils représentent n'est pas nécessaire.

Une particularité du modèle de Gernsbacher est qu'il s'attache à expliquer les différences individuelles dans les habiletés générales de compréhension. Selon ce modèle, les processus et les mécanismes impliqués dans la compréhension du langage sont des processus et des mécanismes cognitifs généraux impliqués dans d'autres sphères de la compréhension. Gernsbacher en déduit que les bases des différences individuelles dans les aptitudes en compréhension peuvent ne pas être spécifiques au langage. Soutenant cette hypothèse, Gernsbacher, Varner & Faust (1990) ont mis en évidence des résultats montrant que les habiletés en compréhension de médias linguistiques sont fortement corrélées avec les habiletés en compréhension de médias non linguistiques. Sur la base de données empiriques, Gernsbacher a pu déterminer que les bons et les mauvais *compreneurs* se distinguent selon deux critères. Premièrement, les mauvais *compreneurs* ont tendance à construire de nouvelles structures en utilisant de façon importante le processus de « *shifting* » au lieu d'intégrer les nouvelles informations pertinentes à la structure mentale existante (Gernsbacher & al., 1990). Ainsi la mauvaise utilisation de ce processus les conduit à créer un trop grand nombre de structures mentales non connectées entre elles, ce qui a pour conséquence de perturber la compréhension. Deuxièmement, Gernsbacher & Faust (1991, 1995) ont mis en évidence que le mécanisme de suppression chez les mauvais *compreneurs* manque d'efficacité. Autrement dit, les mauvais *compreneurs* ne suppriment pas l'information non pertinente aussi efficacement que les bons *compreneurs*. Une des conséquences de l'inefficacité de ce mécanisme de suppression est la tendance à développer trop de sous structures (Gernsbacher, 1997).

En résumé, on peut dire que le modèle de construction de structures élaboré par Gernsbacher et ses collaborateurs est un modèle de compréhension générale. La structure mentale est élaborée à partir des informations fournies par les médias ainsi qu'à partir des connaissances préalables des individus stockées en mémoire à long terme. Néanmoins, bien que ce modèle soit un modèle de la compréhension multimédia, les études empiriques s'y rapportant ont surtout étudié la compréhension de texte et n'ont pas réellement étudié la compréhension à partir d'illustrations.

## **2. Le rôle des illustrations dans la compréhension de documents**

Un document multimédia est défini par Mayer (2001, 2005) comme la présentation d'un matériel associant des mots (texte écrit ou lu) à des images (illustrations, graphiques, photos, cartes, graphiques dynamiques incluant des animations ou des vidéos). Ainsi, la

compréhension d'un document multimédia peut être définie comme la construction d'un modèle mental unique et cohérent à partir de plusieurs sources d'informations. De nombreux travaux ont porté sur la compréhension de documents de types texte-illustration. Les illustrations statiques dans la compréhension de documents décrivant des phénomènes complexes (tel que le fonctionnement d'une pompe, ou le phénomène de la foudre, Mayer & Moreno, 1998, Mayer, 2001, 2005, ou encore les phénomènes volcaniques, Kruley, Sciamia & Glenberg, 1994) favorisent l'élaboration d'un modèle mental, à condition d'être explicitement reliées, de façon cohérente, aux concepts évoqués dans le texte (Hegarty & Just, 1993, Hidrio & Jamet, 2002, Gyslinck, Ehrlich, Cornoldi, de Beni & Dubois, 2000, Kruley, Sciamia & Glenberg, 1994, Mayer, 2001, 2005, Mayer & Gallini, 1990, Mayer & Sims, 1994, Merlet, 1998). Par définition, un modèle mental est une représentation permettant de simuler mentalement le déroulement d'un phénomène ou d'une situation pour anticiper le résultat d'une action.

Dans une majorité des études portant sur le rôle des illustrations dans la compréhension de documents, trois conditions sont généralement comparées: texte seul, image seule et texte avec image. La condition texte avec image conduit aux meilleures performances (Hegarty & Just, 1993). Le texte seul, mais surtout l'image seule, conduisent à de moindres performances. Cela montre la difficulté de traitement d'une image statique unique, qui induit des performances soit inférieures, soit égales au texte seul, bien que le traitement de l'image soit généralement plus rapide que celui du texte (Ganier, Gombert & Fayol, 2000). Par exemple, dans une étude portant sur le fonctionnement d'un système de poulies, Hegarty & Just (1993) ont comparé un texte explicatif seul, une image seule et un texte accompagné d'une image présentée conjointement chez des sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales (figure 1.2). Les résultats aux questionnaires de compréhension indiquaient une supériorité des deux médias présentés conjointement comparativement aux conditions texte seul et image seule. Cette supériorité est plus importante pour la compréhension des aspects cinématiques, c'est-à-dire pour les inférences à propos des directions et des sens de rotation des poulies lorsque l'on imagine une personne tirant sur la corde. Le temps d'étude d'un texte seul était plus long que le temps d'étude des deux médias présentés conjointement, et ce dernier était lui même plus long que celui d'une image seule.



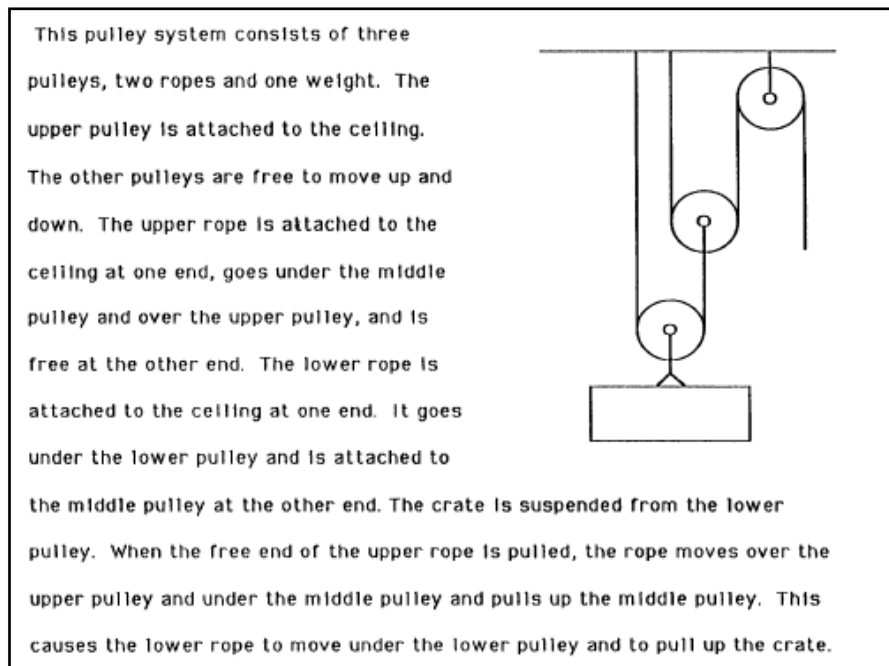


Figure 1.2. Document multimédia incluant texte et image statique typique favorisant la compréhension. Extrait de Hegarty & just (1993).

### 2.1. Le traitement cognitif des documents illustrés : l'intégration texte - image

Depuis Baddeley (1986) et ses distinctions entre boucle phonologique et calepin visuo-spatial, il est classiquement admis que notre système cognitif traite les informations verbales et les informations imagées de façon relativement séparée. Dans la théorie de la mémoire de travail, Baddeley a décrit deux systèmes esclaves de l'administrateur central (qui a pour but d'orienter, d'allouer des ressources et d'effectuer des contrôles) qui ont pour rôle le traitement et le stockage des informations verbales et des informations spatiales. Le traitement et le stockage des informations verbales serait pris en charge par la boucle phonologique (ou boucle articulatoire) et le traitement et le stockage des informations picturales serait pris en charge par le calepin visuo-spatial. Les expériences qui ont étudié le rôle de ces deux systèmes dans la compréhension multimédia ont principalement utilisé le paradigme de la double tâche (Krulley, Sciana & Glenberg, 1994, Sims & Hegarty, 1997, Hegarty, 2004). Ce paradigme consiste à introduire une tâche secondaire pendant l'étude du document, dans le but d'affecter soit la boucle phonologique (tâche de suppression articulatoire) soit le calepin visuo-spatial (tâche de mémorisation de configuration). Les résultats sont très mitigés (Gyselink, Ehrlich, Cornoldi, de Beni & Dubois, 2000). Ils indiquent toutefois le rôle central du calepin visuo-spatial dans le traitement des images et plus particulièrement dans le traitement des images impliquant des phénomènes dynamiques tel que la mécanique (Hegarty, 2004, Sims & Hegarty, 1997).

Basé sur la distinction des représentations verbales et imagées, Schnotz & Bannert (2003) ont élaboré un modèle de compréhension à partir de texte et d'image.

### **2.1.1. Le modèle intégratif de compréhension de texte et d'image, Schnotz (1999, 2005)**

Selon Schnotz & Bannert (2003) et Schnotz (2005), l'apprenant construit un modèle mental à partir de l'intégration progressive et hiérarchique des deux sources d'informations : le texte (écrit ou lu) et l'image.

Schnotz & Bannert (2003), distinguent les représentations externes incluant des informations verbales de celles incluant des informations imagées (figure 1.3). Ce modèle s'inspire du modèle du double codage élaboré par Paivio (1986). Il distingue un traitement de l'information verbale et un traitement de l'information picturale. Le traitement des informations verbales est décrit comme la transformation de la représentation externe du texte en représentation mentale de la structure de surface du texte, puis en représentation propositionnelle du contenu sémantique. Ce traitement est basé sur l'analyse des symboles. Le traitement des informations imagées est décrit comme la transformation de la représentation externe de l'image en perception visuelle, puis en modèle mental. Ce traitement est basé sur une intégration analogique de la structure même de l'image.

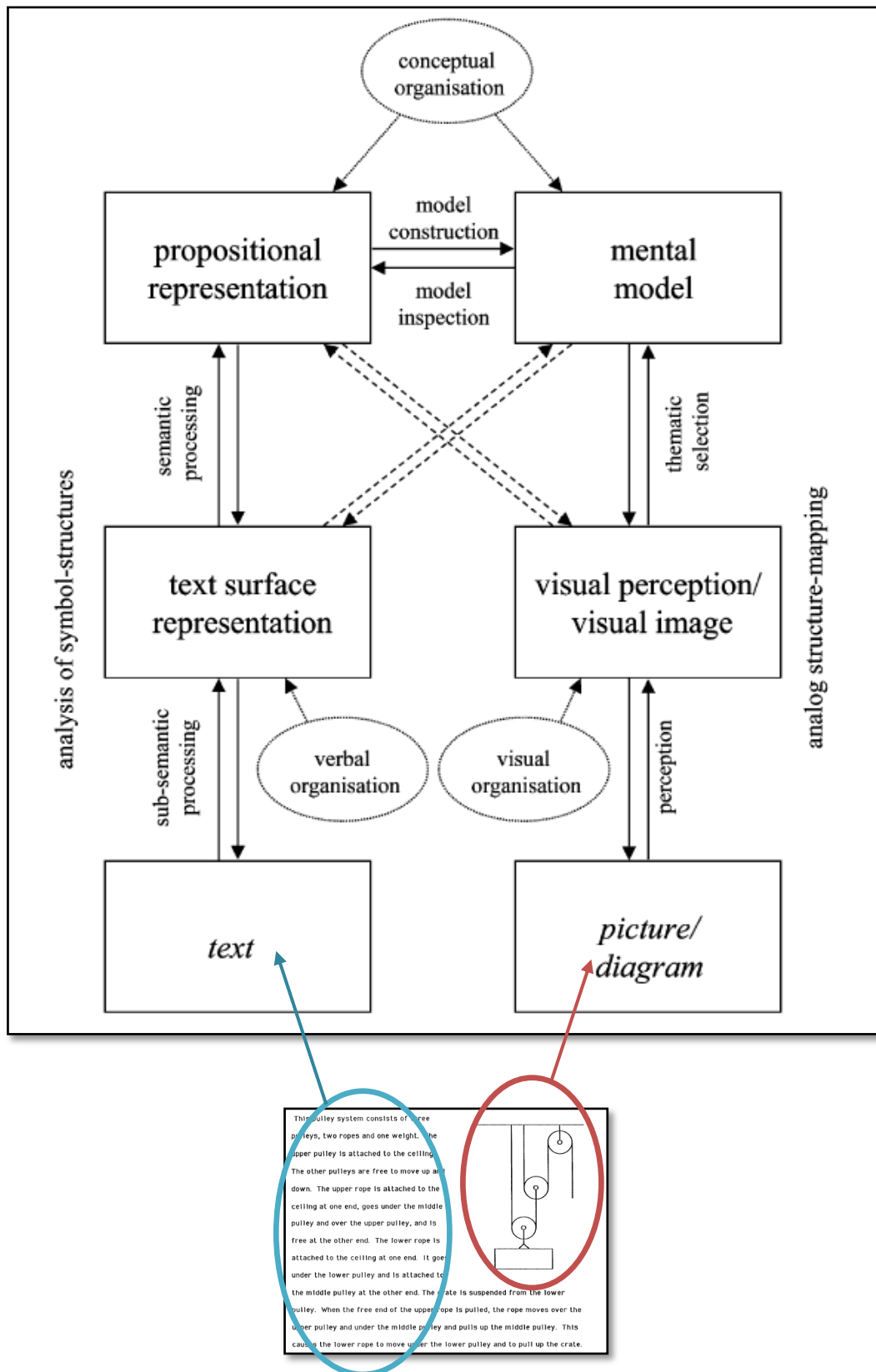


Figure 1.3. Modèle intégratif de la compréhension de texte et d'image. Tiré de Schnotz & Bannert (2003), incluant l'exemple de présentation conjointe d'un texte et d'une illustration statique utilisée dans l'expérience de Hegarty & Just (1993).

Prenons par exemple le matériel utilisé par Hegarty & Just (1993) présenté au bas de la figure 1.3. A partir de la représentation externe du texte, l'apprenant construit une représentation mentale de la structure du texte présenté qui génère une représentation propositionnelle du contenu sémantique, qui déclenche l'élaboration d'un modèle mental du système de poulies. Cette construction progressive est également influencée par une interaction des processus *bottom-up* (ascendants) et *top-down* (descendants), lesquels ont une fonction de sélection et d'organisation des informations. Cette étape du traitement cognitif d'un texte peut être rapprochée de celle décrite par Kintsch (1988, 1998). En parallèle de ce traitement, l'apprenant construit directement une représentation mentale visuelle de la représentation externe de l'image à partir de l'image statique. Ce traitement est analogique et basé sur la perception. Dans un second temps, il élabore un modèle mental de l'image. Tout comme le traitement des informations verbales, cette construction est basée sur une interaction des processus *bottom-up* et *top-down*. Schnotz précise également dans son modèle que le traitement du texte influence le traitement de l'image et vis et versa. Toutefois, il ne décrit pas spécifiquement ce phénomène. On ne sait donc pas précisément de quelle nature sont les connexions entre le traitement des deux médias. Autrement dit, on ne sait pas comment les informations du texte influencent le découpage de l'image et comment le traitement de l'image joue un rôle dans l'interprétation du texte.

En résumé, le modèle intégratif de la compréhension de texte et d'image est un modèle qui implique deux canaux représentationnels. Les différents niveaux de représentation construits successivement lors de la compréhension de texte rendent compte de la construction d'un modèle de situation tel que le décrivent Van Dijk & Kintsch, 1983 et Kintsch, 1998. Concernant la compréhension des images, Schnotz (2005) suggère que la construction d'un modèle mental analogique de la représentation externe par les apprenants est basée sur des traitements perceptifs. Ainsi, la compréhension d'un texte serait issue d'un traitement séquentiel impliquant des phases de construction et d'intégration, alors que la compréhension d'une image serait issue d'un traitement perceptif analogique direct.

### **2.1.2. Intégration texte - image du point de vue empirique**

Dans l'étude de Hegarty & Just (1993), les enregistrements des mouvements oculaires ont montré comment un lecteur intègre les informations à partir d'un texte et d'une image

statique présentée conjointement, expliquant le système de trois poulies. Les résultats, comme le montre la figure 1.4, indiquent que les sujets construisent une représentation mentale du système en inspectant puis en intégrant les informations issues du texte et de l'image de façon intermittente. L'inspection de l'image est largement dirigée par le texte. Les inspections de l'image succédant à chaque épisode de lecture sont typiquement orientées sur les éléments décrits dans le texte.

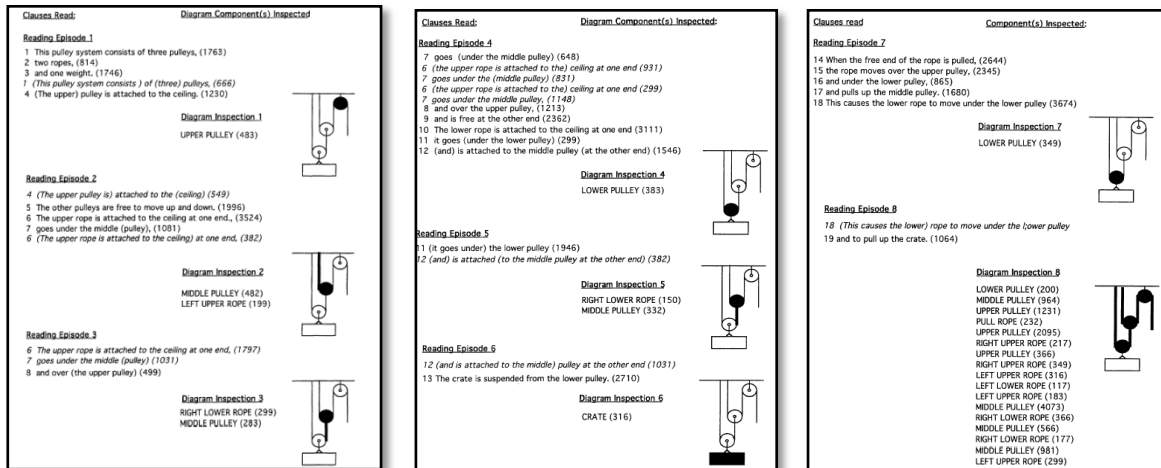


Figure 1.4. Protocole des mouvements oculaires d'un sujet. Chaque ligne représente une série de fixations sur un énoncé du texte ou un composant du schéma. Les lignes qui sont relues sont en italiques (les parenthèses représentent les mots qui ne sont pas directement fixés).  
Extrait de Hegarty & Just (1993).

Le sujet traite pas à pas les informations issues du texte et de l'image qui sont intégrées d'abord à un niveau local puis ensuite à un niveau global.

Le processus d'intégration local peut être caractérisé par les étapes suivantes. Dans la première étape, le sujet lit et interprète une proposition du texte. Dans la seconde étape, il contrôle si la proposition en cours de traitement partage un référent commun avec d'autres propositions récemment lues. Dans la troisième étape, le sujet intègre la représentation propositionnelle avec les informations préalablement stockées à propos de ces référents. Pendant cette phase d'intégration locale, le sujet relit les propositions du début ou inspectent les éléments dans l'illustration s'il est nécessaire de réactiver ou d'intégrer les informations stockées préalablement. Le résultat de cette intégration locale est un modèle mental d'un composant ou d'un groupe de composants connectés.

Le processus d'intégration global entraîne la réactivation de ces modèles mentaux de composants et les combine dans le but de construire un modèle mental global du système incluant une représentation du mouvement. Au cours du traitement, l'illustration est utilisée

comme une représentation externe du modèle mental, libérant des ressources en mémoire de travail pour intégrer les modèles mentaux des composants et en imaginant le mouvement du système.

En conclusion, l'expérience menée par Hegarty & Just (1993) indique que les sujets reconstruisent étape par étape le mouvement par animation mentale à partir de l'image statique. Dans la continuité de ces travaux, Narayanan & Hegarty (1998, 2002) ont élaboré un modèle de compréhension des illustrations accompagnées ou non de textes.

### **2.1.3. Le « modèle initial » de compréhension, Narayanan & Hegarty (1998, 2002)**

Narayanan & Hegarty (1998, 2002) ont élaboré un modèle pour rendre compte de la compréhension d'un système mécanique simple à partir de textes et d'illustrations. Il fut étendu à la compréhension de systèmes mécaniques plus complexes décrits à l'aide d'hypermédia. Ce modèle décrit aussi la compréhension comme une construction progressive au cours de laquelle les individus utilisent leurs connaissances préalables, les informations présentées dans le média et leurs habiletés en raisonnement pour construire un modèle mental de la situation décrite dans le matériel. Comme le montre la figure 1.5, ce modèle postule que les individus comprennent la description d'un mécanisme à partir d'un texte et d'illustrations en décomposant dans un premier temps l'illustration du mécanisme en unités représentant les composants élémentaires du système, puis en construisant un modèle mental statique du système grâce aux connaissances préalables et en encodant les relations spatiales entre les composants. A partir de ce modèle mental statique, les comportements dynamiques sont simulés mentalement en commençant par inférer le comportement d'un composant et en inférant les comportements des autres, tout en suivant l'ordre de la chaîne causale du système, quand celui-ci est un système mécanique.

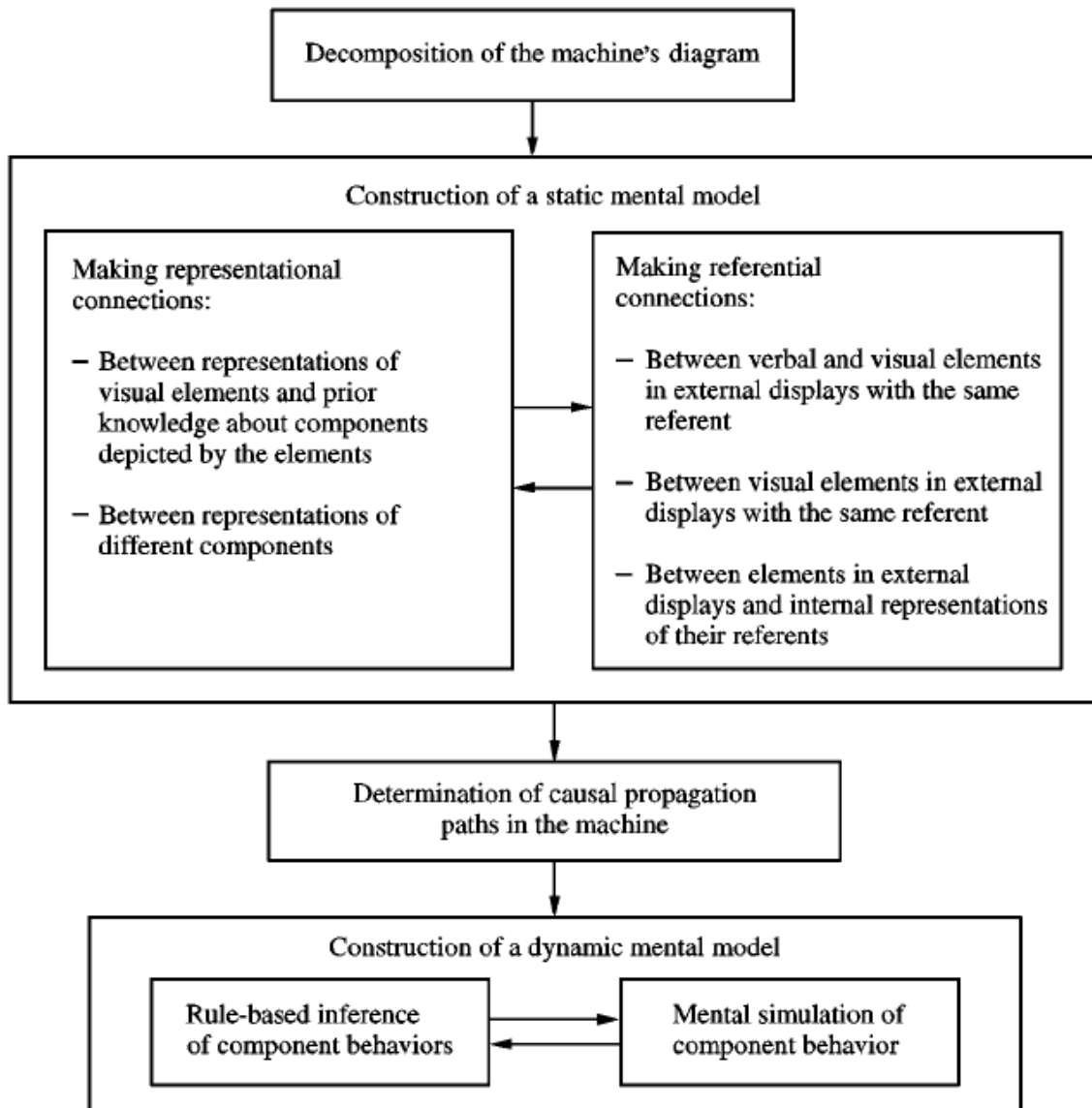


Figure 1.5. Modèle de compréhension d'un système mécanique à partir d'une image statique. Tiré de Narayanan & Hegarty (1998).

Le sujet commence par la segmentation de l'illustration en relation avec le texte, puis il identifie les composants élémentaires du mécanisme.

Au cours de la seconde étape, l'individu construit un modèle mental statique ; la réalisation de connexions représentationnelles. Cette seconde étape implique la réalisation de connexions en mémoire à partir des unités identifiées dans l'étape précédente. Les auteurs distinguent deux types de connexion : les connexions entre les représentations des éléments illustrés et les connaissances préalables et les connexions entre les représentations des différents composants du système.

Toujours au cours de la seconde étape, le sujet construit un modèle mental statique du système ; la réalisation de connexions référentielles. Lorsque l'illustration est accompagnée d'un texte, l'individu doit réaliser des connexions entre les noms des éléments écrits dans le texte et les unités qu'ils décrivent dans l'image dans le but de construire une représentation intégrée des référents communs au texte et à l'illustration. Réaliser des connexions référentielles est également nécessaire lorsque les individus doivent intégrer des informations à partir de plusieurs illustrations différentes du même mécanisme.

Dans la troisième étape, le sujet détermine la chaîne causale des étapes lorsque le système fonctionne.

Finalement, le sujet construit un modèle mental dynamique par simulation mentale en inférant les comportements dynamiques des éléments individuels et en intégrant ces informations pour comprendre comment les éléments interagissent ensemble.

Ainsi, dans ce modèle de compréhension, les apprenants construisent une animation mentale (Hegarty, 1992, 2004) du système à comprendre en décomposant ses divers composants dans le but de construire un modèle mental statique puis en intégrant leurs comportement locaux et globaux en fonction de la chaîne causale du système. Les apprenants simulent mentalement les comportements de systèmes mécaniques complexes. Ils traitent pas à pas les mouvements locaux des éléments et leur propagation le long de la chaîne causale, et ne créent donc pas une représentation mentale holistique (Hegarty, 2004).

#### **2.1.4. Traitement des images sans texte : un modèle analytique de traitement**

Tous les modèles de compréhension présentés précédemment n'abordent pas le traitement cognitif de l'image elle-même. Hegarty (1992) s'est intéressée au traitement des images statiques seules dans le cadre de l'étude de la construction de représentations spatiales. Dans une tâche de vérification, elle a montré comment un apprenant intègre les informations à partir d'une image statique seule décrivant le système de trois poulies. La tâche des sujets étaient de déterminer l'exactitude des relations statiques et cinématiques entre des composants en début, milieu ou fin de chaîne causale (figure 1.6).



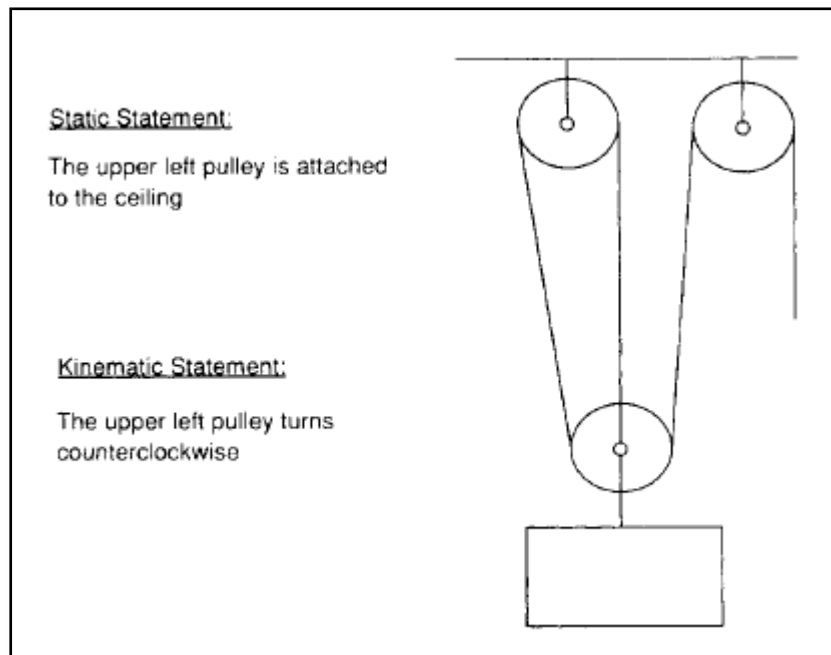


Figure 1.6. Exemple de phrase décrivant des relations statiques et cinématiques parmi les éléments d'un système de poulies. Tiré de Hegarty (1992).

Les résultats indiquaient plus d'erreurs lors de la vérification de relations cinématiques, celles-ci obligeant les sujets à réaliser une simulation mentale du mécanisme en mouvement. De plus les résultats montraient également que les sujets faisaient moins d'erreurs, tout en étant plus rapide lorsqu'ils devaient vérifier l'état des composants en début et en milieu de chaîne causale plutôt qu'en fin. Les résultats issus de l'enregistrement des mouvements oculaires indiquent que pour réaliser la vérification, les sujets inspectaient beaucoup le référent ainsi que les composants en début de chaîne causale (figure 1.7).

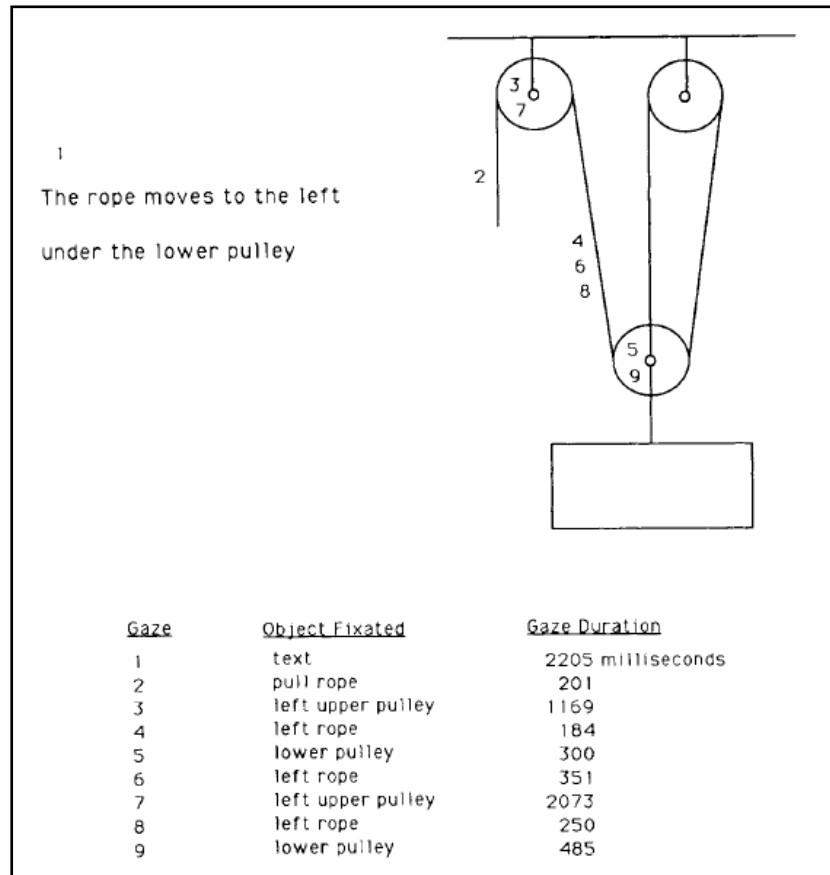


Figure 1.7. Exemple de protocole de mouvements des yeux (les nombres dans l'image indiquent les séquences de regard du sujet sur le texte et sur les éléments du système). Tiré de Hegarty (1992).

Ces résultats supportent que les sujets construisent une représentation du système à partir d'une animation mentale étape par étape (*piecemeal model*, Hegarty, 2004), en suivant l'ordre de la chaîne causale des événements. Dans une seconde expérience, elle demandait aux sujets de vérifier le mouvement d'un composant à partir du mouvement d'un autre composant situé soit en début soit en fin de chaîne causale. Les sujets avaient plus de difficulté et mettaient plus de temps à réaliser des inférences à partir de la fin de la chaîne causale des événements plutôt qu'à partir du début. À partir de ces données, Hegarty (1992) conclut que le sujet décompose sa représentation du mécanisme en petites unités correspondant aux composants du système et en animant ces composants selon la séquence causale des événements du mécanisme.

La compréhension d'une illustration ne serait donc pas issue seulement d'un traitement perceptif holistique. Elle serait issue d'une décomposition des composants de cette image ainsi que des comportements dynamiques de ces composants. Néanmoins, les travaux centrés sur le traitement des images seules sont rares et les connaissances sont encore peu élaborées.

### **3. Les facteurs affectant l'intégration multimédia**

La majeure partie des recherches en psychologie cognitive, consacrée à la compréhension de documents multimédia, a étudié les facteurs d'organisation et de présentation de l'information verbale et illustrée favorisant la compréhension. Les travaux de Mayer (2001, 2005) ont permis d'énoncer des principes ergonomiques pour la conception de documents.

#### **3.1. Le principe multimédia**

Les travaux de Mayer & Gallini (1990), Mayer & Anderson (1991, 1992) portant sur la compréhension de documents concernant le fonctionnement de systèmes techniques (pompe et freins de voiture) ont permis d'établir le principe multimédia. Ce principe précise que les individus apprennent mieux à partir de mots et d'images qu'à partir de mots uniquement. En effet, la présentation simultanée de mots et d'images permet aux apprenants de construire un modèle mental verbal (grâce aux mots) ainsi qu'un modèle mental pictural (grâce aux images) et d'établir des connexions entre ces deux types de modèles mentaux.

Dans une expérience portant sur la compréhension d'un système de freinage, Mayer & Gallini (1990) ont comparé un texte seul, une illustration avec le nom de chaque composant, une illustration avec un texte explicatif et une illustration avec le nom de chaque composant + un texte explicatif (voir figure 1.8). Les résultats (rappel et résolution de problème) indiquaient une supériorité de l'illustration avec les noms et le texte explicatif.

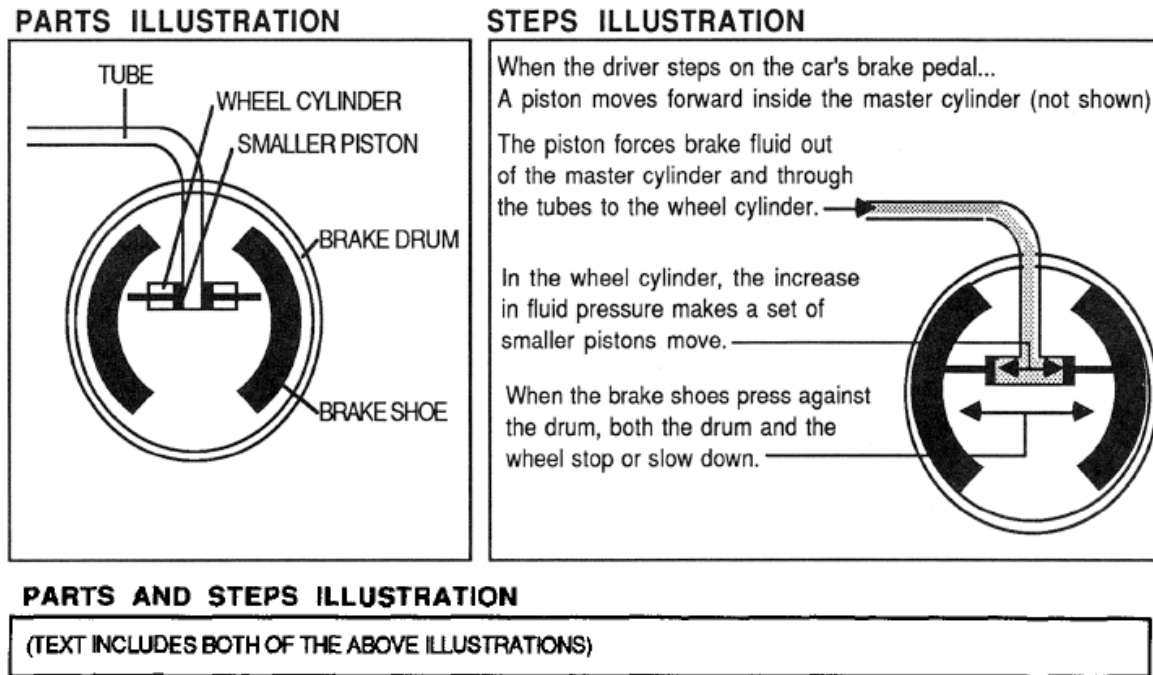


Figure 1.8. Version illustration + nom, illustration + texte explicatif et illustration + nom + texte explicatif d'un système de freinage. Tiré de Mayer & Gallini (1990).

### 3.2. Le principe de modalité

Le principe de modalité désigne le fait que les individus apprennent mieux à partir d'une image et d'une narration entendue qu'à partir d'une image et d'un texte lu. Cet effet est attribué à l'augmentation de la charge cognitive due au partage de l'attention visuelle entre le texte et l'image. En effet, lorsque des images sont accompagnées de mots écrits, le canal visuel/pictural présente une surcharge alors que le canal auditif/verbal est plus faiblement utilisé. Au contraire, lorsque des images sont accompagnées d'une narration, les deux canaux sont utilisés de façon équilibrée pour chacune des modalités sensorielles, réduisant ainsi le partage de l'attention des apprenants (Boucheix & Guignard, 2005, Mayer & Moreno, 1998, Moreno & Mayer, 1999, Mousavi, Low & Sweller, 1995).

Dans une étude portant sur la formation des éclairs et sur un système de freinage, Mayer & Moreno (1998) ont comparé une présentation incluant une animation + un texte à une animation + une narration. La narration et le texte présentaient les mêmes informations. Les résultats indiquaient de meilleures performances (rétention, correspondance et transfert) lorsque l'animation était accompagnée d'une narration.

### 3.3. Le principe de redondance

Le principe de redondance établit le fait que les individus apprennent mieux à partir d'une illustration accompagnée d'une narration qu'à partir d'une illustration accompagnée d'une narration et d'un texte. Tout comme le principe de modalité, cet effet peut être attribué au partage de l'attention, le canal visuel étant surchargé lorsque l'on présente une illustration et un texte en même temps.

Dans une étude portant sur la formation des éclairs, Mayer, Heiser & Lonon (2001) ont comparé une version illustration + narration, illustration + texte, illustration + texte + narration. Les résultats indiquaient une supériorité de la version illustration + narration, la version illustration + texte + narration étant la version conduisant aux plus mauvaises performances.

### 3.4. La théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (*Cognitive Theory of Multimedia Learning*), Mayer, 2001, 2005

Les effets multimédia et de modalité sont deux des organisateurs principaux du modèle théorique élaboré par Mayer.

Dans sa théorie cognitive de l'apprentissage multimédia, Mayer admet trois hypothèses dérivées des sciences cognitives : l'hypothèse de la double voie, de la capacité limitée et du traitement actif (Mayer, 2001, 2005).

L'hypothèse de la double voie postule que les individus activent des canaux de traitement différents pour les informations visuelles et auditives.

L'hypothèse de la capacité limitée, en référence aux travaux de Baddeley (1986, 1999) portant sur la mémoire de travail et à ceux de Chandler & Sweller (1991), Sweller (1999) portant sur la charge cognitive, postule que le nombre d'informations que les individus peuvent traiter à la fois dans chaque canal est limité.

La troisième et dernière hypothèse, celle du traitement actif, 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'allocation de l'attention), l'organisation des informations entrantes sélectionnées et l'intégration des informations entrantes aux connaissances antérieures.

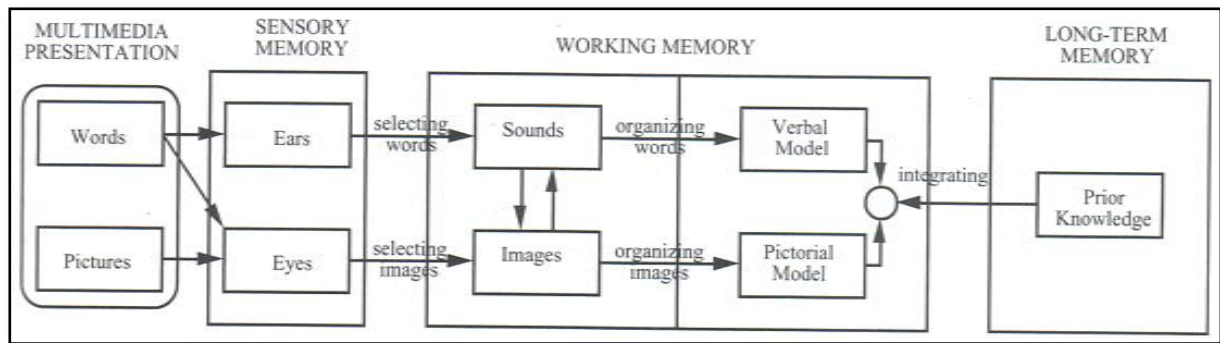


Figure 1.9. Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia. Tiré de Mayer (2005).

La figure 1.9 schématise le modèle cognitif de l'apprentissage multimédia. Les « blocs » représentent les différents types de mémoire incluant la mémoire sensorielle, la mémoire de travail et la mémoire à long terme.

La mémoire de travail est impliquée dans la rétention temporaire et la manipulation des connaissances actives. La partie gauche de la boîte représente les informations visuelles et auditives qui entrent en mémoire de travail. La partie droite quant à elle représente les connaissances construites en mémoire de travail, c'est-à-dire le modèle mental verbal ou pictural et les relations entre ces deux modèles mentaux.

Enfin, en ce qui concerne la mémoire à long terme, il s'agit d'un lieu de stockage des connaissances d'un individu dont la capacité et la durée ne sont pas limitées. Néanmoins ces connaissances ne peuvent être utilisées que si elles sont activées en mémoire de travail.

Un apprenant face à un environnement multimédia doit engager cinq processus cognitifs : (1) sélectionner les mots pertinents, (2) sélectionner les images pertinentes, (3) organiser les mots sélectionnés dans le but d'élaborer un modèle verbal cohérent en mémoire de travail, (4) organiser les images sélectionnées dans le but d'élaborer un modèle pictural cohérent en mémoire de travail, et (5) intégrer les représentations verbales et picturales les unes avec les autres, puis avec les connaissances préalables stockées en mémoire à long terme. Ces cinq processus sont symbolisés par des flèches dans la représentation schématique du modèle de Mayer (figure 1.9).

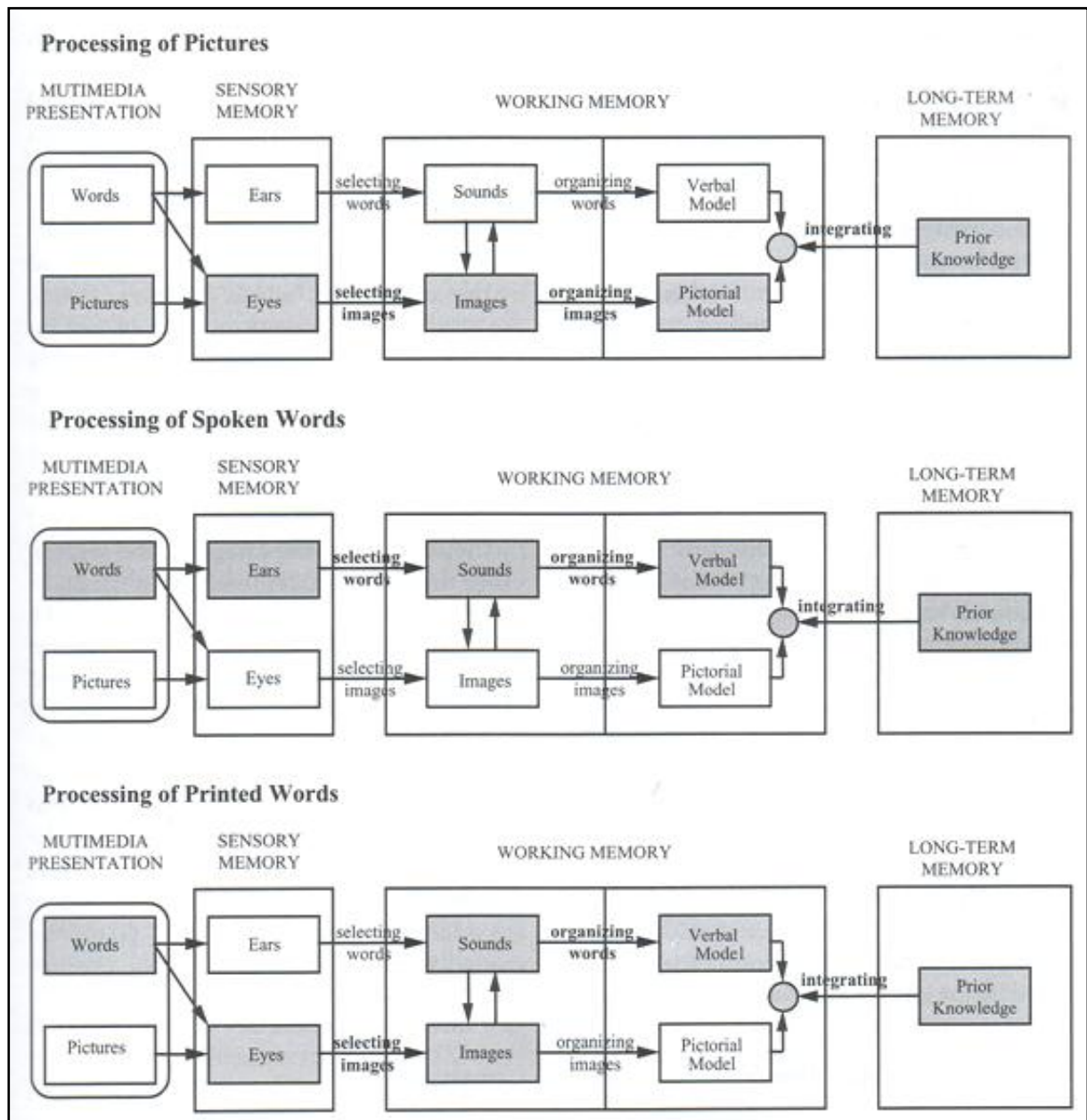
*Le traitement des images, des mots parlés et des mots écrits*

Figure 1.10. Traitements des images, des mots parlés, et des mots écrits. Tiré de Mayer (2005).

La partie supérieure de la figure 1.10 représente la circulation des informations (en gris) et le traitement des images. Ainsi lorsqu'un individu se trouve face à une illustration statique ou animée, il sélectionne une partie de l'image ou de l'animation qui sera stockée en mémoire de travail. Ensuite, il construit une structure mentale cohérente à partir des différents morceaux d'images stockés en mémoire de travail. Il résulte de ces divers processus un modèle pictural. Finalement, le traitement cognitif permet d'établir des connexions entre la

représentation nouvellement créée et les connaissances préalables stockées en mémoire à long terme.

La partie centrale de la figure 1.10 représente la circulation des informations et le traitement des mots parlés. Lorsqu'un individu se trouve face à une narration, il stocke les mots de façon temporaire dans la mémoire sensorielle. Ensuite, il élabore une structure mentale cohérente qui donne lieu à un modèle verbal. Finalement, tout comme pour le traitement des images, le traitement cognitif établit des connexions entre la représentation qui vient d'être construite et les connaissances antérieures.

La partie inférieure de la figure 1.10 représente quant à elle la circulation des informations et le traitement des mots écrits. Le traitement des images s'effectue dans le canal visuel/imagé (situé en haut sur la représentation schématique du modèle) alors que le traitement des sons s'effectue dans le canal auditif/verbal (situé en bas sur la représentation schématique du modèle). Concernant le traitement des mots écrits, il s'agit de traiter des sons à partir d'une entrée sensorielle visuelle. Ainsi, certains de ces mots sont sélectionnés pour être stockés par la boucle phonologique dans le but d'élaborer un modèle verbal cohérent qui est mis en relation avec les connaissances préalables de l'individu.

En résumé, ce modèle ne s'attache pas spécifiquement à décrire le traitement d'une illustration ou d'un texte. Cette modélisation cherche à décrire l'effet des modalités de présentation des informations externes. Un autre aspect du modèle est que les connaissances préalables ne semblent intervenir qu'une fois le modèle verbal ou imagé construit. Kriz & Hegarty (2007) indiquent que les connaissances préalables interviennent dès le début du traitement du document pour aider à la sélection et à l'organisation des informations.

La figure 1.11 représente une vue d'ensemble du processus de compréhension lorsqu'un individu construit un modèle mental à partir d'une présentation visuelle. Une partie de ce processus implique l'encodage exact des informations contenues dans la présentation visuelle externe par le biais des traitements ascendants (*bottom-up*). De ce fait, les caractéristiques de la présentation externe peuvent influencer l'efficacité de l'encodage des informations. Néanmoins, en référence aux théories de compréhension de texte, une tâche de compréhension complexe requiert également des connaissances préalables intégrées avec les informations sensorielles dans le but de construire une représentation dont la signification soit



appréhensible. Ainsi les connaissances préalables peuvent influencer la manière selon laquelle une présentation externe sera appréhendée en orientant l'attention différemment, et également en donnant des indications sur comment percevoir, interpréter et modeler mentalement les informations présentées. Par conséquent, les caractéristiques de la représentation externe et les connaissances préalables ont un effet sur l'élaboration du modèle mental.

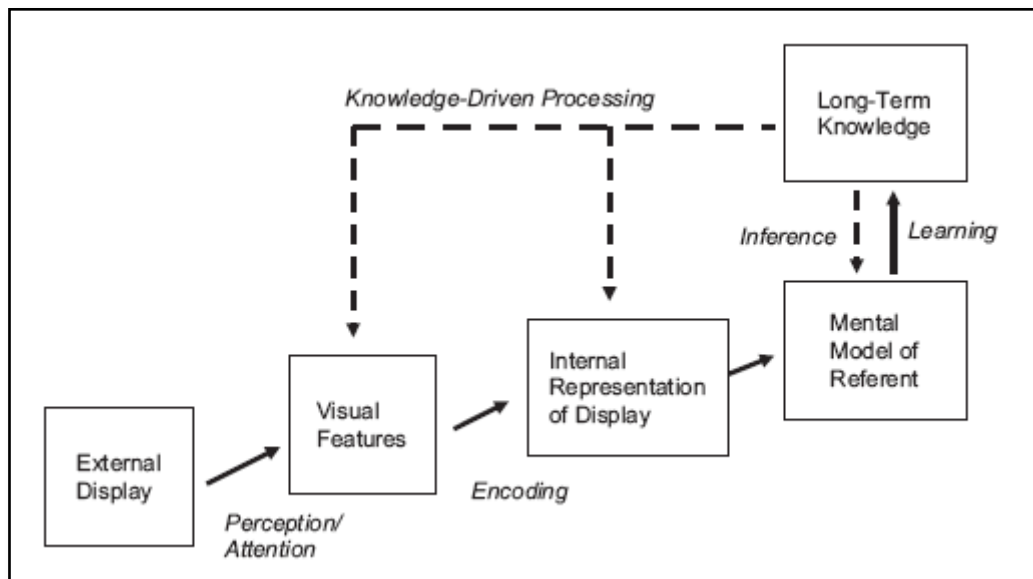


Figure 1.11. Modèle de compréhension d'une image, indiquant les processus *bottom-up* (flèches solides) et *top down* (flèches en pointillées) dans la construction d'un modèle mental. Tiré de Kriz & Hegarty (2007).

### 3.5. Le principe de contiguïté spatiale

Le principe de contiguïté spatiale indique que les individus apprennent mieux lorsque les mots et les illustrations correspondantes sont physiquement proches. Cela favorise la mise en relation et l'intégration cognitive des informations de sources différentes. Les travaux de Moreno & Mayer (1999), portant sur une leçon expliquant la formation des éclairs ainsi que ceux de Jamet & Ehrel (2006) portant sur le fonctionnement de l'œil et de l'oreille chez l'être humain, ont mis en évidence l'importance de cet effet dans la compréhension. Dans une étude portant sur le fonctionnement de l'œil (figure 1.12) et de l'oreille, Jamet & Ehrel (2006) ont comparé une présentation intégrée, reliant les informations textuelles à l'illustration à l'aide de fenêtres escamotables et une présentation séparée où les informations textuelles étaient présentées à l'aide de fenêtres disposées à droite de l'illustration. Les résultats indiquaient un effet positif de l'intégration spatiale sur la compréhension.

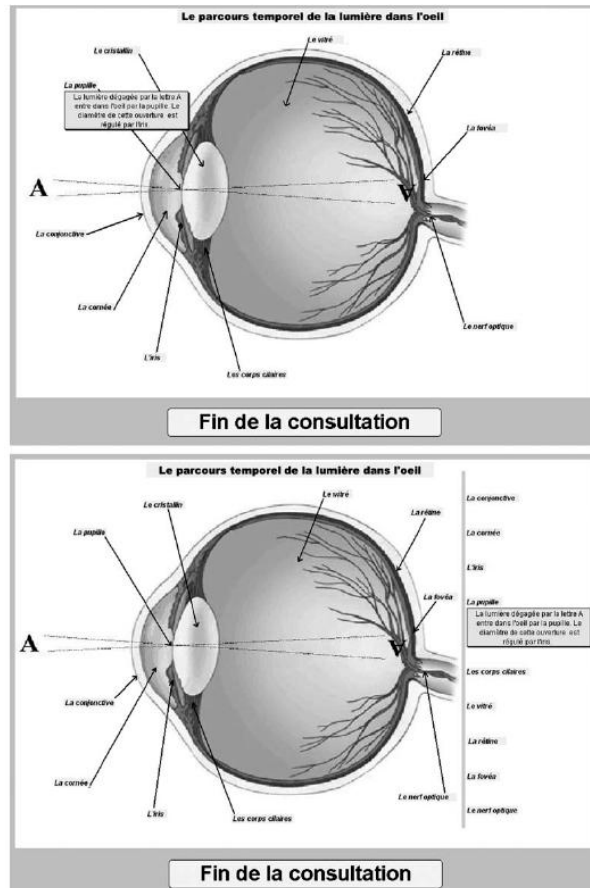


Figure 1.12. Exemple d'illustration intégrée et séparée extrait de Jamet & Ehrel, 2006.

### 3.6. Le principe de contiguïté temporelle

Le principe de contiguïté temporelle indique que les individus apprennent mieux lorsque les mots et les images sont présentés simultanément plutôt que successivement. Si le délai entre la présentation d'une narration et d'une image est nul ou court, alors les apprenants sont capables de construire les connexions entre les représentations verbales et picturales. Lorsque ce délai devient trop long, les apprenants éprouvent des difficultés à réaliser ces connexions, ce qui perturbe la compréhension du document présenté (Mayer & Anderson, 1991, 1992, Mayer & Sims, 1994, Moreno & Mayer, 1999).

### 3.7. Le principe de cohérence

Le principe de cohérence précise que la présence d'un matériel étranger perturbe la compréhension d'un document multimédia. Par exemple, les apprenants sont perturbés lorsque des mots ou des illustrations, ou bien des mots parlés ou des sons non pertinents, sont ajoutés à la leçon. Le traitement des informations non pertinentes entre en concurrence avec celui des informations pertinentes en épuisant les ressources cognitives des apprenants et en

attirant l'attention de ceux-ci sur des éléments non pertinents pour la compréhension de la leçon (Harp & Mayer, 1997, 1998, Mayer & Gallini, 1990, Moreno & Mayer, 2000).

Dans une leçon sur la formation des éclairs, Harp & Mayer (1998) ont réalisé une série d'expériences visant à réduire l'effet de la présentation de détails non pertinents pour la leçon (figure 1.13). Ils ont comparé des leçons avec et sans détails non pertinents. Par ailleurs, les leçons pouvaient préciser les principales idées, les objectifs de l'apprentissage, ou inclure des indices attentionnels. Dans tous les cas de figure les informations non cohérentes avec la leçon perturbaient l'apprenant même dans les conditions expérimentales visant à détruire cet effet.

<p>Cloud</p> <p>Ground</p>	<p>Every year approximately 150 Americans are killed by lightning. Swimmers are sitting ducks for lightning, because water is an excellent conductor of this electrical discharge.</p>	
<p>Lightning results from the difference in electrical charges between cloud and ground.</p>		<p>Swimmers are sitting ducks for lightning.</p>
<p>Ice crystals</p> <p>Freezing level</p> <p>Water droplets</p> <p>Updrafts</p> <p>Warm moist air</p>	<p>When flying through updrafts, an airplane ride can become bumpy. Metal airplanes conduct lightning very well, but they sustain little damage because the bolt, meeting no resistance, passes right through.</p>	
<p>Warm moist air rises, water vapor condenses and forms a cloud.</p>		<p>Metal airplanes conduct lightning but sustain little damage</p>
<p>Downdrafts</p> <p>Hailstones</p> <p>Raindrops</p> <p>Updrafts</p> <p>Wind gusts</p>	<p>When lightning strikes the ground, fulgurites may form, as the heat from the lightning fuses sand into the shape of the electricity's path.</p>	
<p>Raindrops and ice crystals drag air downward.</p>		<p>Lightning fuses sand into the shape of the electricity's path.</p>
<p>Positively charged particles</p> <p>Negatively charged particles</p>	<p>In trying to understand these processes, scientists sometimes create lightning by launching tiny rockets into overhead clouds.</p>	
<p>Negatively charged particles fall to bottom of cloud.</p>		<p>Scientists create lightning by launching tiny rockets.</p>
<p>Stepped leader</p> <p>Branches</p> <p>Upward-moving leaders</p>	<p>Golfers are prime targets of lightning strikes because they tend to stand in open grassy fields, or to huddle under trees.</p>	
<p>Two leaders meet, negatively charged particles rush from cloud to ground.</p>		<p>Golfers are prime targets of lightning strikes.</p>
<p>Return stroke</p>	<p>Approximately 10,000 Americans are injured by lightning every year. Eyewitnesses in Burtonsville, Maryland, watched as a bolt of lightning tore a hole in the helmet of a high school football player during practice. The bolt burned his jersey, and blew his shoes off. More than a year later, the young man still won't talk about his near death experience.</p>	
<p>Positively charged particles from the ground rush upward along the same path.</p>		<p>A lightning bolt tore a hole in the helmet of a football player, burned his jersey and blew his shoes off.</p>

Figure 1.13. Trois sortes d'ajout pour la formation des éclairs. La colonne de gauche contient les illustrations avec un texte explicatif, la colonne du milieu contient un texte avec des détails séduisants (sans cohérence avec la leçon) et la colonne de droite contient des images séduisantes (sans cohérence avec la leçon). Extrait de Harp & Mayer, 1998.

### 3.8. Le principe d'indication ou de signaling

Le principe d'indication ou de signaling indique que l'apprentissage des individus est amélioré par l'ajout d'informations au document, tel que des flèches directionnelles, des consignes, ou des couleurs ayant pour but d'orienter leur attention sur les éléments pertinents de la leçon. Néanmoins il s'avère que le fait d'indiquer un texte (par des paragraphes, des titres,

etc.) est plus efficace que le fait d'utiliser des indices tels que des flèches (Mautone & Mayer, 2001, Boucheix & Guignard, 2005).

En utilisant une leçon portant sur les principes de vol d'un avion, Mautone & Mayer (2001) ont testé l'effet du *signaling* dans un texte explicatif, dans une narration et dans une narration + une animation (figure 1.14). Les sujets dont l'orientation était guidée obtenaient de meilleures performances de transfert que ceux dont l'orientation n'était pas guidée.

Ce principe sera étudié au cours de nos travaux sur les animations.

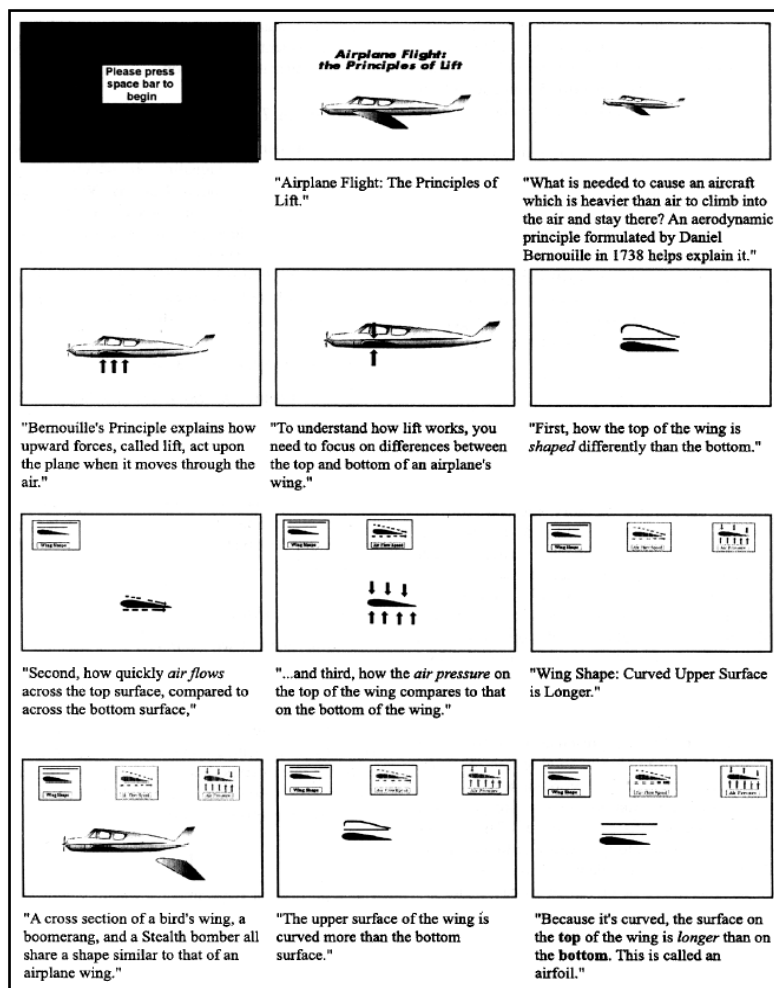


Figure 1.14. Extrait de la leçon sur les principes de vol d'un avion incluant des indices attentionnels et une narration. Extrait de Mautone & Mayer, 2001.

### 3.9. Les différences individuelles

Le principe des différences individuelles décrit le fait que les effets du design d'un support multimédia sont plus importants pour les apprenants avec des connaissances préalables peu élevées. Les apprenants disposant de connaissances préalables plus élevées sont capables de compenser le manque de guidage dans la présentation en utilisant leurs

connaissances préalables. Un design multimédia non approprié entraîne un coût cognitif important chez les apprenants à faibles connaissances préalables.

Les aptitudes visuo-spatiales sont également susceptible d'affecter le traitement des documents illustrés. De nombreuses recherches indiquent que les animations mentales, qui réfèrent aux habiletés à inférer le comportement d'un système mécanique à partir de sa représentation externe (Hegarty, 1992), sont hautement corrélées avec les habiletés en visualisation spatiale (Hegarty & Sims, 1994, Hegarty & Steinhoff, 1997, Hegarty & Kozhenikov, 1999). De plus les animations mentales sont dépendantes des différences de stratégies appliquées par les individus et des habiletés à visualiser les relations spatiales complexes. Par exemple, Hegarty & Steinhoff (1997) ont montré que seuls les individus qui annotaient les images compensaient les limites de leur mémoire de travail spatial et augmentaient leurs performances de compréhension. Ce genre de stratégie n'est pas applicable à tous les problèmes impliquant l'élaboration d'animation mentale car quelque fois plusieurs éléments contraignent les mouvements d'autres éléments et sont par conséquent animés en parallèles plutôt qu'en série. On peut donc supposer qu'un document multimédia au design approprié et qui inclurait des animations pourrait diminuer les différences de performances de compréhension entre les apprenants disposant de fortes et ceux disposant de faibles habiletés spatiales car une animation permettrait d'alléger le nombre d'informations stockées en mémoire.

### **3.10. Traitements multimédia et charge cognitive**

L'ensemble des difficultés liées aux traitements multimédias peut être relié à une augmentation de la charge cognitive. Dans la théorie de la charge cognitive (Ayres & Sweller, 2005, Paas, Renckl & Sweller, 2003, Sweller, 1999, 2003, 2005, Sweller & Chandler, 1994), les auteurs distinguent trois types de charge cognitive : la charge extrinsèque ou « *extraneous* », la charge intrinsèque et la « *germane load* ». La charge extrinsèque résulte d'un design inapproprié, qui ignore les contraintes du système cognitif et en particulier de la mémoire de travail. Cette charge est liée à la quantité d'informations, la modalité sensorielle et à l'organisation externe des informations présentées. La charge intrinsèque résulte de la complexité du contenu des informations à traiter et de la tâche à réaliser. Pour finir, la charge « *germane* » est la charge cognitive qui est liée aux processus cognitifs mobilisés lors de la réalisation d'une tâche. Cette dernière charge se révèle être particulièrement pertinente pour faciliter la compréhension et la réalisation de tâches complexes. Ainsi, un document multimédia efficace se caractérise par le fait qu'il diminue la charge extrinsèque et qu'il

augmente la charge « *germane* ». En conséquence, le sujet alloue plus de ressources cognitives aux processus nécessaires à une bonne compréhension.

#### 4. Conclusions

Nous avons mis en évidence le rôle bénéfique des illustrations statiques dans la compréhension de documents multimédia et de certains facteurs favorisant la compréhension de ces documents. Néanmoins, les travaux focalisés sur le traitement des informations dans les images sont rares et, dans les recherches portant sur les documents multimédia, l'illustration est le plus souvent considérée comme secondaire par rapport au texte. Ainsi, nous ne disposons pas d'un modèle de traitement spécifique aux images.

Schnotz (1999, 2005) postule que le traitement de l'image est analogique. Celui du texte est un traitement séquentiel basé sur des processus de construction et d'intégration. Grâce à la méthode de poursuite des mouvements oculaires, Hegarty (1992, 2004), Hegarty & Just (1993) ainsi que Narayanan & Hegarty (1998, 2002) indiquent que le traitement d'une illustration débiterait par une décomposition de l'image en plusieurs parties et se terminerait par un regroupement des différents modèles mentaux construits à partir de cette décomposition dans le but de construire un modèle mental unique. Le modèle ne précise pas comment l'apprenant intègre les différentes parties de l'image et comment il organise son découpage.

Lorsque l'image est accompagnée d'un texte, le traitement de celui-ci facilite le découpage et l'intégration de l'illustration. Néanmoins, ce découpage est dépendant du contenu du texte. Lorsque le texte est accompagné d'une animation, les problèmes d'intégration des deux média pourraient s'avérer différents. L'attention serait plus orientée vers l'animation à cause de la perception du mouvement. De plus, l'animation continue son déroulement même lorsque l'apprenant lit le texte, provoquant une perte de repères entre les éléments du texte et les éléments de l'illustration.

Par ailleurs, nous avons également mis en évidence un certain nombre de facteurs susceptibles d'affecter l'intégration d'un document multimédia. Ces facteurs ont principalement concerné les modalités matérielles de présentation de l'information. De ce fait, l'activité du sujet, c'est-à-dire les processus cognitifs impliqués dans l'élaboration d'un modèle mental dynamique à partir d'une illustration statique, reste encore assez méconnu.

Dans le chapitre suivant, nous nous focaliserons sur la compréhension à partir des animations et sur leurs difficultés de traitement comparativement aux illustrations statiques.

## **Chapitre 2**

### **Les animations sont-elles efficaces ?**



L'objectif de ce second chapitre est de déterminer si l'utilisation d'animation peut faciliter la compréhension. Ainsi après une brève définition de la notion d'animation, nous ferons une synthèse des travaux ayant pour objet d'étudier l'influence des animations dans la construction d'un modèle mental chez les apprenants comparativement à des illustrations statiques.

### **1. Qu'est ce qu'une animation ?**

Baek & Lyne (1988) ont défini le terme d'animation comme « un processus qui génère une série d'images contenant un ou des objets, tel que chaque image apparaît comme une altération de l'image précédente de façon à montrer le mouvement ». Gonzales (1996) a proposé une définition plus large de ce terme dans le sens, où il considère que l'interactivité entre l'utilisateur et le système est une caractéristique essentielle des animations. Ainsi il décrit les animations comme « une série d'images changeantes présentées de façon dynamique en fonction des actions de l'utilisateur, de manière à aider l'utilisateur à percevoir un changement continu dans le temps, et à développer un modèle mental approprié de la tâche ». A partir de ces deux définitions, Bétrancourt & Tversky (2000) et Bétrancourt (2005) ont proposé la définition suivante : « une animation fait référence à une application qui génère une série d'images, de manière que chaque image apparaisse comme une altération de l'image précédente, et où la succession des images est déterminée soit par le concepteur, soit par l'utilisateur ». Cette définition prend en compte la notion d'interactivité décrite par Gonzales (1996), mais ne l'implique pas nécessairement.

Etant donné que les changements dynamiques sont caractéristiques d'une animation, Lowe & Schnotz (sous presse) ont catégorisé les changements dynamiques contenus dans une animation comme étant intrinsèques et extrinsèques, en identifiant le cadre de référence comme étant interne ou externe à l'entité considérée. Ainsi, les changements dynamiques peuvent être différenciés selon deux points de vue différents :

- Un point de vue fixe où la position d'où est vu le contenu présenté reste inchangée pendant que la présentation du contenu change de façon dynamique. Par exemple, une caméra fixe qui filme un individu en mouvement.
- Un point de vue mobile où le contenu présenté reste inchangé alors que le point de vue subit un changement dynamique. Par exemple un individu immobile qui est filmé par une caméra qui tourne autour de lui.

Lowe (2004) détermine plusieurs types de changements dynamiques qui peuvent intervenir durant une animation dans le cas d'un point de vue fixe.

- Translation : la position change, ce qui entraîne le mouvement de toutes les entités d'une location à une autre. De plus, l'entité graphique se déplace au sein du cadre de visualisation de l'animation. Par exemple, une balle se déplace en rebondissant à l'intérieur des limites du cadre de visualisation (figure 2.1)
- Transformation : la forme change ce qui entraîne des altérations dans l'entité graphique en ce qui concerne la taille, la texture, la couleur, etc. Par exemple, la partie inférieure de la balle s'aplatit à chaque fois que la balle touche le sol (figure 2.1).
- Transitions : l'inclusion d'un objet change, ce qui entraîne l'apparition ou la disparition d'entité (soit totalement soit partiellement). Par exemple, la balle entre d'un côté de l'écran en rebondissant.

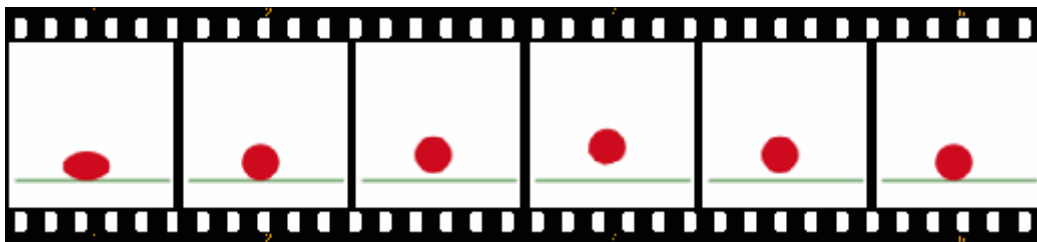


Figure 2.1. Décomposition d'une animation incluant six images statiques.

## 2. Les promesses des animations

Avec les récentes avancées technologiques dans le domaine du multimédia, on assiste à une recrudescence de l'usage des animations que ce soit dans un but uniquement esthétique et motivant ou bien dans un but pédagogique (Bétrancourt, Bauer-Morrison & Tversky, 2001). Ainsi les caractéristiques des animations se veulent affectives (attractives, amusantes, esthétiquement agréables), dans le but de motiver les apprenants, ou elles se veulent encore attractives d'un point de vue perceptif et attentionnel. Par ailleurs, les animations permettraient de présenter le comportement dynamique de façon concrète et réaliste (Lowe & Schnotz, sous presse, Schnotz & Lowe, 2003) favorisant ainsi la construction d'un modèle mental dynamique (Lowe, 1999, Sims & Hegarty, 1997). Les animations permettraient donc de supporter les traitements cognitifs internes grâce à une représentation externe. Ainsi les apprenants pourraient construire un modèle mental efficace du contenu présenté particulièrement pour les contenus à fortes composantes visuo-spatiales (systèmes techniques,

mécaniques, naturels) et pour les apprenants à faibles aptitudes spatiales qui auraient des difficultés à réaliser une simulation mentale sans aides extérieures. Néanmoins, les animations pourraient également donner un sentiment de compréhension sans qu'une réelle intégration cognitive n'ait été réalisée par l'apprenant. Il s'agit du phénomène d'illusion de compréhension décrit par Schnotz & Lowe (2003).

Cet engouement a entraîné nombre de travaux ayant pour objet d'étude les animations et l'impact de celles-ci dans la compréhension. Cependant ces études ne s'intéressent pas forcément aux processus cognitifs sous tendus pas les animations, mais elles s'intéressent plutôt à établir des principes de conception dans le but de créer des animations efficaces. Beaucoup de développeurs prônent que les animations constituent une meilleure source de délivrance des informations que les images statiques (Schnotz & Lowe, 2003). Ainsi ils encouragent fortement l'utilisation d'animations pour « améliorer » les documents pédagogiques sur la base de simples suppositions naïves sur les traitements cognitifs humains et sur les apprentissages (Schnotz & Lowe, 2003). En effet confronté à une illustration statique présentant un phénomène dynamique, l'apprenant doit inférer mentalement, par le biais d'une simulation mentale, le processus dynamique décrit. Au contraire, confronté à une animation, l'apprenant perçoit directement le processus dynamique décrit. De ce fait, les animations devraient fournir une aide précieuse pour comprendre les processus dynamiques d'un système pour les apprenants ayant des difficultés à réaliser une simulation mentale à partir d'une illustration statique, tels que les novices (sans connaissances préalables) ou les apprenants à faibles habiletés spatiales.

En résumé, on peut supposer qu'une animation supporte le traitement cognitif de processus dynamiques, cela entraînant une meilleure compréhension comparativement à une illustration statique. Néanmoins, on peut se poser la question de savoir si une animation facilite toujours la compréhension.

### **3. Bilan sur les animations comparativement aux illustrations statiques**

Bétrancourt & Tversky (2000) ont établi un premier bilan des recherches portant sur le rôle des animations, comparativement à des illustrations statiques, dans la compréhension. Les auteurs ont examiné 21 études qui avaient toutes pour objectif d'évaluer l'impact des animations sur les performances et les préférences des apprenants. Parmi ces 21 études, 12 ont comparé une présentation d'illustrations statiques à une présentation d'illustrations animées, 5 ont comparé une classe incluant des animations dans les cours à une classe traditionnelle et 4 ont examiné les facteurs pouvant affecter l'efficacité de l'ordinateur. Cette première synthèse

indique que le rôle des animations dans la compréhension se montre contradictoire (Bétrancourt & Tversky, 2000, Tversky, Bauer-Morrison & Bétrancourt, 2002). Les animations ne fournissent pas toujours une amélioration de la compréhension. Tversky, Bauer-Morrison & Bétrancourt (2002), en expliquant ces résultats contradictoires, ont mis en évidence que dans la plupart des cas, le contenu des études comparant des illustrations animées à des illustrations statiques n'est pas équivalent. Les animations transmettent plus d'informations que les illustrations statiques. Ce manque d'équivalence concernant la délivrance des informations entre les deux formats de présentation rend difficile l'interprétation des résultats montrant un bénéfice des animations. Néanmoins ce manque d'équivalence entre les conditions n'est pas la seule difficulté dans l'évaluation des bénéfices possibles d'une animation. Les procédures utilisées dans les études comparant ces deux formats sont parfois non équivalentes. De ce fait, on ne peut pas déterminer si les bénéfices obtenus sont dus à l'animation ou à la procédure spécifique liée aux animations.

Sur la base des expériences décrites dans cette synthèse, qui comparent une présentation statique à une animée, nous allons étayer ce bilan avec les données recueillies au cours de ces dernières années dans le but de fournir des explications quant aux effets positifs, négatifs ou neutres des animations sur les performances et les préférences.

### **3.1. L'effet des animations sur les performances de compréhension**

Dans le but de rendre la lecture de cette synthèse facilement abordable, nous présenterons, tout d'abord, les études indiquant des effets positifs, suivi des études indiquant aucun effet, elles-mêmes suivies des études montrant des effets négatifs. Les études présentées selon leurs résultats seront présentées selon les problèmes soulevés par Tversky, Bauer-Morrison & Tversky (2002). Nous fournirons le but, le matériel utilisé, la tâche, la population, les conditions expérimentales, ainsi que les résultats principaux de chaque étude.

#### **3.1.1. Les études montrant des effets positifs des animations**

##### *Les études impliquant un nombre d'informations différent entre les conditions*

Une des caractéristiques intrinsèques des animations est de divulguer un nombre d'informations plus importants qu'une illustration statique. L'interprétation des résultats obtenus est donc ambiguë. La supériorité des animations pourrait être due à la quantité d'informations supplémentaires délivrées et non pas au fait de présenter une animation dynamique. Dans certaines études, les informations non pertinentes pour la compréhension

étaient supprimées des animations présentées. Dès lors, les bénéfices pourraient être dus à la saillance des informations pertinentes délivrées par l'animation.

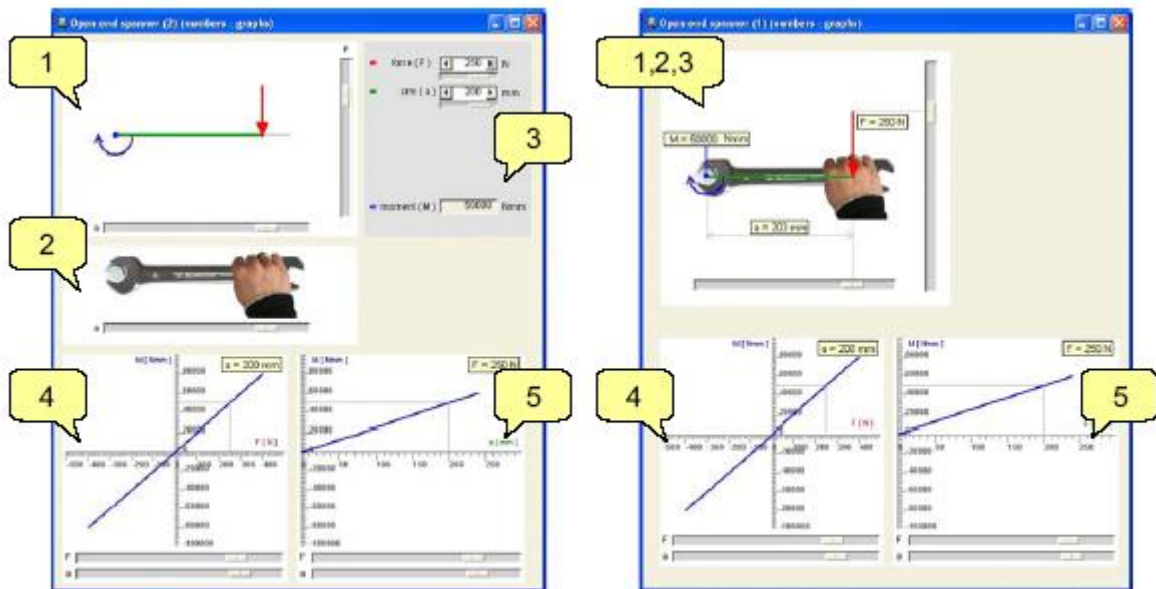
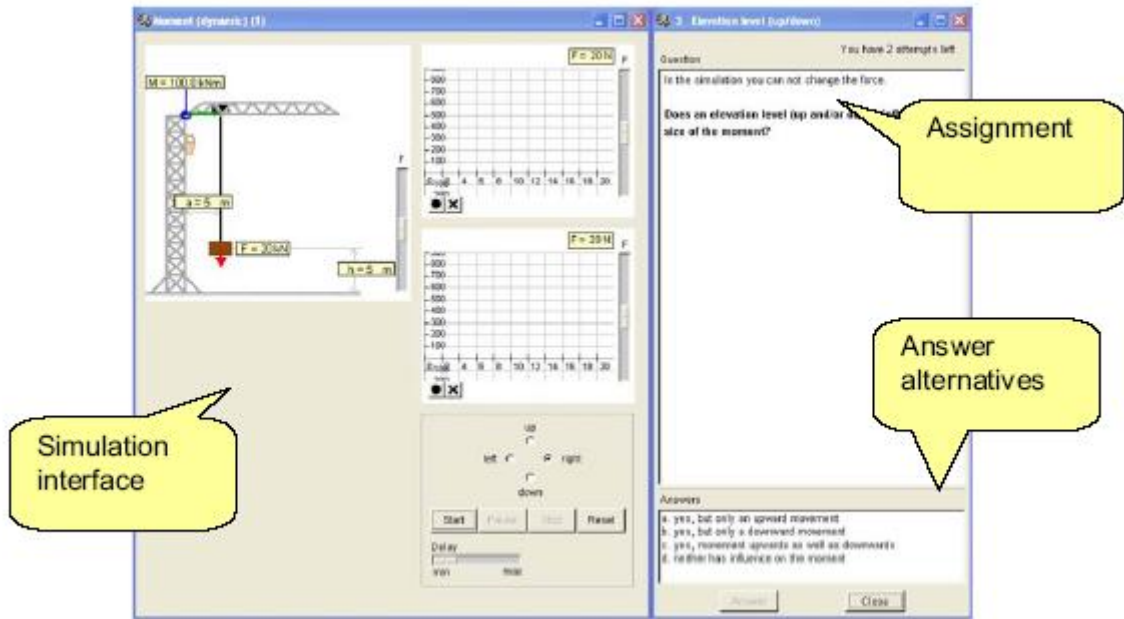
Dans une étude portant sur la notion de vitesse, Baek & Layne (1988) ont mis en évidence que les performances obtenues aux exercices de résolution de problèmes (d'application et transfert), par des élèves de seconde auxquels on présentait une leçon portant sur la relation entre temps et distance, étaient meilleures lorsque la présentation de la leçon était composée d'une animation plutôt que d'un graphique statique ou que celle-ci était composée d'un graphique statique que d'un texte seul. Néanmoins, il s'avère que dans l'animation, les aspects non pertinents de la situation étaient supprimés. Il est donc difficile de conclure sur les bénéfices apportés par l'animation.

Rieber (1989a) a montré qu'un texte accompagné d'une animation permettait d'obtenir de meilleures performances en résolution de problème qu'un texte accompagné d'un graphique statique chez des élèves de cours élémentaire auxquels on présentait une leçon sur les lois de Newton. Rieber (1990) a également mis en évidence qu'une leçon, également portant sur les lois de Newton, incluant des animations augmentaient les performances en résolution de problème chez des élèves de CM2 comparativement à des leçons incluant un graphique statique ou aucun graphique mais ce seulement pour les élèves ayant reçu un entraînement comportemental. Rieber (1991) a comparé la présentation d'un graphique animé à la présentation d'un graphique statique, toujours illustrant les lois de Newton, chez des élèves de CM1. Il a mis en évidence que les performances au test de résolution de problèmes étaient améliorées par une présentation incluant des graphiques animés, mais uniquement pour l'apprentissage incident et non pour l'apprentissage intentionnel. Néanmoins, le graphique statique n'incluait pas les informations fondamentales pour comprendre les lois de Newton. L'illustration statique montrait le mouvement de la balle grâce à des flèches représentant les forces, mais ne montrait pas qu'un coup de pied pouvait initier ou arrêter le mouvement. Le concept d'inertie est critique pour comprendre cette loi, et les sujets ne pouvaient l'extraire qu'à partir du texte. Au contraire l'animation montrait comment le mouvement de la balle débutait et s'arrêtait.

Wright, Milroy & Lickorish (1999), ont comparé un texte sans illustration à un texte accompagné d'illustrations statiques et à un texte accompagné d'illustrations animées ayant pour thème des événements historiques impliquant une localisation à l'intérieur des îles britanniques chez des étudiants de premier cycle de psychologie. Trois sortes d'illustrations statiques ou animées étaient utilisées : des illustrations donnant des informations sur la

localisation, la date et ce qui s'est passé à propos des événements relatés. Les auteurs ont mis en évidence que la présence d'animations avait pour effet de réduire la tendance à ignorer certains types d'illustrations et plus particulièrement celles qui donnaient des informations sur la localisation, diminuant ainsi le nombre d'erreurs au test différé.

Van der Meij & de Jong (2006) ont examiné l'utilisation de représentations dynamiques comparativement à l'utilisation de représentations statiques dans un environnement d'apprentissage dont le contenu était un sujet de physique : le moment. Ainsi, ils ont comparé un environnement d'apprentissage avec des représentations séparées et non reliées à un environnement incluant des représentations séparées mais dynamiquement reliées, et à un environnement incluant des représentations dynamiques intégrées et reliées chez des lycéens ayant des cours de mécanique (figure 2.2). Les résultats ont mis en évidence qu'un environnement incluant des représentations dynamiques intégrées et reliées améliorait les performances de compréhension comparativement aux deux autres conditions expérimentales et ce particulièrement pour des questions complexes. Par ailleurs, ce type d'environnement d'apprentissage permet de rendre le domaine plus accessible pour les apprenants et paraît également plus facile à utiliser pour une activité d'apprentissage.



(1) Diagrammatic representation      (3) Numerical representation  
 (2) Concrete representation          (4) and (5) Graphs

Figure 2.2. Exemple de l'interface de simulation utilisée par Van der Meij & de Jong (2006). L'image du haut représente la condition « représentations séparées mais dynamiquement reliées », l'image du bas à gauche représente la condition « représentations séparées et non reliées », l'image du bas à droite représente la condition « représentations dynamiques intégrées et reliées ».

**Les études impliquant des animations interactives**

L'absence d'équivalence dans la délivrance des informations n'est pas l'unique problème soulevé par Tversky, Bauer-Morisson & Tversky (2002) dans les recherches étudiant le rôle des animations. Une autre difficulté d'interprétation réside dans le fait que, dans certaines études, les procédures expérimentales sont incomparables. Dans certains cas, la

condition animation était interactive alors que la condition statique ne l'était pas, ainsi les résultats obtenus pouvaient aussi bien être dus à l'interactivité qu'à l'animation.

Rieber, Tzeng & Tribble (2004) ont exploré comment des étudiants de premier cycle interagissent et apprennent à partir d'une simulation interactive sur ordinateur complétée par une brève explication multimodale du contenu. Tout comme dans les expériences de Rieber (1989b, 1990, 1991), le contenu de la leçon (présentée sous la forme d'un jeu) faisait référence aux lois de Newton. Ainsi les sujets pouvaient avoir un contrôle direct sur le mouvement d'une balle et avaient pour but de diriger la balle vers des cibles. Les auteurs ont comparé une simulation accompagnée d'un feedback textuel (figure 2.3) à un graphique animé (figure 2.4). Par ailleurs, la moitié des sujets recevaient des explications consistant en cinq écrans décrivant les principes de mouvements utilisant une combinaison de texte et de graphiques animés. Les résultats indiquaient que les sujets qui recevaient des explications obtenaient de meilleures performances au post-test que ceux qui ne recevaient pas d'explication. Par ailleurs, les sujets qui recevaient un feedback graphique obtenaient également de meilleures performances que ceux qui recevaient un feedback textuel. Le score au jeu était meilleur pour les sujets ayant une feedback graphique.

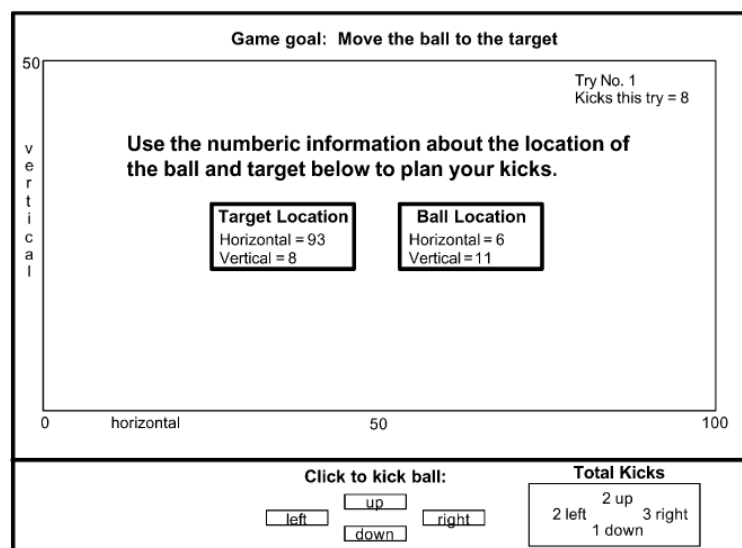


Figure 2.3. Exemple d'écran présentant un feedback textuel.



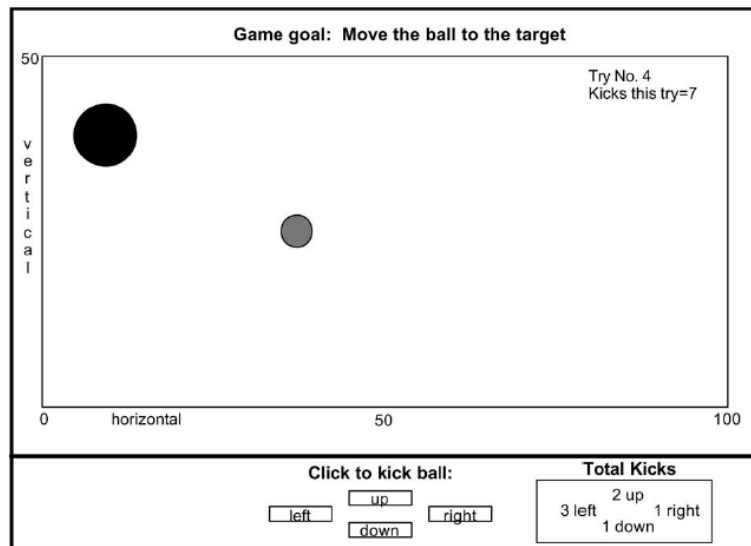


Figure 2.4. Exemple d'écran présentant un feedback graphique animé.

Schnotz, Böckheler & Grzondziel (1999), ont comparé un hypertexte accompagné d'une animation interactive à un hypertexte accompagné d'une illustration statique chez des étudiants de premier cycle dans le but de leur proposer un apprentissage concernant les fuseaux horaires. Les sujets devaient répondre à des questions portant sur des connaissances détaillées à propos de la division de la terre en zones horaires et à des questions portant sur des phénomènes temporels se rapportant à la circumnavigation autour du monde (impliquant une simulation interne basée sur un modèle mental de la terre). Les résultats obtenus montraient que les sujets dans la condition avec animation obtenaient de meilleures performances aux questions portant sur des connaissances détaillées à propos de la subdivision de la terre en zones horaires. Néanmoins les résultats ne montrèrent aucun effet du type de présentation pour la tâche de simulation interne basée sur le modèle mental de la terre.

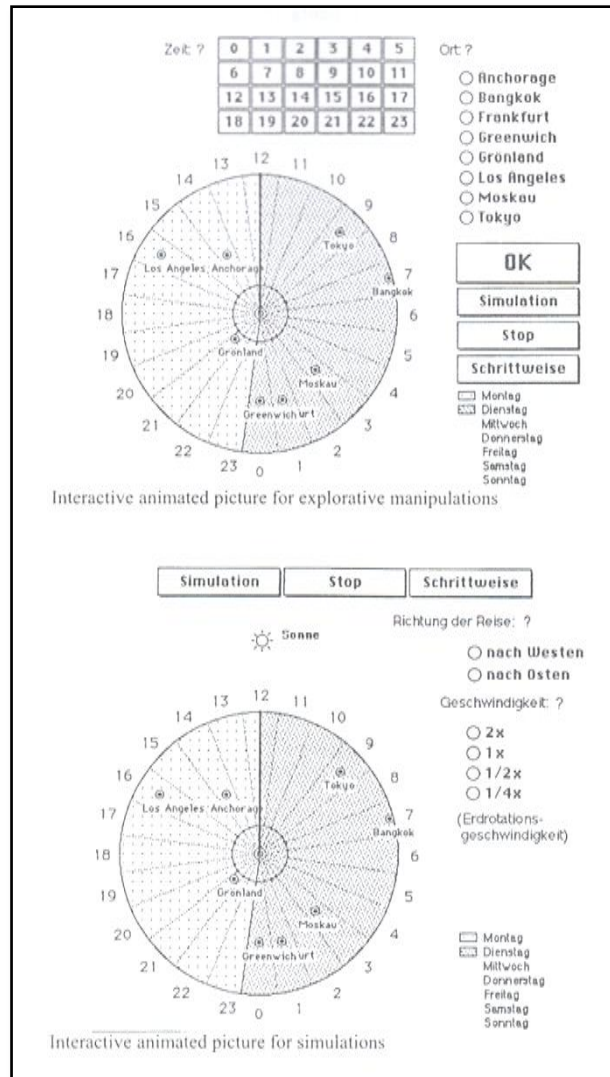


Figure 2.5. Matériel utilisé par Schnotz, Böckehler & Grzondziel (1999).

### *Les études impliquant des tâches différentes et de mesures hétérogènes*

La tâche des sujets se révèle être aussi un facteur déterminant dans les bénéfices liés aux animations. Certaines tâches peuvent être confondues avec l'étude des animations impliquant des difficultés d'interprétation des résultats obtenus. Par exemple lorsque l'on demande aux sujets d'effectuer des prédictions. Par ailleurs, les sujets, selon les expériences répondent à divers types de questions. Selon le type de question, les résultats ne fournissent pas les mêmes informations quant au rôle des animations dans la compréhension.

Dans une étude portant sur la compréhension d'opérations d'un système d'énergie, Kieras (1992) a comparé une leçon présentée sous forme d'un texte à une leçon présentée sous forme d'illustration statique ou animée. Les résultats ont mis en évidence un effet positif des animations sur les performances à des diagnostics d'erreur chez des étudiants de premier

cycle (novice dans le domaine) comparativement aux deux autres présentations. Les apprenants qui étudiaient les leçons présentées sous la forme d'une illustration statique ou animée pouvaient utiliser les illustrations pendant la phase de test, alors que les apprenants qui étudiaient la leçon à l'aide d'un texte ne pouvaient pas utiliser leur support pendant le test.

Dans une série de deux études, Byrne, Catrambone & Stasko (1999) ont mené une expérience portant sur l'apprentissage d'un algorithme simple chez des étudiants sans connaissances informatiques avancées. Les auteurs ont comparé des représentations animées d'algorithmes à des représentations statiques des mêmes algorithmes et ont également étudié le fait de réaliser des prédictions à partir du support présenté aux sujets. La tâche des sujets était de répondre à deux types de question au post test : élémentaire et avancée. Les questions élémentaires impliquaient la détermination d'une prochaine étape unique d'une recherche ou la détermination d'une recherche complète sur un graphique similaire à ceux présentés dans la phase d'apprentissage. Les questions difficiles impliquaient quant à elles une recherche complète sur des nouveaux graphiques. Les résultats de cette expérience ont mis en évidence un effet positif des animations uniquement pour les questions difficiles. Par ailleurs cette expérience n'a pas distingué d'effet des prédictions. Dans une seconde expérience les auteurs ont testé l'apprentissage d'un algorithme complexe chez des étudiants en sciences de l'informatique. Les conditions expérimentales étaient les mêmes que celles de la première expérience. Néanmoins les questions du post-test étaient séparées en questions procédurales et conceptuelles. Les résultats de cette expérience n'indiquaient aucun effet concernant la présentation animée et les prévisions chez des experts.

Catrambone & Fleming Seay (2002), ont également mis en évidence une amélioration des performances, dans l'apprentissage d'algorithmes chez des étudiants de premier cycle sans spécialité informatique, lorsqu'on leur présentait une animation plutôt que des images statiques ou un texte (condition contrôle) uniquement pour les questions de transfert éloigné de l'apprentissage initial.

Hegarty, Narayanan & Freitas (2002), ont étudié l'effet des animations comparativement aux illustrations statiques sur les performances de compréhension d'étudiants de premier cycle. Le but des sujets était de comprendre le fonctionnement d'un mécanisme de chasse d'eau (figure 2.6). Les auteurs ont comparé quatre conditions de délivrance d'information : une illustration statique, une illustration statique accompagnée d'une tâche d'animation mentale (les sujets devaient fournir une explication orale), une illustration statique accompagnée d'une animation (accompagnée d'une narration explicative)

et une illustration statique accompagnée d'une tâche d'animation mentale et d'une animation (condition combinaison). Les résultats indiquaient de meilleures performances au questionnaire de compréhension pour les deux groupes qui visualisaient une animation comparativement aux deux groupes qui visualisaient une illustration statique. Ensuite, les auteurs ont réalisé la même expérience que précédemment en utilisant trois graphiques statiques (représentant trois étapes distinctes du système), à la place d'un graphique statique unique, pour les deux groupes avec animation mentale (groupe illustration statique + animation mentale et groupe combinaison). Les résultats indiquaient une description plus complète du système par les sujets étudiant l'animation que ceux ne l'étudiant pas. Par ailleurs les sujets devant réaliser une tâche d'animation mentale réalisaient également une description plus complète du système que ceux qui n'avaient pas à la réaliser. De plus l'effet des ces deux modalités étaient additives, c'est-à-dire que les performances du groupe combinaison (animation + animation mentale) étaient meilleures que celles des trois autres groupes. Finalement, les auteurs ont comparé une illustration statique accompagnée d'un texte à une illustration statique accompagnée d'un texte où les sujets devaient réaliser une animation mentale, à une animation accompagnée d'un commentaire audio, à une animation accompagnée d'un commentaire audio où les sujets devaient réaliser une animation mentale. Les résultats indiquaient de meilleures performances lorsque la condition animation était accompagnée d'un commentaire et d'une tâche d'animation mentale plutôt que non. Néanmoins aucune différence n'a été observée entre les deux conditions incluant des illustrations statiques.

Dans une série d'expériences, Hegarty, Kriz & Cate (2003) ont mesuré la compréhension (description de la chaîne causale, diagnostic des pannes, questionnaire de compréhension) du même mécanisme de chasse d'eau utilisé pour l'expérience précédente chez des sujets à faibles et à fortes aptitudes spatiales. Dans la première expérience, les auteurs ont comparé un schéma statique à un schéma statique accompagné de prédictions sur le fonctionnement, à un schéma statique accompagné d'une animation, à un schéma statique accompagné d'une animation et de prédictions (combinaison). Les résultats indiquaient un effet positif des animations comparativement à une illustration statique. De plus le fait de demander aux participants de réaliser des prédictions améliorait les performances de compréhension. La différence entre les performances au pré-test et les performances au post-test était plus importante pour le groupe combinaison que pour le groupe avec un schéma

statique et des prédictions. Par ailleurs, les sujets à fortes aptitudes obtenaient de meilleures performances que les sujets à faibles aptitudes.

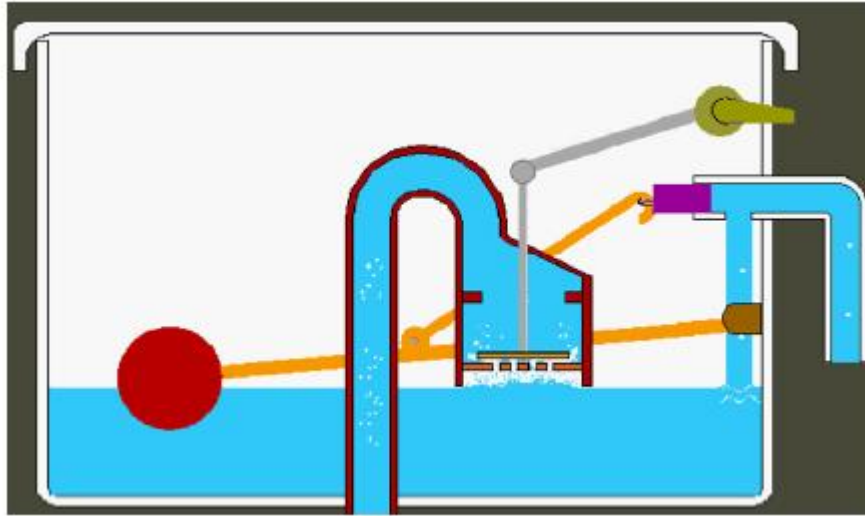


Figure 2.6. Mécanisme de chasse d'eau utilisé dans les études de Hegarty, Narayanan & Freitas (2002), Hegarty, Kriz & Cate (2003), Kriz & Hegarty (2007), Mayer, Hegarty, Mayer & Campbell (2005).

### *Études impliquant des conditions de présentation non comparables*

Un autre type de procédure incomparable réside dans le fait que dans certaines études, les modalités de présentation sont différentes. Ainsi, les animations sont toujours étudiées sur un écran d'ordinateur alors que les illustrations statiques sont parfois étudiées sur un support papier. De plus, dans certaines expériences, l'animation est accompagnée d'une narration alors que l'illustration statique est accompagnée d'un texte écrit. Selon le principe de modalité, il s'avère qu'une illustration accompagnée d'une narration est plus efficace qu'une illustration accompagnée d'un texte écrit. Ces conditions de présentation différentes en fonction du média peuvent être source de difficultés d'interprétation.

Dans une expérience réalisée par Hegarty, Quilici, Narayanan, Holmquist & Moreno (1999), les auteurs ont comparé une présentation hypermédia (hyperliens + animation) à une présentation papier texte accompagnée de schémas, à une dernière présentation papier texte décrivant la chaîne causale accompagnée de schémas d'un mécanisme de chasse d'eau. Les performances de compréhension au questionnaire n'indiquaient aucune différence entre les trois présentations.

Dans une série de trois expériences, Hegarty, Kriz & Cate (2003) ont décrit deux expériences n'indiquant aucun effet des animations dans la compréhension d'un système de

chasse d'eau. Dans la première expérience, ils ont comparé un schéma statique à un schéma statique accompagné de prédictions sur le fonctionnement, à un schéma statique accompagné d'une animation, à un schéma statique accompagnée d'une animation et de prédictions (combinaison). L'animation était accompagnée d'un commentaire et le schéma statique d'un texte. Les résultats obtenus n'indiquaient aucun effet du média sur la description de la chaîne causale, le diagnostic des pannes et sur le fonctionnement. Seul le fait de prédire le fonctionnement ainsi que le fait d'avoir de fortes aptitudes spatiales avait un impact positif sur la compréhension du système.

Palmiter, Elkerton & Baggett (1991) ont comparé l'utilisation d'animations ou d'instructions graphiques pour expliquer l'utilisation de l'aide en ligne pour la programmation d'un logiciel hypercard. Les utilisateurs ayant étudié l'animation étaient plus rapide que les autres pour exécuter les procédures pendant l'entraînement. Cependant, au test différé une semaine après, les performances des utilisateurs ayant étudié l'instruction papier augmentent, alors que celles des utilisateurs ayant étudié l'animation diminuent. Palmiter & Elkerton (1993), toujours dans un apprentissage d'aide on-line pour la programmation du même logiciel ont comparé une condition démonstration à une condition texte parlé à une condition démonstration plus texte. Bien que n'ayant mis en évidence aucune différence entre les conditions concernant les tâches identiques à celles de l'entraînement, ils ont montré que la condition démonstration accompagnée d'un texte facilitait l'exécution de procédures similaires à l'entraînement comparativement à la condition démonstration seule. Néanmoins cet effet disparaissait lors du test différé.

Mayer, Hegarty, Mayer & Campbell (2005) ont comparé une leçon comportant une animation accompagnée d'une narration présentée sur ordinateur à une leçon comportant une illustration statique accompagnée d'un texte présenté sur feuille sur quatre contenus différents : la formation des éclairs (figure 2.7), un mécanisme de chasse d'eau, la formation des vagues (figure 2.8) et un système de freinage d'une voiture (figure 2.9). En ce qui concerne la formation des éclairs et le système de chasse d'eau, les résultats ne montraient aucun effet du support pour les performances de rétention. Néanmoins, pour les performances de transfert, une leçon incluant des illustrations statiques et un texte s'avérait plus bénéfique. En ce qui concerne la formation des vagues et le système de freinage, les résultats indiquaient un effet bénéfique pour les questions de rétention avec une présentation avec des illustrations

statiques avec un texte. Concernant les questions de transfert, les résultats n'indiquaient aucun effet des modalités de présentation.

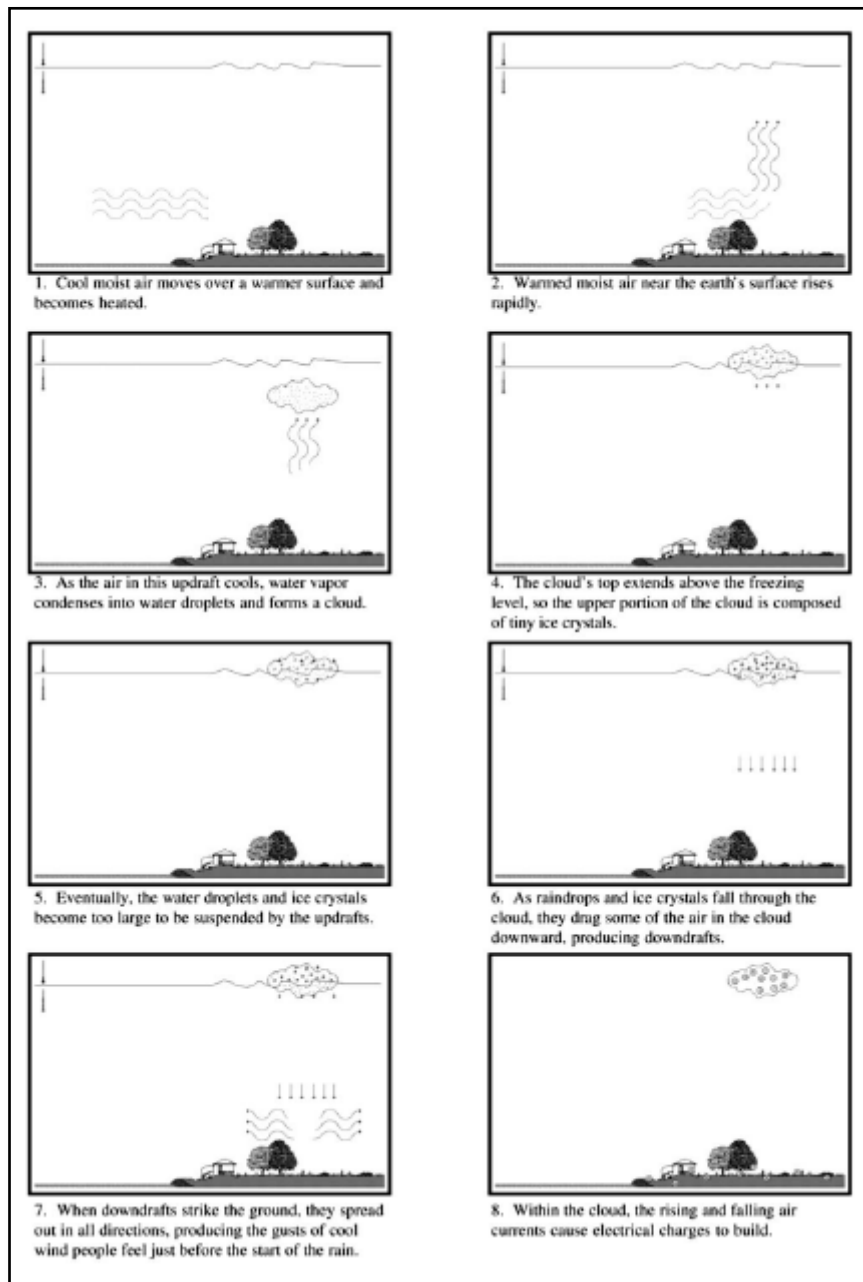


Figure 2.7. Leçon comportant des illustrations statiques accompagnées d'un texte présentant la formation des éclairs (Mayer, Hegarty, Mayer, Campbell, 2005)

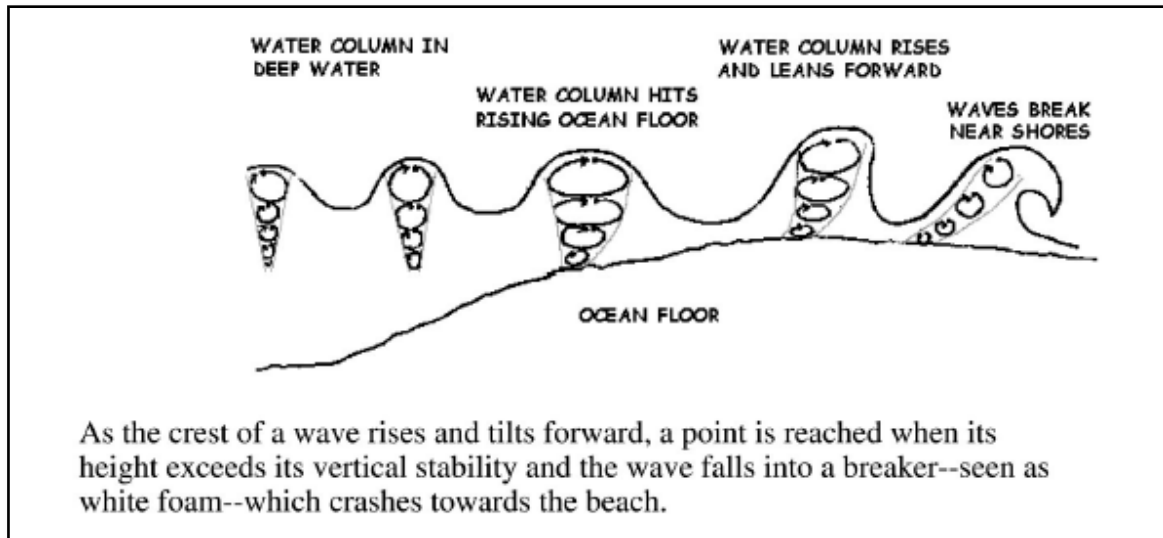


Figure 2.8. Leçon comportant des illustrations statiques accompagnées d'un texte présentant la formation des vagues (Mayer, Hegarty, Mayer, Campbell, 2005).

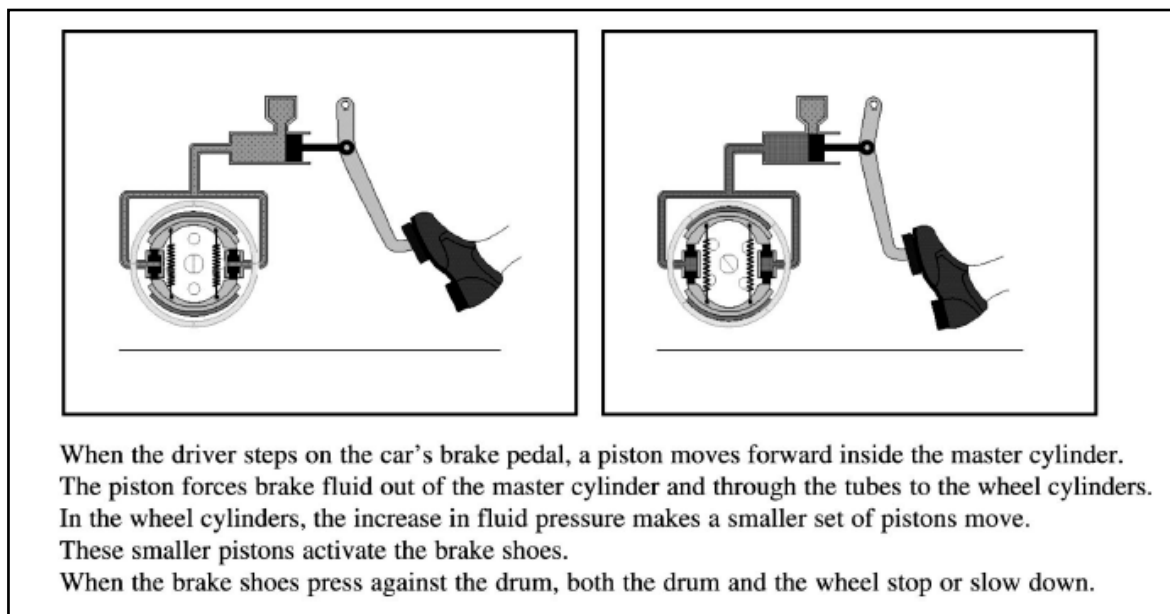


Figure 2.9. Leçon comportant des illustrations statiques accompagnées d'un texte présentant un système de freinage d'une voiture (Mayer, Hegarty, Mayer, Campbell, 2005).

### *Les études impliquant des conditions comparables*

Kriz & Hegarty (2007), toujours dans une série d'expériences étudiant la compréhension d'un système de chasse d'eau chez des sujets à fortes et à faibles aptitudes, ont mis en évidence qu'une animation interactive ou non induisait de meilleures performances de compréhension qu'une illustration statique. Ils ont également mis en évidence que lorsque l'on présentait une illustration statique aux participants, ceux-ci faisaient beaucoup d'erreurs concernant la fin de la chaîne causale. Par ailleurs, la durée d'apprentissage se révélait être plus importante pour l'illustration statique que pour les deux types d'animation. Dans une



seconde expérience, les auteurs ont comparé une illustration statique à une animation avec ou sans flèches (les animations étaient contrôlables grâce à la souris). Les résultats montraient également un effet positif des animations avec ou sans flèches sur les performances de compréhension comparativement à une illustration statique. Enfin dans une troisième expérience, les auteurs ont comparé les mêmes modalités que celles utilisées lors des deux premières expériences mais en utilisant des étudiants experts en mécanique et en physique et des étudiants novices. Les résultats indiquaient uniquement un effet de l'expertise en faveur des experts.

### **3.1.2. Les études ne montrant aucun effet des animations**

#### *Les études impliquant un nombre d'informations différents entre les conditions*

Rieber (1989b) a mis en évidence que des animations visuelles accompagnant un texte n'apportent aucun bénéfice dans une tâche de résolution de problème comparativement à un texte seul chez des élèves d'école élémentaire lors d'un apprentissage sur les lois de Newton. Rieber, Boyce & Assad (1990) ont répliqué l'expérience réalisée par Rieber (1990) avec une population d'adulte. Les résultats n'ont révélé aucune différence entre une présentation animée et une présentation statique sur les performances pour la tâche de résolution de problème.

Harrison (1995) a testé l'aide « on-line » pour la programmation d'un logiciel dans l'exécution d'une procédure décrite par des instructions chez des étudiants de premier cycle ayant des connaissances informatiques. Il a comparé une version de l'aide n'incluant aucun graphique, à une version incluant un graphique statique et à une dernière version incluant un graphique dynamique. Il a également testé deux modalités de commentaire : audio ou écrit. Les résultats indiquaient que la version incluant un graphique statique donnait des performances équivalentes à celle de la version incluant un graphique animé. Par ailleurs, les performances de ces deux versions étaient meilleures que celles obtenues avec la version sans graphique.

Lewalter (2003), a réalisé une expérience portant sur la compréhension d'un sujet d'astrophysique. Cela concernait les distorsions optiques d'une étoile qui tourne autour d'une étoile plus petite mais plus massive chez des étudiants de premier cycle non experts du domaine. Cet auteur a comparé une version texte sans illustration à une version texte avec illustrations statiques et également à une version texte avec animations. Les résultats indiquaient des performances en rétention, en compréhension et en résolution de problèmes

identiques, pour les versions avec illustrations statiques et animées. Ces performances étaient supérieures à celles obtenues pour la version sans illustrations.

### *Les études impliquant des tâches différentes*

Dans une série de deux expériences, Zacks & Tversky (2003) ont étudié l'impact d'une animation sur une tâche procédurale : l'assemblage des pièces d'un saxophone (figure 2.9) dans la première expérience et la construction d'une maquette de scorpion dans la seconde (figure 2.10). Dans la première expérience, les auteurs ont manipulé la disposition des informations dans l'interface (structurée et non structurée). L'interface non structurée montrait 7 groupes de 3 images. L'interface structurée montrait les mêmes 7 groupes de 3 images, mais le thème et la tâche étaient indiqués pour chaque groupe d'images (voir figure 2.9). Ils ont également étudié l'effet de trois médias : texte seul, texte avec images statiques et texte avec vidéo. Les résultats ne montraient aucun effet des modalités sur la tâche d'assemblage. Par ailleurs, les performances des sujets pour le test de rétention étaient supérieures lorsque l'interface était constituée d'un texte et d'une vidéo plutôt que d'un texte seul. Néanmoins, aucune différence n'apparaissait entre la présentation d'une vidéo et celle d'illustrations statiques. Dans la seconde expérience, les auteurs ont manipulé les mêmes conditions de disposition de l'interface que dans la première expérience et ils ont comparé une version texte à des images statiques ou à une animation. Les résultats n'indiquaient aucun effet des modalités sur la qualité de l'assemblage de la maquette. Ils indiquaient également une supériorité de la présence d'images statiques comparativement à une animation et la supériorité d'une disposition structurée par rapport à une disposition non structurée concernant les performances au test de mémoire. Par ailleurs, aucun effet sur le temps d'apprentissage n'a été montré.

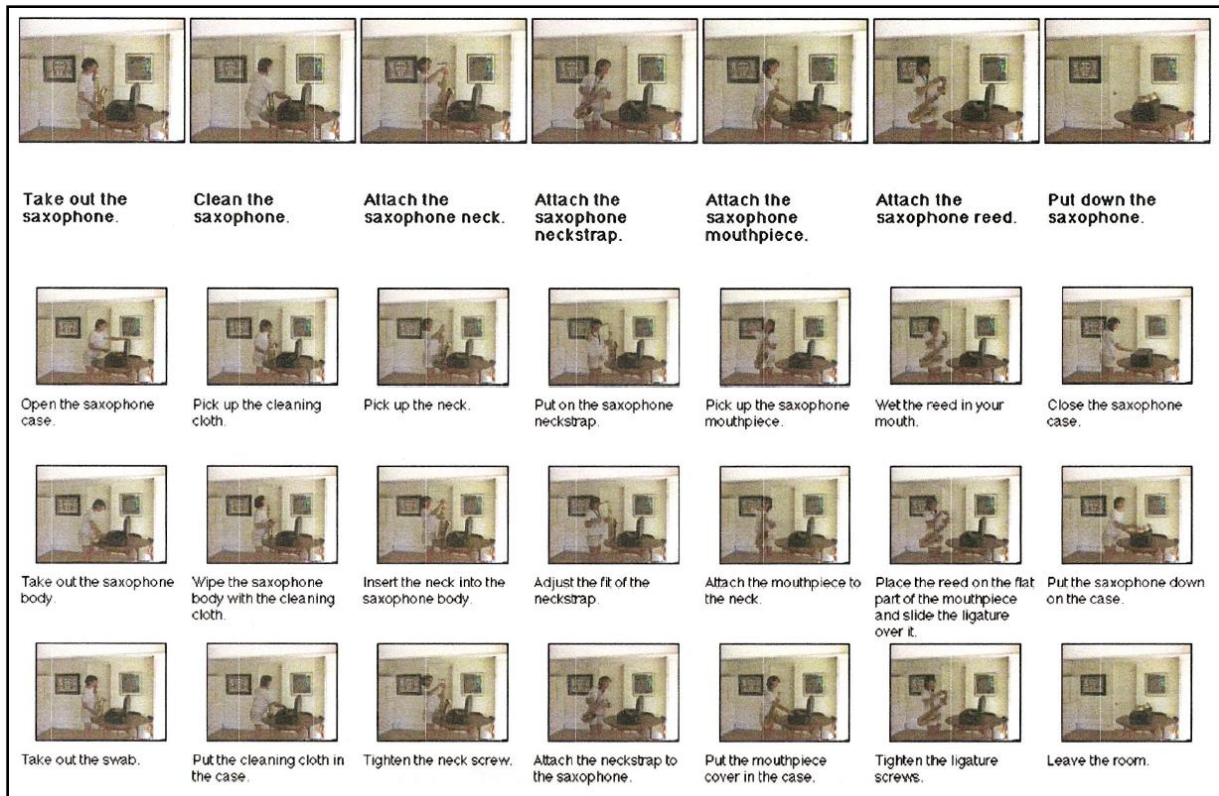


Figure 2.9. Interface permettant l'assemblage des parties d'un saxophone. Dans cette version structurée, chacune des 7 parties étaient décrites grâce à trois images dont le thème était indiqué grâce à une image au dessus du groupe. Extrait de Zacks & Tversky (2003).

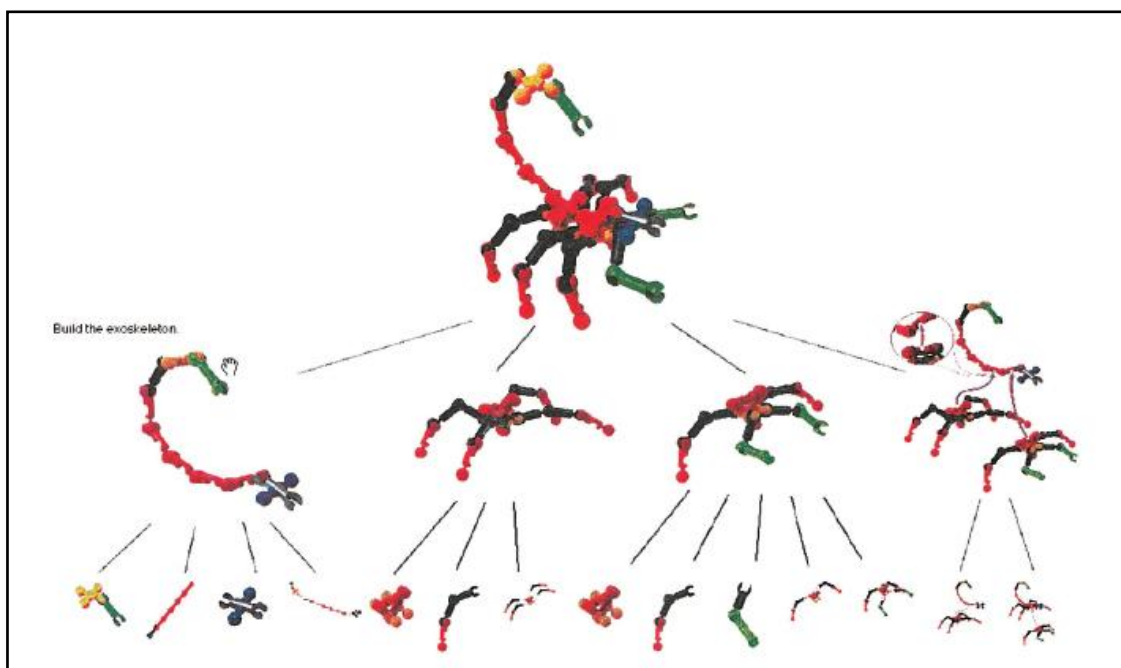


Figure 2.10. Interface permettant la construction d'une maquette de scorpion utilisée par Zacks & Tversky (2003).

### 3.1.3. Les études montrant des effets négatifs des animations

#### *Les études impliquant des tâches différentes*

Scheiter, Gerjets & Catrambone (2006) ont investigué le domaine des théories de probabilité chez des étudiants ayant des connaissances préalables semblables, le même niveau d'habiletés spatiales et la même motivation. Ils ont comparé une condition texte seul, une condition imagerie mentale (où le sujet devait imaginer mentalement le contenu avec le plus de détails possible), une condition illustrations statiques et une condition animation dans la résolution de problèmes isomorphes et nouveaux. Les résultats n'indiquaient aucun effet des conditions expérimentales aussi bien sur les performances aux résolutions de problèmes qu'aux mesures de charges cognitives. Il s'avérait que le temps d'apprentissage était plus long pour la condition animation que pour la condition illustrations statiques, lui même plus long que celui de la condition texte seul, lui même plus long que la condition imagerie. Lors de la comparaison spécifique entre la condition illustration statiques et la condition animation, les résultats indiquaient de meilleures performances pour la résolution de problèmes isomorphes pour la condition illustrations statiques. Par ailleurs l'interaction entre l'utilisation des visualisations et les conditions d'instruction révélait que les performances étaient supérieures dans la condition statique mais uniquement lorsqu'il y avait une forte utilisation des visualisations. Ainsi lorsque les sujets utilisaient beaucoup les illustrations statiques ou animées, ceux-ci obtenaient de meilleures performances dans la condition statique. De plus le temps d'apprentissage pour la condition animation était supérieur à celui de la condition statique. L'interaction entre l'utilisation des visualisations et les conditions d'instruction pour le temps d'apprentissage ne révélait aucune différence entre une forte et une faible utilisation des illustrations statiques alors que le temps d'apprentissage était plus long pour une forte utilisation des animations plutôt que pour une faible utilisation.

Lowe (2003) a étudié l'effet des animations dans le domaine de la météorologie. Il a comparé une présentation animée à une présentation statique de cartes météorologiques (figure 2.11) chez des étudiants de premier cycle sans connaissance préalable dans le domaine de la météorologie. La tâche des sujets étaient de dessiner le pattern des marquages prévisionnels sur une carte vierge à partir d'une carte météo originale.

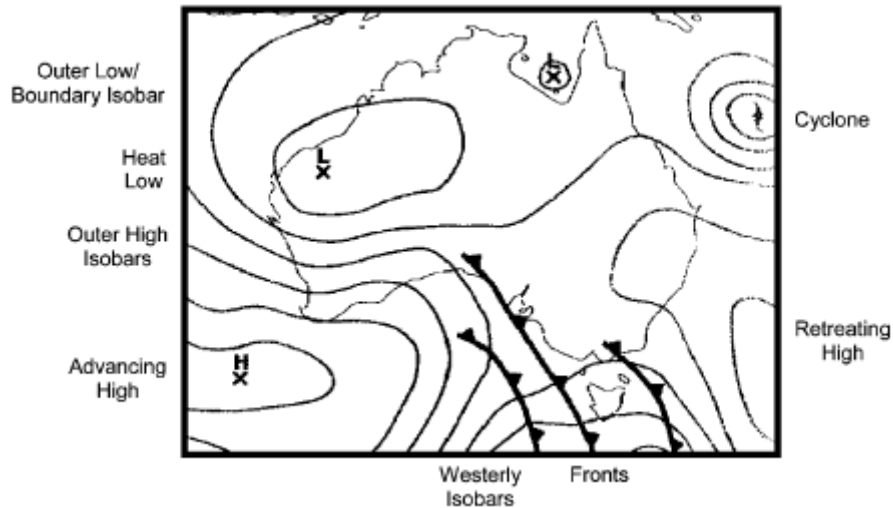


Figure 2.11. Exemple de cartes météorologiques utilisées par Lowe (2003).

L'analyse de la production dessinée des sujets a montré que les novices extraiaient des animations des informations saillantes perceptivement et que les informations faiblement saillantes mais pertinentes étaient négligées.

Dans une expérience similaire à celle présentée plus haut, Wright et al. (1999) ont étudié l'accès à l'illustration avant et pendant la lecture du texte lors d'une présentation d'un texte accompagné d'illustrations statiques ou d'un texte accompagné d'animations ayant pour thème des événements historiques impliquant une localisation à l'intérieur du Royaume Uni. Les résultats indiquaient que les sujets ignoraient plus certaines illustrations lorsque l'on présentait celles-ci pendant la lecture. Le temps d'étude était plus long lors d'une présentation simultanée des deux médias. Les performances aux questions de compréhension du test immédiat étaient supérieures lorsqu'il s'agissait d'un texte et d'illustrations statiques et lorsque la présentation des illustrations précédait la lecture. Concernant les performances aux tests de compréhension différé, elles étaient supérieures lorsqu'il s'agissait d'un texte avec des illustrations statiques mais ce uniquement pour une présentation des illustrations pendant la lecture.

### *Les études impliquant des conditions comparables*

Kalyuga (sous presse) a étudié un format d'instruction animé comparativement à un format statique dans le but d'apprendre les principes arithmétique pour réaliser des graphiques à partir de fonctions linéaires simples ou quadratiques chez des étudiants de premier cycle. Il distinguait les étudiants selon leurs connaissances préalables. Les résultats révélaient que les

novices obtenaient de meilleurs scores au test lorsque le format était statique plutôt qu'animé. Par ailleurs cette tendance semblait s'inverser pour les experts, un format animé semblait leur permettre d'obtenir de meilleurs scores au test. Néanmoins ce dernier effet restait tendanciel.

### **3.1.4. Le contenu des animations**

Malgré des conditions comparables, les résultats des études ne montrent pas forcément une supériorité des animations dans la compréhension de phénomènes dynamiques. En comparant le contenu de toutes les études présentées dans ce chapitre, il s'avère que l'effet positif des animations semble plus stable dans le cas de leçon ayant pour thème les mathématiques, la physique, la mécanique où ces notions impliquent des transformations continues, où le contenu est segmenté en plusieurs états différents et ce de façon rapide dans le temps et entièrement visible. Ces effets sembleraient plus aléatoires dans le cas de contenus de type biologie, météorologie, histoire, qui impliquent des transformations sur une échelle de temps plus longue permettant ainsi à l'apprenant de distinguer facilement différentes étapes dans le processus de transformation. Lorsque le mouvement délivré par le contenu peut être conçu sous forme d'étapes discrètes et non comme continu, il semblerait plus judicieux de présenter ce mouvement par le biais d'une série de graphiques statiques plutôt que par le biais d'une animation (Bétrancourt & Tversky, 2000).

## **3.2. L'effet des animations sur les préférences d'utilisation**

Bétrancourt & Tversky (2000) ont également présenté des études ayant mis en évidence une préférence de la part des sujets pour étudier une animation (Grimes & Willey, 1990, Lazarowitz & Huppert, 1993, White, 1993). Ces études ne comparaient pas spécifiquement une présentation animée à une présentation statique, mais un cours en classe traditionnel à un cours en classe employant des animations.

Rieber & al. (2004) en comparant une simulation accompagnée d'un feedback textuel ou graphique animé, dans une étude portant sur la compréhension des lois de Newton, ont mis en évidence que le degré de frustration des sujets était moins élevé chez les participants qui recevaient une feedback animé.

Taylor, Poutney & Baskett (2006) ont étudié l'impact d'une animation sur les préférences d'utilisation. Les sujets, étudiants de premier cycle, devaient comprendre des notions scientifiques telles que les vecteurs, les translations et les matrices à partir d'un matériel animé ou statique. Les scores à une échelle de subjectivité indiquaient que les sujets

préfèrent les animations aux illustrations statiques pour assimiler les domaines présentés. Les animations semblent attractives pour la plupart des individus.

Dans le domaine de la météorologie, Bogacz & Trafton (2005) ont testé trois conditions de présentation d'une carte météorologique : une image statique, une séquence d'images statiques et un affichage dynamique. La tâche des sujets, tous experts en prévisions météorologiques, était de préparer un vol d'avion de 12h à partir d'un porte avion. Ils devaient fournir des informations qualitatives et quantitatives sur la météo pour le départ, le trajet et la destination. Les sujets pouvaient utiliser toutes les présentations. Les auteurs ont donc mesuré les temps de regard sur les trois présentations et sur un texte ainsi que le nombre d'émissions dynamiques et statiques. Les résultats ont permis d'établir que les sujets utilisaient plus les images statiques que les animations et que 35% des émissions étaient dynamiques.

#### **4. Synthèse des données empiriques concernant l'effet des animations comparativement à des illustrations statiques**

En nous appuyant sur une analyse factorielle par correspondance (AFC), nous avons pu mettre en évidence certaines caractéristiques induisant des effets positifs, nuls ou négatifs des animations sur la compréhension et sur les préférences d'utilisation. Il en ressort que les animations apportent un bénéfice particulièrement lorsque le contenu concerne les mathématiques ou la physique, lorsque l'animation est interactive et qu'elle délivre plus d'informations ou qu'elle élimine les informations non pertinentes, et ce particulièrement dans des tâches de résolution de problème et de transfert.

Les animations qui n'apportent aucun bénéfice portent sur des contenus de programmation informatique ou des tâches procédurales lors de test de compréhension différé et de tâche de montage. Par ailleurs, il semble que lorsque l'animation est accompagnée d'un texte, alors elle n'apporte aucun bénéfice en compréhension contrairement à une illustration statique accompagnée d'un texte. Le texte est suffisant pour comprendre le système présenté.

Les effets négatifs des animations sont principalement liés à un contenu portant sur la biologie ou la climatologie, lorsque l'animation est accompagnée d'une tâche supplémentaire (telle que de réaliser des prévisions), et ce surtout lorsqu'il s'agit de diagnostiquer des erreurs, de dessiner des prévisions ou de répondre à un questionnaire de compréhension immédiate. Par ailleurs, les effets négatifs des animations sont issus de tâches complexes réalisées par des novices. Les experts pourraient utiliser les différentes modalités de délivrance des processus dynamiques efficacement.

## 5. Les difficultés de traitement des animations

Une animation qui évolue et se transforme rapidement peut se révéler difficile à percevoir et à traiter pour des apprenants. Ces derniers auraient ainsi des difficultés à extraire les informations pertinentes, présentent dans une animation, parmi celles non pertinentes mais potentiellement plus saillantes perceptivement (Lowe, 2003, 2004). Plusieurs sources de difficultés de traitement des animations ont été répertoriées :

(1) les difficultés perceptives liées aux caractéristiques spatio-temporelles des animations. Une animation réaliste ou trop rapide peut être difficile à appréhender correctement car inadaptée au rythme cognitif de traitement et d'intégration de l'apprenant. Par ailleurs, une animation trop lente entraînera une perte de l'effet d'animation et celle-ci sera traitée comme une séquence d'images statiques individuelles (Lowe & Schnotz, sous presse). La perception de mouvements simultanés étant impossible, cela entraîne une perte des informations dynamiques présentées.

(2) les difficultés attentionnelles liées au partage de l'attention entre les divers éléments animés simultanément d'une animation. Comme l'a montré Lowe (1999, 2004), le traitement d'animations contrôlables par des novices était inefficace du fait qu'ils focalisaient leur attention sur les éléments perceptivement saillants de l'animation et que ceux-ci n'étaient pas forcément les éléments pertinents d'un point de vue thématique pour la compréhension. Par ailleurs, dans le cas d'animations accompagnant un texte ou une narration, les apprenants doivent partager leur attention entre une animation qui évolue et le traitement du texte. Ainsi les apprenants peuvent ne pas percevoir certains changements cruciaux au sein de l'animation car durant son déroulement ils pouvaient être en train de traiter le texte.

Du fait de ces difficultés liées aux propriétés visuelles et spatiales des animations, les sujets peuvent rencontrer des difficultés à savoir que regarder, quand regarder et où regarder (Lowe & Boucheix, 2007) et ce particulièrement lorsqu'ils n'ont pas de connaissances préalables du domaine présenté ou lorsqu'ils ont de faibles aptitudes visuo-spatiales. Ainsi les animations pourraient conduire à des interprétations erronées des processus présentés et particulièrement dans les relations de causalité entre plusieurs composants dynamiques.

(3) Concernant les différences individuelles, de nombreuses études portant sur les graphiques statiques montrent que les sujets avec de fortes aptitudes spatiales obtiennent de meilleures performances de compréhension que ceux avec de faibles aptitudes (Hegarty, 2004, Hegarty & Sims, 1994, Hegarty & Kozhevnikov, 1999, Hegarty & Steinhoff, 1997, Hegarty & Waller, 2005). Ainsi, selon leurs aptitudes spatiales et leurs connaissances préalables, les individus seraient en mesure de savoir comment traiter une animation ou non.



Si les apprenants ne disposent pas de connaissances conceptuelles préalables suffisantes pour extraire le niveau d'information pertinent pour comprendre les mouvements perçus sur l'animation, ils ne tireront de ces animations que des connaissances superficielles (Lowe, 2003, 2004, 2005).

(4) Des difficultés cognitives dans un apprentissage à partir d'animations peuvent survenir pour les apprenants à faibles habiletés spatiales. Elles sont dues à leur incapacité à coordonner leur simulation mentale avec les changements externes des informations spatiales induites par l'animation (Hegarty & Waller, 2005).

## 6. Conclusions

Lors de ce chapitre, nous avons mis en évidence le fait que les études portant sur le rôle des animations dans la compréhension indiquaient des résultats contradictoires. Il semble que ces résultats soient dus en grande partie au nombre différent d'informations délivrées, à la non-équivalence des procédures utilisées, ainsi qu'au contenu des animations. A partir de ces données empiriques, nous avons établi une liste de difficultés potentielles apparaissant lors du traitement des animations. Les travaux antérieurs ont mis en lumière des difficultés d'ordre perceptif, attentionnel et cognitif. Il n'est donc pas certain qu'une animation facilite la compréhension. Néanmoins, on peut supposer que l'absence de bénéfices soit due aux modalités de délivrance des informations. Nous testerons donc plusieurs modalités de délivrance des informations sur la compréhension tout en analysant comment les apprenants traitent les informations.

L'objectif du prochain chapitre sera de décrire les méthodes traditionnellement utilisées pour évaluer la compréhension à partir de documents illustrés. Nous partirons de l'idée que ces méthodes peuvent se révéler insuffisantes pour évaluer finement la compréhension à partir d'une animation. On ne peut pas exclure l'hypothèse selon laquelle les questionnaires de compréhension classique (QCM, rappel, rétention) ne sont pas adaptés pour l'évaluation d'un modèle mental dynamique. C'est pourquoi nous présenterons la méthode de poursuite oculaire que nous avons utilisée dans cette recherche. L'enregistrement et l'analyse des mouvements oculaires permettent de pister le traitement « on-line » pendant le déroulement de l'animation, qui permettra d'estimer l'intégration d'unités plus fines.

## **Chapitre 3**

**Méthodes d'études de la compréhension : l'apport de l'oculométrie dans l'étude des processus de traitement d'une représentation externe**

## **1. La mesure de la compréhension d'une leçon multimédia et d'une animation**

Hormis quelques exceptions que nous détaillerons plus tardivement dans le chapitre, la grande majorité des recherches portant sur l'apprentissage à partir d'un support multimédia ou animé utilisent des questionnaires « off line ». De manière générale, une fois la consultation de la leçon multimédia et/ou animée terminée, l'évaluation de la compréhension est réalisée à l'aide de questions verbales, écrites ou orales. Ces mesures peuvent prendre différentes formes. Il peut s'agir d'évaluer la compréhension à l'aide de questions de natures différentes pour permettre de mesurer différents niveaux d'intégration. Il peut s'agir aussi d'évaluer la capacité de transfert ou de généralisation grâce à des tâches de résolution de problème, ou des généralisations à d'autres types de cas. Cela peut être fait aussi en augmentant de façon progressive le niveau de la tâche. Il peut également s'agir d'évaluer la réalisation d'une tâche à partir d'une procédure, de mesurer l'attitude du sujet, c'est-à-dire sa satisfaction, ses préférences en utilisant des échelles. Enfin on peut prendre en compte le temps que mettent les sujets pour répondre, l'exactitude des réponses, ainsi que les différents types d'erreurs.

Dès lors, deux problèmes se posent : en premier lieu, celui de la reconstitution d'informations par inférence au cours du questionnaire de compréhension, puis en deuxième lieu, celui de l'évaluation du traitement d'un graphique à partir d'épreuves uniquement verbales. De plus, les questionnaires de compréhension sont capables de rendre compte du résultat de l'activité de compréhension, mais ils ne nous renseignent pas à propos de l'acquisition dynamique et de l'intégration des informations. Nous ignorons donc tout de la nature des traitements « on line » de supports multimédias et des animations, ainsi que les stratégies de sélection de l'information.

Par ailleurs les processus perceptifs et attentionnels dans la compréhension de documents illustrés et/ou animés apparaissent fondamentaux dans les mécanismes de construction de modèles mentaux. Ainsi on peut supposer que l'étude des interactions entre les traitements de type « Bottom-up » pilotés par la perception immédiate et les mouvements, et les traitements de type « Top down » pilotés par les connaissances préalables des apprenants est d'un grand intérêt pour comprendre l'élaboration de modèles mentaux à partir de systèmes techniques présentés à l'écran.

Ainsi, des investigations « on line » de processus de la compréhension des documents électroniques illustrés semblent être nécessaires. Nous avons donc abordé cette problématique en analysant les données issues des mouvements oculaires, dans le but de comprendre le traitement des informations graphiques animées et de suivre ainsi la construction progressive du modèle mental par l'apprenant au cours de l'apprentissage.

## 2. La technique d'enregistrement oculométrique

Depuis une vingtaine d'années, la technique d'enregistrement des mouvements oculaires a été utilisée pour étudier les traitements cognitifs. Ainsi dans cette perspective, on suppose qu'à partir de l'étude des comportements oculaires, on peut inférer les traitements cognitifs sous-jacents lors de diverses tâches de traitements de l'information, telles que la lecture, la recherche visuelle, la perception de scène. Les yeux sont en quelque sorte une fenêtre sur l'esprit (Rayner, 1992). Yarbus (1967), a mis en évidence le rapport qui existe entre le cognitif et l'oculomoteur. Les données issues de ses travaux ont permis de mettre en évidence que les trajectoires oculaires se modifient lors de l'inspection d'une scène visuelle en fonction des questions posées aux participants. Ces questions focalisent l'attention sur des zones précises du tableau à étudier (présenté figure 3.1). Il montre que la schématisation de trajectoires oculaires varie en fonction des déplacements attentionnels lorsque l'observateur est libre d'examiner l'image (1), lorsque l'on focalise son attention sur le statut social de la famille (2), l'âge des participants (3), sur les activités de la famille avant l'arrivée du visiteur (4), de se souvenir des vêtements des personnes (5), de se souvenir de la position des personnes et des objets dans la pièce (6) ou d'estimer depuis quand la famille n'a pas vu le visiteur (7), (Les trajectoire sont présentées figure 3.1).

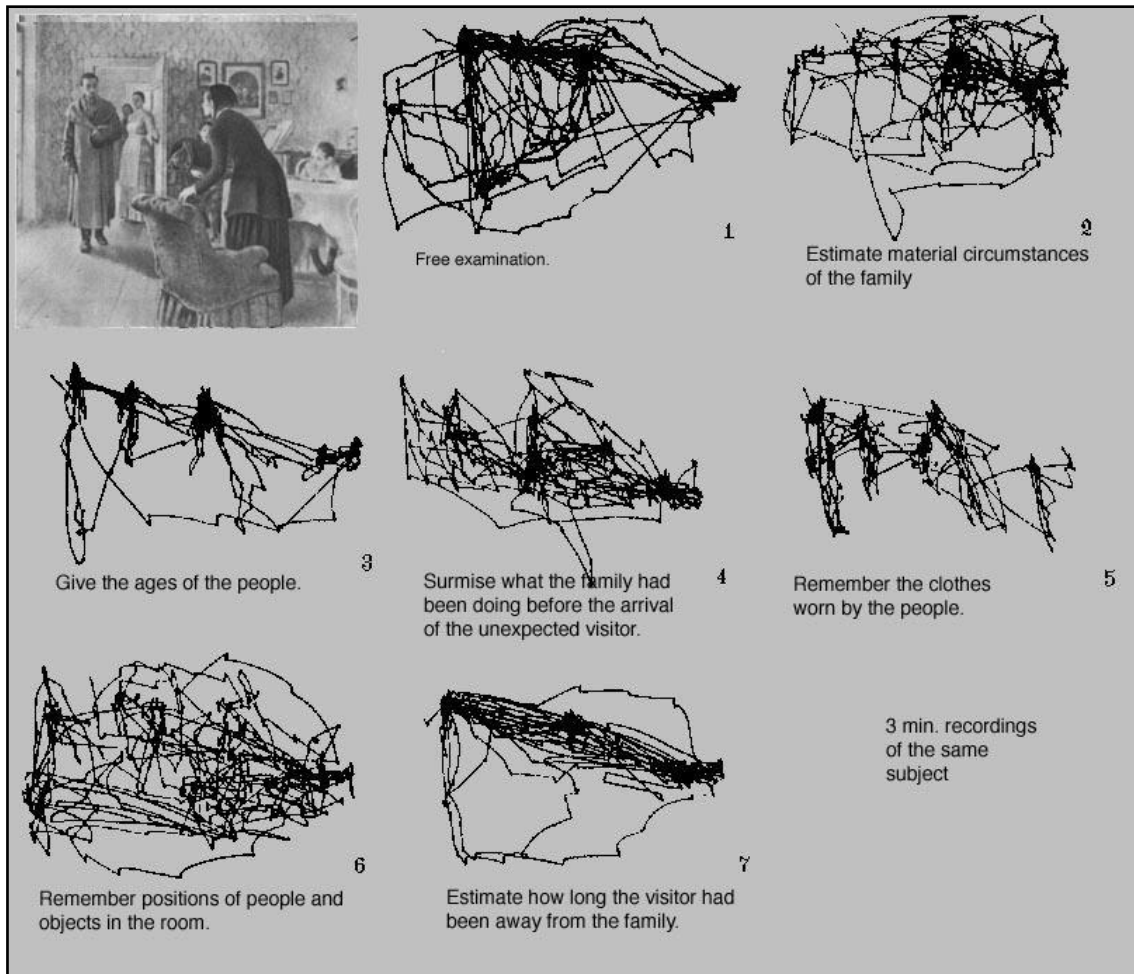


Figure 3.1. Schématisation de trajectoires oculaires en fonction des questions posées aux participants.

Bien qu'il existe plusieurs techniques d'enregistrement des mouvements oculaires, nous détaillerons uniquement la plus utilisée, qui est également celle que nous avons utilisée lors des expériences de cette thèse. Il s'agit de la technique du reflet cornéen. Ce principe consiste à illuminer le centre de la pupille à l'aide de diodes infrarouges. Le reflet de la pupille est ensuite détecté par des capteurs optiques ou par une caméra vidéo qui filme l'œil. A partir des variations d'intensité de ce reflet sur la cornée de l'œil, un traitement informatique permet de repérer le centre de la pupille et ainsi de connaître la position de l'œil calibré à intervalles réguliers (Baccino, 2004).

Deux types de techniques sont employés pour détecter le centre de la pupille. Il s'agit des techniques de la pupille lumineuse (figure 3.2) et de la pupille sombre. La différence entre ces deux techniques est basée sur la localisation de la source d'illumination en fonction de l'œil. Si l'illumination est coaxiale avec la trajectoire de l'œil, alors celui-ci agit comme un rétro réflecteur où la lumière se reflète, créant un effet lumineux semblable à l'œil rouge. Si la source d'illumination est excentrée du chemin optique, alors la pupille semble foncée.

La technique de la pupille lumineuse crée un plus grand contraste entre l'iris et la pupille. Cette technique permet une poursuite de l'œil plus robuste avec toute la pigmentation de l'iris et réduit considérablement l'interférence causée par les cils et d'autres sources d'obscurcissement. Cette technique tient compte également d'une poursuite dans diverses conditions de luminosité allant de l'obscurité totale au très lumineux. Néanmoins, elle se révèle inefficace pour une poursuite oculaire en extérieur à cause des sources infrarouges étrangères qui interfèrent avec la calibration de l'œil. La technique de la pupille sombre est adaptée aux spécificités lumineuses d'une poursuite extérieure.

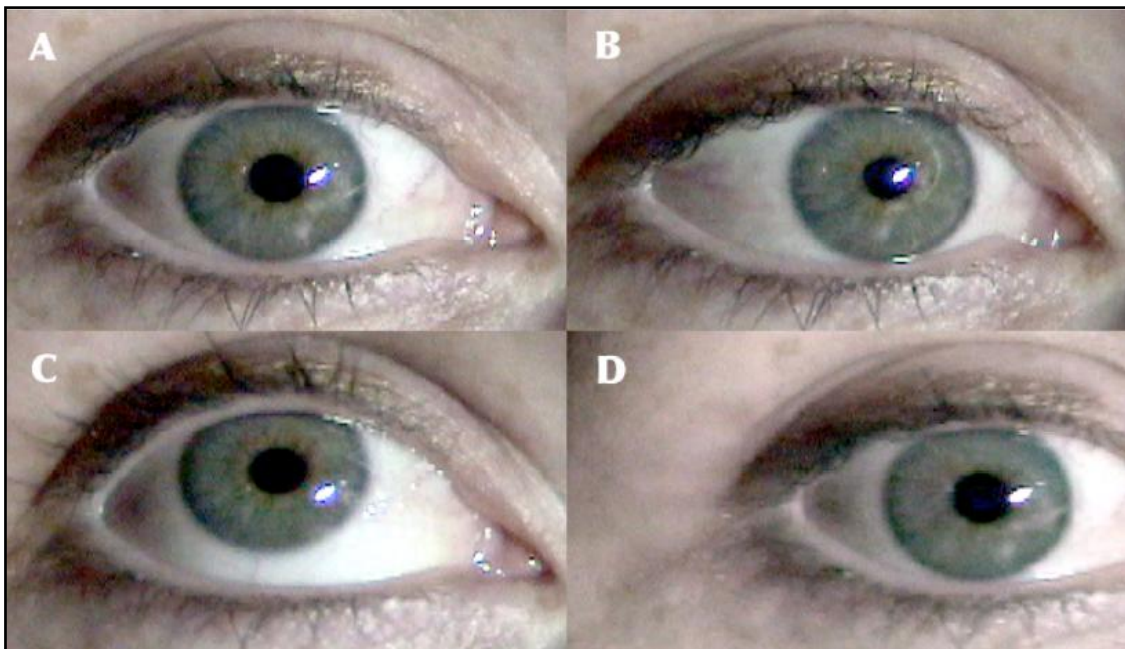


Figure 3.2. Technique de la pupille lumineuse. Reflet cornéen en fonction de la position de l'œil et de la tête. Le reflet cornéen apparaît comme un point blanc à droite de la pupille (A). La position relative de la pupille et du reflet cornéen change lorsque les yeux suivent un axe vertical (B) ou horizontal (C). Cette relation ne change pas même lorsque la tête bouge et que l'œil est stable (D). (D'après Richardson & Spivey, 2004)

L'appareil de capture de mouvements oculaires que nous avons utilisé dans la plupart des expériences menées durant cette thèse est un ASL 5000 couplé avec un système magnétique de poursuite de tête (Magnetic HeadTracker system, MHT), voir figures 3.3 et 3.4. Ainsi, la caméra équipée de diodes infrarouges est programmée pour suivre un capteur que l'on place au dessus de l'œil du sujet. Une fois l'œil du sujet calibré, le système calcule la distance entre le capteur et l'œil, ceci permettant à la caméra de suivre l'œil du sujet malgré des mouvements de la tête. Par ailleurs ce système enregistre les mouvements oculaires sur écran à une vitesse de 50 Hertz, c'est-à-dire qu'il enregistre une fixation oculaire toutes les 20

millisecondes. Cette vitesse bien que peu rapide est tout à fait adaptée pour l'étude des processus de traitements des illustrations (Baccino, 2004).

L'utilisation du système de poursuite de mouvements oculaires peut être divisée en quatre étapes : l'installation du sujet, l'ajustement, la calibration, et l'enregistrement des données oculométriques (Nevalainen & Sajaniemi, 2004).

La phase d'installation consiste à placer le sujet en position assise devant la caméra et à mettre le capteur au dessus de son œil directeur.

La phase d'ajustement comprend l'ajustement des différents paramètres du système pour détecter et assurer la reconnaissance de l'œil du sujet ainsi que l'ouverture d'un fichier pour l'enregistrement des données.

Durant la phase de calibration, on présente au sujet une mire de calibration qui comporte neuf points. Cette mire doit prendre en compte au moins 80% de la surface regardée par le sujet. Ainsi, idéalement l'œil doit parcourir un angle de 40° entre le point 1 et 7 et un angle de 50° entre le point 1 et 3. On demande au sujet de diriger son regard sur chacun des points de la mire et l'emplacement de chaque point de fixation est enregistré. Ensuite, le logiciel de calibration calcule l'emplacement des points de fixations à partir des valeurs reçues de l'appareil de poursuite de mouvements oculaires. Cette phase de calibration doit être répétée autant de fois que nécessaire pour arriver à une bonne calibration. Par ailleurs cette calibration peut subir une correction grâce au logiciel d'enregistrement et d'analyse des mouvements des yeux Gazetracker.

Pendant la phase d'enregistrement, l'utilisateur doit juste vérifier le statut de l'appareil et réajuster si nécessaire les différents paramètres du système durant la tâche expérimentale.



Figure 3.3. Système ASL 5000 avec MHT.



Figure 3.4. Système ASL 5000. Sur l'écran de gauche on peut apercevoir le centre de la pupille illuminée indiqué par l'axe blanc et le reflet cornéen indiqué par l'axe noir. L'axe de l'écran de droite représente la position de l'œil sur l'écran que le sujet a devant lui.

### 3. Les mesures dépendantes

Le mouvement des yeux lors d'une tâche de lecture, lors de l'exploration d'une scène, ou encore de la recherche d'un objet, se compose d'un enchaînement de saccades, c'est-à-dire de sauts rapides. Ces saccades sont entrecoupées de fixations où l'œil est relativement fixe



pour une durée d'environ 200 à 400 ms (Baccino, 2004, Goldberg, Stimson, Lewenstein, Scott & Wichansky, 2002, Rayner, 1998). L'amplitude, la durée des saccades ainsi que la durée des fixations sont dépendantes des particularités des tâches que le sujet effectue. Ainsi la durée de fixation moyenne lors d'une tâche de lecture silencieuse est de 225 ms alors qu'elle est de 275 ms pour une recherche visuelle et de 300 à 330 ms pour la perception d'une scène visuelle (Loftus & Mackworth, 1978, Rayner, 1998).

Tout le monde s'accorde à penser que les traitements intégratifs ont lieu durant les fixations alors que les saccades sont employées pour la recherche d'informations. En effet, de nombreuses études suggèrent que les activités de traitement cognitif sont suspendues pendant les saccades. Cependant, ce postulat est sujet à controverse car les études ayant permis de l'élaborer utilisaient uniquement des tâches très simples (Rayner, 1998).

Par ailleurs, au moins trois processus sont exécutés durant les 250 à 300 ms d'une fixation typique. En premier lieu l'information est encodée durant les 100-150 ms du début de la fixation. Ensuite le champ visuel périphérique de la fixation est échantillonné, dans le but de déterminer les aires d'informations suivantes. Finalement, la saccade suivante est planifiée et préparée. Ces processus se chevauchent et peuvent être réalisés en parallèle (Goldberg & Kotval, 1999).

Les séquences ordonnées de fixations et de saccades définissent la notion de scanpath (Baccino, 2004, Goldberg, Stimson, Lewenstein, Scott & Wichansky, 2002). Ce scanpath se révèle important pour déterminer comment le sujet explore et recherche les informations à l'intérieur d'un document.

Les principaux indicateurs comportementaux extraits d'un enregistrement des mouvements des yeux concernent les dimensions spatiale et temporelle du parcours oculaire. L'analyse du parcours oculaire d'un document dynamique permet de repérer les zones du document les plus explorées, les durées de traitements de ces zones, les difficultés rencontrées, les éventuelles réinspections et la séquence de fixations successives (Baccino, 2004).

Goldberg & Schryver (1995) ont identifié plusieurs indicateurs oculaires pour évaluer l'*utilisabilité* des documents électroniques. Ces auteurs ont dégagé deux types d'indicateurs, ceux qui rendent compte des processus de recherche d'informations et ceux qui rendent compte du traitement de l'information (voir tableau 3.1).

Processus cognitif	Mesures oculaires	Unités de mesures
Recherche d'informations	Nombre de saccades	N
	Taille moyenne des saccades	Pixels
	Longueur du scanpath	Pixels
	Durée du scanpath	Millisecondes
	Densité de transition	%
	Aire convexe de Hull	Pixels <sup>2</sup>
	Densité spatiale	%
Traitement de l'information	Durée des fixations	Millisecondes
	Nombre de fixations	N

Tableau 3.1. Liste des indicateurs oculaires établie par Goldberg &amp; Schryver (1995).

Goldberg & Kotval (1999) ont proposé une catégorisation de ces indicateurs en fonction de deux dimensions : temporelle et spatiale (voir tableau 3.2). Les mesures temporelles décrivent la séquentialité, la nature de la base temps d'un scanpath, alors que les mesures spatiales s'appuient sur la propagation et la couverture d'un scanpath. De plus ces mesures peuvent porter sur des données non traitées, c'est-à-dire un échantillon brut de points de fixations à 60 Hz, ou peuvent être orientées sur le traitement des fixations et/ou saccades à l'intérieur du scanpath.

	Dimension Temporelle		Dimension Spatiale
Echantillon brut de points de fixations à 60 Hz	Durée		Longueur Aire convexe de Hull Densité spatiale
	Densité de transition		
Fixations	Nombre de fixations		
	Ratio fixation/saccade	Durée des fixations	
Saccades			Nombre de saccades Durée des saccades

Tableau 3.2. Classification des mesures des mouvements des yeux et du scanpath par Goldberg &amp; Kotval (1999)

En plus des indicateurs distingués par Goldberg & Schryver (1995) et Goldberg & Kotval (1999), le diamètre de la pupille peut être considéré comme un indicateur

supplémentaire. En effet, il semble que ce diamètre soit intimement lié avec la charge cognitive (Baccino, 2004, Kicka, Baccino & Chevalier, 2006).

Lors de cette thèse, nous avons utilisé comme variables dépendantes trois indicateurs. Le premier de ces indicateurs est le nombre de fixations oculaires dans les différentes aires d'intérêt de l'illustration (et/ou du texte qui l'accompagne) présentée à l'écran. Le second est la durée des fixations. Cet indice est très fortement corrélé au premier. On peut supposer qu'un nombre de fixations important ou qu'une durée de fixation importante dans certaines aires de l'animation implique que le sujet intègre les informations présentées de façon plus profonde.

Le troisième est la fréquence avec laquelle le regard passe d'une aire d'intérêt à l'autre, c'est-à-dire le nombre de saccades que le sujet effectue lors du traitement de l'illustration entre deux zones de l'écran. Ce troisième indicateur est exprimé par une matrice de transitions (Viviani, 1990), laquelle classe les aires précédant et succédant, relativement à une aire définie (Goldberg & Kotval, 1999, Goldberg, Stimson, Lewenstein, Scott & Wichansky, 2002). Cette matrice témoigne des déplacements attentionnels et des stratégies d'inspection (Baccino, 2004). Ces transitions peuvent être regroupées selon leur localisation les unes par rapport aux autres, ainsi notre quatrième indicateur est l'étude du type de transitions. Un nombre de transition important peut indiquer un processus actif d'intégration des informations présentées.

#### **4. Le traitement « on line » des illustrations**

Bien que la majorité des études oculométriques ait été réalisée dans le champ de la lecture, certains auteurs se sont intéressés très tôt à l'étude du traitement « on line » des illustrations (Yarbus, 1965, Loftus & Mackworth, 1978, Hegarty & Just, 1989, Hegarty, 1992, Caroll, Young & Guertin, 1992) et ce jusqu'à nos jours (Rayner, Motello, Stewart, Keir & Duffy, 2001, Holsanova, Rahm & Holmqvist, 2006, Johansson, Holsanova & Holmqvist, 2007). Néanmoins, très peu d'études oculométriques ont été réalisées pour étudier le traitement « on line » des illustrations animées. Ceci car les études portant sur les animations restent relativement faibles jusqu'à maintenant et les appareils de poursuite de mouvements oculaires, même s'ils se démocratisent, restent onéreux. Ceci peut être également dû au fait que l'analyse des mouvements oculaires, lorsqu'un sujet regarde une animation, se révèle extrêmement complexe. En effet l'analyse des mouvements et du parcours oculaires nécessite la création d'aires d'intérêt représentant la localisation des informations pertinentes pour

comprendre le système présenté. Or les aires d'intérêt que nous pouvons créer à partir des logiciels d'analyse tels que Gazetracker ou Eyenal sont statiques alors que les éléments pertinents sont dynamiques. Ainsi deux solutions s'offrent à nous actuellement pour analyser ces données. La première, celle que nous avons employée lors de cette thèse, consiste à créer des aires d'intérêt assez importantes pour qu'elles englobent le mouvement de certains composants. La seconde serait de transformer le fichier de données en fichier vidéo pour pouvoir réaliser une analyse très fine du parcours oculaire grâce à des logiciels tels qu'OCS (Observational Coding System) ou The Observer.

Lowe (2003, 2004, 2005), lors d'études portant sur les prévisions météorologiques a utilisé un suivi de l'activité du sujet à l'aide d'une caméra et la méthode des protocoles verbaux chez des experts et chez des novices. Ainsi il a pu mettre en évidence que les sujets novices en particulier traitaient les informations perceptivement saillantes mais pas forcément les informations thématiques pertinentes. Néanmoins ces études ne sont pas à proprement parlé des études oculométriques.

Boucheix, Lowe & Soirat (2006), dans une étude portant sur la compréhension d'un système mécanique animé de piano droit, ont analysé les mouvements des yeux ainsi qu'une description verbale du système chez des novices, des pianistes et des réparateurs de pianos. Ces auteurs ont pu mettre en évidence que les réparateurs de piano traitent davantage les éléments fonctionnels pertinents pour la compréhension des chaînes causales du système que les pianistes ou les novices. Il s'avère que ces éléments ne sont pas les plus saillants perceptivement. Ainsi les experts sont moins dépendants des mouvements saillants superficiels que les novices et sont plus orientés vers les aspects fonctionnels pertinents du système.

Kriz & Hegarty (2007) ont également utilisé un appareil de poursuite de mouvements des yeux dans une étude portant sur le fonctionnement d'un système de chasse d'eau. Ainsi les sujets devaient étudier une illustration animée contrôlable du système avec ou sans flèches. L'analyse des mouvements oculaires a pu mettre en évidence que les sujets qui étudiaient l'animation avec des flèches regardaient plus les régions de système mis en évidence par les flèches que les sujets qui étudiaient l'animation sans flèches.

En conclusion, les données issues des mouvements de yeux peuvent apporter des résultats complémentaires à ceux issus des questionnaires traditionnels de compréhension pour étudier précisément comment un individu extrait les informations pertinentes d'une animation pour élaborer un modèle mental efficient. Ainsi durant cette thèse, nous avons

couplé dans la plupart des expériences que nous avons menées les performances au test de compréhension et les données provenant des mouvements des yeux.

# **PARTIE EMPIRIQUE**

## **Introduction**

Ce travail de recherche a pour objectif d'optimiser les modalités de présentation des animations dans le but de favoriser la construction d'une représentation dynamique interne. Il s'agira aussi d'analyser les processus de traitement mis en œuvre lors de l'étude de documents animés.

Précédemment, nous avons établi que le traitement des animations pouvait être perturbé par des difficultés d'ordre perceptives, attentionnelles ou cognitives. Nous testerons quatre possibilités pour diminuer ces difficultés. Nous amorcerons le traitement des traits perceptifs, ainsi que l'attention en manipulant le format de présentation, le contrôle de l'animation, la fréquence d'exposition, ainsi que le guidage attentionnel graphique (flèches). Nous amorcerons le traitement attentionnel en manipulant le contrôle de l'animation ainsi que le guidage attentionnel par des indices graphiques. Le traitement cognitif des animations sera amorcé par le format de présentation, le contrôle de l'animation ainsi que le guidage attentionnel à l'aide d'instructions verbales. Un récapitulatif des différents moyens pour améliorer l'appréhension d'une animation ainsi que le type de traitement qu'ils doivent amorcer est présenté dans le tableau 1.



<i>Aides</i>	<i>Type d'amorce</i>	<i>Prédictions</i>
format de présentation	Perceptive et cognitive	Permet de rendre saillantes les relations causales entre les éléments ( <i>expérience 1</i> )
Contrôle de l'animation	Perceptif et cognitive	Permet d'adapter le déroulement de l'animation aux capacités cognitives de l'apprenant ( <i>expérience 2, 3, 4 &amp; 5</i> )
Fréquence d'exposition	Perceptive	Augmente les chances de percevoir les informations pertinentes ( <i>expérience 3</i> )
Guidage attentionnel / instructions verbales	Attentionnelle et cognitive	Permet d'orienter l'attention sur les informations dynamiques pertinentes ainsi que les relations causales entre les éléments, et structure l'élaboration de la représentation interne ( <i>expérience 4 &amp; 5</i> )
Guidage attentionnel / indices graphiques (flèches)	Perceptive et attentionnelle	Permet de rendre saillants certains composants et d'orienter l'attention sur les informations dynamiques pertinentes ( <i>expérience 6</i> )

Tableau 1. Types d'aides étudiées durant ce travail de recherche

Dans une première expérience, nous testerons l'effet du format de présentation des animations dans la compréhension. Nous étudierons en particulier le rôle de la présentation par étapes discrètes des informations délivrées. On suppose qu'un format permettant de décrire précisément les différents états pertinents du processus de façon discrète grâce à des représentations multiples devrait être au moins aussi efficace qu'une animation réaliste pour aider le sujet à construire une animation mentale efficace du système. Nous avons comparé 4 formats de présentation d'une illustration représentant un système mécanique de poulies accompagnés d'un texte explicatif : une illustration unique statique, une série d'illustrations statiques présentées séquentiellement (l'apparition d'une nouvelle illustration fait disparaître l'illustration précédente), une série d'illustrations statiques présentées de façon juxtaposées (il s'agit des mêmes illustrations que celles utilisées dans la version séquentielle) et une animation. Les mouvements oculaires des participants étaient enregistrés durant cette expérience.

Dans une seconde expérience, nous avons étudié l'effet du contrôle par l'apprenant du déroulement de l'animation sur la compréhension. Nous avons comparé trois niveaux de contrôle d'une animation représentant le même système de poulies: non contrôlable, partiellement contrôlable et totalement contrôlable. Ces animations étaient accompagnées d'un texte explicatif.

La troisième expérience avait pour objet d'étude la fréquence d'exposition à l'animation. Le fait de présenter plusieurs fois une animation devrait permettre aux apprenants d'extraire progressivement les informations dynamiques pertinentes pour construire une représentation mentale précise. Nous avons comparé trois fréquences d'exposition pour les trois versions contrôlables du système de poulies décrit auparavant : une, cinq ou dix fois pour chacune des modalités de contrôle.

Dans une quatrième expérience, nous avons étudié le rôle d'un guidage attentionnel verbal sur la compréhension pour les trois conditions de contrôle du système de poulies. Ce guidage consistait à focaliser l'attention des apprenants sur des éléments spécifiques de l'animation en leur donnant des instructions. Nous avons comparé des instructions orientant l'attention soit sur la configuration du système, soit sur les aspects cinématiques, soit sur la configuration et les aspects cinématiques (modèle fonctionnel) soit enfin aucune instruction n'était donnée. Comme dans les trois expériences précédentes, l'animation était accompagnée d'un texte explicatif. Les mouvements oculaires des participants étaient capturés.

La cinquième expérience était similaire à la quatrième, elle avait pour objectif d'étudier le guidage attentionnel verbal. Néanmoins, l'animation n'était pas accompagnée d'un texte explicatif. Le but était d'étudier la compréhension provenant uniquement d'une animation et non pas des deux supports. Les mouvements oculaires des participants étaient également capturés.

Nous avons ensuite comparé les études 4 et 5 dans le but d'étudier l'importance du texte accompagnant les animations dans la compréhension.

Dans une dernière expérience, nous avons testé l'effet d'un système de guidage attentionnel graphique plutôt que verbal sur la compréhension. Nous avons comparé la présence et l'absence de flèches directionnelles dans des représentations statiques ou animées représentant le même système de poulie. Tout comme dans la cinquième expérience, l'animation était présentée sans texte explicatif. Les mouvements oculaires des participants étaient enregistrés.

Les connaissances préalables et les aptitudes spatiales jouant un rôle très important dans la compréhension de système mécanique et dans le traitement des animations, nous

avons distingué dans toutes ces expériences les participants ayant de fortes aptitudes mécaniques et spatiales des participants disposant de faibles aptitudes mécaniques et spatiales.

## **Chapitre 4**

### **Rôle du format de présentation et du contrôle de l'animation<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ce chapitre fera prochainement l'objet d'une publication dans la revue Learning and Instruction :  
Boucheix, J.M. & Schneider, E. (accepté). Enhancing the dynamic mental model by external representation.

Dans ce chapitre, nous présenterons deux expériences qui avaient pour but d'étudier deux possibilités pour rendre l'appréhension d'une animation d'un système mécanique complexe plus aisée, et ainsi faciliter l'élaboration d'une animation interne. La première possibilité se centrera sur le format de l'illustration et la seconde possibilité se centrera sur le degré de contrôle de l'animation.

### **1. Le format de l'illustration**

La compréhension de processus dynamique à partir d'une image statique unique oblige les apprenants à inférer le fonctionnement du système. Une façon de rendre plus appréhendable les processus dynamiques serait de présenter un format incluant des illustrations statiques multiples qui décrivent précisément les différents états clés du processus de façon discrète. Ce type de format devrait être au moins aussi efficace qu'une animation réaliste pour aider le sujet à construire une animation mentale efficiente du système.

Plusieurs recherches ont mis en évidence qu'une représentation statique externe présentant les principaux états du système de façon discrète favorise l'élaboration d'une animation mentale comparativement à une représentation animée (Hegarty, 1992, 2004, Hegarty, Kriz & Cate, 2003, Mayer, Hegarty, Mayer & Campbell, 2005, Zacks & Tversky, 2003). Néanmoins, d'autres recherches ont montré qu'une présentation animée continue facilite la construction d'un modèle mental comparativement à une présentation statique discrète (Bétrancourt, Dillenbourg & Clavier, sous presse, Catrambone & Fleming Seay, 2002, Thompson & Riding, 1990). A partir de ces résultats mitigés, une question se pose : Quelle doit être la nature des unités cognitives discrètes pertinentes du processus dynamique et comment ces unités doit-on délivrer ces unités ?

Dans une recherche portant sur la production d'hormones de croissances, ChanLin (1998) a comparé un texte seul, un schéma statique et un schéma animé. Il a différencié les sujets avec des connaissances préalables des sujets sans connaissances préalables. Dans la condition statique, les sujets un seul schéma représentant les différentes étapes du processus. Dans la condition animée, les étudiants étudiaient une succession d'animations décrivant chaque étape du processus. Dans les deux conditions, les sujets ont obtenus des performances identiques. La seule différence observée fut entre la condition schéma statique et la condition texte seul pour les sujets ayant des connaissances en biologie. Les étudiants qui visualisaient la condition schéma statique obtenaient de meilleures performances que ceux qui étudiaient le texte seul.

Dans une étude portant sur une leçon de biologie, portant sur la migration des cellules dans l'embryon chez des étudiants de premier cycle, Pane, Corbett & John (1996) n'ont mis en évidence aucun effet, d'une présentation animée (film + simulation), d'une présentation de plusieurs images statiques ou encore d'une présentation d'un texte. Les participants étaient évalués sur leurs performances de compréhension et sur leurs attitudes.

Hegarty, Kriz & Cate (2003), dans une étude portant sur le mécanisme d'un système de chasse d'eau, ont comparé une animation à une illustration statique unique et également à une illustration incluant de multiples représentations des phases principales du fonctionnement du dispositif (figure 4.1). Les résultats montraient que lorsqu'on présentait la présentation animée et la présentation de trois graphiques statiques aux sujets, ceux-ci obtenaient des performances de compréhension équivalentes et supérieures à celles obtenues grâce à une présentation statique unique.

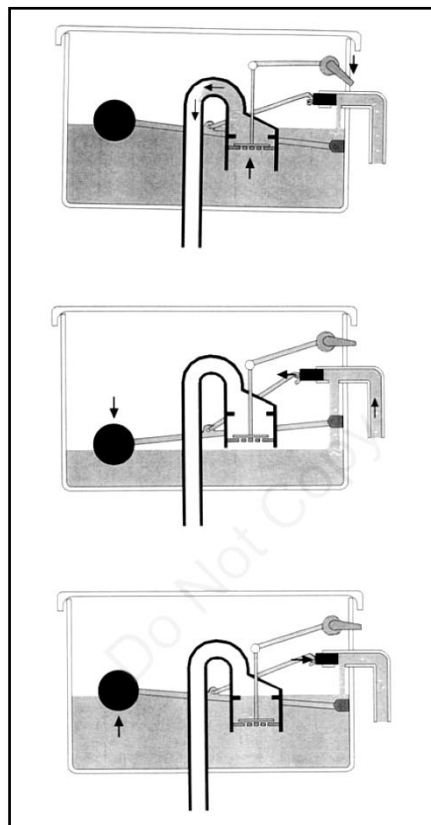


Figure 4.1. Trois images statiques représentant différentes étapes du fonctionnement d'une chasse d'eau utilisé par Hegarty, Kriz & Cate (2003).

Mayer, Hegarty, Mayer & Campbell (2005), ont testé l'efficacité du format de présentation sur quatre différents types de contenus (formation des éclairs, chasse d'eau, formation des vagues, et système de freins de voiture). Ces auteurs ont comparé une présentation incluant une série d'images statiques sur papier accompagnée de textes, avec une

présentation animée du même contenu sur ordinateur accompagnée d'une narration. Les résultats n'indiquaient aucun avantage des animations sur les quatre types de contenu étudiés.

Plusieurs études portant sur des systèmes de poulies (Hegarty, 1992, 2004, Hegarty & Just, 1993, Hegarty & Sims, 1994) ont montré que les sujets intègrent les mouvements de chaque élément en commençant par imaginer la corde qui est tirée et poursuivent leur travail en suivant la chaîne causale des événements du fonctionnement du système. Le sujet infère les mouvements de tous les composants du système pas à pas (Hegarty, 2004). Cette stratégie pourrait également être congruente avec une représentation discrète des événements locaux.

Néanmoins, le fait d'inférer les mouvements à partir de différentes images discrètes statiques peut aussi être une source de difficultés. En effet d'autres recherches ont mis en évidence qu'une présentation animée continue favorise la construction d'un modèle mental comparativement à une présentation statique discrète (Thompson & Riding, 1990, Catrambone & Fleming Seay, 2002, Bétrancourt, Dillenbourg & Clavien, sous presse).

En effet, une présentation animée continue permet de rendre explicite les transitions entre les micro-étapes du fonctionnement du système tandis qu'une présentation statique présentant différents états du système de façon discrète rend implicite ces transitions. Le sujet doit les inférer à partir des connaissances qu'il possède sur les caractéristiques fonctionnelles de chaque élément du système et comment ils interagissent entre eux.

Dans une leçon portant sur le théorème de Pythagore, Thompson & Riding (1990) ont montré que les performances des participants qui utilisaient une animation continue étaient meilleures que celles des participants qui utilisaient des animations de différentes étapes discrètes des transformations géométriques ou des participants qui utilisaient un graphique statique unique. Dans le domaine des apprentissages d'algorithmes informatiques, Catrambone & Fleming Seay (2002) ont aussi montré qu'une animation était plus efficace que plusieurs illustrations discrètes issues de cette animation.

Dans une étude récente (Bétrancourt, Dillenbourg & Clavien, sous presse), les auteurs ont comparé une leçon narrée portant sur la formation des éclairs incluant une animation avec la même leçon incluant une série de huit schémas statiques. Les résultats indiquaient que les performances aux tests de rétention et de transfert étaient supérieures lorsqu'on présentait la leçon avec l'animation aux participants.

Finalement, Arguel & Jamet (2007) ont comparé dans une première expérience, des séquences vidéo présentant des gestes techniques et des conduites à tenir dans le domaine du secourisme. Les auteurs ont comparé une présentation des séquences vidéo seules, une

présentation des séquences vidéo accompagnées d'images fixes associées, et une présentation d'une série d'images fixes. Les résultats montraient une supériorité d'une présentation animée accompagnée d'images statiques par rapport à une présentation animée seule. Ces deux présentations permettent de meilleures performances que celles obtenues avec une présentation d'images statiques. Dans une seconde expériences, ils ont comparé également une présentation des séquences vidéo à une présentation d'images statiques, ainsi que la fréquence des images à proximité (haute fréquence,  $n = 8$ , et basse fréquence,  $n = 4$ ). Les résultats montraient toujours une supériorité des animations par rapport aux illustrations statiques, ainsi qu'une supériorité en faveur du groupe à faible fréquence.

Les résultats contradictoires observés lorsque l'on compare une animation continue et une présentation de plusieurs illustrations du processus dynamique, seraient dus au choix des images, à la granularité des micros étapes et aux modalités de présentation des séquences d'images statiques.

Concernant la granularité, Tversky, Bauer-Morrison & Bétrancourt (2002) précisent que la plupart des illustrations statiques représentent uniquement les unités grossières du fonctionnement d'un mécanisme alors que les illustrations animées représentent ces mêmes unités grossières ainsi que les unités plus fines. Un support incluant plusieurs illustrations devrait représenter plus d'informations fines, sans ajouter trop d'informations, pour éviter une surcharge cognitive. Une des difficultés étant de spécifier les informations pertinentes du système pour que le sujet puisse effectuer un traitement cognitif efficace et ainsi inférer le fonctionnement de tous les éléments du système. La présentation d'un nombre restreint d'étapes trop éloignées les unes des autres ne faciliterait pas les apprenants à réaliser les inférences pour comprendre le fonctionnement du système dynamique. De plus, la présentation d'un nombre important d'étapes proches les unes des autres pourraient faciliter la réalisation des inférences tout en augmentant la charge cognitive externe.

La modalité de présentation de chaque image de la séquence est également un point crucial car la production d'inférences pourrait en dépendre. Dans les recherches antérieures utilisant plusieurs illustrations statiques, les conditions de délivrances n'étaient pas toujours spécifiées. Les illustrations peuvent être présentées selon deux conditions au moins. Dans la première condition, séquentielle, les représentations statiques multiples apparaissent séparément les unes des autres : la première illustration disparaît quand la seconde apparaît, et ainsi de suite. Cette présentation pourrait rompre l'expression de la continuité perceptive des mouvements et aussi augmenter la demande cognitive car l'apprenant doit maintenir en



mémoire de travail la première représentation alors qu'il doit traiter la seconde représentation. Ce type de présentation pourrait perturber l'élaboration d'inférences.

Dans la seconde condition, intégrée, les illustrations sont présentées l'une à côté de l'autre sur le même écran. Le processus global, segmenté est disponible simultanément pour l'apprenant. Cette présentation pourrait faciliter la construction d'un modèle mental dynamique précis. Chaque étape du processus apparaît visuellement dans une image unique, permettant à l'apprenant de créer mentalement et de maintenir en mémoire la continuité perceptive du processus. Cela permet des comparaisons visuelles directes entre les principales étapes du processus à partir desquelles l'apprenant pourrait produire des inférences

## **2. Le contrôle d'une animation**

Pour un apprenant, le fait de pouvoir adapter la vitesse de déroulement de l'animation à la vitesse des traitements cognitifs devrait faciliter la construction d'un modèle mental fonctionnel.

Mayer & Chandler (2001) ont étudié l'effet d'un premier niveau de contrôle du rythme de l'apparition des diapositives d'une leçon animée accompagnée d'un commentaire oral traitant de la formation des éclairs sur les performances de rétention et de transfert. Dans la première expérience, les apprenants recevaient une présentation sans contrôle suivie d'une présentation contrôlée (décomposée en 16 segments successifs) ou une présentation contrôlée suivie d'une présentation non contrôlée. Dans la seconde expérience, les apprenants recevaient deux fois la même présentation à la suite : non contrôlée/non contrôlée ou contrôlée/contrôlée. Dans la première expérience, les résultats indiquaient de meilleures performances dans la tâche de transfert pour le groupe qui recevait la présentation contrôlée suivie de la présentation non contrôlée. Les résultats de la seconde expérience indiquaient de meilleures performances dans la tâche de transfert pour le groupe qui recevait les deux présentations contrôlées à la suite.

Boucheix & Guignard (2005) ont également étudié l'effet d'un niveau de contrôle basique, mais cette fois sur des enfants de 8 à 10 ans. Dans une leçon (animée ou non) portant sur des mécanismes d'engrenages, les auteurs ont étudié l'effet de la vitesse de présentation des diapositives (rapide, lente ou contrôlée par le sujet). Dans cette expérience, les auteurs ont mesuré la compréhension immédiatement après la présentation de la leçon et la compréhension différée, une semaine après la présentation de la leçon. Les résultats au test différé indiquaient un effet d'une présentation animée uniquement lorsque celle-ci était auto-

présentée. Cette présentation interactive permettait aux enfants une intégration plus profonde des informations délivrées par l'animation.

Ces deux études n'ont testé qu'un contrôle minimal exercé par le sujet, car il ne pouvait agir que sur le rythme de présentation des diapositives mais pas sur l'animation en tant que telle. Des études récentes se sont intéressées à étudier des modalités de contrôle de l'animation elle-même.

Dans une étude portant sur la réalisation de nœuds marins, Schwan & Riempp (2004), ont comparé une présentation vidéo non interactive, dans laquelle l'apprenant devait attendre la fin de la vidéo pour la visionner à nouveau, à une présentation vidéo interactive dans laquelle l'apprenant pouvait contrôler le déroulement du film présenté à l'écran. Dans cette version, l'apprenant pouvait arrêter la vidéo ou encore faire des pauses, des retours en arrière, des ralentis, des avances rapides dans celle-ci. Les résultats ont montré que le temps d'apprentissage était plus rapide lorsque la vidéo était interactive. Les sujets utilisaient les caractéristiques de l'interactivité de façon plus importante lorsque les nœuds étaient complexes à réaliser. Cette expérience indiquait qu'une vidéo interactive permet une diminution de la charge cognitive engendrée par des procédures complexes. Boucheix (2007) a répliqué cette expérience (en ne conservant que deux nœuds marins de difficulté différente) en ajoutant un post test trois jours après l'apprentissage pour vérifier la stabilité des acquisitions. Lors de la phase d'apprentissage, les résultats étaient identiques à ceux trouvés par Schwan & Riempp (2004). L'apprentissage était plus rapide lorsque la présentation de la vidéo était interactive plutôt que non interactive. Néanmoins, trois jours après, la version la moins interactive conduisait à des performances supérieures à la version interactive. Ainsi, même si la version interactive permet d'acquérir rapidement les procédures, elle ne permet pas une mémorisation de celles-ci à long terme, contrairement à la version non interactive. Par ailleurs, l'étude des allers et retours entre la vidéo et la zone de réalisation du nœud, rendue possible grâce à l'enregistrement des mouvements oculaires indiquaient un nombre d'allers et retours plus important dans la version interactive laissant supposer l'utilisation d'une stratégie d'imitation active.

D'autres études ont montré qu'une forte interactivité avec une animation n'améliorait pas nécessairement les performances de compréhension. En effet les novices, ou les apprenants disposant de faibles connaissances préalables, peuvent ne pas utiliser efficacement une animation interactive dans le cas de tâches ou de systèmes complexes. Ils pourraient être incapables d'extraire les informations thématiques pertinentes incluses dans l'animation (Lowe, 2003, 2004). Les études réalisées dans le domaine de la météorologie n'indiquaient

aucun effet positif d'une animation contrôlable par rapport à une animation non-contrôlable chez des novices (Lowe, 2004, Bogacz & Trafton, 2005). Les novices orientaient leur attention sur les caractéristiques perceptives saillantes plutôt que sur le rôle fondamental des caractéristiques pertinentes (Lowe, 2004). De même, dans une étude portant sur un contenu biologique (mécanismes synaptiques), Tassini & Bétrancourt (2003) ont comparé une version totalement contrôlable (via un panneau de contrôle) à une version partiellement contrôlable (bouton play/pause) et à une version non contrôlable d'une leçon portant sur le fonctionnement des synapses dans le cerveau humain (figure 4.2). Les résultats ne montraient aucun effet du contrôle sur la compréhension des apprenants.

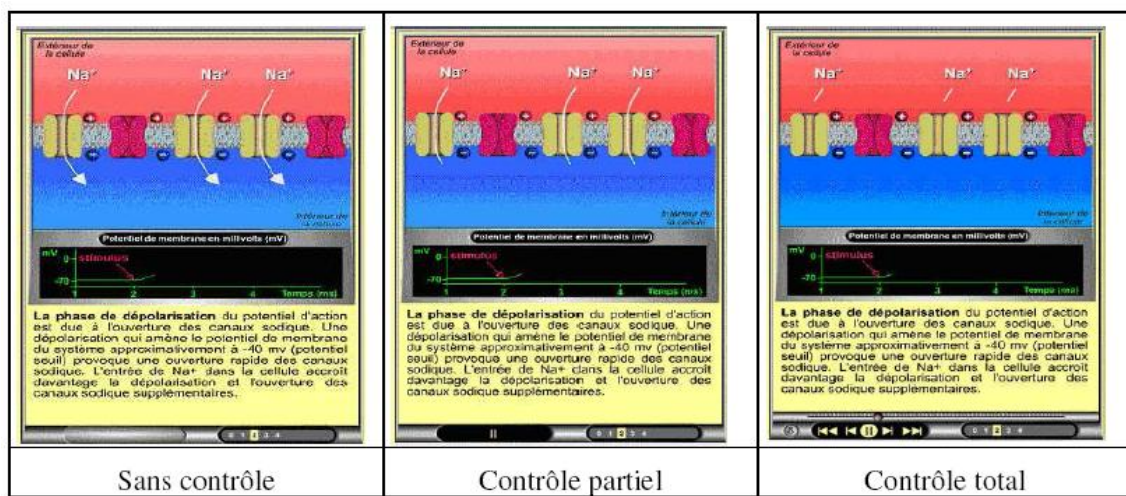


Figure 4.2. Trois modalités de contrôle d'un document présentant le fonctionnement synaptique du système nerveux central extrait de Tassini & Bétrancourt (2003).

Dans une autre expérience portant sur le même thème, Bétrancourt & Réalini (2005) ont obtenu des résultats indiquant qu'une animation non-contrôlable produisait de meilleures performances de compréhension qu'une animation contrôlable.

Bétrancourt & Rebetez (2007), ainsi que Rebetez & Bétrancourt (2007) ont étudié l'effet d'un contrôle élevé d'une animation décrivant la création de couleurs par l'intermédiaire de projecteurs lumineux (figure 4.3), ainsi que l'effet de la collaboration. Dans la première étude, les auteurs ont comparé une série d'animations sans contrôle à une série d'animations incluant un fort contrôle. Dans la seconde étude les auteurs ont comparé une animation (sans interactivité) à une simulation (avec une forte interactivité). Dans la condition simulation, les apprenants pouvaient agir sur les paramètres de l'animation. Les apprenants étudiaient l'animation seule ou par groupes de deux. Dans les deux études, les résultats ne montraient aucun effet du contrôle ou de l'interactivité.

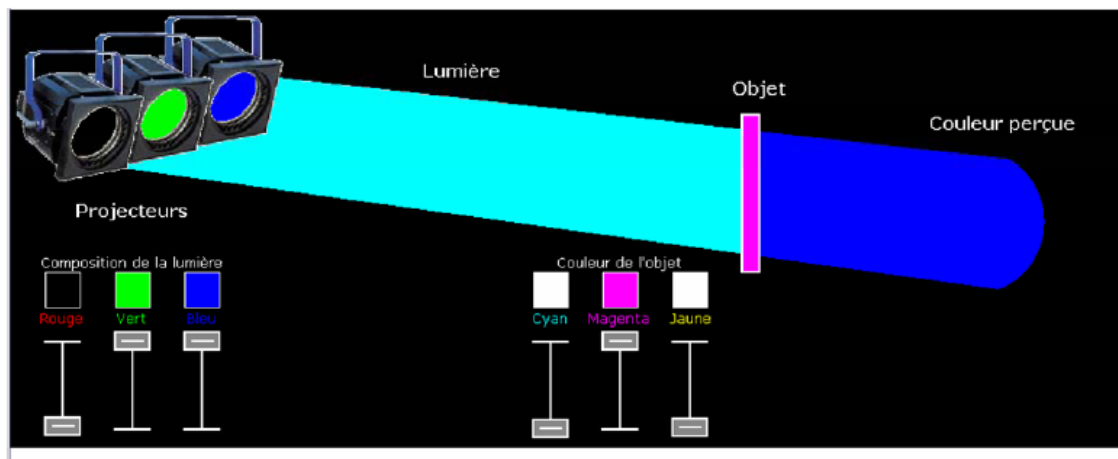


Figure 4.3. Capture d'écran du dispositif utilisé dans les études de Bétrancourt & Rebetez (2007) et Rebetez & Bétrancourt (2007).

Boucheix (sous presse), a comparé l'effet d'un contrôle direct (intégré à l'animation) à un contrôle indirect (séparé de l'animation) en utilisant une leçon multimédia animée concernant le fonctionnement d'engrenages chez des enfants d'école primaire. Le contrôle direct était caractérisé par le fait que les enfants pouvaient utiliser les mouvements de la souris de l'ordinateur pour faire bouger, tourner, ou changer la vitesse des engrenages directement. Le contrôle indirect quant à lui était caractérisé par le fait que les enfants pouvaient également faire bouger, tourner, ou changer la vitesse des engrenages mais en utilisant cette fois une barre de contrôle horizontal (figure 4.4). Les résultats indiquaient des performances de compréhension meilleures dans la version non contrôlable que dans les versions contrôlables pour le test de compréhension immédiat comme pour le test différé. Le temps d'études de la leçon était plus important pour la version contrôlable directement que pour la version contrôlable indirectement et le temps d'étude pour celle-ci était également plus long que pour celui de la version non contrôlable, surtout chez les sujets ayant de faibles aptitudes spatiales. Ces résultats montraient que la gestion d'une leçon incluant des animations contrôlables pourraient être particulièrement coûteuse sur le plan cognitif chez des enfants, et ce particulièrement lorsque le contrôle est indirect ; dans ce cas, le partage de l'attention entre la barre de contrôle et l'animation s'avérait être coûteux produisant une diminution des performances de compréhension.

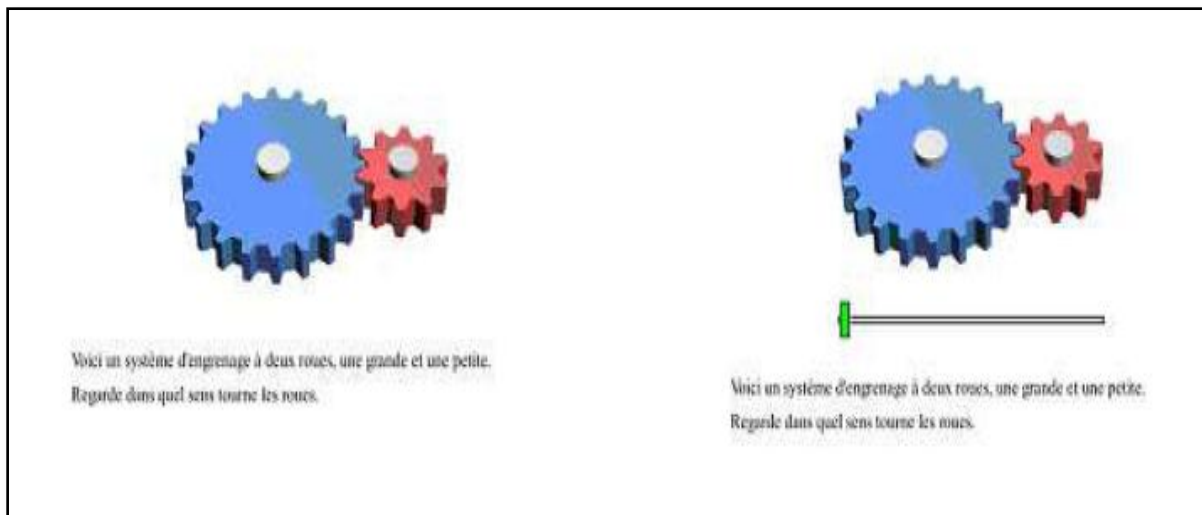


Figure 4.4. Exemples d'écrans tirés de Boucheix (sous presse). La figure de droite représente l'animation indirectement contrôlée et celle de gauche représente l'animation directement contrôlée.

Hegarty, Narayanan & Freitas (2002) ont comparé une présentation hypermédia du mécanisme de chasse d'eau avec une navigation restreinte (les sections de la présentation étaient visualisées dans l'ordre prescrit par le modèle de compréhension de Hegarty & Narayanan, 1998, 2002) à une navigation non restreinte (les sujets étaient libre de visualiser les sections de la présentation dans l'ordre qu'ils voulaient). Il s'avère que le temps d'étude de la présentation était supérieur lorsque la navigation était restreinte. Néanmoins il n'y avait aucun effet des modalités de navigation sur les performances de compréhension.

Dans deux expériences, Kriz & Hegarty (2007) ont récemment comparé l'apprentissage issu d'apprenants qui étudiaient un système de chasse d'eau animé contrôlable à celui issu d'apprenants qui étudiaient un système de chasse d'eau non contrôlable. Les résultats n'indiquaient aucune amélioration de la compréhension du système lorsque les apprenants utilisaient une version contrôlable de l'animation.

Keehner, Hegarty, Cohen, Kooshabeh & Montello (accepté), ont réalisé une série de trois études portant sur l'interactivité d'un objet 3-D non familier ayant l'apparence d'un œuf (figure 4.5).



Figure 4.5. Animation interactive de l'objet en 3-D. Le sujet peut visualiser la forme sous l'angle qu'il veut en manipulant l'œuf devant lui.

Figures tirées de Keehner, Hegarty, Cohen, Kooshabeh & Montello (accepté).

Les sujets réalisaient des tâches d'inférences spatiales et des coupes d'objet 3-D sous forme de dessins. Dans la première expérience, ils ont comparé une animation contrôlable à une animation non contrôlable chez des étudiants de premier cycle ayant de faibles et de fortes aptitudes spatiales. Dans cette expérience, l'objet était contrôlé grâce à une barre de visualisation. Les sujets devaient se servir de l'animation pour dessiner les différents éléments d'une coupe indiquée par une flèche, sur une figure statique. La flèche indiquait la perspective selon laquelle les participants devaient imaginer la section de coupe. Les résultats de cette première expérience donnaient des performances concernant les angles et la position des conduits situés dans la forme (figure 4.6) supérieures lorsque l'animation était interactive plutôt que non. Par ailleurs les performances des sujets ayant de fortes aptitudes spatiales étaient supérieures à celles des sujets disposant de faibles aptitudes.

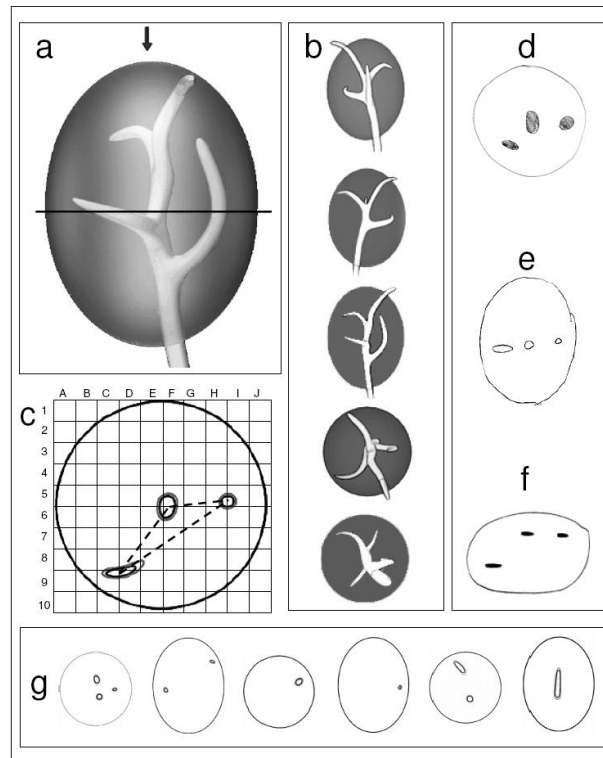


Figure 4.6. a) impression du stimulus de l'objet 3-D montrant la coupe et la perspective de la flèche. b) exemples d'écran montrant l'objet sous différentes orientations. c) dessin correct d'une coupe de l'objet. d-f) exemples de dessins de participants. g) un choix de dessins utilisés dans l'étude.

Figures tirées de Keehner, Hegarty, Cohen, Kooshabeh & Montello (accepté).

Dans la seconde expérience, les auteurs ont comparé une animation contrôlable à une animation non contrôlable du même matériel que celui utilisé dans l'expérience 1. Dans cette expérience, les auteurs ont pris soins de présenter les mêmes informations visuelles d'une version à l'autre. Les participants étaient toujours des étudiants avec de fortes ou de faibles aptitudes spatiales. La version interactive se distinguait de celle utilisée lors de l'expérience précédente car les sujets devaient contrôler la visualisation grâce à une interface de prise en main (figure 4.5). Les résultats de cette expérience montraient un effet des aptitudes spatiales en faveur des sujets à fortes habiletés. Il n'y avait aucun effet de l'interactivité sur les performances. Ainsi l'avantage obtenu dans l'expérience 1 était uniquement dû à la qualité et la quantité d'informations disponible plutôt qu'au contrôle. Les résultats indiquaient également de nombreuses différences individuelles quant à l'utilisation du contrôle.

Dans la troisième expérience, Keehner ses collaborateurs ont comparé une version contrôlable (la même que celle de l'expérience 2) à une version non contrôlable imitant la stratégie la plus efficace de manipulation, c'est-à-dire permettant de voir la perspective indiquée par la flèche présentant la coupe sur l'image statique. Les performances indiquaient un effet des aptitudes spatiales. Il n'y avait pas d'effet du contrôle de l'animation lorsque les

sujets de cette condition accédaient à la stratégie efficace du contrôle permettant de visualiser la perspective indiquée par la flèche. A l'inverse, lorsque ces sujets étaient incapables d'accéder à la bonne manipulation, alors les performances de l'animation non contrôlable étaient meilleures. Ainsi un contrôle actif du point de vue d'une animation ne permettait pas forcément d'améliorer les performances sur une tâche de raisonnement spatial, alors que voir des vues plus pertinentes de la structure de façon active ou passive entraînait une augmentation des performances.

Cohen & Hegarty (sous presse), ont également étudié l'interactivité du même objet 3-D que celui utilisé par Keehner & al. (accepté). La tâche des sujets étaient la même. Il s'agissait de réaliser des dessins d'une coupe de l'objet selon une perspective indiquée par une flèche. Les sujets pouvaient contrôler deux types de rotations animées : une rotation à 360° de l'objet selon l'axe vertical et une rotation à 360° du même objet selon l'axe horizontal. Le contrôle des animations permettaient aux sujets d'avancer ou de revenir en arrière sur la rotation du stimulus grâce à des boutons. Ils pouvaient également avancer ou revenir en arrière selon leur propre rythme et arrêter l'animation sur la vue désirée comme ils voulaient en utilisant une barre de présentation. Les résultats indiquent une forte corrélation entre les habiletés spatiales et les mesures du dessin, et entre les habiletés spatiales et l'utilisation de l'interactivité. De plus, le fait d'utiliser l'interactivité pour voir la rotation est très corrélé avec le fait que les sujets voient la perspective désignée par la flèche.

Pour résumer, le contrôle de l'animation et l'interactivité avec le système peuvent constituer une aide pour l'intégration des informations pertinentes pour les apprenants, mais uniquement si ces derniers peuvent utiliser le contrôle efficacement et réguler leur besoins informationnels. Ainsi les experts ou les apprenants ayant de fortes aptitudes spatiales seront à même d'utiliser efficacement le contrôle alors que les novices ou les apprenants disposant de faibles aptitudes spatiales auront plus de difficultés. Une animation partiellement contrôlée ou non contrôlée, mais avec des séquences prédéterminées par le système ou par des utilisateurs experts ayant des stratégies d'utilisation performantes, semble être indiquer pour des sujets novices. Dans la majorité des études présentées, les auteurs ont comparé une animation contrôlable à une animation non contrôlable. Peu d'études ont étudié le rôle d'un contrôle intermédiaire de l'utilisateur sur l'animation et lorsque certaines études ont voulu s'intéressées à ce type de contrôle partiel, il s'agissait en réalité d'un contrôle élémentaire permettant de visualiser à nouveau l'animation. Dans la seconde expérience que nous



présenterons, nous étudierons l'effet d'un contrôle partiel permettant de visualiser plusieurs séquences préétablies.

### **3. Expérience 1**

L'objectif de la première expérience est d'étudier le rôle du format de présentation d'une illustration pour faciliter le traitement des processus dynamiques d'un système mécanique de poulies. Nous comparerons des présentations incluant une illustration statique unique, cinq illustrations séquentielles, cinq illustrations juxtaposées et une animation. Toutes ces conditions de présentation étaient accompagnées d'un texte explicatif.

Les performances au score de compréhension devraient être plus élevées pour les conditions facilitant une continuité perceptive qui permet d'appréhender les processus dynamiques du système : les cinq illustrations juxtaposées et l'animation. Ces bénéfices devraient être plus importants chez les participants ayant de faibles aptitudes mécaniques et spatiales. Ces deux formats devraient entraîner un nombre de fixations oculaires plus important dans les zones de l'illustration impliquant beaucoup de mouvements, ainsi qu'un nombre important de transitions locales (c'est-à-dire entre des zones juxtaposées de l'illustration) reflétant un traitement profond des processus dynamiques.

#### **3.1. Méthode**

##### ***Sujets***

Un groupe de soixante-deux étudiants de premier cycle de psychologie de l'université de Bourgogne, composé de cinquante cinq filles et sept garçons, a participé à cette expérience pour l'obtention de points d'expérience.

##### ***Matériel de la tâche expérimentale***

Le matériel utilisé lors de cette expérience est inspiré de celui utilisé par Hegarty & Just (1993). Il consiste en une leçon décrivant un système de trois poulies. De nombreux résultats empiriques concernant ce système ont été mis en évidence et constituent une importante source de référence.

Suivant la condition expérimentale dans laquelle ils se trouvaient, on présentait aux apprenants soit un texte et une illustration statique unique, soit un texte et cinq illustrations statiques juxtaposées, soit un texte et cinq illustrations statiques présentées de façon séquentielle, soit un texte et une animation dynamique. Pour chacune des versions, le texte

était composé de huit paragraphes énumérant les différents composants du système, décrivant leur configuration et expliquant (dans le dernier paragraphe) la plupart des aspects cinématiques de la chaîne causale du système (figure 4.7).

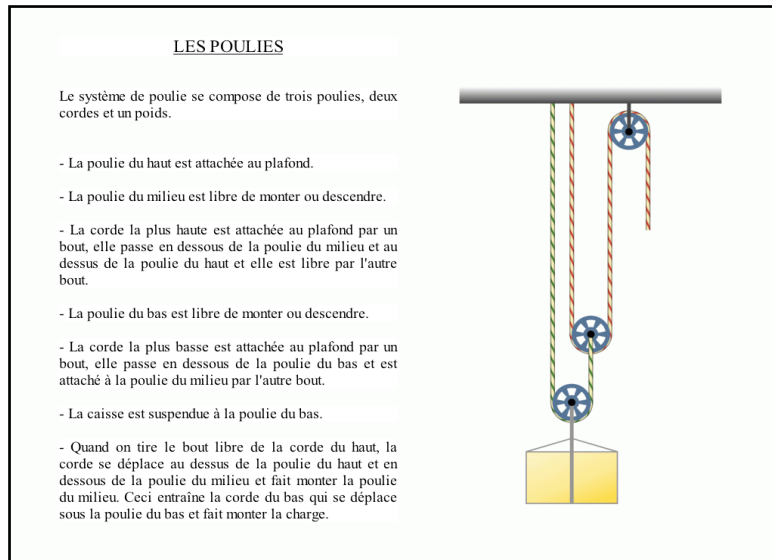


Figure 4.7. Version texte et illustration statique unique.

Le texte était le même pour chaque type de format d'illustration. Le niveau d'interactivité des quatre versions était lui aussi identique, les apprenants devaient cliquer une première fois pour faire apparaître le texte puis cliquer à nouveau pour faire apparaître chacune des illustrations à l'écran. En ce qui concerne la version avec l'illustration dynamique, celle-ci s'animait une fois que le sujet cliquait n'importe où dans la zone de l'illustration.

La version texte et illustration statique unique consistait en une illustration statique unique décrivant le système de trois poulies lorsque la corde n'est pas tirée (figure 4.7).

La version texte et cinq illustrations statiques juxtaposées était composée des cinq états clés du système de poulies (figure 4.8. L'apprenant pouvait donc voir l'état initial du système, lorsque la corde n'est pas tirée, et l'état final du système, lorsque la corde est tirée.

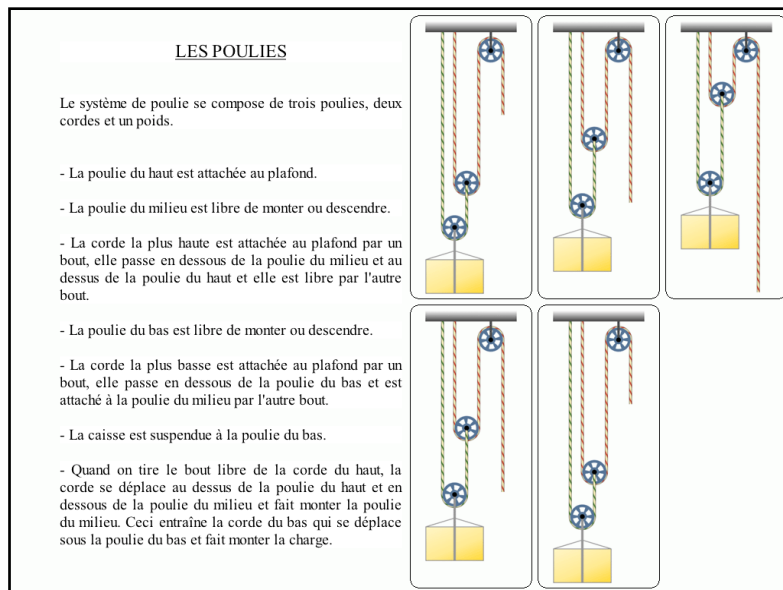


Figure 4.8. Version texte et cinq illustrations statiques juxtaposées.

La version texte et cinq illustrations séquentielles était composée des cinq mêmes états clés que ceux présentés dans la version texte et cinq illustrations juxtaposées. La différence entre ces deux versions tient au fait que dans la version séquentielle, les cinq schémas étaient présentés de façon successive, c'est-à-dire les uns après les autres. Lorsque l'apprenant cliquait avec la souris dans la zone de l'illustration, une illustration présentant un nouvel état apparaissait et faisait disparaître l'état précédent. L'ordre d'apparition des différents états était prédéterminé et les apprenants ne pouvaient pas revoir l'état précédent. Par ailleurs, les apprenants pouvaient voir les différents états à leur rythme.

La version texte et animation dynamique se composait d'une simulation dynamique du système de poulies. Le déroulement de l'animation commençait lorsque l'apprenant cliquait avec la souris dans la zone de l'illustration. Dans cette version, les apprenants pouvaient voir l'animation autant qu'ils voulaient, mais son déroulement était toujours identique. En effet, l'animation présentait le système quand on tire sur la corde puis quand on la relâche. Ils ne pouvaient pas arrêter l'animation pendant son déroulement.

### ***Mesures de mémorisation et de compréhension***

Après l'étude de la leçon sur ordinateur, on demandait aux apprenants de répondre à quatorze questions qui avaient pour but de mesurer leur mémorisation et leur compréhension du système. Les questions étaient construites de telle sorte qu'ils ne pouvaient pas répondre aux questions en se basant uniquement sur leur rétention du texte.

Sur la base du modèle d'Hegarty (1992, 2004), Hegarty & Just (1993) et de Narayanan & Hegarty (1998, 2002), nous avons déterminé trois types d'indicateurs de mémorisation et de compréhension.

Une première série de trois questions se rapportait à la configuration des différents éléments du système de poulies (eg. Citer et dénombrer tous les éléments qui constituent le système de poulies que vous avez vu pendant la leçon ; Quels sont les éléments qui sont en contact avec la poulie du milieu ?).

Une seconde série de dix questions se rapportait aux aspects cinématiques locaux du système, c'est-à-dire les comportements de chaque élément du système (direction, rotation et vitesse de chaque poulie, eg. La poulie du milieu tourne-t-elle ? Si oui, dans quel sens... ; Si les poulies tournent, tournent-elles à la même vitesse ou à des vitesses différentes ?).

Enfin, la dernière question se rapportait au modèle fonctionnel complet du système de poulies impliquant l'intégration de la configuration des éléments ainsi que leurs aspects cinématiques locaux (eg. Que se passe t-il pour tous les éléments du système quand un individu tire sur la corde la plus haute ? Soit le plus précis possible). Avec cette dernière question, nous mesurons si l'apprenant a réussi à se construire une représentation mentale animée du système de façon efficace par propagation mentale séquentielle des effets du comportement de la première poulie sur les autres le long de la chaîne causale (Hegarty, 2004).

Chacun des trois indicateurs donnait lieu à un score. Pour tous les participants, nous mesurons un score portant sur la configuration système, un score portant sur les aspects cinématiques locaux du système et un score portant sur le modèle fonctionnel. Les scores maximum pour étaient respectivement de 12, 29 et 8 points (annexe 3).

Pour éviter tout biais dû à l'ordre de présentation des diverses questions, deux questionnaires ont été créés afin de contrebalancer les questions. La question se rapportant au modèle mental fonctionnel était toujours positionnée avant les questions se rapportant aux aspects cinématiques pour éviter que ces questions n'influencent les réponses des sujets (annexe 1 et 2). Lors de cette tâche, les participants ne possédaient pas d'illustration externe du système hormis pour deux questions se rapportant aux aspects cinématiques. Ces deux questions étaient toujours présentées à la fin du questionnaire.

### *Mesure des différences interindividuelles*

Afin de constituer nos groupes de sujets à fortes habiletés et à faibles habiletés spatiales et mécaniques, nous avons utilisé les tests relations spatiales et raisonnement mécaniques tirés de la batterie de tests du DAT5, version française abrégée du test d'aptitudes différentielles (Bennett, Seashore & Wesman, 1973, 2002).

Le test relation spatiale (annexe 4) mesure la capacité de visualiser des objets en trois dimensions à partir d'un patron bidimensionnel et d'imaginer comment il apparaîtrait s'il tournait dans l'espace. Chaque problème, trente en tout, présente un patron suivi de quatre figures en trois dimensions. La tâche du sujet est de choisir, parmi les quatre propositions, la figure obtenue si le patron était plié. Les sujets avaient 15 mn pour réaliser ce test. On comptabilise un point par bonne réponse. Les mauvaises ne sont jamais pénalisées.

Le test de raisonnement mécanique (annexe 5) mesure la capacité de comprendre des principes mécaniques de bases. Chaque item comprend une image représentant une situation mécanique et une question relative à la situation. Comme pour le test précédent, les sujets avaient 15 mn pour réaliser le test. On comptabilise un point par bonne réponse et les mauvaises réponses ne sont jamais pénalisées.

### *Appareils*

Le stimulus était présenté sur un écran d'ordinateur de 17 pouces situé approximativement à soixante centimètres du sujet. Le calibrage permettant la poursuite des fixations oculaires des sujets était réalisé par un appareil de mesure de poursuite de mouvements oculaires ASL 5000. Cet appareil est un appareil qui utilise la technique du reflet cornéen et du reflet pupillaire. Le principe de cette technique consiste à illuminer le centre de la pupille par une lumière infrarouge dont le reflet est détecté par des capteurs optiques. Une fois le centre de la pupille repéré, le système peut déterminer la position de l'œil échantillonnée à intervalles réguliers (Baccino, 2004). Les fixations oculaires étaient enregistrées avec le logiciel EyePos. Le traitement des données enregistrées s'effectuait à l'aide des logiciels Eyenal et Fixplot. De plus ce système d'enregistrement était combiné avec un système magnétique de poursuite de tête (magnetic headtracker system) permettant aux sujets de garder la tête relativement libre. Le système ASL 5000 est un système d'enregistrement à 50Hz, c'est-à-dire qu'il permet l'enregistrement d'une fixation toutes les 20 millisecondes.

### ***Procédure***

La procédure se déroule en trois étapes.

Durant la première étape, on mesurait les habiletés mécaniques et spatiales des participants de façon collective avec les deux tests appartenant au DAT5. Le but de ces tests était de différencier les sujets avec de fortes et de faibles habiletés mécaniques et spatiales. Du fait d'une corrélation significative ( $p < .01$ ) entre les performances aux deux tests, nous avons moyenné le score obtenu au test de raisonnement mécanique avec le score obtenu au test de relations spatiales pour tous les sujets. Dès lors avec un unique score pour chaque sujet, nous avons calculé la médiane. Cette médiane a été considérée comme la frontière entre les sujets à fortes habiletés et ceux à faibles habiletés. Le score médian obtenu était de 54% de réponses correctes. Les sujets ayant obtenu un score supérieur ou égal à cette médiane constituent notre groupe de sujets à fortes habiletés alors que les sujets ayant obtenu un score inférieur à cette médiane constituent notre groupe de sujets à faibles habiletés. Ainsi faite, la répartition dissociait 33 sujets à fortes habiletés ( $M = 64.70$ ,  $SD = 8.10$ ) et 29 sujets à faibles habiletés ( $M = 45.80$ ,  $SD = 6.32$ ). La différence entre les scores obtenues par les sujets à fortes habiletés et ceux obtenues par les sujet à faibles habiletés se révèle fortement significative,  $F(1,54) = 104.76$ ,  $p < .0001$ .

Ces sujets étaient ensuite distribués parmi les quatre formats de présentation du système (i.e., illustration statique unique, cinq illustrations statiques juxtaposées, cinq illustrations statiques séquentielles, animation). Les tests post-hoc indiquent une différence entre les groupes de sujets à fortes et à faibles habiletés pour chaque format et entre chaque format de présentation ( $p < .01$ , Newman-Keuls test). De plus, ces tests post-hoc n'indiquent aucune différence significative entre les groupes de sujets à fortes habiletés pour les quatre formats ( $p > .05$ , Newman-Keuls test), et n'indiquent aucune différence significative entre les groupes de sujets à faibles habiletés pour les quatre formats ( $p > .05$ , Newman-Keuls test).

Dans la seconde étape de l'expérience, on présentait individuellement aux participants sur un écran d'ordinateur la leçon portant sur le système de poulie. Durant cette étape, on capturait les mouvements oculaires de certains sujets. La tâche était de comprendre le plus précisément possible le fonctionnement du système de poulies à partir du texte explicatif et d'un des formats de l'illustration. Le temps d'étude de la leçon était libre. Néanmoins, les participants devaient faire fonctionner l'animation, ou visionner toutes les étapes du format séquentiel statique au moins trois fois, ou imaginer le fonctionnement du système au moins trois fois pour les deux autres conditions statiques.

Une fois la consultation de la leçon terminée, les participants devaient répondre au questionnaire de compréhension présenté sous la forme d'un feuillet.

### 3.2. Résultats

#### *Performances au test de compréhension*

Le nombre moyen de réponses correctes ainsi que les écarts-types au test de compréhension pour chaque indicateur (configuration, cinématique locale, modèle fonctionnel) sont présentés dans le tableau 4.1.

	formats				Tous les formats
	Statique unique N = 16	5 schémas alignés N = 14	5 schémas séquentiels N = 17	Animation N = 15	
<b>Configuration</b>					
Fortes habiletés N = 33	88.43 (6.51)	86.98 (8.75)	90.27 (15.45)	83.33 (17.17)	87.50 (12.19)
Faibles habiletés N = 29	79.76 (10.60)	88.89 (13.35)	88.02 (9.56)	83.85 (10.78)	85.05 (10.99)
Tous les participants	84.64 (9.34)	87.80 (10.52)	89.21 (12.68)	83.61 (13.6)	86.35 (11.61)
<b>Cinématique locale</b>					
Fortes habiletés N = 33	70.06 (13.73)	75.35 (13.15)	79.38 (18)	67.46 (19.69)	73.33 (16.13)
Faibles habiletés N = 29	70.56 (19.51)	69.72 (22.01)	70.90 (15.40)	60.97 (20.17)	67.83 (18.65)
Tous les participants	70.28 (15.90)	72.94 (16.96)	75.39 (16.87)	64 (19.51)	70.76 (17.43)
<b>Modèle fonctionnel</b>					
Fortes habiletés N = 33	52.77 (12.15)	64.06 (21.59)	50.00 (6.25)	58.92 (18.70)	56.06 (15.66)
Faibles habiletés N = 29	30.36 (17.47)	58.33 (12.90)	31.25 (29.88)	46.87 (21.9)	40.94 (23.8)
Tous les participants	42.97 (18.24)	61.60 (17.99)	41.17 (22.43)	52.50 (20.7)	49 (21.14)

Tableau 4.1. Pourcentage de réponses correctes aux trois indicateurs de compréhension en fonction de chaque format de présentation de l'illustration pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écart-types sont entre parenthèses.

Dans un premier temps, a été réalisée une analyse de variance (ANOVA) incluant les quatre formats de présentation de l'illustration, les deux niveaux d'habiletés mécaniques et spatiales et les trois indicateurs de compréhension.

Cette ANOVA montre en premier lieu un effet significatif du niveau d'habiletés,  $F(1, 54) = 6.19$ ,  $p = .015$ . Les apprenants avec de fortes habiletés mécaniques et spatiales obtiennent des performances supérieures (72.25%) à celles obtenues par les apprenants avec de faibles habiletés (64.96%). L'effet du niveau des indicateurs de compréhension se révèle

aussi significatif,  $F(2, 108) = 102.4$ ,  $p < .001$ . Les performances obtenues aux questions portant sur la configuration du système (86.19%) sont plus élevées que celles obtenues aux questions portant sur les aspects cinématiques locaux (70.55%),  $F(1, 54) = 39.61$ ,  $p < .001$ , et sont plus élevées que celles obtenues à la question portant sur le modèle mental fonctionnel ( $M = 49.07$ ),  $F(1, 54) = 243.76$ ,  $p < .001$ . Les performances aux questions portant sur les aspects cinématiques locaux sont plus élevées que celles portant sur le modèle fonctionnel,  $F(1, 54) = 54.20$ ,  $p < .001$ . L'effet global du format de présentation, quant à lui, ne se révèle pas significatif, mais comme attendu, l'interaction entre les trois indicateurs de compréhension et les quatre formats de présentation de l'illustration est significative,  $F(6, 108) = 3.13$ ,  $p = .007$ . Cet effet d'interaction montre que l'effet du format de présentation de l'illustration n'est pas le même selon le niveau de compréhension mesuré (figure 4.9). Finalement, l'interaction entre les indicateurs de compréhension et les niveaux d'habiletés mécaniques et spatiales est significative,  $F(2, 108) = 3.22$ ,  $p < .05$ . Les différences observées entre les deux groupes de participants sont plus marquées pour les questions portant sur le modèle mental fonctionnel ( $d = 14.74$ ,  $F(1, 54) = 9.35$ ,  $p = .003$ ) que pour les questions portant sur les aspects cinématiques locaux ( $d = 5.02$ ,  $F(1, 54) = 1.23$ , ns.) et sur la configuration du système ( $d = 2.12$ ,  $F(1, 54) < 1$ , ns.).

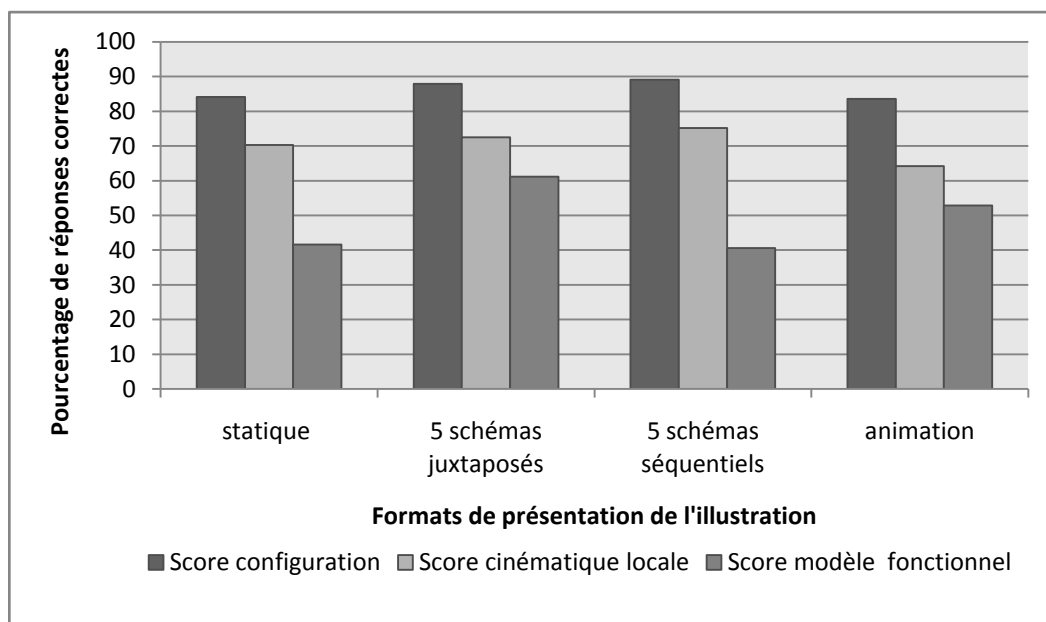


Figure 4.9. Pourcentage de réponses correctes aux différents niveaux de compréhension selon les différents formats de présentation de l'illustration.



Pour affiner cette première analyse, nous avons conduit respectivement trois autres ANOVA pour chacun des indicateurs de compréhension (configuration, cinématique local, modèle mental fonctionnel).

En ce qui concerne le niveau portant sur la configuration, nous ne trouvons aucun effet significatif ; que ce soit pour le format de présentation de l'illustration, ou pour les habiletés mécaniques et spatiales, ou encore pour l'interaction entre ces deux variables.

Nous trouvons un pattern de résultats relativement similaires pour le niveau portant sur les aspects cinématiques locaux. En effet aucun effet significatif n'apparaît pour le format de présentation de l'illustration, pour les habiletés mécaniques et spatiales, ainsi que pour l'interaction entre ces variables.

Finalement, en ce qui concerne le niveau de compréhension portant sur le modèle fonctionnel, nous observons un pattern de résultats différent des deux autres niveaux de compréhension mesurés. L'effet du format de présentations de l'illustration est significatif,  $F(3, 54) = 4.05, p = .011$ . L'analyse par contraste entre les quatre modalités de cette variable indique que les performances de compréhension sont plus élevées lorsque les apprenants se trouvent dans la condition de présentation avec 5 schémas statiques juxtaposés (61.20%) plutôt que dans la condition de présentation avec un schéma statique unique (41.57%),  $F(1, 54) = 7.97, p = .007$ . De même les performances de compréhension sont plus élevées lorsque les apprenants se trouvent dans la condition de présentation avec 5 schémas statiques juxtaposés plutôt que dans la condition de présentation avec 5 schémas statiques séquentiels (40.63%),  $F(1, 54) = 9.05, p < .005$ . L'effet, indiquant que les performances de compréhension sont plus élevées lorsque les apprenants se trouvent dans la condition de présentation animée (52.90%) plutôt que dans la condition de présentation avec un schéma statique unique (41.57%), approche la tendance,  $F(1, 54) = 2.78, p = .10$ . Le même effet, tendanciel est observé lors de la comparaison entre le format de présentation animé et le format de présentation avec 5 schémas séquentiels (40.63%),  $F(1, 54) = 3.38, p = .07$ . Les résultats indiquent par ailleurs qu'il n'y a aucune différence significative entre le format de présentation animé et le format de présentation avec 5 schémas juxtaposés. Les apprenants avec de fortes habiletés mécaniques et spatiales obtiennent de meilleures performances (56.44%) que les apprenants avec de faibles habiletés (41.70%),  $F(1, 54) = 9.34, p < .004$ . Cela dit l'interaction, dont nous avons émis l'hypothèse, entre les variables format de présentation de l'illustration et le niveau d'habiletés mécaniques et spatiales n'est pas significative (figure 4.10). Une analyse par comparaison planifiée pour chaque niveau d'habiletés révèle ainsi un effet du format de présentation de l'illustration non significatif

pour les apprenants à fortes habiletés mécaniques et spatiales. Néanmoins, en ce qui concerne les apprenants à faibles habiletés, nous observons une différence de performances, pour le niveau modèle mental fonctionnel, en faveur du format de présentation avec 5 schémas juxtaposés (58.33%) comparé au format de présentation avec un schéma statique unique (30.36%),  $F(1, 57) = 7.19, P < .01$ . Il en va de même lors d'une comparaison au format de présentation avec 5 schémas séquentiels (31.25%),  $F(1, 57) = 7.15, p < .01$ . Nous observons également une différence de performances en faveur du format de présentation animé (46.88%) comparé au format de présentation avec un schéma statique unique,  $F(1, 57) = 5.11, p < .05$ . La différence de performances est en faveur d'une présentation au format animé que lors d'une présentation au format de présentation avec 5 schémas statiques séquentiels,  $F(1, 57) = 5.06, p < .05$ .

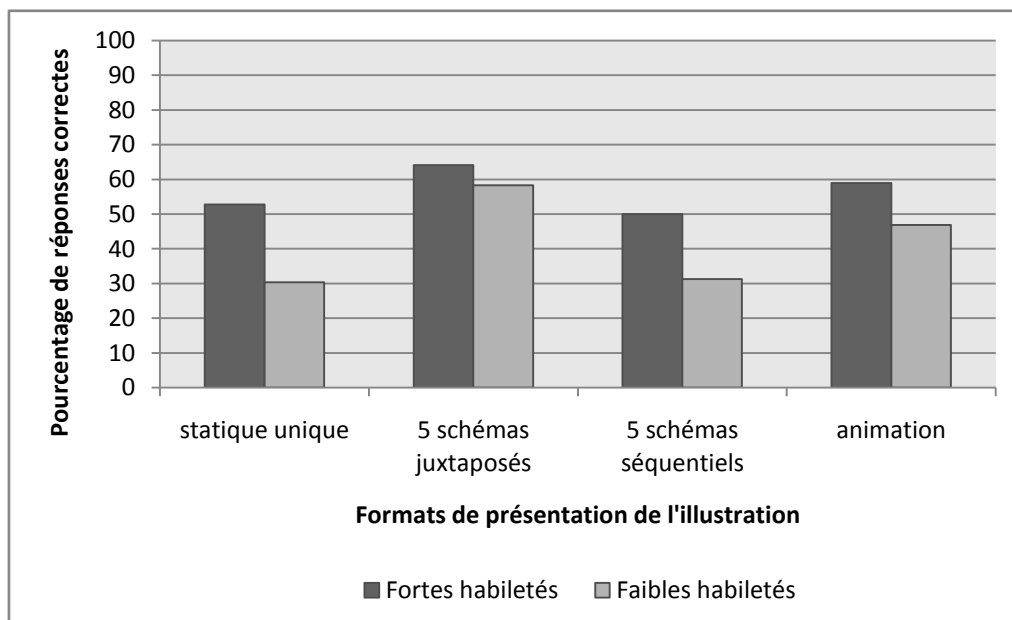


Figure 4.10. Pourcentage de réponses correctes aux niveaux de compréhension portant sur le modèle mental fonctionnel en fonction des formats de présentation de l'illustration et des habiletés mécaniques et spatiales des apprenants.

En résumé, les performances obtenues aux questions concernant le modèle mental fonctionnel du système sont meilleures lorsque l'on présente un format de l'illustration avec 5 schémas statiques juxtaposés et (mais un petit peu moins) une animation. Cette amélioration des performances ne concernent que les apprenants avec de faibles habiletés mécaniques et spatiales.

### *Durée d'étude du document*

Ces différences de performances de compréhension obtenues entre les différentes modalités de présentation de l'illustration induisent des différences de durée d'étude du document de la part des apprenants. Une durée d'étude du document signifie-t-elle un traitement cognitif plus approfondi et par conséquent la construction d'une représentation mentale animée plus efficiente ? Les données concernant la durée d'étude du document pour chacun des formats de présentation sont présentées dans le tableau 4.2.

	Statique unique N = 14	5 schémas alignés N = 14	5 schémas séquentiels N = 17	Animation N = 15	Moyennes
Fortes habiletés N = 33	182.4 (59)	235.4 (73.9)	206.8 (75.38)	204.28 (91.32)	205.7 (69.33)
Faibles habiletés N = 27	191 (63.96)	187.3 (21.74)	216.8 (110.80)	156.25 (64.85)	187.51 (75.66)
Moyennes	185.5 (58.53)	213.2 (59.61)	211.5 (90.77)	178.66 (79.32)	197.35 (74.39)

Tableau 4.2. Durée d'étude moyenne (en secondes) du document pour chacun des formats de présentation de l'illustration en fonction du niveau des habiletés mécaniques et spatiales des apprenants. Les écart-types sont entre parenthèses.

En dépit des variations observées dans la durée d'étude du document pour chaque format de présentation de l'illustration, aucune différence significative n'apparaît ni entre les quatre formats de présentation, ni entre les deux niveaux d'habiletés des apprenants. L'interaction entre ces deux variables se révèle être aussi non significative. Les comparaisons planifiées entre les formats de présentation et les niveaux d'habiletés des apprenants n'indiquent également aucune différence significative.

Bien qu'aucun effet significatif de la durée d'étude n'ait été montré par l'analyse statistique, ces durées d'étude peuvent avoir un impact sur les performances de compréhension. Nous avons donc effectué une analyse de variance avec un facteur covariant (ANCOVA) sur les performances portant sur le modèle mental fonctionnel incluant la durée d'étude du document en facteur de covariance. Cette analyse indique toujours la présence d'un effet du format de présentation,  $F(3, 50) = 4.12$ ,  $p = .011$  et aussi un effet du niveau des habiletés spatiales,  $F(1, 50) = 5.90$ ,  $p = .019$ .

Pour résumé, les différences de la durée d'étude du document n'expliquent pas les différences de performances de compréhension.

## *Mesures oculométriques*

### *Comparaison texte et illustration*

Dans le but d'évaluer les traitements on-line dans la compréhension d'une leçon multimédia avec différents formats de présentation d'une illustration, nous avons analysé de façon exploratoire les fixations oculaires de trente participants (les performances au score modèle fonctionnel de ces participants sont présentées tableau 4. 3). Les aires d'intérêt (AOI) utilisées pour l'analyse des données oculométriques permettent la mise en évidence du temps passé, et de l'activité induites par les fixations oculaires des participants dans les régions du texte et de l'illustration. Ces données nous permettent de comprendre comment l'apprenant construit une animation mentale efficiente du système à partir de ces deux supports. Après avoir créé une aire d'intérêt incluant le texte et une seconde aire incluant l'illustration, nous avons analysé le nombre de fixations, la durée de fixations dans chacune des deux AOI, ainsi que le nombre de transitions entre ces deux aires.

En principe, lorsque les dimensions (surface) des différentes AOI d'enregistrement des mouvements oculaires sont inégales, l'indicateur qui doit être analysé n'est pas le nombre ou la durée brute de fixations dans chaque AOI, mais le rapport entre le nombre ou la durée des fixations et la surface de l'AOI considérée. Dans le cas présent, les surfaces des 2 AOI étaient quasiment égales. Nous avons donc conservé comme variable dépendante, le nombre et la durée de fixations.

	formats				
	Statique unique N = 6	5 schémas alignés N = 7	5 schémas séquentiels N = 9	Animation N = 8	Tous les formats
<b>Modèle fonctionnel</b>					
Fortes habiletés N = 17	53.13 (15.73)	68.75 (26.02)	50 (0)	62.50 (12.50)	53.13 (21.35)
Faibles habiletés N = 13	18.75 (26.52)	62.50 (12.50)	34.38 (27.72)	46.88 (23.66)	46.88 (23.66)
Tous les participants	41.67 (24.58)	66.07 (20.04)	43.06 (18.87)	53.57 (20.04)	

Tableau 4.3. Pourcentage de réponses correctes moyen concernant l'indicateur mesurant le modèle mental fonctionnel en fonction de chaque format de présentation de l'illustration pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écart-types sont entre parenthèses.

### *Nombre de fixations*

Le premier indicateur concernant les mouvements oculaires analysé a été le nombre de fixations dans les deux différentes aires d'intérêt.

Une ANOVA incluant les quatre formats de présentation de l'illustration, le niveau d'habiletés mécaniques et spatiales des sujets, ainsi que les deux AOI comme mesures

dépendantes montre un effet significatif du type d'AOI,  $F(1, 22) = 59.44$ ,  $p < .0001$ . Cet effet indique que le nombre de fixations des participants est plus important pour l'aire incluant le texte ( $M = 57.81$ ) que pour l'aire incluant l'illustration ( $M = 33.99$ ). De plus, l'interaction entre les AOI et le format de présentation de l'illustration est également significative,  $F(3, 22) = 7.01$ ,  $p = .002$ . Cet effet indique que le nombre de fixation dans chacune des AOI dépend du format de présentation de l'illustration (figure 4.11).

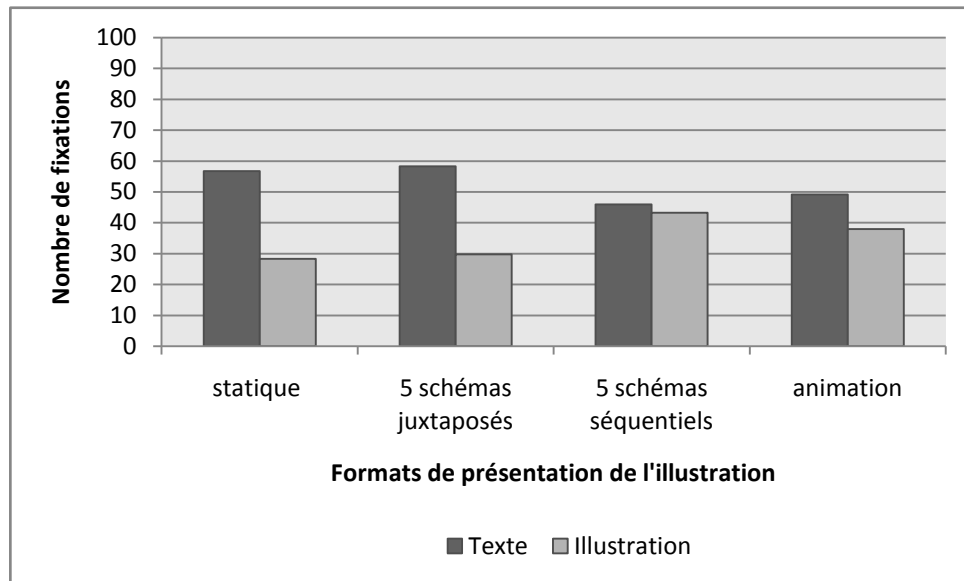


Figure 4.11. Nombre de fixations sur le texte et sur l'illustration en fonction des formats de présentation de l'illustration.

Les comparaisons planifiées indiquent que le nombre de fixations concernant le texte est supérieur au nombre de fixations concernant l'illustration pour le format de présentation avec une illustration statique unique ( $M_{\text{texte}} = 62.39$ ,  $M_{\text{illustration}} = 29.92$ ),  $F(1, 22) = 21.02$ ,  $p = .0001$ , pour le format de présentation avec 5 schémas statiques juxtaposées ( $M_{\text{texte}} = 64.76$ ,  $M_{\text{illustration}} = 23.88$ ),  $F(1, 22) = 42.83$ ,  $p < .0001$ , ainsi que pour le format de présentation animée ( $M_{\text{texte}} = 54.87$ ,  $M_{\text{illustration}} = 38.79$ ),  $F(1, 22) = 7.73$ ,  $p = .01$ .

Dans le but d'analyser plus en profondeur ces données, nous avons conduit une ANOVA pour chacune des AOI. Le nombre de fixations dans la zone du texte est supérieur dans les formats de présentation incluant une illustration statique unique ( $M = 62.39$ ) et incluant 5 schémas statique juxtaposées ( $M = 64.76$ ) à ceux incluant une illustration séquentielle ( $M = 49.23$ ) ou animée ( $M = 54.87$ ),  $F(3, 22) = 4.36$ ,  $p = .015$ . Le nombre de fixations dans la zone de l'illustration est plus importante lorsque le format de présentation est séquentiel ( $M = 43.37$ ) ou animé ( $M = 38.79$ ) que lorsque le format de présentation inclus une

illustration statique unique ( $M = 29.92$ ) ou 5 schémas statiques juxtaposés ( $M = 23.88$ ),  $F(3, 22) = 7.43$ ,  $p = .001$ .

### *Durée de fixations*

Du fait de la forte corrélation entre la durée de fixation et le nombre de fixation dans la zone incluant le texte ( $r = .89$ ,  $p < .05$ ) et dans la zone incluant l'illustration ( $r = .90$ ,  $p < .05$ ) et que l'analyse statistique indiquait les mêmes résultats que pour l'analyse des nombre de fixations, nous ne développerons pas ces résultats.

### *Nombre de transitions*

Les résultats à propos des transitions entre la zone incluant le texte et celle incluant l'illustration indiquent un effet d'interaction tendanciel entre le format de présentation et le niveau d'habiletés mécaniques et spatiales des participants,  $F(3, 22) = 2.54$ ,  $p = .083$ . Cette effet indique un nombre de transitions entre les deux aires d'intérêt très important pour les participants à fortes habiletés ( $M = 62.75$ ) en comparaison du nombre de transitions entre ces deux aires pour les participants à faibles habiletés ( $M = 36.50$ ) pour la condition présentation animée de l'illustration,  $F(1, 22) = 5.51$ ,  $p = .028$ , (figure 4.12).

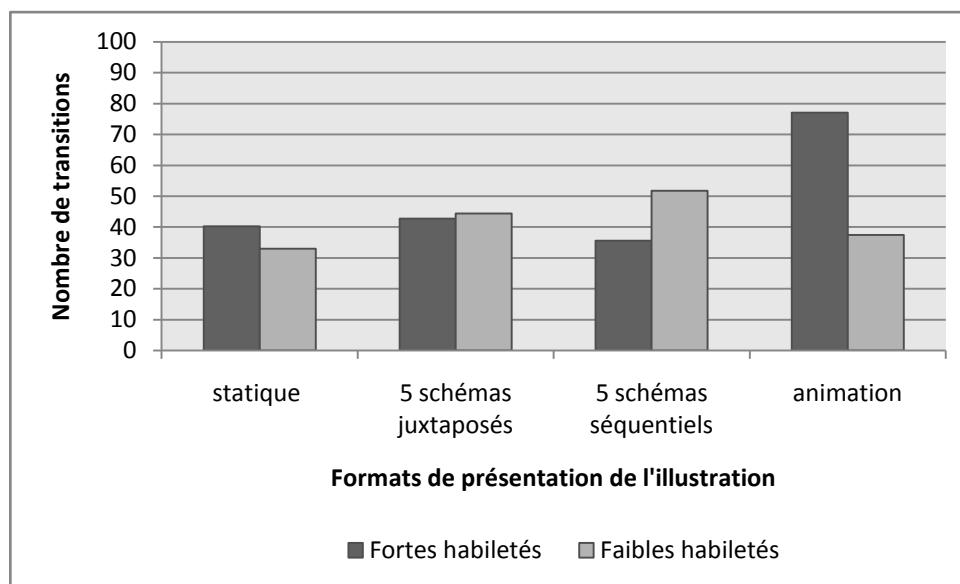


Figure 4.12. Nombre de transitions entre le texte et l'illustration en fonction des formats de présentation de l'illustration et des habiletés mécaniques et spatiales des apprenants.

### *Mesures oculométriques approfondies*

L'analyse des données oculométriques provenant des aires d'intérêt incluant le texte et l'illustration révèle des informations très pertinentes quant à la prise d'informations entre les

deux supports différents pour l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel. Bien que ces indications sur la prise d'informations entre ces deux supports soient très importantes, cette analyse reste très sommaire. On ne sait pas exactement quelles informations, à l'intérieur de ces deux médias, sont pertinentes pour les différents apprenants. Nous avons donc procédé à une analyse des données oculométriques plus précise en créant plusieurs aires d'intérêt dans la zone du texte ainsi que dans la zone de l'illustration pour chaque format de présentation. Nous avons créé des aires d'intérêt spécialement pour le format de l'illustration car il est vraiment très différent de la présentation incluant 5 schémas juxtaposés et des autres modalités de présentations de l'illustration, pour ce format de présentation. Deux analyses, pour chaque indicateurs oculométriques, ont donc été menés, une concernant les AOI pour le format de présentation incluant 5 schémas juxtaposés et une autre concernant AOI différentes pour les trois autres formats de présentation dans le but de spécifier les informations que les apprenants pensent pertinentes pour comprendre le fonctionnement du système de poulies.

Nous avons créé sept aires d'intérêts pour le format de présentation incluant les 5 schémas juxtaposés. Deux aires concernaient le texte et cinq aires concernaient les illustrations. La première AOI concernant le texte incluait les sept premiers paragraphes qui traitaient de la configuration du système de poulies. La seconde AOI concernant le texte incluait le dernier paragraphe du texte qui décrivait le fonctionnement du système de poulies. Pour les cinq autres AOI concernant les illustrations, nous avons créé une AOI pour chacune des illustrations (figure 4.13).

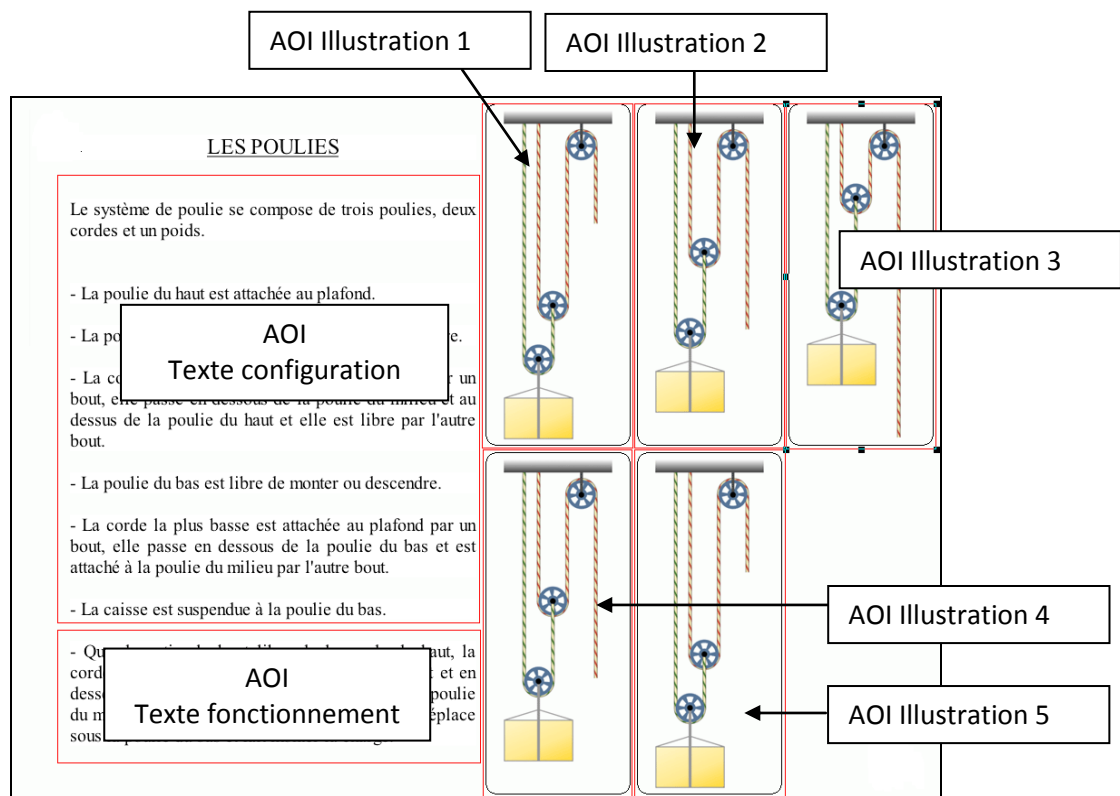


Figure 4.13. AOI utilisées lors de l'analyse des données oculométriques pour le format de présentation avec 5 schémas juxtaposés (présenté également en annexe 6\*).

Pour les trois autres formats de présentation, nous avons également créé sept aires d'intérêts. Deux aires concernaient le texte et cinq aires concernaient l'illustration. Les deux premières AOI concernant le texte étaient les mêmes que celles utilisées pour le format précédent. Par ailleurs, les aires concernant l'illustration se référaient à des zones spécifiques de cette illustration. Ainsi l'AOI 1 incluait le bout de la corde du haut, celui que l'on tire pour actionner le système. L'AOI 2 incluait la poulie du haut, la seule qui ne se déplaçait pas, et qui correspondait au début de la chaîne causale du système. L'AOI 3 incluait la poulie du milieu lorsque celle-ci montait quand le système était actionné pour l'illustration animée ou pour les 5 schémas statiques séquentiels. L'AOI 4 incluait la poulie du milieu dans sa position initiale et la poulie du bas une fois que le système était actionné. L'AOI 5 quant à elle incluait la poulie du bas dans sa position initiale et la charge lorsque le système était actionné. Ces sept AOI sont présentées dans la figure 4.14.

\* Dans le but de faciliter la lecture des résultats issus de l'enregistrement des mouvements des yeux, les figures indiquant les différentes AOI sont également présentées dans le feuillet d'annexes.



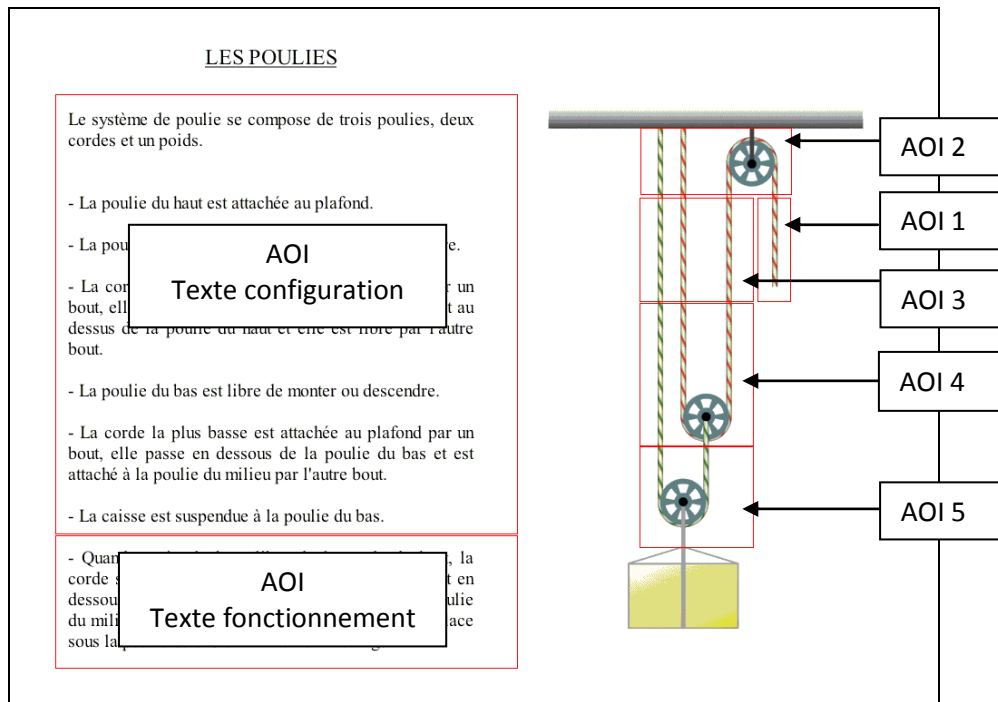


Figure 4.14. AOI utilisées lors de l'analyse des données oculométriques pour les formats de présentation de l'illustration statique unique, 5 schémas séquentiels et animation (présenté également en annexe 7).

Du fait des dimensions inégales des différentes AOI, nous avons effectué notre analyse à partir du rapport entre le nombre de fixations et la surface de l'AOI considérée, ainsi qu'à partir du rapport entre la durée de fixations et la surface de l'AOI considérée. Nous avons également analysé le nombre de transitions entre chacune des AOI.

#### ***Nombre de fixations pour les sept AOI du format incluant 5 schémas juxtaposés***

L'ANOVA réalisée incluant le niveau d'habiletés mécaniques et spatiales des sujets et les sept AOI comme mesures dépendantes montre un effet significatif du type d'AOI,  $F(6, 30) = 21.45$ ,  $p < .0001$ . Le nombre de fixations des participants semble être plus important pour l'aire incluant le texte portant sur le fonctionnement du système ( $M = 2.26$ ) que pour l'aire incluant le texte portant sur la configuration ( $M = 1.44$ ),  $F(1, 5) = 4.99$ ,  $p = .076$ . De même le nombre de fixations des participants semble être plus important pour l'aire incluant le texte portant sur le fonctionnement du système que pour l'aire incluant l'illustration 1 ( $M = 1.17$ ), présentant la première étape du système,  $F(1, 5) = 6.09$ ,  $p = .057$ . L'analyse indique aussi que le nombre de fixations est plus important pour l'aire incluant l'illustration 1 que pour les quatre autres aires incluant les autres illustrations ( $M_{\text{illustration2}} = 0.37$ ,  $M_{\text{illustration3}} = 0.22$ ,  $M_{\text{illustration4}} = 0.49$ ,  $M_{\text{illustration5}} = 0.31$ ),  $F(1, 5) = 10.64$ ,  $p = .02$ .

Tout comme dans l'analyse portant sur les aires incluant le texte et l'illustration, nous ne développerons pas les résultats concernant les durées de fixations dans les sept AOI du fait de la forte corrélation avec le nombre de fixation.

***Nombre de transitions entre les sept AOI du format incluant 5 schémas juxtaposés***

Dans un premier temps, nous avons étudié les transitions entre l'aire incluant le texte portant sur la configuration et les cinq illustrations. L'ANOVA incluant le niveau d'habiletés mécaniques et spatiales ainsi que le type de transitions comme mesures dépendantes révèle un effet du type de transitions,  $F(4, 20) = 3.98$ ,  $p = .016$ . Cet effet indique que le nombre de transitions entre l'aire incluant le texte portant sur la configuration et la première illustration (présentant le système de poulies dans sa position initiale) est plus important ( $M = 29.71$ ) que le nombre de transitions entre cette aire et les quatre autres illustrations ( $M_{\text{illustration2}} = 1.50$ ,  $M_{\text{illustration3}} = 0.88$ ,  $M_{\text{illustration4}} = 3.92$ ,  $M_{\text{illustration5}} = 0.50$ ), voir figure 4.15.

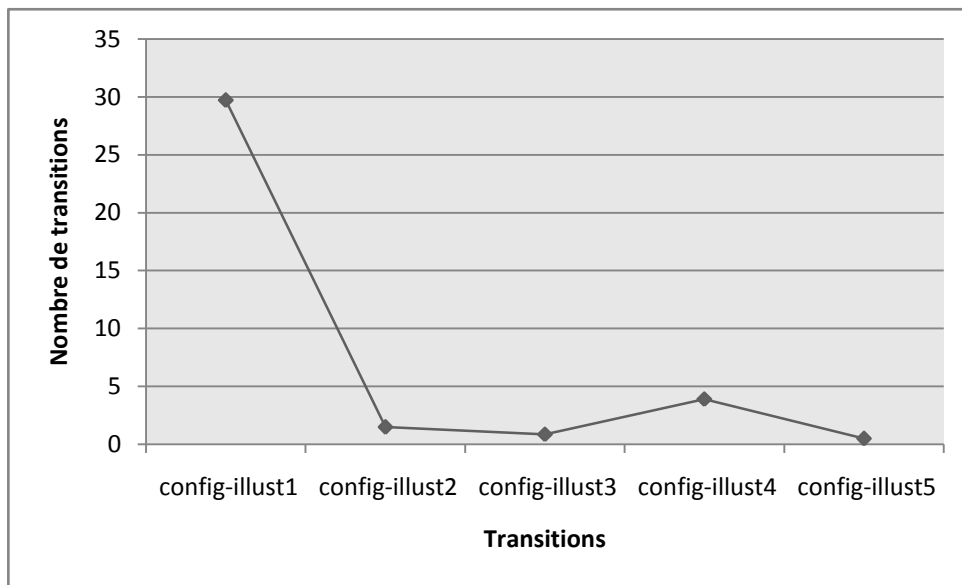


Figure 4.15. Nombre de transitions entre l'AOI incluant le texte portant sur la configuration du système de poulies et les cinq AOI incluant les cinq illustrations juxtaposés.

Par la suite, nous avons étudié les transitions entre l'aire incluant le texte portant sur le fonctionnement du système et les cinq illustrations. Cette analyse indique également un effet du type de transitions,  $F(4, 20) = 3.90$ ,  $p = .017$ . Cet effet indique que le nombre de transitions entre l'aire incluant le texte portant sur le fonctionnement du système et l'illustration 4 (présentant le système de poulies dans un état intermédiaire et étant également l'illustration la plus proche du dernier paragraphe) est plus important ( $M = 5.88$ ) que le nombre de transitions

entre cette aire et les quatre autres illustrations ( $M_{\text{illustration1}} = 2.79$ ,  $M_{\text{illustration2}} = 0.25$ ,  $M_{\text{illustration3}} = 0.00001$ ,  $M_{\text{illustration5}} = 1.21$ ) (figure 4.16).

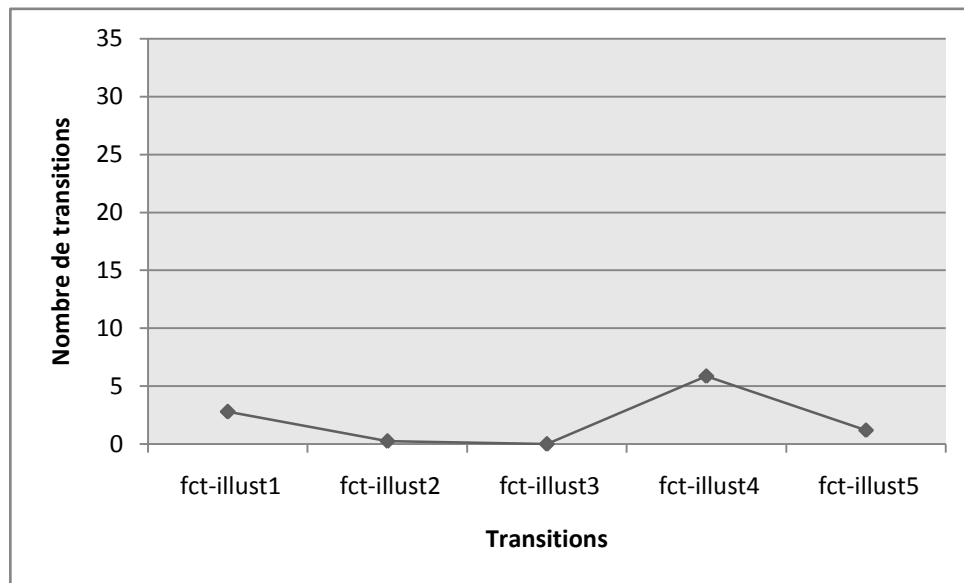


Figure 4.16. Nombre de transitions entre l'AOI incluant le texte portant sur le fonctionnement du système de poulies et les cinq AOI incluant les cinq illustrations juxtaposées

Pour finir, nous avons étudié les transitions entre les aires incluant les différentes illustrations. L'analyse indique un effet du type de transitions,  $F(9, 45) = 9.01$ ,  $p < .0001$ . Cet effet indique que le nombre de transitions entre les illustrations 1&2 ( $M = 6.58$ ), 2&3 ( $M = 4.58$ ) et 4&5 ( $M = 4.96$ ) est plus important que le nombre de transitions parmi les autres transitions possibles entre les illustrations ( $M_{1\&3} = 0.83$ ,  $M_{1\&4} = 1.75$ ,  $M_{1\&5} = 0.50$ ,  $M_{2\&4} = 0.71$ ,  $M_{2\&5} = 0.75$ ,  $M_{3\&4} = 1.17$ ,  $M_{3\&5} = 0.54$ ), voir figure 4.17. Les participants réalisent plus de transitions entre les illustrations présentant des états du système qui se suivent et qui se trouvent donc les unes à côté des autres. La seule exception est le nombre de transitions entre les illustrations 3&4 relativement faible. Cela peut s'expliquer par le fait que ces deux aires ne sont pas spatialement situées l'une à côté de l'autre, l'illustration 4 étant l'état suivant celui de l'illustration 3 mais qui est situé dans la rangée d'illustrations du bas alors que l'illustration 3 est située dans la rangée d'illustrations du haut.

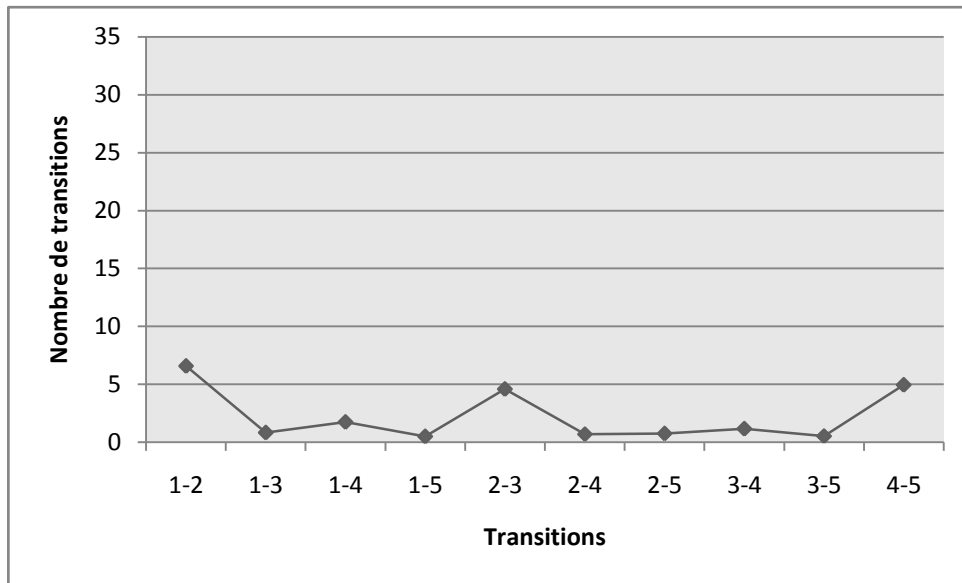


Figure 4.17. Nombre de transitions entre les cinq AOI incluant les cinq illustrations juxtaposés

#### *Nombre de fixations pour les sept AOI des trois autres formats*

L'ANOVA incluant les trois formats de présentation de l'illustration (statique unique, 5 schémas séquentiels, animation), le niveau des habiletés mécaniques et spatiales des participants, et les sept AOI spécifiques comme variables dépendantes montre un effet significatif du type d'AOI,  $F(6, 102) = 8.69, p < .0001$ . Cet effet indique que le nombre de fixation dans l'AOI 4 ( $M = 3.56$ ) est plus important que le nombre de fixation dans l'AOI 2 ( $M = 2.43$ ), dans l'AOI 3 ( $M = 2.59$ ) et dans l'AOI 5 ( $M = 2.51$ ),  $F(1, 17) = 11.86, p = .003$ . Le nombre de fixations dans ces zones est également supérieur à celui de l'AOI 1 ( $M = 1.34$ ) et des deux zones des zones du texte ( $M_{\text{configuration}} = 1.36, M_{\text{fonctionnement}} = 1.33$ ),  $F(1, 17) = 20.44, p = .0003$ . Les résultats révèlent également un effet significatif d'interaction entre le type d'AOI et le format de présentation de l'illustration,  $F(12, 102) = 1.87, p = .046$ . Le nombre de fixations pour la zone incluant le texte portant sur la configuration est plus important pour le format avec un schéma statique unique ( $M = 1.50$ ) que pour le format 5 schémas séquentiels ( $M = 1.21$ ),  $F(1, 17) = 6.32, p = .02$ . Le nombre de fixations pour la zone incluant le texte portant sur le fonctionnement est plus important pour le format avec un schéma statique unique ( $M = 1.57$ ) que pour le format 5 schémas séquentiels ( $M = 1.19$ ),  $F(1, 17) = 6.05, p = .02$ , ou que pour le format dynamique ( $M = 1.25$ ),  $F(1, 17) = 4.24, p = .055$ . Concernant les aires d'intérêts de l'illustration, les nombres de fixations dans l'AOI 1, l'AOI 3 l'AOI 4 pour le format 5 schémas séquentiels ( $M_{\text{AOI 1}} = 1.94, M_{\text{AOI 3}} = 3.23, M_{\text{AOI 4}} = 4.08$ ) et pour le format dynamique ( $M_{\text{AOI 1}} = 1.92, M_{\text{AOI 3}} = 2.98, M_{\text{AOI 4}} = 4.80$ ) sont plus important que pour le format avec un schéma statique unique ( $M_{\text{AOI 1}} = 0.16, M_{\text{AOI 3}} = 1.56, M_{\text{AOI 4}} = 1.80$ ). Il

s'avère également que le nombre de fixations pour toutes les aires d'intérêts se révèle identique pour le format avec un schéma statique unique, hormis pour l'aire incluant la corde du haut où le nombre de fixations est inférieur (figure 4.18).

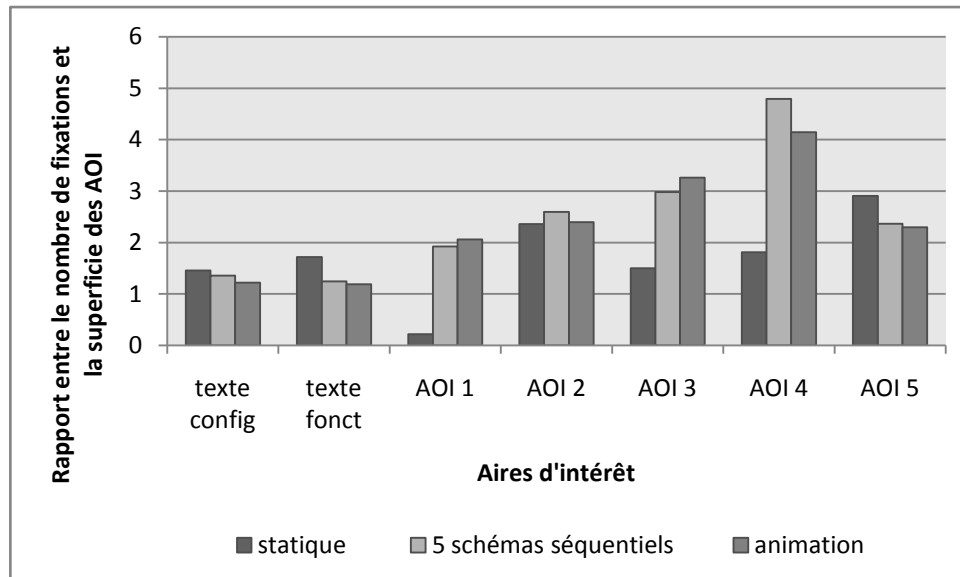


Figure 4.18. Rapport entre le nombre de fixations et la superficie pour chacune des sept AOI en fonction du format de présentation de l'illustration.

#### ***Nombre de transitions entre les sept AOI des trois autres formats***

Nous avons étudié initialement les transitions entre l'aire incluant le texte portant sur la configuration et les cinq aires incluses dans l'illustration. L'ANOVA incluant le format de présentation, le niveau d'habiletés mécaniques et spatiales ainsi que le type de transitions comme mesures dépendantes révèle un effet du type de transitions,  $F(4, 68) = 13.42$ ,  $p < .0001$ . Cet effet indique que le nombre de transitions entre le texte décrivant la configuration du système et l'AOI 4 ( $M = 9.71$ ) est plus importante qu'entre le texte et l'AOI 5 ( $M = 5.32$ ),  $F(1, 17) = 6.19$ ,  $p = .02$ . Cet effet révèle aussi que le nombre de transitions entre ce texte et les aires incluant l'AOI 2 ( $M = 7.14$ ) et l'AOI 4 ( $M = 9.71$ ) est plus important qu'avec l'AOI 3 ( $M = 3.57$ ). Par ailleurs il s'avère que le nombre de transitions entre ce texte et l'AOI 1 est le moins élevé ( $M = 0.62$ ),  $F(1, 17) = 92$ ,  $p < .0001$ .

Ensuite, nous avons étudié les transitions entre l'aire incluant le texte portant sur le fonctionnement du système et les cinq aires de l'illustration. L'ANOVA incluant le format de présentation, le niveau d'habiletés mécaniques et spatiales ainsi que les différentes transitions comme mesures dépendantes montre un effet du type de transitions,  $F(4, 68) = 5.11$ ,  $p = .001$ . Cet effet indique que le nombre de transitions entre le texte décrivant le fonctionnement du système et l'AOI 4 ( $M = 1.54$ ) et également l'AOI 5 ( $M = 1.81$ ) est plus important que celui

entre ce texte et les autres aires ( $M_{AOI\ 1} = 0.16$ ,  $M_{AOI\ 2} = 0.59$ ,  $M_{AOI\ 3} = 0.88$ ),  $F(1, 17) = 11.87$ ,  $p = .003$ .

L'étude portant sur les transitions entre les cinq aires de l'illustration indique que le nombre de transitions entre les AOI 3&4 ( $M = 16.93$ ) ainsi qu'entre les AOI 4&5 ( $M = 12.88$ ) est plus important qu'entre les AOI 2&3 ( $M = 7.45$ ) ainsi qu'entre les AOI 2&4 ( $M = 9.36$ ),  $F(1, 17) = 13.75$ ,  $p = .002$ . Le nombre de transitions entre les aires dernièrement énumérées est plus important que celles entre les autres aires,  $F(1, 17) = 22.66$ ,  $p = .0002$ . Par ailleurs l'analyse révèle un effet d'interaction significatif entre le type d'AOI et le format de présentation,  $F(18, 153) = 1.78$ ,  $p = .03$ . Cet effet nous renseigne sur le fait que les transitions entre les différentes zones du schéma varient en fonction du format de présentation (figure 4.19). Cet effet met en évidence que le nombre de transitions entre les AOI 3&4 est plus important lorsque l'illustration est animée ( $M = 21.68$ ) ou lorsqu'elle est composée de 5 schémas séquentiels ( $M = 21.38$ ) que lorsque l'illustration est statique ( $M = 7.75$ ),  $F(1, 17) = 5.80$ ,  $p = .027$ . De même cet effet indique que le nombre de transitions entre les AOI 4&5 est plus important lorsque l'illustration est animée ( $M_{statique\ unique} = 8.63$ ,  $M_{5\ schémas\ séquentiels} = 11.78$ ,  $M_{animation} = 18.25$ ),  $F(1, 17) = 4.60$ ,  $p = .047$ . Ces résultats sont logiques car les aires impliquant la plupart des informations cinématiques sont les aires les plus importantes et l'apprenant peut appréhender ces informations lorsque l'illustration est animée ou lorsqu'elle est constituée de 5 schémas séquentiels.

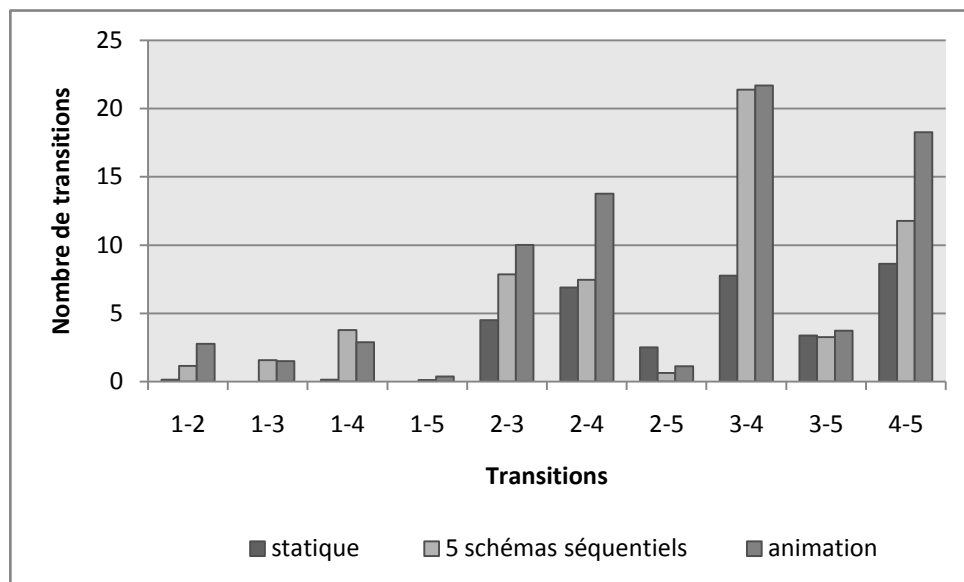


Figure 4.19. Nombre de transitions entre les cinq AOI de l'illustration en fonction du format de présentation de l'illustration

### 3.3. Conclusions

Nous avons mis en évidence qu'une illustration animée n'est pas l'unique moyen de délivrer des informations pertinentes à propos de processus dynamique. En effet, plusieurs représentations statiques juxtaposées du système de poulies qui permettent de visualiser les micro-étapes du fonctionnement améliorent la construction du modèle mental fonctionnel. Ce format de présentation favorise la mise en œuvre de comparaisons entre les différents états du fonctionnement du système de poulies et pourrait faciliter l'activation d'inférences. Ces inférences influencent le traitement interne du fonctionnement dynamique concernant les transitions entre les états.

La représentation séquentielle des mêmes états, où l'apparition d'un état provoque la disparition de l'état précédent, génère de plus mauvaises performances de compréhension. Celles-ci sont équivalentes à celles obtenues lorsqu'on présente une représentation unique statique aux participants. De tels résultats ne peuvent pas s'expliquer par le nombre d'informations délivrées par les différents formats du fait que le nombre d'informations contenues dans le format avec plusieurs illustrations juxtaposées est le même que celui contenu dans le format incluant plusieurs illustrations séquentielles. On peut penser que ce format de présentation provoque une certaine discontinuité perceptive entre les différents états de sorte que l'appréhension des traitements continus du système de poulies s'en trouve fortement diminuée. L'apprenant doit maintenir en mémoire de travail l'état du système pour pouvoir le comparer à l'état actuel de ce même système. Cette charge cognitive pourrait entraîner une diminution des performances. Un tel format est susceptible d'augmenter la charge cognitive extrinsèque (*extraneous*) diminuant par conséquent la charge cognitive « *germane* », liée aux processus cognitifs mobilisés lors de la réalisation de la tâche. Au contraire une représentation multiple juxtaposée comme une animation, si elle est appréhendable, diminuerait la charge cognitive extrinsèque et augmenterait celle allouée à la mobilisation des processus cognitifs permettant une bonne compréhension.

Par ailleurs, l'effet du format de présentation dans cette expérience concerne principalement la question se rapportant au modèle mental fonctionnel, qui représente le niveau d'intégration le plus profond. Cet effet n'apparaît pas pour les questions se rapportant à la configuration et aux aspects cinématiques locaux. Les résultats montrent également que les performances aux questions se rapportant à la configuration sont supérieures aux questions se rapportant aux aspects cinématiques locaux, les performances à ces questions étant également supérieures à celle portant sur le modèle mental fonctionnel. Dès lors nous pouvons déduire qu'une représentation efficace de la configuration du système permet la

décomposition des différents éléments composant ce système de poulies, et qu'une bonne représentation des aspects cinématiques locaux, c'est-à-dire pour chaque élément, permet la compréhension du comportement, du fonctionnement de chaque élément. Ces représentations semblent nécessaires (Hegarty & Just, 1993, Narayanan & Hegarty, 1998, 2002) mais pas suffisantes pour élaborer une représentation mentale dynamique efficace du fonctionnement du système. Les présentations animées du système ou de plusieurs illustrations juxtaposées fournissant différents états du système semblent être particulièrement adaptées pour supporter cette activité cognitive.

Les performances en compréhension d'une illustration statique unique et d'une illustration incluant 5 schémas juxtaposés sont très différentes. Il s'avère donc que les participants ne prennent pas les mêmes informations en compte pour la construction d'une représentation dynamique mentale. Dans le cas d'une illustration unique statique, vu le peu d'information que transmet ce type de format de présentation, l'apprenant essaye de construire une représentation mentale animée efficace du système à partir du support qui donne le plus d'informations sur le fonctionnement du système, c'est-à-dire le texte. Par ailleurs, dans le cas d'une illustration incluant plusieurs schémas représentant différents états du système, l'apprenant peut se construire une représentation mentale animée par comparaisons des différents schémas suivant leur ordre chronologique. L'apprenant construit une représentation à partir du texte et la valide en analysant les divers schémas et en les comparant entre eux.

En ce qui concerne les deux autres formats de présentation (animation et illustrations multiples séquentiels), l'analyse oculaire des deux supports est très proche, mais les performances en compréhension sont différentes. L'apprenant utilise autant le support textuel que le support imagé dans le format avec 5 schémas statiques séquentiels. Il est possible que le sujet rencontre des difficultés à faire correspondre la représentation mentale du texte et la représentation mentale des illustrations car le traitement de ce format se révèle extrêmement coûteux d'un point de vue cognitif. L'animation quant à elle fournit des informations aussi précises, voire plus précises, que celles contenues dans le texte. L'analyse des transitions entre les différentes AOI de l'illustration indique que lorsque celle-ci est animée, les apprenants font plus de transitions entre les aires où les aspects cinématiques sont les plus importants. Cela suggère que les apprenants sélectionnent et traitent les informations les plus pertinentes pour la compréhension du fonctionnement du système.

Il est important de préciser qu'il ne s'agit que de tendances compte tenu du faible nombre de sujets pour lesquels les mouvements des yeux ont été enregistrés.



#### 4. Expérience 2

L'objectif de cette seconde expérience est d'étudier le contrôle de l'animation pour faciliter le traitement des processus dynamiques d'un système mécanique de poulies. Nous comparerons une animation non contrôlable, partiellement contrôlable et totalement contrôlable. Comme dans l'expérience 1, les conditions de présentation étaient accompagnées d'un texte explicatif.

Les performances au score de compréhension devraient être meilleures pour la condition partiellement contrôlable pour les apprenants disposant de faibles aptitudes mécaniques et spatiales. Cette condition permettrait d'adapter le déroulement de l'animation au traitement cognitif des participants tout en facilitant l'utilisation du contrôle.

#### Méthode

##### *Sujets*

Un groupe de quarante-cinq étudiants de premier cycle de psychologie de l'université de Bourgogne, composé de quarante et une filles et quatre garçons, ont participé à cette expérience pour l'obtention de points d'expérience.

##### *Matériel de la tâche expérimentale*

Comme dans la première expérience, le matériel utilisé est inspiré de celui utilisé par Hegarty & Just (1993). Il consistait en une leçon multimédia incluant un texte et une illustration animée décrivant le même système mécanique complexe de poulies (figure 1).

Trois versions se rapportant à trois niveaux de contrôle de l'animation par l'apprenant ont été créées. On présentait aux participants, selon la condition expérimentale dans laquelle ils étaient placés, un texte accompagné soit d'une animation dynamique non contrôlable, soit d'une animation dynamique partiellement contrôlable, soit d'une animation interactive ou totalement contrôlable. Le texte présenté au sujet était le même que celui utilisé dans l'expérience 1.

La version non contrôlable consistait en une illustration animée d'un système de trois poulies. Les participants pouvaient démarrer l'animation comme ils le souhaitaient par un simple clic avec la souris dans la zone de l'illustration. La vitesse de déroulement de l'animation du système de poulies était relativement lente mais était en aucune façon contrôlable par les participants.

La version partiellement contrôlable, consistait en une illustration animée séquentielle du système de poulies. Les participants pouvaient contrôler l'animation séquence par séquence en cliquant dans la zone de l'illustration. Un clic équivalait à la visualisation d'une séquence animée. Cette version était une simulation interactive séquentielle. L'ordre des séquences animées était par ailleurs prédéfini, c'est-à-dire que les participants ne pouvaient visionner les séquences que dans cet ordre. Cela les obligeait à visionner de nouveau les séquences du début pour revoir une séquence précise. Les participants avaient donc un contrôle partiel de l'animation.

Concernant la version totalement contrôlable, les participants pouvaient manipuler l'animation comme ils le désiraient après avoir cliqué avec la souris sur le bout de la corde du haut. Les sujets avaient un contrôle total sur la progression de l'animation, ils pouvaient l'arrêter, la ralentir, l'accélérer, ou encore revenir en arrière. Il s'agissait d'une simulation exacte du fonctionnement du système de poulies, les participants pouvaient réaliser les mêmes actions que celles possibles avec un mécanisme réel.

### ***Mesures de mémorisation et de compréhension***

Nous avons utilisé le même test de mémorisation et de compréhension que dans l'expérience 1. Les questions portaient sur la configuration des éléments, les aspects cinématiques locaux et sur le modèle fonctionnel du système de poulies.

### ***Mesure des différences interindividuelles***

Les habiletés mécaniques et spatiales des participants étaient mesurées, tous comme dans l'expérience 1, avec la version française abrégée du DAT (Bennett, Seashore & Wesman, 1973, 2002).

### ***Procédure***

De façon à distinguer nos deux groupes de sujets, on évaluait les habiletés mécanique et spatiale des participants de façon collective avec les deux tests appartenant au DAT5. Du fait d'une corrélation significative ( $p < .01$ ) entre les performances aux deux tests, nous avons moyenné le score obtenu au test de raisonnement mécanique avec le score obtenu au test de relations spatiales pour tous les sujet. A partir de ce score unique pour chaque sujet, nous avons calculé la médiane. Cette médiane est considérée comme la frontière entre les sujets à fortes et à faibles habiletés. Le score médian obtenu était de 54% de réponses correctes. Les sujets ayant obtenu un score supérieur ou égal à cette médiane constituent notre groupe de

sujets à fortes habiletés alors que les sujets ayant obtenu un score inférieur à cette médiane constituent notre groupe de sujets à faibles habiletés. 23 sujets à fortes habiletés ( $M = 64.71$ ,  $SD = 7.66$ ) et 26 sujets à faibles habiletés ( $M = 45.90$ ,  $SD = 6.43$ ) constituaient nos deux groupes de participants. La différence entre les scores obtenus par les sujets à fortes habiletés et ceux obtenus par les sujet à faibles habiletés se révèle fortement significative,  $F(1,47) = 87.23$ ,  $p < .001$ . Ces sujets étaient ensuite distribués parmi les trois niveaux de contrôle de l'animation (i.e., non contrôlable, partiellement contrôlable, totalement contrôlable). Les tests post-hoc indiquent une différence entre les groupes de sujets à fortes et à faibles habiletés pour chaque niveau de contrôle et entre chaque niveau de contrôle ( $p < .01$ , Newman-Keuls test). De plus, ces tests post-hoc n'indiquent aucune différence significative entre les groupes de sujets à fortes habiletés pour les trois niveaux de contrôle ( $p > .05$ , Newman-Keuls test), et n'indiquent aussi aucune différence significative entre les groupes de sujets à faibles habiletés pour les trois niveaux de contrôle ( $p > .05$ , Newman-Keuls test).

Cette première étape effectuée, on présentait individuellement aux participants, sur un écran d'ordinateur, la leçon portant sur le système de poulie. La tâche des participants étaient identique à celle utilisée pendant l'expérience 1. Cette tâche consistait à comprendre le plus précisément possible le fonctionnement du système de poulies à partir du texte explicatif et d'un des niveaux de contrôle de l'animation. Le temps d'étude de la leçon était libre. Néanmoins, les participants devaient faire fonctionner l'animation au moins trois fois.

Une fois la consultation de la leçon terminée, les participants devaient répondre au questionnaire de compréhension présenté sous la forme d'un feuillet.

## **4.2.Résultats**

### ***Performances au test de compréhension***

Le nombre de réponses correctes moyens ainsi que les écarts-types au test de compréhension pour chaque indicateur (configuration, cinématique local, modèle mental fonctionnel) est présenté dans le tableau 4.4.

	Niveaux de contrôle			
	Animation non contrôlable N = 14	Animation partiellement contrôlable N = 15	Manipulation (contrôle total) N = 16	Toutes les versions
<b>Configuration</b>				
Fortes habiletés N = 22	86.30 (4.63)	92.26 (7.39)	93.23 (6.27)	90.71 (6.67)
Faibles habiletés N = 23	77.97 (6.23)	89.06 (9.94)	85.42 (10.45)	84.42 (9.90)
Tous les participants	82.14 (6.82)	90.56 (8.7)	89.32 (9.25)	87.5 (8.97)
<b>Cinématique locale</b>				
Fortes habiletés N = 22	80.31 (19.36)	67.46 (16.6)	77.64 (21.87)	75.25 (19.39)
Faibles habiletés N = 23	66.82 (17.43)	76.81 (24.71)	69.03 (13.06)	71.06 (18.72)
Tous les participants	73.57 (19.03)	72.44 (21.13)	73.33 (17.96)	73.11 (18.95)
<b>Modèle mental fonctionnel</b>				
Fortes habiletés N = 22	51.78 (11.24)	42.86 (12.2)	37.5 (20.04)	43.75 (15.78)
Faibles habiletés N = 23	42.85 (22.65)	62.5 (22.16)	57.81 (23.09)	54.89 (23.15)
Tous les participants	47.32 (17.79)	53.33 (20.3)	47.66 (23.37)	49.44 (20.46)

Tableau 4.4. Pourcentage moyen de réponses correctes aux trois indicateurs de compréhension en fonction de chaque niveau de contrôle pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écart-types sont entre parenthèses.

Nous avons conduit une ANOVA incluant les trois niveaux de contrôle, les deux niveaux d'habiletés mécaniques et spatiales, ainsi que les trois indicateurs de compréhension. Cette ANOVA ne révèle pas d'effets significatifs du niveau de contrôle et du niveau des habiletés mécaniques et spatiales des participants. Par ailleurs, comme pour l'expérience 1, l'analyse indique un effet significatif entre les différents indicateurs de compréhension,  $F(2, 78) = 72.71$ ,  $p < .001$ . Cet effet indique que les performances aux questions portant sur la configuration du système (87.38%) sont supérieures à celles portant sur les aspects cinématiques locaux (73.01%), et celles-ci sont supérieures à celles portant sur le modèle mental fonctionnel (49.22%), voir figure 4.20.

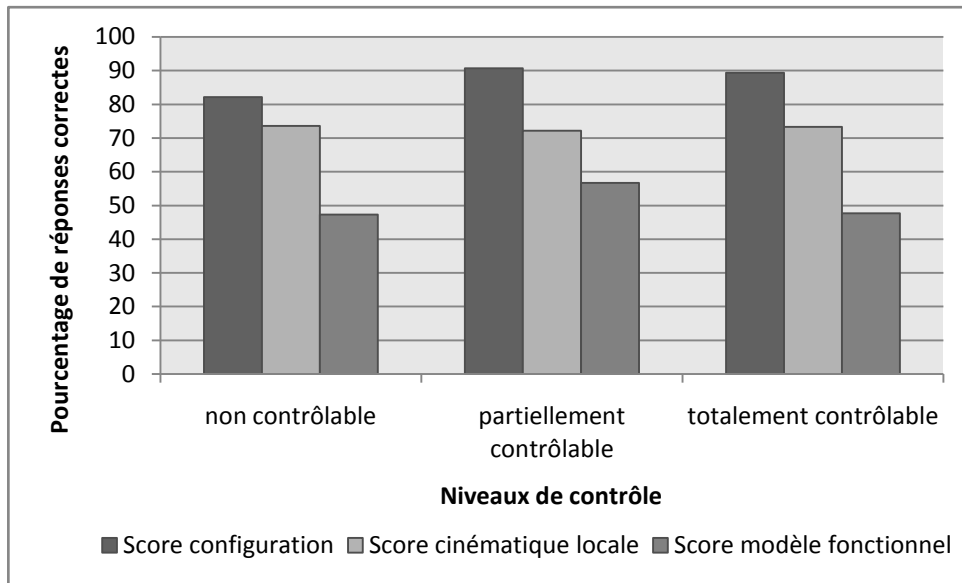


Figure 4.20. Pourcentage de réponses correctes aux différents niveaux de compréhension selon les différents niveaux de contrôle de l'animation

L'interaction entre les niveaux de contrôle et les habiletés des participants se montre tendancielle,  $F(2, 39) = 2.75$ ,  $p = .076$ . Cette interaction indique que les participants avec de fortes habiletés obtiennent des performances supérieures (72.80%) à celles obtenues par les participants à faibles habiletés (62.55%) pour la version non contrôlable, tandis que les participants à faibles habiletés obtiennent des performances supérieures (76.12%) à celles obtenues par les participants à fortes habiletés (67.53%) pour la version partiellement contrôlable (figure 4.21).

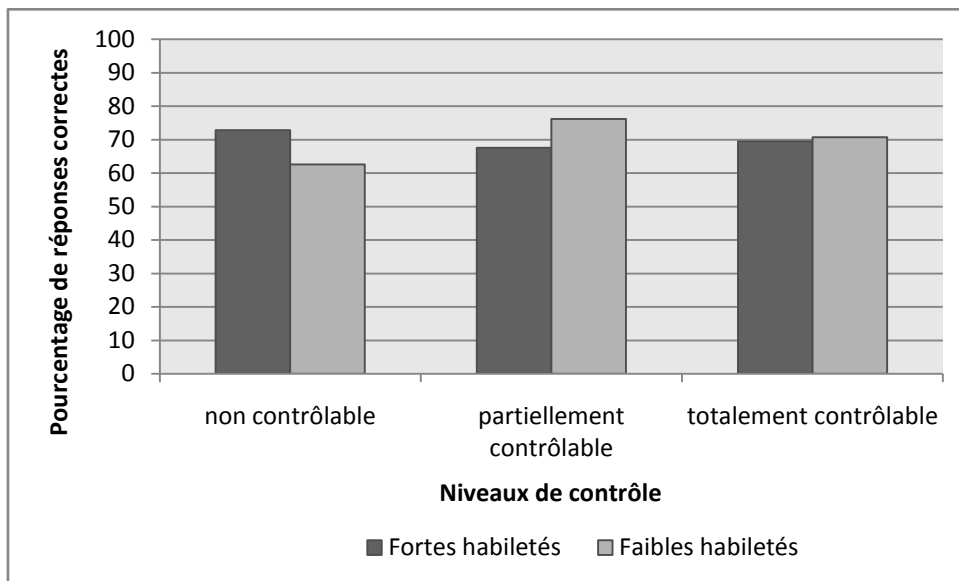


Figure 4.21. Pourcentage de réponses correctes aux différents niveaux de compréhension en fonction des différents niveaux de contrôle de l'animation et des habiletés mécaniques et spatiales des apprenants

Par ailleurs, l'ANOVA indique un effet d'interaction significatif entre le niveau d'habileté des participants et les indicateurs de compréhension,  $F(2, 78) = 4.08$ ,  $p = .021$ . Les participants avec de fortes habiletés obtiennent des performances de compréhension supérieures à celles obtenues par les participants à faibles habiletés uniquement pour les questions portant sur la configuration ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 90.60\%$ ,  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 84.15\%$ ) et sur les aspects cinématiques locaux ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 75.14\%$ ,  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 70.89\%$ ), pas pour celles portant sur le modèle mental fonctionnel ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 44.05\%$ ,  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 54.39\%$ ). Les comparaisons planifiées pour chaque groupe indiquent une différence significative entre l'animation non contrôlable et l'animation partiellement contrôlable pour le groupe de participants avec de fortes habiletés,  $t(44) = 2.41$ ,  $p = .02$ . L'analyse pour le groupe de participants avec de fortes habiletés révèle une interaction significative entre les trois niveaux de contrôle et les trois indicateurs de compréhension,  $F(4, 43) = 3.19$ ,  $p = .02$ . Cette interaction indique que contrairement à la version non contrôlable, les deux autres versions semblent perturber l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel du système.

Nous avons effectué trois autres ANOVA pour chacun des indicateurs de compréhension.

Concernant le niveau portant sur la configuration, les performances sont améliorées par l'utilisation d'une animation partiellement contrôlable (90.66%) plutôt que par celle d'une animation non contrôlable (82.14%),  $F(2, 39) = 4.86$ ,  $p = .013$ . De plus les participants avec de fortes habiletés obtiennent de meilleures performances (90.60%) que ceux avec de faibles habiletés (84.15%),  $F(1, 39) = 7.5$ ,  $p < .01$ .

Pour le niveau concernant les aspects cinématiques locaux, nous n'observons aucun effet significatif du niveau de contrôle, ni du niveau des habiletés des participants.

Finalement, en ce qui concerne le niveau de compréhension portant sur le modèle mental fonctionnel, les résultats ne montrent pas d'effet significatif du niveau de contrôle mais indique un effet tendanciel des habiletés préalables des participants,  $F(1, 39) = 3.17$ ,  $p = .08$ . Par ailleurs l'interaction entre ces deux variables se révèle également tendanciel,  $F(2, 39) = 2.67$ ,  $p = .08$ . Les participants avec de faibles habiletés semblent obtenir de meilleures performances que les participants avec de fortes habiletés avec une animation partiellement contrôlable ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 42.86\%$ ,  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 62.50\%$ ) plutôt qu'avec une animation

non contrôlable ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 51.79\%$ ,  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 42.86\%$ ),  $F(1, 39) = 3.82$ ,  $p = .057$ . De façon inattendue, les résultats font apparaître que les versions contrôlables semblent ne pas avoir d'effet, si ce n'est de perturber la compréhension, pour les participants avec de fortes habiletés, alors que ces versions améliorent considérablement les performances des participants avec de faibles habiletés,  $F(1, 39) = 4.37$ ,  $p = .04$  pour l'animation totalement contrôlable et  $F(1, 39) = 3.82$ ,  $p = .057$  pour l'animation partiellement contrôlable.

En résumé, l'élaboration d'un modèle mental efficient, chez les apprenants avec de faibles aptitudes mécaniques et spatiales, est facilitée par le contrôle d'une animation et particulièrement par un contrôle partiel de cette animation. Par ailleurs, en ce qui concerne l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel par les apprenants avec de fortes aptitudes mécaniques et spatiales, le contrôle d'une animation se révèle inefficace voir perturbant. Pour eux, une simple illustration statique ou dynamique semble être parfaitement adaptée.

### *Durée d'étude du document*

Une animation qui peut être contrôlée implique plus d'interactivité de la part des apprenants. On peut aisément imaginer qu'une animation contrôlable entraîne une durée d'étude plus longue qu'une animation impliquant peu ou pas de contrôle. Ceci est une des caractéristiques inhérente au contrôle d'une animation. Nous allons analyser ces durées (présentées dans le tableau 4.5) pour évaluer leurs impacts sur la compréhension.

	Animation non contrôlable	Animation partiellement contrôlable	Manipulation (contrôle total)	Toutes les versions
	N = 14	N = 14	N = 15	
Fortes habiletés	136	213.29	179.43	176.24
N = 21	(36.13)	(51.28)	(65.63)	(59.36)
Faibles habiletés	174.57	281	230.38	228.72
N = 22	(57.08)	(97.59)	(142.52)	(110.96)
Tous les participants	155.29	247.14	206.06	
	(50.07)	(82.73)	(112.67)	

Tableau 4.5. Durée d'étude moyenne (en secondes) du document pour chacun des niveaux de contrôle de l'animation en fonction du niveau des habiletés mécaniques et spatiales des apprenants

En accord avec la variation des observations entre les diverses modalités de contrôle et d'habiletés présentées dans le tableau 4.5, l'analyse conduite révèle une différence significative entre la durée d'étude du document pour les différents niveaux de contrôle de l'animation,  $F(2,37) = 4.08$ ,  $p = .025$ . La durée d'étude du document est plus longue lorsque l'animation est partiellement contrôlable (247.14s) plutôt que lorsqu'elle est non contrôlable

(155.29s),  $F(1, 37) = 8.14$ ,  $p = .007$ . Par ailleurs aucune différence entre la durée d'étude du document n'est observée entre une animation non contrôlable et une animation totalement contrôlable ainsi qu'entre une animation partiellement contrôlable et une animation totalement contrôlable. L'analyse révèle aussi un effet tendanciel des différents niveaux d'habiletés mécaniques et spatiales,  $F(1, 37) = 4.06$ ,  $p = .051$ , les apprenants avec de faibles aptitudes mécaniques et spatiales étudient le document plus longtemps (176.24s) que les apprenants avec de fortes aptitudes (228.65s).

Tout comme dans la première expérience, nous avons effectué une analyse de variance en incluant la durée d'étude comme facteur covariant (ANCOVA) pour voir si les effets, obtenus sur les performances portant sur le modèle mental fonctionnel, persistaient malgré le contrôle de ce facteur.

Cette analyse ne montre aucun effet du niveau des habiletés des sujets comme nous l'indiquait la première ANOVA réalisée sur les performances portant sur le modèle mental fonctionnel. Par ailleurs, cette analyse révèle désormais un effet d'interaction significatif entre les différents niveaux de contrôle et le niveau des habiletés des sujets,  $F(2, 36) = 3.53$ ,  $p = .039$ . Cet effet n'apparaissait que tendanciel lors de notre première ANOVA.

Cette analyse met donc en évidence de façon plus significative que les sujets à fortes habiletés semblent être ennuyés, induisant de mauvaises performances de compréhension, avec les versions contrôlables de l'animation, du fait d'un temps d'étude rapide. Au contraire, ces versions contrôlables semblent améliorer les performances des sujets à faibles habiletés.

### **4.3. Conclusions**

Dans cette seconde expérience, nous avons mis en évidence que les performances de compréhension d'un système de poulies sont améliorées par une animation partiellement contrôlable uniquement pour les apprenants à faibles aptitudes mécaniques et spatiales. Cet effet n'existe pas pour les apprenants à fortes aptitudes. Pour ces sujets une animation sans contrôle ou avec un contrôle minimum est tout à fait adaptée pour qu'ils construisent efficacement un modèle mental fonctionnel. Il se peut que le fait de présenter des animations contrôlables en plus d'un texte au contenu très explicite, ne doit pas être nécessairement utile pour des sujets ayant de fortes connaissances préalables. Ils n'ont pas besoin de cette surabondance d'informations ces informations leur étant déjà d'un accès facile.

Tout comme dans l'expérience 1, l'effet des versions contrôlables chez les apprenants à faibles aptitudes concerne particulièrement la question se rapportant au modèle mental



fonctionnel. Cela confirme que ce niveau est le niveau d'intégration cognitive le plus profond dans la compréhension du système de poulies.

Les performances de compréhension aux questions portant sur la configuration du système sont supérieures à celles portant sur les aspects cinématiques locaux de chaque élément du système, elles mêmes supérieures à celles portant sur le modèle mental fonctionnel. Ceci indique que réaliser une décomposition du système et comprendre les comportements individuels de chaque élément (Narayanan & Hegarty, 1998) n'est pas suffisant pour élaborer un modèle mental fonctionnel et accéder à une compréhension complète du fonctionnement du système de poulies.

En résumé, le fait d'introduire du contrôle sur une animation, de maintenir une continuité perceptive et de décomposer le fonctionnement du système en plusieurs états distincts devrait faciliter la construction d'un modèle mental fonctionnel du système de poulies chez les apprenants à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Cela doit leur permettre d'élaborer les bonnes inférences entre les différents états du processus. A l'opposé, une animation non contrôlable semble être plus efficace pour la construction d'un modèle mental fonctionnel chez les apprenants à fortes habiletés.

## **5. Synthèse sur les deux expériences**

Le but de ces deux expériences était de tester deux solutions pour améliorer la construction d'un modèle mental fonctionnel à partir d'illustrations statiques ou animées. Nous avons exploré deux solutions pour améliorer l'appréhension des caractéristiques externes du système. La première concernait le format de l'illustration et la seconde concernait le contrôle de l'animation.

Dans la première expérience, nous avons mis en évidence qu'une représentation multiple avec 5 schémas juxtaposés représentant séquentiellement et spatialement différents états du système de poulies, tout comme une représentation animée, permettait aux apprenants de construire une représentation mentale animée efficiente. Nous avons également mis en évidence qu'une illustration statique unique ainsi qu'une représentation multiple séquentielle mais pas spatiale ne permettaient pas aux apprenants d'élaborer un modèle mental fonctionnel correct du système. Le fait que le nombre d'informations présentées dans le format de présentation statique unique est moins important que pour les trois autres formats peut expliquer ces résultats.

Concernant le format de présentation avec 5 schémas séquentiels, le nombre d'informations délivrées n'est pas la raison pour laquelle les apprenants parviennent à

élaborer une représentation animée de moins bonne qualité que pour le format 5 schémas juxtaposés et animés. En effet ces deux formats délivrent exactement le même nombre d'informations. Le fait de visualiser des illustrations qui effacent les illustrations précédentes empêche d'appréhender la continuité perceptive dans le fonctionnement du système. Une présentation avec 5 schémas intégrés spatialement permet de comparer directement les différents états du système et semble améliorer la construction d'un modèle mental fonctionnel particulièrement pour les apprenants ayant de faibles aptitudes.

Par ailleurs, l'animation permettant de visualiser le fonctionnement du système permet également d'améliorer la construction d'un modèle mental fonctionnel. Ces résultats ont récemment été confirmés dans une étude portant sur les processus catalytiques. Hoeffler & Leutner (2007) ont comparé une animation à une série de quatre et de onze images statiques issues de l'animation. Ces illustrations statiques étaient présentées séquentiellement. Les résultats indiquaient que les performances des apprenants étaient meilleures lorsqu'ils étudiaient l'animation plutôt que les deux versions statiques.

Dans la seconde expérience, nous avons mis en évidence un effet du niveau de contrôle d'une illustration animée sur les performances en compréhension uniquement pour les participants ayant de faibles habiletés spatiales et mécaniques. L'amélioration des performances concerne le niveau de contrôle partiel et non pas le contrôle total de l'animation. Une animation non contrôlable convient parfaitement pour les participants avec de fortes aptitudes. Pour ces sujets, nous observons que les deux modalités contrôlables conduisent à une détérioration des performances de compréhension. Lowe (1999, 2004) ne montrait pas d'effet d'une animation contrôlable avec un contenu conceptuel. Schwan & Riempp (2004) ont mis quant à eux en évidence un fort effet d'une animation contrôlable pour une tâche procédurale. Les résultats que nous obtenons dans cette seconde expérience, portant sur un système mécanique, sont congruents avec un pattern de résultats intermédiaires.

Les propriétés du contrôle d'une animation ne permettent pas aux apprenants qui traitent une animation de savoir quoi regarder, quand regarder et où regarder. Le guidage attentionnel pourrait être un moyen de diriger l'attention des apprenants sur les informations pertinentes de l'animation.

## Chapitre 5

### Fréquence d'exposition et guidage attentionnel<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Les expériences 4 et 5 de ce chapitre ont été soumises pour publication dans la revue *Cognition and Instruction* : Schneider, E. & Boucheix, J.M. (soumis). Guiding attention in understanding controllable animation : eye-tracking investigation.  
L'expérience 6 à été soumis pour publication dans la revue *Applied Cognitive Psychology* : Schneider, E. & Boucheix, J.M. (soumis). Spatial abilities and arrows in understanding mechanical system

Dans le chapitre précédent, nous avons montré que rendre une animation totalement contrôlable n'améliore pas forcément la compréhension. Un contrôle partiel qui fixe les séquences clés, que l'on peut contrôler est apparu bénéfique pour les apprenants disposant de faibles aptitudes mécaniques et spatiales. Ces résultats sont en accord avec les travaux récents portant sur le contrôle (Lowe, 2004, Bétrancourt & Réalini, 2005, Bogacz & Trafton, 2005, Mayer, Hegarty, Mayer & Campbell, 2005). Permettre à un apprenant, qui a des difficultés pour déterminer et extraire les informations pertinentes, d'exercer un contrôle total sur l'animation ne lui facilite pas nécessairement la tâche. L'apprenant ne pourra pas se servir à bon escient du contrôle de l'animation.

On peut penser que savoir quoi et comment regarder revêt un enjeu cognitif plus important que le degré d'interactivité sur l'animation.

Le principe de guidage attentionnel défini par Bétrancourt (2005) indique qu'il peut être efficace de guider les apprenants durant leur traitement de l'animation de telle sorte qu'ils prennent en compte ces changements des processus décrit au bon moment.

Dans cette perspective, nous avons réalisé quatre expériences visant à améliorer l'extraction des informations pertinentes. Nous avons exploré trois possibilités. La première concerne la fréquence d'exposition des apprenants à l'animation, la seconde possibilité est centrée sur l'orientation l'attention des apprenants en leur spécifiant des tâches à réaliser et enfin la troisième possibilité vise à diriger l'attention des apprenants à l'aide d'indicateurs attentionnels graphiques présents dans l'illustration.

### **1. L'exposition à l'animation**

Dans la plupart des expériences portant sur les animations, nous ne savons pas combien de fois et comment les apprenants utilisent l'animation surtout si elle est contrôlable. Dans la première expérience de ce chapitre, nous avons étudié l'effet de la fréquence d'expositions de l'apprenant à une animation. Dans la majorité des expériences portant sur les animations, l'exposition réelle de l'apprenant à l'animation, partielle ou entière, peut être faible (une fois ? deux fois ?). Cela peut être une des raisons pour lesquelles l'individu n'a pas le temps de construire une représentation mentale animée correcte du processus.

En effet le caractère éphémère des animations implique certaines difficultés dans le traitement cognitif de celles-ci. Les apprenants doivent être capables de traiter un grand nombre de changements simultanés dans un laps de temps souvent assez réduit. Ainsi, les apprenants qui visualisent l'animation peu de fois pourraient construire une représentation mentale éphémère du système, alors que ceux qui la visualisent entièrement plusieurs fois

pourraient construire une représentation perceptive plus stable. Cette représentation perceptive pourrait faciliter la mise en œuvre des traitements cognitifs tels que la réalisation d'inférences, favorisant la construction d'un modèle mental.

Nous pouvons supposer que plus un apprenant sera exposé à une animation, plus il devrait être capable d'extraire les informations pertinentes de celle-ci et ainsi se construire une représentation plus exacte du système.

## **2. Le guidage attentionnel**

Le principe de *signaling* (Mayer, 2005, Harp & Mayer, 1998, Mautone & Mayer, 2001) décrit le fait que les apprenants apprennent plus profondément à partir d'un support lorsqu'il est accompagné d'indices pour mettre en lumière l'organisation du matériel présenté. L'ajout d'indices attentionnels permet aux apprenants qui sont engagés dans un traitement cognitif de savoir comment traiter le matériel auquel ils sont confrontés. Autrement dit, ces indices fournissent une aide pour sélectionner les informations pertinentes, organiser ces informations logiquement et intégrer ces informations avec les connaissances stockées en mémoire à long terme (Mayer, 1996, 1997, Mautone & Mayer, 2001). Cette technique de « *signaling* » provient d'études en compréhension de texte (Meyer, 1975) où il prenait la forme de titres, de paragraphes, de polices différentes, de soulignement, de couleurs.

Bétrancourt (2005) indique que l'on peut guider l'attention des sujets en utilisant plusieurs types d'indices, tels que des commentaires verbaux, des titres, des résumés ou encore des indices graphiques comme des flèches ou des couleurs. Les quelques études portant sur l'utilisation de signes ou d'indices chez des adultes ont montré qu'ils facilitent le traitement cognitif de leçons incluant des illustrations statiques ou des graphiques (Harp & Mayer, 1998, Mautone & Mayer, 2001, Shah, Mayer & Hegarty, 1999). Ainsi, nous pouvons supposer que l'utilisation de signaux, tel qu'un guidage verbal vers les éléments pertinents (Mautone & Mayer, 2001, Boucheix & Guignard, 2005, Boucheix, sous presse) ou un guidage graphique, comme l'utilisation de flèches (Mautone & Mayer, 2001, Heiser & Tversky, 2002, Boucheix, sous presse, Kriz & Hegarty, 2007), de couleurs (Keller, Gerjets, Scheiter & Garosffky, 2006), d'icônes (Tversky, Zacks, Lee & Heiser, 2000), ajouté à une animation pourrait en faciliter sa compréhension.

### **2.1.L'effet du guidage attentionnel sur les performances de compréhension**

Mautone & Mayer, 2001 ont testé la compréhension d'une leçon multimédia portant sur les caractéristiques physiques d'un avion en vol. Ainsi, à l'aide de deux expériences, ils

ont comparé des leçons sans signaux à des leçons intégrant des indices verbaux dans un texte écrit et dans texte narré. Les indices avaient pour rôle d'organiser, de connecter les notions et de partager le mécanisme (titre, résumé, mots de connexions). Dans une troisième expérience, ils ont comparé une version avec des indices verbaux et une animation incluant des flèches de couleurs, des couleurs et des icônes intégrés pour orienter l'attention sur les aspects pertinents de l'animation. Les résultats ont révélé que les indices verbaux, dans un texte (écrit ou narré), amélioraient les performances dans une tâche de transfert impliquant la résolution de problèmes. Néanmoins ces indices amélioraient très peu les performances dans une tâche de rétention.

Boucheix & Guignard (2005), dans une leçon multimédia sur le fonctionnement des engrenages, ont étudié le rôle des indices attentionnels chez des enfants. Dans la condition avec indice, quatre types de signaux étaient utilisés. Le premier était des points de couleur sur chaque roue d'engrenage. Le second était des flèches indiquant la rotation des engrenages. Le troisième était un compte tour indiquant la vitesse de rotation. Enfin, le quatrième type de guidage était des petits paragraphes qui orientaient l'attention des enfants sur les signes (regarde... pour l'illustration animée et imagine...pour l'illustration statique). Les résultats ont montré un effet positif des indices attentionnels pour le test de compréhension immédiate et pour le test de rétention différée, en particulier lorsque l'apprenant contrôle le déroulement de la présentation.

Ces résultats ont été répliqués dans l'étude de Boucheix (sous presse), dans laquelle il comparait également une version avec des indicateurs attentionnels (flèches vertes, comptes tours et messages verbaux écrits) à une version sans indicateurs d'une présentation d'une leçon portant sur les engrenages chez des élèves de CM1 et CM2 (figure 5.1). Les performances en compréhension étaient améliorées par la présence d'indices attentionnels seulement pour les sujets ayant de faibles aptitudes spatiales et connaissances préalables.

Il semble que l'ajout d'indices attentionnels permettent aux apprenants de centrer leur attention sur les informations dynamiques pertinentes délivrées par l'animation et ainsi d'améliorer leur compréhension. Néanmoins, dans toutes les études, les indices attentionnels sont de natures différentes : indices graphiques et indices verbaux. Ces signaux sont très différents et il est donc difficile d'attribuer les bénéfices sur la compréhension à l'un ou l'autre de ces indices.

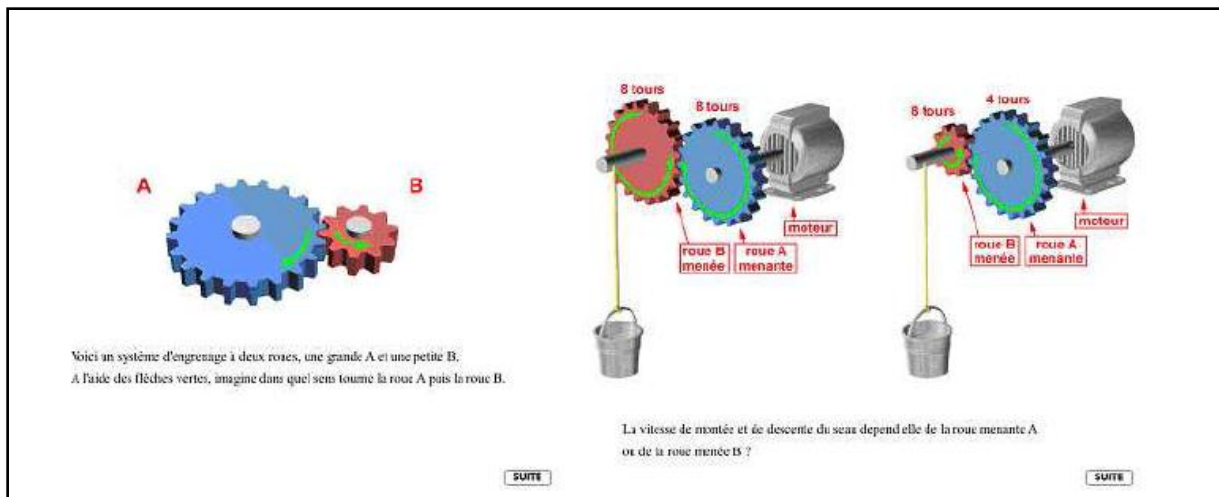


Figure 5.1. Version de la leçon incorporant des indices attentionnels tiré de Boucheix (sous presse).

Toutes ces expériences montrent un effet positif du *signaling* dans la compréhension. Néanmoins, ces études ont combiné plusieurs types d'indicateurs attentionnels. Ainsi il est impossible d'isoler l'effet de chacun.

## 2.2. Les différents types d'indicateurs attentionnels

Récemment, Mautone & Mayer (2007) ont proposé un modèle cognitif de la compréhension de graphiques (figure 5.2) qui distingue (1) plusieurs type d'aide cognitive que l'on peut ajouter au graphique ainsi que (2) le type de traitements cognitifs qui est amorcé par ces différentes aides cognitives. Ce modèle indique aussi (3) le type de test qui peut être utilisé pour mesurer l'efficacité de l'aide cognitive.

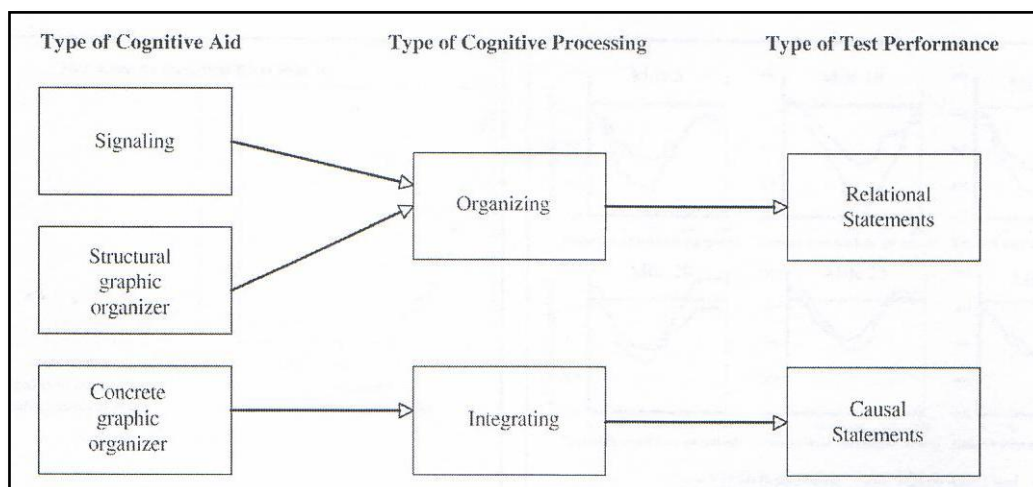


Figure 5.2. Modèle cognitif de la compréhension de graphique. Tiré de Mautone & Mayer (2007).

Sur la base du modèle de *selecting-organizing-integrating* (SOI) décrit par Mayer (1996, 2003), les auteurs ont mis en évidence deux types de processus cognitifs dans la compréhension de documents multimédia : l'organisation des informations pertinentes pour élaborer une structure cohérente en mémoire de travail, et l'intégration des informations pertinentes avec les connaissances préalables stockées en mémoire à long terme. Trois types d'aides cognitives peuvent être ajoutés à un graphique pour faciliter l'un ou l'autre de ces processus cognitifs : le « *signaling* », les organisateurs concrets du graphique et les organisateurs structurels du graphique.

Le « *signaling* » oriente l'attention des apprenants vers les éléments pertinents du système sans ajouter d'informations supplémentaires.

Les organisateurs structurels du graphique orientent l'attention des apprenants sur les relations structurelles indiquées dans le graphique, et ce indépendamment du contenu. Il s'agira par exemple de la présentation préalable d'une comparaison du matériel présenté avec un autre matériel ayant les mêmes caractéristiques. Ces deux types d'aides cognitives facilitent le processus d'organisation (*traitements bottom-up*) des informations sélectionnées (Mautone & Mayer, 2001, Mayer, 2005)

Les organisateurs concrets du graphique font référence au matériel préalable (par exemple une métaphore analogique sous forme graphique) présenté avant un texte ou un graphique, et qui amorcent ou fournissent des connaissances préalables utiles pour diminuer les difficultés de traitement du support principal et établir les relations causales indiquées dans le graphique (*traitements top-down*). Ils guident le processus cognitif d'intégration (Mayer, 1979, 2003).

Ces différents types d'aides peuvent prendre différentes formes concrètes tel que des flèches ou encore des consignes verbales. Les recherches qui combinent plusieurs types d'indicateurs attentionnels ne permettent pas d'isoler l'effet de chacun. Néanmoins, il est important pour un concepteur de document multimédia de savoir quels indicateurs attentionnels ont un effet positif sur la compréhension pour pouvoir les introduire seul ou en combinaison dans les supports.

Certaines recherches ont testé l'effet d'un seul type d'indicateur, celui des flèches directionnelles. Ces recherches ont montré que les indices intégrés dans l'animation n'étaient pas bénéfiques, mais que les indices intégrés dans une illustration statique amélioreraient la compréhension d'un système complexe. Les indices attentionnels graphiques ne fournissent



pas d'informations supplémentaires à une animation. Heiser & Tversky (2002), dans une expérience étudiant le rôle des flèches dans la compréhension et la description de systèmes mécaniques complexes (pompes de vélo, freins de voiture, systèmes de poulies), ont montré que le fait d'introduire ces indices dans une illustration statique permet la transmission des informations concernant le fonctionnement des systèmes de façon efficiente. Néanmoins, il s'avère que les bénéfices dans la compréhension globale des systèmes complexes liés aux flèches ne sont présents que pour les apprenants avec de fortes aptitudes mécaniques.

Plus récemment, Kriz & Hegarty (2007), ont évalué l'effet de la présentation d'indices attentionnels dans une animation sur la compréhension d'un système de chasse d'eau. Ils ont testé la présence ou l'absence de flèches dans une illustration statique ou animée d'un système de chasse d'eau. Dans la condition avec indices, deux types de flèches étaient utilisés, des flèches indiquant une direction de mouvement et des flèches pointant l'occurrence d'un événement. Les résultats obtenus indiquent que la présence d'indices attentionnels (tel que des flèches) ne contribue pas à une meilleure compréhension du système.

Dans une seconde expérience, les auteurs ont examiné la présence ou l'absence de flèches dans une illustration animée contrôlable et non contrôlable d'un système de chasse d'eau. Les résultats indiquaient que les participants qui étudiaient l'animation avec des flèches regardaient plus souvent les aires (mesures de mouvements oculaires) mis en évidence par les flèches que les participants qui étudiaient l'animation sans flèches. Néanmoins, ces participants n'obtenaient pas de meilleures performances au test de compréhension. En résumé, les indices graphiques ne sont pas efficaces dans le traitement d'une animation et particulièrement pour les apprenants avec de faibles aptitudes spatiales.

Ainsi un guidage attentionnel à l'aide consignes courtes qui orientent l'attention vers les éléments pertinents pourrait améliorer la compréhension d'une animation. Le guidage verbal fournit aux apprenants des informations précises permettant la construction d'une représentation dynamique plus cohérente et profondément structurée (Seufert & Brünken, 2006).

Par ailleurs, une illustration statique accompagnée d'indices attentionnels graphiques permettrait aux apprenants d'effectuer certaines inférences sur les relations dynamiques entre les composants du système. Au même titre qu'une animation permet de visualiser explicitement ces relations.

Dans les expériences 4 & 5 nous avons exploré l'influence de différentes instructions verbales sur la compréhension d'une animation, contrôlable et non contrôlable, d'un système

mécanique. Nous avons également exploré le rôle du texte dans la compréhension d'un système mécanique par comparaison des deux expériences. Dans l'expérience 6, nous avons exploré l'influence de deux types de flèches, indiquant les sens de rotation et les directions du mécanisme, sur la compréhension d'une illustration statique et d'une illustration animée.

### **3. Expérience 3**

L'objectif de la troisième expérience est d'étudier la fréquence d'exposition à l'animation pour faciliter le traitement des processus dynamiques d'un système mécanique de poulies. Nous comparerons une fréquence d'exposition d'une fois, cinq fois et dix fois d'une animation non contrôlable, partiellement contrôlable ou totalement contrôlable. Les conditions de présentation étaient accompagnées d'un texte explicatif.

Les apprenants devraient construire des représentations perceptives plus précises leur permettant d'effectuer une intégration plus efficace. Ils devraient obtenir de meilleures performances de compréhension, lorsqu'ils sont exposés de nombreuses fois à l'animation. Les performances au score de compréhension devraient être meilleures pour les conditions contrôlables, et particulièrement pour la version totalement contrôlable, permettant d'adapter le déroulement de l'animation au traitement cognitif des participants.

#### **3.1.Méthode**

##### *Sujets*

Un groupe de cent trente-six étudiants de premier cycle de psychologie de l'université de Bourgogne, composé de cent vingt et une filles et quinze garçons, ont participé à cette expérience pour obtenir des points d'expérience.

##### *Matériel de la tâche expérimentale*

Comme dans les deux premières expériences, le matériel utilisé est inspiré de celui utilisé par Hegarty & Just (1993). Il consistait en une leçon multimédia incluant un texte et une illustration animée décrivant le même système mécanique complexe de poulies.

Dans cette troisième expérience, nous avons utilisé les trois versions se rapportant aux trois niveaux de contrôle de l'animation par l'apprenant utilisées dans l'expérience 2. On présentait aux participants, selon la condition expérimentale dans laquelle ils étaient placés, soit un texte accompagné d'une animation dynamique non contrôlable, soit d'une animation dynamique partiellement contrôlable, soit d'une animation interactive ou totalement

contrôlable. Le texte présenté au sujet était le même que celui utilisé dans les expériences précédentes.

La version non contrôlable consistait en une illustration animée d'un système de trois poulies. Les participants pouvaient démarrer l'animation comme ils le souhaitaient par un simple clic avec la souris dans la zone de l'illustration.

La version partiellement contrôlable, consistait en une illustration animée séquentielle du système de poulies. Les participants pouvaient contrôler l'animation séquence par séquence en cliquant dans la zone de l'illustration.

Concernant la version totalement contrôlable, les participants pouvaient manipuler l'animation comme ils le désiraient après avoir cliqué avec la souris sur le bout de la corde du haut.

### ***Mesures de mémorisation et de compréhension***

L'étude du système terminée, on demandait aux participants de répondre à trente-six questions présentées sur l'écran d'ordinateur qui avaient pour but de mesurer leur mémorisation et leur compréhension. Les participants devaient répondre aux questions présentées par vrai ou faux le plus rapidement et le plus correctement possible en cliquant sur les touches du clavier appropriées (la touche « l » avec une gommette verte correspondait à la réponse vrai et la touche « s » avec une gommette rouge correspondait à la réponse fausse). Les participants n'avaient aucune indication sur la véracité de leurs réponses. Tout comme dans les deux premières expériences, nous avons déterminé plusieurs types d'indicateurs de mémorisation et de compréhension. Une première série de dix questions concernait la configuration des différents éléments du système de poulies (eg. La poulie du bas est en contact avec la poulie du milieu ?). Une seconde série de vingt questions se rapportait aux aspects cinématiques du système de poulies. Parmi ces vingt questions, dix-huit se présentaient sous une forme verbale (eg. Quand on tire sur la corde du haut toutes les poulies tournent) et huit se présentaient sous une forme graphique (eg. figure 5.3). Ces huit questions portaient uniquement sur le sens de rotation des poulies.

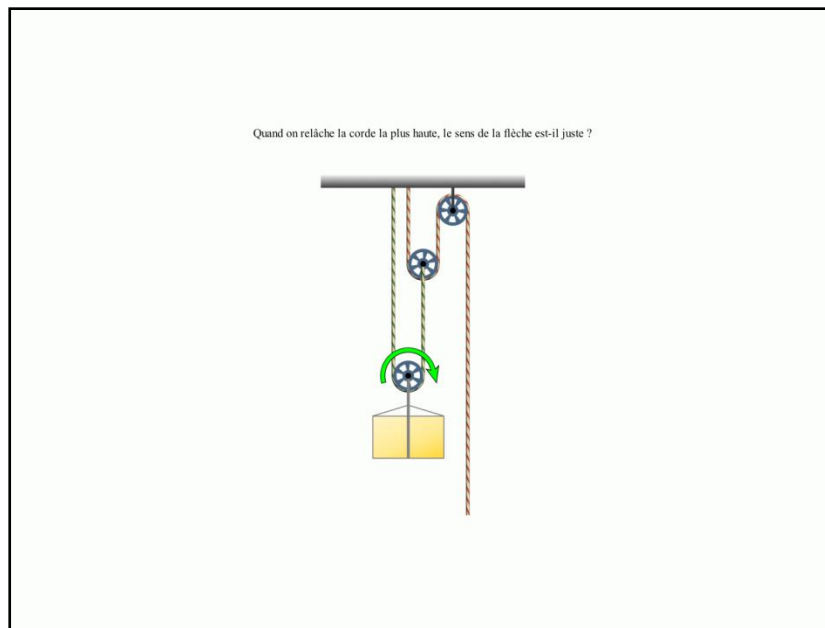


Figure 5.3. Exemple de question se rapportant aux aspects cinématiques présentée sous une forme graphique.

Une fois le questionnaire informatique terminé, les apprenants devaient répondre à une dernière question, se rapportant au modèle mental fonctionnel, sur une feuille. Cette dernière question était la même que celle utilisée lors des deux premières expériences (eg. Que se passe-t-il pour tous les éléments du système quand un individu tire sur la corde la plus haute ? Soit le plus précis possible). Chacun de ces indicateurs donnait lieu à un score. Pour tous les participants, nous mesurons un score portant sur la configuration du système, un score portant sur les aspects cinématiques locaux du système et un score portant sur le modèle mental fonctionnel. Par ailleurs, le score portant sur les aspects cinématiques locaux pouvait se diviser en deux sous-scores, un pour les questions verbales et un pour les questions graphiques.

Pour éviter tout biais dû à l'ordre de présentation des différentes questions, deux questionnaires ont été créés, afin de contrebalancer les réponses à ces questions. Plus clairement, lorsque la réponse à une question était vraie pour le questionnaire A, la réponse à la question se rapportant aux mêmes éléments était fautive pour le questionnaire B. De plus les questions étaient aléatorisées tout en gardant une position fixe pour les différents indicateurs. Les questions portant sur la configuration étaient toujours positionnées avant les questions portant sur les aspects cinématiques locaux (les questions verbales toujours avant les questions graphiques) et ces questions précédaient toujours la question portant sur le modèle mental fonctionnel.

### *Mesure des différences interindividuelles*

Afin de constituer nos groupes de sujets à fortes habiletés et à faibles habiletés spatiales et mécaniques, nous avons utilisé, tout comme dans les expériences précédentes, les tests relations spatiales et raisonnement mécaniques tirés de la batterie de tests du DAT5, une version française abrégée du test d'aptitudes différentielles (Bennett, Seashore & Wesman, 1973, 2002).

### *Procédure*

Dans un premier temps, on mesurait les habiletés mécanique et spatiale des participants de façon collective avec les deux tests appartenant au DAT5 pour différencier les sujets avec de fortes et de faibles habiletés mécaniques et spatiales. Du fait d'une corrélation significative ( $p < .01$ ) entre les performances aux deux tests, nous avons moyenné le score obtenu au test de raisonnement mécanique avec le score obtenu au test de relations spatiales pour tous les sujets. Ensuite, nous avons calculé le score médian qui délimitera la frontière entre les sujets à fortes et à faibles habiletés. Le score médian obtenu était de 56.67% de réponses correctes. Les sujets ayant obtenu un score supérieur ou égal à cette médiane constituent notre groupe de sujets à fortes habiletés alors que les sujets ayant obtenu un score inférieur à cette médiane constituent notre groupe de sujets à faibles habiletés. Ainsi faite, la répartition dissociait 69 sujets à fortes habiletés ( $M = 69.20$ ,  $SD = 9.82$ ) et 67 sujets à faibles habiletés ( $M = 46.40$ ,  $SD = 6.97$ ). La différence entre les scores obtenus par les sujets à fortes habiletés et ceux obtenus par les sujet à faibles habiletés se révèle fortement significative,  $F(1,134) = 242.25$ ,  $p < .0001$ . Ces sujets étaient ensuite distribués parmi les trois niveaux de contrôle de l'animation. Les tests post-hoc indiquent une différence entre les groupes de sujets à fortes et à faibles habiletés pour chaque et entre chaque niveau de contrôle ( $p < .01$ , Newman-Keuls test). De plus, ces tests post-hoc n'indiquent aucune différence significative entre les groupes de sujets à fortes habiletés pour les trois niveaux de contrôles ( $p > .05$ , Newman-Keuls test), et n'indiquent aussi aucune différence significative entre les groupes de sujets à faibles habiletés pour les trois niveaux de contrôle ( $p > .05$ , Newman-Keuls test).

Dans la seconde étape de l'expérience, on présentait collectivement aux participants, sur un écran d'ordinateur, la leçon portant sur le système de poulie. Leur tâche était de comprendre le plus précisément possible le fonctionnement du système de poulies à partir du texte explicatif et d'un des trois contrôles de l'animation. Le temps d'étude de la leçon était libre. Néanmoins, les participants devaient faire fonctionner l'animation soit une seule fois,

soit cinq, soit dix fois. Un entraînement permettant de s'exercer au contrôle de l'animation précédait toujours la tâche expérimentale.

La consultation de la leçon terminée, les participants devaient répondre au questionnaire de compréhension informatique puis à la question portant sur le modèle mental fonctionnel.

### 3.2. Résultats

#### *Performances au test de compréhension*

Le nombre de réponses correctes moyens ainsi que les écarts-types au test de compréhension pour chaque indicateur (configuration, cinématique local, modèle mental fonctionnel) sont présentées dans le tableau 5.1.

	Fortes habiletés			Faibles habiletés		
	Animation non contrôlable N = 24	Animation partiellement contrôlable N = 22	Manipulation (contrôle total) N = 23	Animation non contrôlable N = 22	Animation partiellement contrôlable N = 23	Manipulation (contrôle total) N = 22
<b>Configuration</b>						
1x N = 46	70 (18.52)	61.43 (13.45)	65 (16.04)	73.75 (17.68)	60 (14.14)	61.67 (19.41)
5x N = 47	83.75 (11.88)	76.25 (13.02)	76.25 (17.68)	67.14 (23.60)	61.25 (16.42)	68.75 (18.08)
10x N = 43	68.75 (17.27)	80 (11.55)	61.43 (10.69)	65.71 (15.12)	66.67 (19.66)	65 (16.04)
<b>Cinématique locale</b>						
1x N = 46	68.27 (12.96)	69.78 (13.77)	69.23 (8.72)	65.87 (9.95)	61.11 (11.45)	64.74 (8.91)
5x N = 47	78.37 (10.67)	63.94 (7.10)	70.19 (15.62)	64.29 (7.27)	62.50 (14.93)	65.87 (17.62)
10x N = 43	75.96 (17.17)	75.27 (14.19)	63.74 (14.87)	65.93 (16.38)	69.23 (12.64)	71.15 (14.24)
<b>Modèle fonctionnel</b>						
1x N = 46	46.25 (16.85)	45.71 (24.40)	52.50 (11.65)	42.50 (11.65)	36.67 (13.23)	38.33 (11.69)
5x N = 47	55 (22.04)	48.75 (15.53)	51.25 (15.53)	35.71 (9.76)	42.50 (22.52)	37.50 (20.53)
10x N = 43	53.75 (23.87)	60 (15.28)	51.43 (15.74)	55.71 (21.49)	46.67 (12.11)	46.25 (27.22)

Tableau 5.1. Pourcentage de réponses correctes aux trois indicateurs de compréhension en fonction de chaque niveau de contrôle et du nombre de répétition de l'animation pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écarts-types sont entre parenthèses.

Dans le but d'analyser ces performances, nous avons réalisé une ANOVA incluant les trois niveaux de contrôles, les trois nombre de présentation, les deux niveaux d'habiletés spatiales et mécaniques, ainsi que les trois indicateurs de compréhension. Cette ANOVA indique un effet significatif du niveau d'habileté,  $F(1, 118) = 10.36$ ,  $p = .0016$ . Les

performances des sujets à fortes aptitudes (64.53%) sont meilleures que celles des sujets à faibles aptitudes (57.87%). L'analyse révèle un effet significatif du type d'indicateur de compréhension,  $F(2, 236) = 119.98, p < .0001$ . Les performances à la question portant sur le modèle mental fonctionnel (47.03%) sont inférieures à celles des deux autres types de questions ( $M_{\text{configuration}} = 68.49\%$  &  $M_{\text{cinématique locale}} = 68.08\%$ ). L'analyse révèle également un effet d'interaction significatif entre le nombre de présentation et le type d'indicateur de compréhension,  $F(4, 236) = 2.41, p = .050$ . Cet effet indique que les performances concernant la question portant sur le modèle mental fonctionnel sont supérieures lorsque les apprenants traitent l'animation dix fois (52.30%) plutôt qu'une seule fois (43.66%),  $F(1, 118) = 4.96, p = .028$ . Il indique également que les performances concernant les questions portant sur la configuration sont supérieures lorsque les apprenants traitent l'animation cinq fois (72.23%) plutôt qu'une seule (65.31%),  $F(1, 118) = 4.13, p = .04$  (figure 5.4). Par ailleurs, les résultats n'indiquent aucun effet du contrôle.

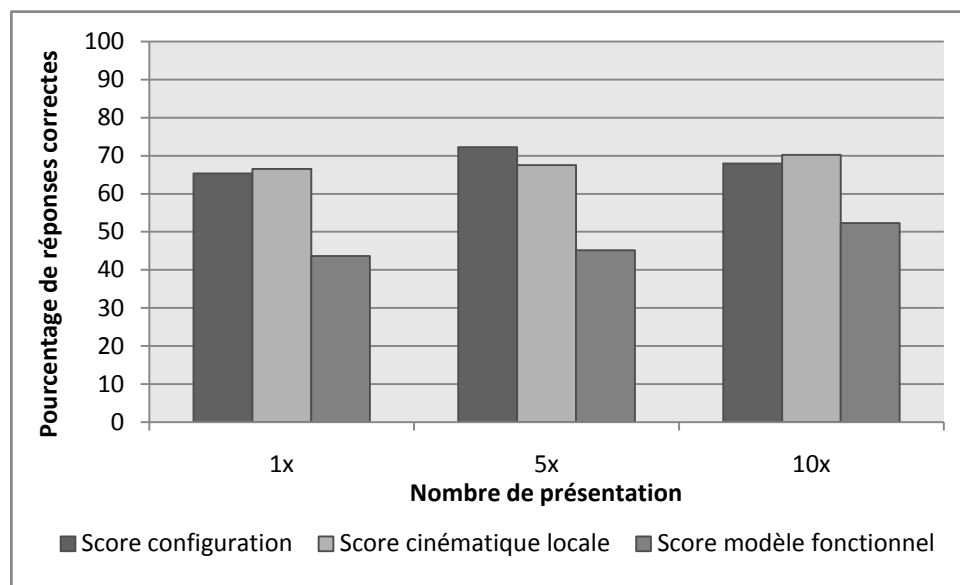


Figure 5.4. Pourcentage de réponses correctes aux différents niveaux de compréhension en fonction du nombre de présentation de l'animation.

Pour approfondir cette analyse, nous avons conduit trois ANOVA pour chacun des indicateurs de compréhension.

En ce qui concerne le score portant sur la configuration du système, les performances sont meilleures lorsque les apprenants ont de fortes aptitudes spatiales et mécaniques ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 71.43\%$  &  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 65.55\%$ ),  $F(1, 118) = 4.35, p = .039$ .

Pour le score portant sur les aspects cinématiques locaux, les performances sont également meilleures lorsque les apprenants ont de fortes aptitudes spatiales et mécaniques ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 70.53\%$  &  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 65.63\%$ ),  $F(1, 118) = 4.68$ ,  $p = .033$ .

Finalement, en ce qui concerne le score portant sur le modèle mental fonctionnel, les performances sont, comme pour les deux autres scores, supérieures lorsque les apprenants ont de fortes aptitudes ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 51.63\%$  &  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 42.43\%$ ),  $F(1, 118) = 8.62$ ,  $p = .004$ . Par ailleurs, l'analyse indique un effet tendanciel du nombre de présentation,  $F(2, 118) = 2.83$ ,  $p = .06$ . Les performances sont meilleures lorsque les participants devaient voir l'animation dix fois (52.30%) plutôt qu'une seule (43.66%) ou cinq fois (45.12%),  $F(1, 118) = 5.52$ ,  $p = .02$ .

### ***Temps de réaction pour les questions portant sur la configuration et sur les aspects cinématiques locaux***

Les temps de réaction moyens ainsi que les écarts-types aux questions portant sur la configuration du système et sur les aspects cinématiques locaux sont présentés dans le tableau 5.2.

	Fortes habiletés			Faibles habiletés		
	Animation non contrôlable N = 24	Animation partiellement contrôlable N = 22	Manipulation (contrôle total) N = 23	Animation non contrôlable N = 22	Animation partiellement contrôlable N = 23	Manipulation (contrôle total) N = 22
<b>Configuration</b>						
1x N = 46	7.20 (1.96)	6.82 (1.67)	6.84 (2.05)	6.66 (2.02)	8.17 (4.36)	8.19 (4.91)
5x N = 47	5.65 (2.55)	6.86 (1.48)	7.61 (2.39)	6.83 (1.72)	5.69 (1.63)	6.16 (1.09)
10x N = 43	5.24 (1.17)	6.81 (1.60)	6.10 (1.45)	5.40 (1.48)	5.58 (0.44)	7.08 (1.87)
<b>Cinématique locale</b>						
1x N = 46	8.76 (2.13)	8.13 (2.15)	9.88 (3.86)	9.22 (3.11)	8.98 (2.22)	9.57 (3.00)
5x N = 47	8.31 (3.63)	10.76 (4.37)	9.18 (3.54)	8.96 (2.07)	7.91 (2.52)	7.75 (1.55)
10x N = 43	6.50 (0.66)	8.29 (2.33)	8.30 (2.58)	6.75 (1.76)	7.08 (1.06)	9.31 (3.14)

Tableau 5.2. Temps de réaction en secondes aux questions portant sur la configuration et sur les aspects cinématiques locaux en fonction de chaque niveau de contrôle et du nombre de répétition de l'animation pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales.

Les écart-types sont entre parenthèses.



L'ANOVA incluant les trois niveaux de contrôle, les trois nombre de présentation, les deux niveaux d'habiletés et les temps de réaction moyens aux deux types de questions indiquent un effet significatif du nombre de présentation,  $F(2, 118) = 3.92, p = .02$ . Cet effet montre que les participants répondent plus rapidement aux questions lorsqu'ils devaient faire fonctionner l'animation dix fois (6.87s) plutôt que cinq fois (7.64s) et lorsqu'ils devaient faire fonctionner l'animation cinq fois plutôt qu'une seule fois (8.20s). L'analyse indique également un effet significatif du type de questions,  $F(1, 118) = 95.62, p < .0001$ . Les participants répondent plus vite aux questions portant sur la configuration (6.60s) que celles portant sur les aspects cinématiques locaux (8.54s).

Une ANOVA pour chaque type de questions a été réalisée dans le but d'affiner ces résultats.

Bien que l'analyse des performances portant sur la configuration du système n'indiquait aucun effet de la fréquence d'exposition, l'analyse révèle un effet significatif du nombre de présentation,  $F(2, 118) = 3.69, p = .028$ . Cet effet met en évidence que les participants répondent plus vite à ce type de question lorsqu'ils devaient manipuler cinq (6.47s) ou dix fois (6.04s) l'animation plutôt qu'une seule fois (7.31s),  $F(1, 118) = 6.67, p = .01$ .

L'analyse des performances sur les questions portant sur les aspects cinématiques locaux n'indiquaient aucun effet de la fréquence d'exposition. L'analyse des temps de réaction révèle quant à lui un effet significatif du nombre de présentation,  $F(2, 118) = 3.11, p = .048$ . Cet effet indique que les participants répondent plus vite à ce type de question lorsqu'ils devaient manipuler dix fois l'animation (7.71s) plutôt que cinq (8.81s) ou une seule fois (9.09s),  $F(1, 118) = 6.02, p = .016$ .

### ***Durée d'étude du document***

Les données concernant la durée d'étude du document pour chaque niveau de contrôle de l'animation, chaque niveau d'habileté et chaque nombre de présentation sont présentées dans le tableau 5.3.

	Fortes habiletés			Faibles habiletés		
	Animation non contrôlable	Animation partiellement contrôlable	Manipulation (contrôle total)	Animation non contrôlable	Animation partiellement contrôlable	Manipulation (contrôle total)
	N = 24	N = 22	N = 23	N = 22	N = 23	N = 22
1x	101.37	117.57	104.91	103.10	134.43	125.22
N = 46	(22.24)	(21.69)	(55.65)	(36.20)	(54.51)	(35.67)
5x	180.21	201.65	117.28	132.66	158.90	228.66
N = 47	(64.59)	(57.15)	(44.54)	(59.40)	(42.76)	(178.57)
10x	181.28	249.72	130.63	199.08	276.59	208.59
N = 43	(46.30)	(64.11)	(38.04)	(39.35)	(117.45)	(81.84)

Tableau 5.3. Durée d'étude moyenne (en secondes) du document pour chaque niveau de contrôle, chaque nombre de répétition de l'animation pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écart-types sont entre parenthèses.

L'ANOVA conduite révèle un effet significatif des divers niveaux de contrôle de l'animation,  $F(2, 117) = 4.64, p = .01$ . La durée d'étude du document est plus longue lorsqu'elle est partiellement contrôlable (189.81s) que non (149.62s) ou totalement contrôlable (152.55s),  $F(1, 117) = 9.22, p = .003$ . De plus, l'analyse révèle un effet du nombre de présentation,  $F(2, 117) = 20.27, p < .0001$ , la durée d'étude du document est plus longue lorsque les participants voient l'animation dix fois (207.65s) plutôt que cinq (169.89s),  $F(1, 117) = 6.63, p = .01$  et celle-ci est plus longue lorsque les participants voient l'animation cinq fois plutôt qu'une seule (114.44s),  $F(1, 117) = 15.06, p = .0002$ . Les résultats mettent également en évidence un effet d'interaction significatif entre les niveaux de contrôle et les niveaux d'habiletés spatiales et mécaniques,  $F(2, 117) = 4.43, p = .014$  (figure 5). Cet effet indique que les participants avec de fortes aptitudes étudient moins longtemps le document lorsque l'animation qu'ils utilisent est totalement contrôlable (117.60s),  $F(1, 117) = 9.60, p = .002$  alors que les participants avec de faibles aptitudes étudient moins longtemps le document lorsque l'animation qu'ils utilisent est non contrôlable (144.95s),  $F(1, 117) = 5.88, p = .017$ .

L'ANCOVA incluant la durée d'étude du document comme facteur covariant indique un effet significatif du nombre de présentation,  $F(6, 228) = 2.19, p = .045$ . Cet effet indique que les performances de compréhension sont supérieures lorsque les participants devaient faire fonctionner l'animation dix fois plutôt qu'une seule fois. Cette analyse indique également un effet significatif du niveau d'habileté des participants,  $F(3, 114) = 4.19, p = .008$ . Les participants avec de fortes aptitudes obtiennent de meilleures performances de compréhension que les participants avec de faibles aptitudes.

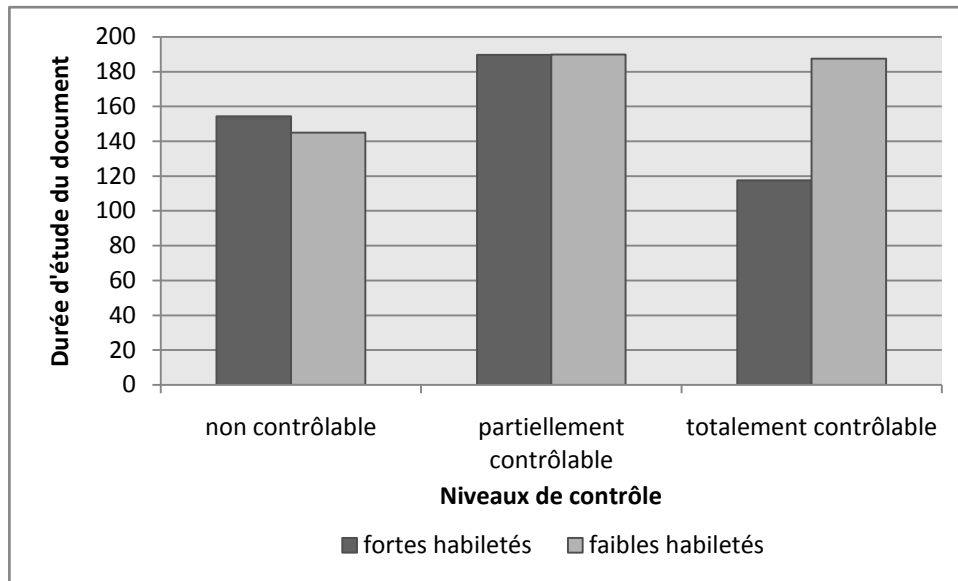


Figure 5.5. Durée d'étude du document en fonction des niveaux de contrôle de l'animation pour les participants à fortes et à faibles habiletés spatiales et mécaniques

### 3.3. Conclusions

Dans cette troisième expérience, nous avons de nouveau mis en évidence que les performances de compréhension, que ce soit dans la tâche à choix multiples (questions portant sur la configuration et la cinématique du système) ou dans la tâche de production (question portant sur le modèle mental fonctionnel) ne sont pas accrues, quelque soit le niveau de contrôle de l'animation.

Les performances de compréhension aux questions portant sur la configuration et sur les aspects cinématiques du système sont meilleures que celles obtenues à la question portant sur le modèle mental fonctionnel. Les performances aux questions portant sur la configuration et sur les aspects cinématiques sont équivalentes. Ceci peut être dû au fait que les questions à choix multiples sont plus faciles que des questions qui impliquent une réponse rédigée de la part des apprenants.

Le fait de faire fonctionner l'animation plusieurs fois apporte peu de bénéfices. Les performances à la question portant sur le modèle mental sont plus importantes lorsque l'apprenant fait fonctionner l'animation dix fois plutôt qu'une seule. L'appréhension globale du système lorsque l'apprenant fait fonctionner l'animation une seule fois est très faible alors que lorsqu'il la fait fonctionner cinq ou dix fois cette appréhension s'améliore et implique donc une meilleure rétention des informations perceptives. Cette meilleure rétention servira à modifier la description fonctionnelle du système pendant le questionnaire.

Les temps de réaction, pour répondre aux questions portant sur la configuration et les aspects cinématiques, sont plus rapides lorsque l'apprenant fait fonctionner le système animé

plusieurs fois alors que les performances restent identiques. On peut donc supposer que l'accès aux informations mémorisées est plus rapide lorsque l'apprenant peut visionner plusieurs fois l'animation.

En résumé, le fait de visualiser ou de manipuler plusieurs fois une animation n'induit pas forcément une meilleure compréhension du système présenté. Un apprenant qui a des difficultés pour traiter l'animation, et pour relever les informations pertinentes présentes dans celle-ci, ne sera pas aidé par une exposition multiple. Si l'apprenant ne porte pas son attention sur les éléments pertinents ainsi que sur les interactions qu'ils entretiennent entre eux, le fait de voir l'animation plusieurs fois ne va pas le faire changer de stratégie de prise d'informations. Orienter l'attention du sujet peut donc se révéler plus pertinent pour aider les apprenants à élaborer une représentation mentale animée efficace du système mécanique complexe.

Le but de la prochaine expérience est donc de voir si les performances de compréhension des apprenants avec de faibles et de fortes habiletés spatiales et mécaniques sont améliorées lorsque l'on oriente l'attention des sujets sur les informations les plus pertinentes par le biais d'une tâche spécifique.

#### **4. Expérience 4**

L'objectif de cette quatrième expérience est d'étudier le guidage attentionnel grâce à de courtes consignes verbales orientant l'attention des apprenants sur les éléments pertinents du système. Nous comparerons une orientation attentionnelle portant sur la configuration, les aspects cinématiques locaux, la configuration et les aspects cinématiques (modèle fonctionnel) du système de poulies et une condition sans orientation attentionnelle (contrôle). Nous comparerons également une animation non contrôlable, partiellement contrôlable ou totalement contrôlable. Les conditions de présentation étaient accompagnées d'un texte explicatif.

Une focalisation de l'attention sur les aspects cinématiques ou sur le modèle fonctionnel permettrait que les apprenants obtiennent de meilleures performances de compréhension. Les performances au score de compréhension devraient être meilleures pour les conditions contrôlables, et particulièrement pour la version totalement contrôlable, permettant d'adapter le déroulement de l'animation au traitement cognitif des participants.

Ces bénéfices devraient être plus importants chez les participants à faibles aptitudes mécaniques et spatiales. On peut également s'attendre à un effet d'interaction entre le guidage attentionnel et le contrôle de l'animation par l'utilisateur. Les apprenants devraient utiliser différemment les caractéristiques du contrôle de l'animation selon la tâche qui leur est proposée. Ces conditions devraient entraîner un nombre de fixations dans les aires de mouvements ainsi qu'un nombre de transitions locales plus important, induisant un traitement approfondi des informations dynamiques, ainsi que des relations causales entre tous les mouvements des composants. Toutes ces conditions de présentation étaient accompagnées d'un texte explicatif.

#### **4.1. Méthode**

##### ***Sujets***

Un groupe de cent vingt étudiants de premier cycle de psychologie de l'université de Bourgogne, composé de cent neuf filles et onze garçons, ont participé à l'expérience 4 pour obtenir des points d'expérience.

##### ***Matériel de la tâche expérimentale***

Le matériel utilisé lors de cette expérience consistait en une leçon multimédia incluant un texte et une illustration animée décrivant un système mécanique complexe de poulies.

Dans cette quatrième expérience, nous avons utilisé les trois versions se rapportant aux trois niveaux de contrôle de l'animation par l'apprenant utilisés dans l'expérience 2 et 3. On présentait aux participants, selon la condition expérimentale dans laquelle ils étaient placés, soit un texte accompagné d'une animation dynamique non contrôlable, soit d'une animation dynamique partiellement contrôlable, soit d'une animation interactive ou totalement contrôlable. Le texte présenté au sujet était le même que celui utilisé dans les expériences précédentes.

##### ***Mesures de mémorisation et de compréhension***

Nous avons utilisé le même test de mémorisation et de compréhension que celui utilisé lors des expériences 1 & 2. La seule variante réside dans la cotation de certaines questions (annexe...). Le score maximum portant sur la configuration est de 12, celui portant sur les aspects cinématiques locaux est de 29, et celui portant sur le modèle fonctionnel est de 12.

### *Mesure des différences interindividuelles*

Afin de constituer nos groupes de sujets à fortes habiletés et à faibles habiletés spatiales et mécaniques, nous avons utilisé, tout comme dans les expériences précédentes, les tests relations spatiales et raisonnement mécaniques tirés de la batterie de tests du DAT5 (Bennett, Seashore & Wesman, 1973, 2002).

### *Appareils*

Lors de cette expérience, nous avons utilisé le même système de poursuite de mouvements oculaires ASL 5000 équipé du même système magnétique de poursuite de tête (MHT), ainsi que le logiciel Gazetracker pour l'enregistrement et l'analyse des données.

### *Procédure*

Dans un premier temps, on mesurait les habiletés mécaniques et spatiales des participants avec les deux tests appartenant au DAT5 pour différencier les sujets avec de fortes et de faibles habiletés mécaniques et spatiales. Du fait d'une corrélation significative ( $p < .01$ ) entre les performances aux deux tests, nous avons moyenné le score obtenu au test de raisonnement mécanique avec le score obtenu au test de relations spatiales pour tous les sujets. Nous avons calculé la médiane qui nous permettra de différencier les sujets à fortes des sujets à faibles habiletés.

Le score médian obtenu était de 55% de réponses correctes. Les sujets ayant obtenu un score supérieur ou égal à cette médiane constituent notre groupe de sujets à fortes habiletés alors que les sujets ayant obtenu un score inférieur à cette médiane constituent notre groupe de sujets à faibles habiletés. Ainsi faite, la répartition dissociait 63 sujets à fortes habiletés ( $M = 66.66$ ,  $SD = 10.91$ ) et 57 sujets à faibles habiletés ( $M = 40.67$ ,  $SD = 7.09$ ). La différence entre les scores obtenus par les sujets à fortes habiletés et ceux obtenus par les sujet à faibles habiletés se révèle fortement significative,  $F(1,96) = 190.53$ ,  $p < .0001$ .

Ces sujets étaient ensuite distribués parmi les trois niveaux de contrôle de l'animation et les quatre tâches spécifiques concernant l'orientation de l'attention. Les tests post-hoc indiquent une différence entre les groupes de sujets à fortes et à faibles habiletés pour chaque et entre chaque niveau de contrôle ( $p < .01$ , Newman-Keuls test). De plus, ces tests post-hoc n'indiquent aucune différence significative entre les groupes de sujets à fortes habiletés pour les trois niveaux de contrôles ( $p > .05$ , Newman-Keuls test), et n'indiquent aussi aucune différence significative entre les groupes de sujets à faibles habiletés pour les trois niveaux de contrôle ( $p > .05$ , Newman-Keuls test).

Dans la seconde étape de l'expérience, on présentait aux participants, sur un écran d'ordinateur, la leçon portant sur le système de poulie. Leur tâche était d'étudier le fonctionnement du système de poulies à partir du texte explicatif et d'un des trois niveaux de contrôle de l'animation de sorte qu'il puisse l'expliquer à quelqu'un d'autre sans l'avoir sous les yeux. On orientait l'attention des sujets différemment à l'aide d'une consigne spécifique selon la condition expérimentale dans laquelle il se trouvait. Les différentes consignes avaient pour but d'orienter l'attention des sujets sur la configuration, ou sur les aspects cinématiques locaux, ou sur le modèle fonctionnel du système, ou ne pas orienter l'attention du sujet (condition contrôle).

Pour orienter l'attention du sujet sur la configuration du système, on précisait aux sujets qu'après la leçon ils devraient répondre à certaines questions et que celles-ci porteraient principalement sur les différents éléments du système. Concernant l'orientation de l'attention sur les aspects cinématiques locaux, on précisait aux sujets que les questions porteraient principalement sur la direction du mouvement, le sens de rotation et la vitesse de rotation des poulies composant le système. Pour l'orientation sur le modèle fonctionnel, on précisait aux sujets que les questions porteraient sur les différents éléments composant le système, ainsi que sur la direction du mouvement, le sens de rotation et la vitesse de rotation des poulies composant le système. Enfin, pour le groupe contrôle, on précisait aux sujets qu'ils auraient des questions pour mesurer leur compréhension, mais on n'indiquait pas sur quoi elles pourraient porter.

Tout comme dans les expériences précédentes, le temps d'étude de la leçon était libre mais les participants devaient faire fonctionner l'animation au moins trois fois entièrement. Durant cette étape, nous avons capturé les mouvements oculaires de certains sujets après avoir déterminé leur œil directeur.

La consultation de la leçon terminée, les participants devaient répondre au questionnaire de compréhension.

## **4.2.Résultats**

### ***Performances au test de compréhension***

Le nombre de réponses correctes moyen ainsi que les écarts-types au test de compréhension pour chaque indicateur (configuration, cinématique local, modèle fonctionnel), pour chaque tâche spécifique (aucune, configuration, cinématique local, modèle fonctionnel) et pour chaque niveau d'aptitudes (fort, faible) est présenté dans le tableau 5.4.

	Fortes habiletés			Faibles habiletés		
	Animation non contrôlable N = 21	Animation partiellement contrôlable N = 21	Animation totalement contrôlable N = 21	Animation non contrôlable N = 19	Animation partiellement contrôlable N = 19	Animation totalement contrôlable N = 19
<b>Configuration</b>						
Aucune tâche N = 30	83.33 (11.79)	80.83 (12.71)	86.67 (6.18)	73.33 (29.55)	70 (25.75)	62.50 (28.41)
Tâche configuration N = 31	74.31 (18.71)	91.67 (16.40)	92.36 (7.64)	86.46 (10.42)	70.83 (7.22)	80.83 (20.33)
Tâche ciné locale N = 30	66.67 (16.67)	87.50 (11.78)	78.33 (17.28)	74.17 (14.55)	74.17 (15.70)	73.33 (20.11)
Tâche modèle fct N = 29	84.17 (11.18)	81.25 (9.77)	89.17 (12.01)	80.83 (14.31)	83.33 (17.68)	79.17 (14.03)
<b>Cinématique locale</b>						
Aucune tâche N = 30	80 (10.46)	78.62 (23.05)	77.93 (17.68)	72.41 (5.45)	68.97 (11.17)	67.59 (12.34)
Tâche configuration N = 31	66.09 (14.70)	85.52 (7.86)	82.18 (12.61)	76.72 (18.54)	65.52 (12.67)	69.66 (5.67)
Tâche ciné locale N = 30	81.38 (3.93)	86.21 (17.07)	82.07 (18.15)	89.66 (8.45)	64.14 (20.78)	68.97 (17.07)
Tâche modèle fct N = 29	86.90 (15.50)	82.76 (19.75)	80 (8.59)	75.17 (15.11)	83.62 (13.32)	68.97 (14.36)
<b>Modèle fonctionnel</b>						
Aucune tâche N = 30	25.83 (11.93)	40 (16.03)	33.75 (14.61)	16.66 (15.59)	23.33 (13.37)	20 (12.64)
Tâche configuration N = 31	29.17 (15.37)	25 (13.50)	31.25 (21.85)	19.27 (10.40)	16.67 (6.59)	21.67 (9.95)
Tâche ciné locale N = 30	33.33 (9.77)	43.33 (22.36)	46.67 (8.01)	42.50 (11.93)	20.42 (10.03)	38.33 (15.14)
Tâche modèle fct N = 29	42.50 (15.70)	28.13 (9.11)	41.25 (9.59)	36.67 (13.63)	47.92 (12.50)	25 (7.80)

Tableau 5.4. Pourcentage de réponses correctes aux trois indicateurs de compréhension en fonction de chaque niveau de contrôle et pour chaque orientation spécifique de l'attention pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écarts-types sont entre parenthèses.

L'ANOVA incluant les trois niveaux de contrôle, les quatre tâches spécifiques, les deux niveaux d'habiletés et les trois indicateurs de compréhension indique dans un premier temps un effet significatif du niveau des habiletés,  $F(1, 96) = 14.39$ ,  $p < .0001$ . Les apprenants avec de fortes aptitudes obtiennent de meilleures performances au test de compréhension (66.28%) que les apprenants avec de faibles aptitudes (58.58%). Lorsque l'on oriente l'attention des participants sur le modèle fonctionnel (66.49%) ou sur les aspects cinématiques locaux (63.95%), les performances de compréhension sont meilleures que lorsque l'on oriente leur attention sur la configuration (60.29%) ou lorsque l'on n'oriente pas leur attention (58.99%),  $F(3, 96) = 2.81$ ,  $p = .04$ . L'analyse ne montre pas d'effet significatif du niveau de contrôle de l'animation. Néanmoins, l'interaction entre le niveau de contrôle et le niveau des aptitudes spatiales et mécaniques se révèle tendancielle,  $F(2, 96) = 2.95$ ,  $p = .057$ . Les



versions contrôlables semblent améliorer les performances des participants à fortes aptitudes ( $M_{\text{non contrôlable}} = 62.81\%$ ,  $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 67.57\%$  &  $M_{\text{totalelement contrôlable}} = 68.47\%$ ), alors qu'elles semblent altérer celles des participants à faibles aptitudes ( $M_{\text{non contrôlable}} = 61.99\%$ ,  $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 57.41\%$  &  $M_{\text{totalelement contrôlable}} = 56.33\%$ ).

De plus, l'effet des indicateurs de compréhension se révèle significatif,  $F(2, 192) = 585$ ,  $p < .0001$ . Les performances aux questions portant sur la configuration (79.39%) et sur les aspects cinématiques locaux (76.71%) sont supérieures à celles obtenues aux questions portant sur le modèle fonctionnel (31.19%). L'interaction entre les différentes tâches spécifiques et les trois indicateurs de compréhension se montre également significative,  $F(6, 192) = 3.84$ ,  $p = .001$ . Cette interaction indique un plus gros bénéfice, pour la question portant sur le modèle fonctionnel, lorsque l'orientation de l'attention des sujets était centrée sur le modèle fonctionnel du système (36.91%) ou sur les aspects cinématiques locaux (37.43%) plutôt que sur la configuration (23.84%) ou lorsque l'on n'oriente pas leur attention (26.60%), voir figure 5.6.

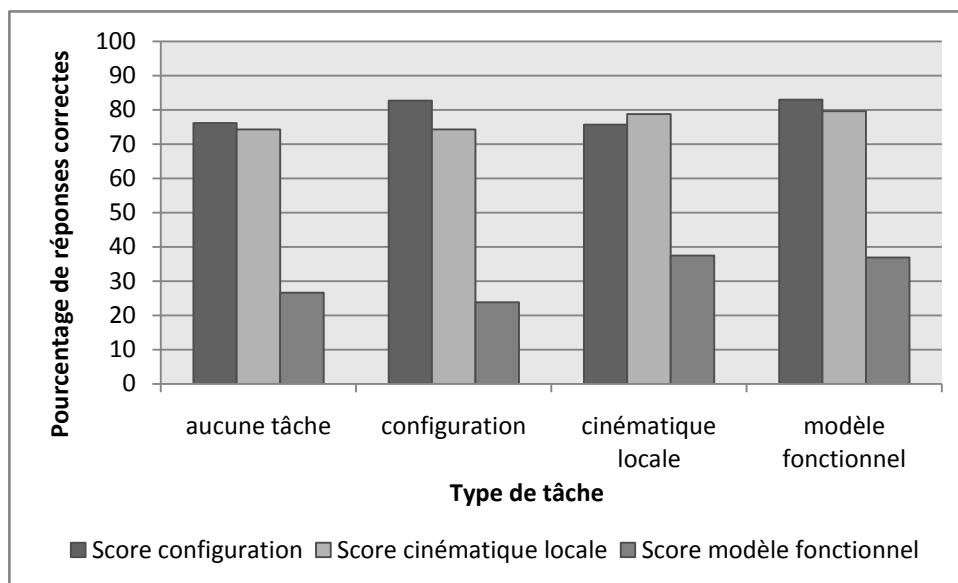


Figure 5.6. Pourcentage de réponses correctes aux différents niveaux de compréhension selon la spécificité de la tâche.

Ces résultats ont été examinés plus en détail grâce à trois autres ANOVA, une pour chaque indicateur de compréhension.

Concernant l'indicateur portant sur la configuration du système, les participants avec de fortes aptitudes obtiennent de meilleures performances (83.02%) que ceux avec de faibles aptitudes (75.75%),  $F(1, 96) = 5.75$ ,  $p = .018$ .

En ce qui concerne l'indicateur portant sur les aspects cinématiques locaux, nous observons également que les participants à fortes aptitudes sont ceux qui obtiennent les meilleures performances ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 80.80\%$  &  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 72.61\%$ ),  $F(1, 96) = 9.58$ ,  $p = .003$ .

Finalement, pour l'indicateur mesurant le modèle mental fonctionnel, les participants avec de fortes aptitudes obtiennent toujours de meilleures performances (35.02%) que les participants avec de faibles aptitudes (27.37%),  $F(1, 96) = 9.44$ ,  $p = .003$ . Les résultats révèlent également un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 96) = 7.93$ ,  $p < .0001$ . Les performances des apprenants sont plus importantes lorsque leur attention est orientée sur les aspects cinématiques locaux (37.43%) ou le modèle fonctionnel (36.91%) plutôt que sur la configuration (23.84%) ou lorsque leur attention n'est pas orientée (26.60%),  $F(1, 96) = 23.06$ ,  $p < .0001$ .

L'effet d'interaction double entre les trois niveaux de contrôle de l'animation, les quatre différents types de tâche et les deux niveaux d'habiletés est significatif,  $F(6, 96) = 2.43$ ,  $p = .03$  (figure 5.7). Pour les apprenants à fortes aptitudes, les résultats ne montrent pas d'effet d'interaction entre le type de tâche et le niveau de contrôle de l'animation. À l'opposé, pour les apprenants à faibles aptitudes, les résultats montrent un effet d'interaction entre ces deux facteurs. Les apprenants avec une orientation attentionnelle portant sur les aspects cinématique locaux et avec une animation non ou totalement contrôlable obtiennent de meilleures performances que ceux avec la même orientation attentionnelle et avec une animation partiellement contrôlable. Les apprenants avec une orientation attentionnelle portant sur le modèle fonctionnel et avec une animation partiellement contrôlable obtiennent de meilleures performances que les apprenants avec la même orientation attentionnelle et une animation totalement contrôlable.

Ces résultats indiquent que les apprenants à faibles aptitudes sont aidés par un niveau de contrôle qui préserve la continuité du mouvement quand leur attention est centrée sur les aspects cinématiques locaux. Ces apprenants sont également aidés par un niveau de contrôle qui décompose le mouvement en différents états, lorsque leur attention est centrée sur le modèle fonctionnel.

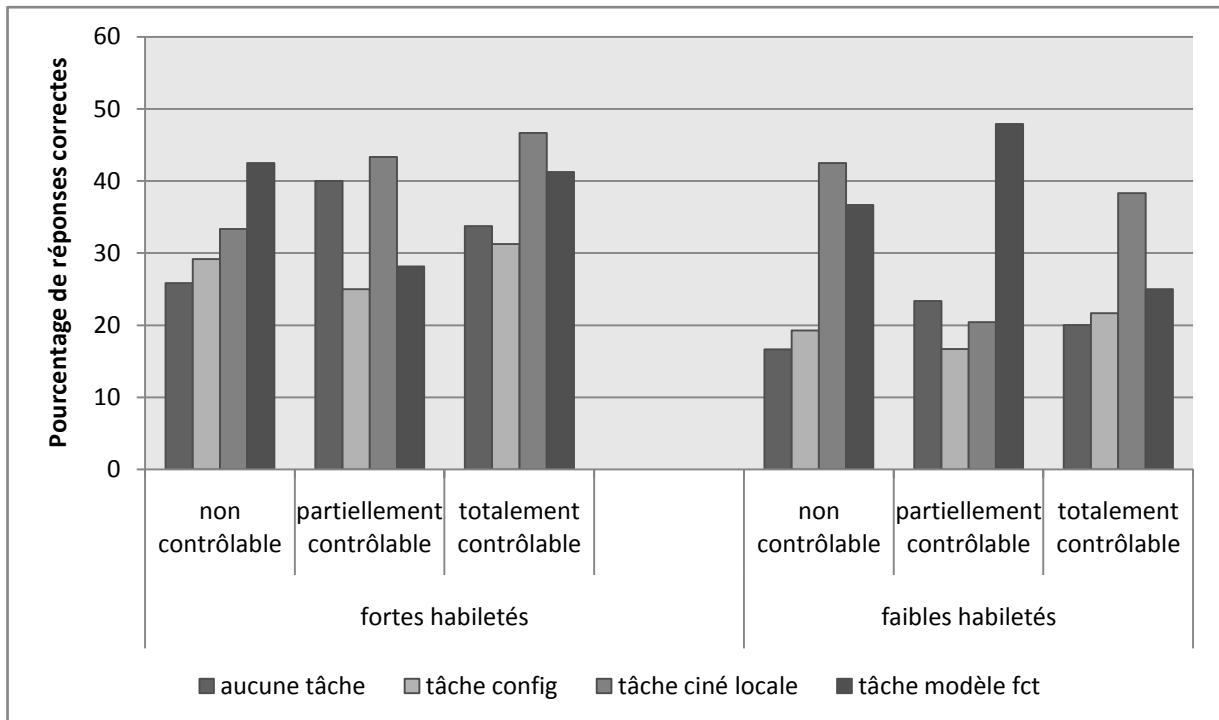


Figure 5.7. Pourcentage de réponses correctes à la question portant sur le modèle mental fonctionnel selon le niveau de contrôle de l'animation, la spécificité de la tâche, et du niveau des habiletés spatiales et mécaniques des apprenants.

En résumé, l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel efficace, à partir d'une animation et d'un texte, est accrue lorsque l'on oriente l'attention de l'apprenant sur les aspects cinématiques locaux de chaque composant du système ou sur le modèle fonctionnel. Par ailleurs, les résultats montrent que l'élaboration cognitive des aspects cinématiques locaux et d'un modèle mental fonctionnel est facilitée par une animation contrôlable (partiellement ou totalement) pour les apprenants avec de faibles aptitudes.

### *Durée d'étude du document*

Tout comme dans les deux expériences précédentes, le contrôle d'une animation implique plus d'interactivité de la part des apprenants. Naturellement, on peut supposer qu'une animation contrôlable implique une durée d'étude plus longue que pour une animation impliquant peu ou pas de contrôle. Ceci est une des caractéristiques inhérente au contrôle d'une animation. Nous allons analyser les durées de cent quatre participants, dont les mouvements oculaires ont été enregistrés, (présentées dans le tableau 5.5) pour évaluer leurs impacts sur la compréhension.

	Fortes habiletés			Faibles habiletés		
	Animation non contrôlable N = 20	Animation partiellement contrôlable N = 17	Animation totalement contrôlable N = 18	Animation non contrôlable N = 18	Animation partiellement contrôlable N = 15	Animation totalement contrôlable N = 16
<b>Spécificité de la tâche</b>						
Aucune tâche N = 27	196.26 (36.53)	158.90 (27.91)	245.52 (104.74)	171 (55.45)	148.60 (27.68)	183.39 (81.13)
Tâche configuration N = 26	148.68 (47.03)	215.88 (74.41)	174.50 (43.67)	203.09 (68.18)	175.79 (19.79)	223.02 (84.45)
Tâche ciné locale N = 27	134.05 (41.44)	193.67 (50.70)	194.08 (39.60)	191.73 (39.12)	237.18 (70.60)	201.19 (62.35)
Tâche modèle fct N = 24	234.74 (90.09)	224.85 (80.91)	207.19 (81.41)	238.22 (132.52)	311.01 (136.23)	309.44 (125.63)

Tableau 5.5. Durée d'étude moyenne (en secondes) du document pour chacun des niveaux de contrôle de l'animation et pour chaque tâche en fonction du niveau des habiletés mécaniques et spatiales des apprenants. Les écart-types sont entre parenthèses.

L'analyse conduite indique uniquement un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 80) = 4.81, p = .004$ . Cet effet montre que les participants dont on oriente l'attention sur le modèle fonctionnel étudient la leçon plus longtemps (254.24s) que les participants dont on n'oriente pas l'attention (183.96s) ou dont on oriente l'attention sur la configuration (190.16s) ou les aspects cinématiques locaux (191.98s),  $F(1, 80) = 14.26, p = .0003$ . Par ailleurs, l'analyse ne révèle aucun effet significatif du niveau de contrôle de l'animation.

L'analyse de variance incluant la durée d'étude de la leçon comme facteur covariant (ANCOVA) indique également un effet du niveau d'habiletés des participants,  $F(3, 77) = 6.75, p = .0004$  qui met en évidence de meilleures performances de compréhension pour les participants avec de fortes aptitudes. De plus, l'analyse révèle un effet significatif du type de tâche,  $F(9, 187.55) = 2.83, p = .0039$ . Lorsque l'on oriente l'attention sur les aspects cinématiques locaux ou sur le modèle fonctionnel, les performances de compréhension s'améliorent. Malgré l'effet du temps d'étude du document, l'effet du niveau d'habiletés mécaniques et spatiales, ainsi que l'effet du type de tâche sont toujours significatifs.

### *Mesures oculométriques*

#### *Comparaison texte et animation*

Dans le but d'analyser les traitements on-line dans la compréhension d'un système complexe de poulies à partir d'un texte et d'une illustration animée avec différents degrés de contrôle, nous avons traité les données issues des fixations oculaires de cent quatre

participants. Les cent trente-six participants n'ont pas pu être tous retenus pour diverses raisons liées au calibrage de l'œil (eg. le port de lunettes, de lentilles de contact dures). Les aires d'intérêts utilisées, nous ont permis de mettre en évidence le temps passé et l'activité induite par les fixations oculaires des participants dans les régions du texte et de l'illustration animée (figure 5.8). Une fois la création d'une AOI incluant le texte et d'une autre incluant l'illustration animée, nous avons analysé le nombre de fixations, la durée de fixations dans chacune des deux AOI, les transitions entre ces deux AOI.

Deux exemples typiques de scanpaths (défini comme une séquence ordonnée de fixations et de saccades, Baccino, 2004, p. 60), sont consignés dans la figure 5.9. Chaque exemple, constitué de trois figures, représente l'état du scanpath à trois périodes égales du temps total d'enregistrement du mouvement des yeux (respectivement 1/3, 2/3 et 3/3 du temps total). Sur chaque cliché de la figure 9, les points en noir représentent les fixations oculaires, d'au moins 0.2 secondes (à l'intérieur de chaque point figurent deux chiffres, le premier donne le numéro de la fixation dans l'ordre chronologique d'apparition et le deuxième indique la durée de la fixation). Les lignes reliant les ronds noirs représentent les trajectoires des yeux entre les fixations.

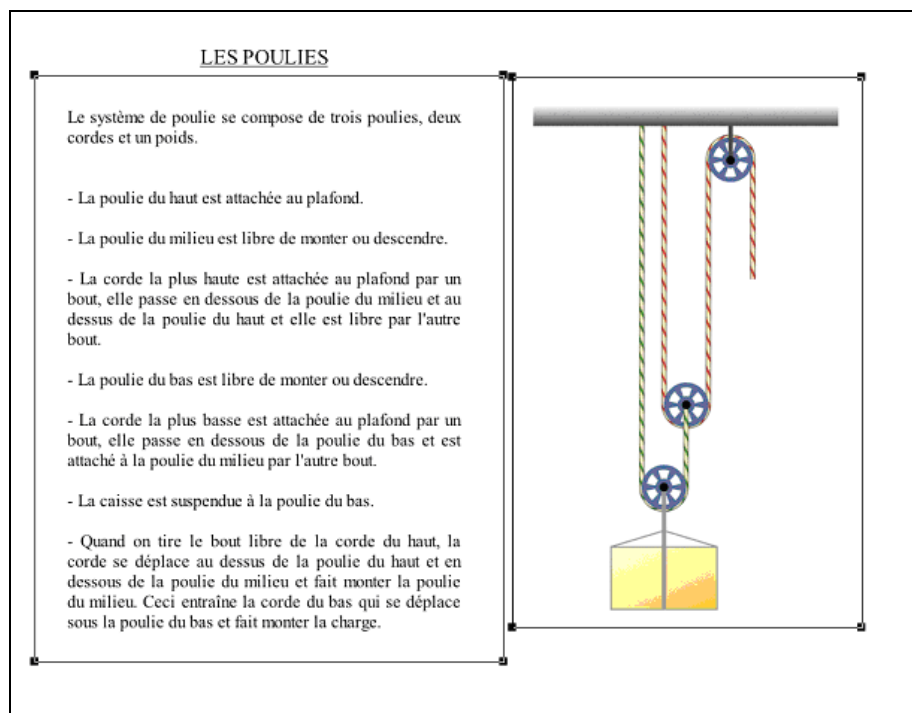
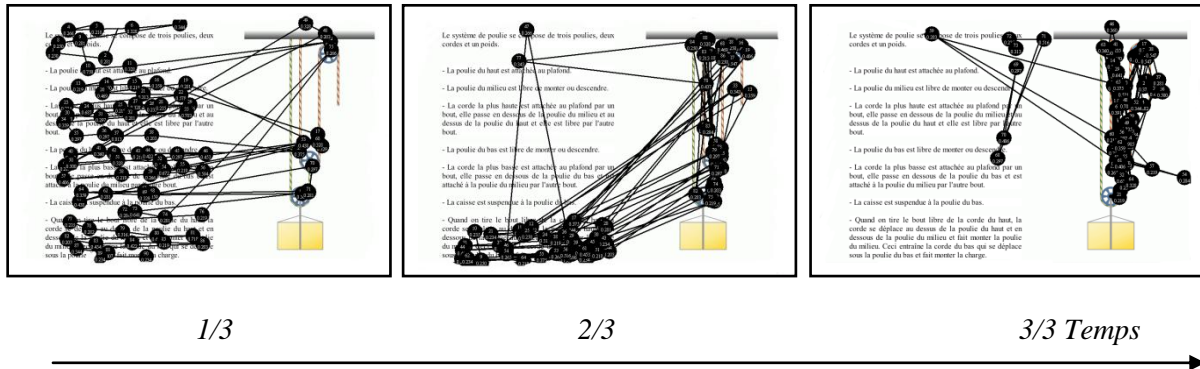


Figure 5.8. AOI utilisées lors de l'analyse des données oculométriques (présenté également en annexe 8).

## Sujet à faibles habiletés avec une animation non contrôlable et sans orientation de l'attention



## Sujet à fortes habiletés avec une animation totalement contrôlable et avec une orientation attentionnelle portant sur le modèle fonctionnel

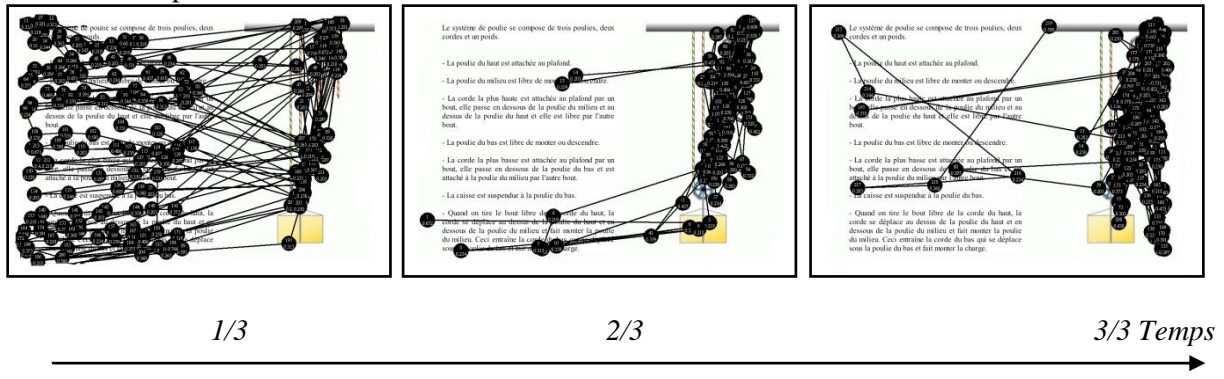


Figure 5.9. Deux scanpaths typiques, les fixations indiquées correspondent à des fixations d'au moins 200 millisecondes.

### Nombre de fixations

A cause des différences de superficies des deux AOI, nous avons analysé le ratio entre le nombre de fixations et la superficie.

L'ANOVA incluant les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâche, les deux niveaux d'habiletés et les deux AOI comme mesures dépendantes indique un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 80) = 4.95, p = .003$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'attention du sujet est orientée sur le modèle fonctionnel ( $M_{\text{tâche modèle fonctionnel}} = 2.63, M_{\text{tâche cinématique locale}} = 1.87, M_{\text{tâche configuration}} = 1.83 \& M_{\text{sans tâche}} = 1.87$ ). Les résultats révèlent également un effet du type d'AOI,  $F(1, 80) = 53.13, p < .0001$ . Le nombre de fixations est

plus important dans l'AOI incluant l'animation ( $M = 2.44$ ) que dans l'AOI incluant le texte ( $M = 1.66$ ).

Les résultats indiquent un effet d'interaction significatif entre les deux AOI (texte et illustration animée) et le niveau de contrôle de l'animation,  $F(2, 80) = 9.75$ ,  $p = .0002$ . Cet effet met en évidence que le nombre de fixations dans la zone incluant le texte ( $M = 1.80$ ) est aussi important que le nombre de fixations dans la zone incluant l'animation ( $M = 1.98$ ) lorsque l'animation est non contrôlable (figure 5.10). De plus, les résultats indiquent également un effet d'interaction significatif entre les deux AOI et le type de tâche,  $F(3, 80) = 7.30$ ,  $p = .0002$ . Cet effet indique que les apprenants, avec une orientation de l'attention spécifique, utilisent plus les informations dépeintes dans l'animation ( $M_{\text{tâche modèle fonctionnel}} = 3.27$ ,  $M_{\text{tâche cinématique locale}} = 2.34$ ,  $M_{\text{tâche configuration}} = 2.27$ ) que les informations verbales provenant du texte ( $M_{\text{tâche modèle fonctionnel}} = 1.99$ ,  $M_{\text{tâche cinématique locale}} = 1.40$ ,  $M_{\text{tâche configuration}} = 1.39$ ). Sans orientation spécifique, les apprenants utilisent autant les informations picturales ( $M = 1.88$ ) que les informations verbales ( $M = 1.85$ ). Cet effet montre également que le nombre de fixations dans la zone incluant le texte et celle incluant l'animation est plus important lorsque les apprenants centrent leur attention sur le modèle fonctionnel (figure 5.11).

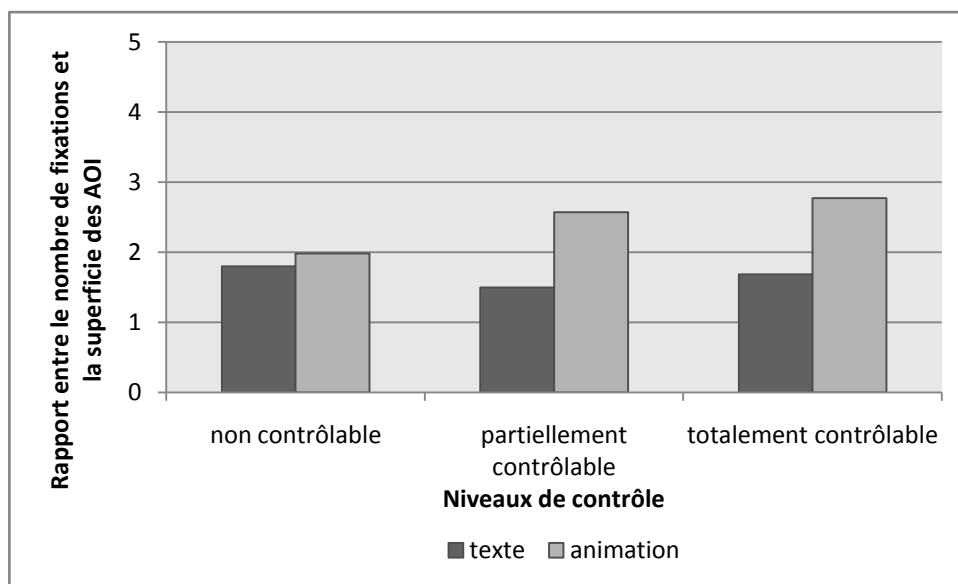


Figure 5.10. Rapport entre le nombre de fixations et la superficie pour chacune des deux AOI en fonction du niveau de contrôle de l'animation.

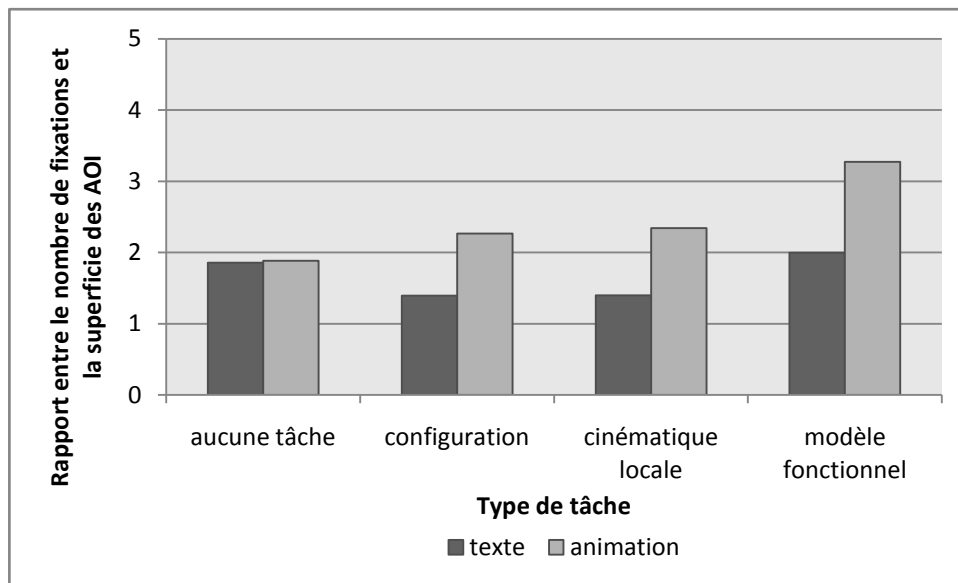


Figure 5.11. Rapport entre le nombre de fixations et la superficie pour chacune des deux AOI en fonction du type de tâche

### *Durée de fixations*

Toujours à cause des différences de superficies des deux AOI, nous avons analysé le ratio entre la durée totale de fixation et la superficie.

L'ANOVA portant sur la durée totale de fixation pour les deux AOI indique que la durée de fixation est plus importante lorsque l'attention des participants est orientée sur le modèle fonctionnel du système ( $M_{\text{tâche modèle mental}} = 1.21\text{s}$ ,  $M_{\text{tâche cinématique locale}} = 0.91\text{s}$ ,  $M_{\text{tâche configuration}} = 0.84\text{s}$  &  $M_{\text{sans tâche}} = 0.84\text{s}$ ),  $F(3, 80) = 4.88$ ,  $p = .004$ . Cet effet confirme les résultats mis en évidence par l'analyse portant sur le nombre de fixations. Les résultats indiquent également que la durée totale de fixation est plus importante lorsque l'animation est totalement contrôlable ( $M = 1.09\text{s}$ ) que lorsque celle-ci est non contrôlable ( $M = 0.80\text{s}$ ),  $F(2, 80) = 4.84$ ,  $p = .01$ .

L'ANOVA révèle également un effet significatif entre les deux AOI,  $F(1, 80) = 199.56$ ,  $p < .0001$ . Cet effet montre que la durée totale de fixation dans l'AOI incluant le texte ( $M = 0.58\text{s}$ ) est plus faible que celle dans l'AOI incluant l'animation ( $M = 1.31\text{s}$ ). Cet effet confirme également les résultats obtenus par l'analyse du nombre de fixations, le traitement des informations textuelles est plus rapide que le traitement des informations visuo-spatiales. De plus les résultats indiquent un effet d'interaction entre les AOI et le niveau de contrôle significatif,  $F(2, 80) = 15.37$ ,  $p < .0001$  (figure 5.12). Cet effet indique que la durée totale de fixations dans la zone de l'animation est supérieure à celle dans la zone de texte pour tous les



niveaux de contrôle. Cet effet indique aussi que la durée totale de fixation dans la zone de l'animation est plus élevée lorsque l'animation est totalement contrôlable ( $M = 1.58s$ ) ou partiellement contrôlable ( $M = 1.39s$ ) que lorsque celle-ci est non contrôlable ( $M = 0.97s$ ). Les résultats indiquent également un effet significatif d'interaction entre les deux AOI et le type de tâche,  $F(3, 80) = 9.35, p < .0001$ . Cet effet indique que la durée totale de fixation dans la zone de l'animation est supérieure à celle de la zone de texte lorsque l'on oriente l'attention des participants grâce à l'une des quatre tâches mais particulièrement lorsque les apprenants orientent leur attention sur le modèle fonctionnel ( $M_{AOI \text{ texte}} = 0.68s$  &  $M_{AOI \text{ animation}} = 1.74s$ ), voir figure 5.13.

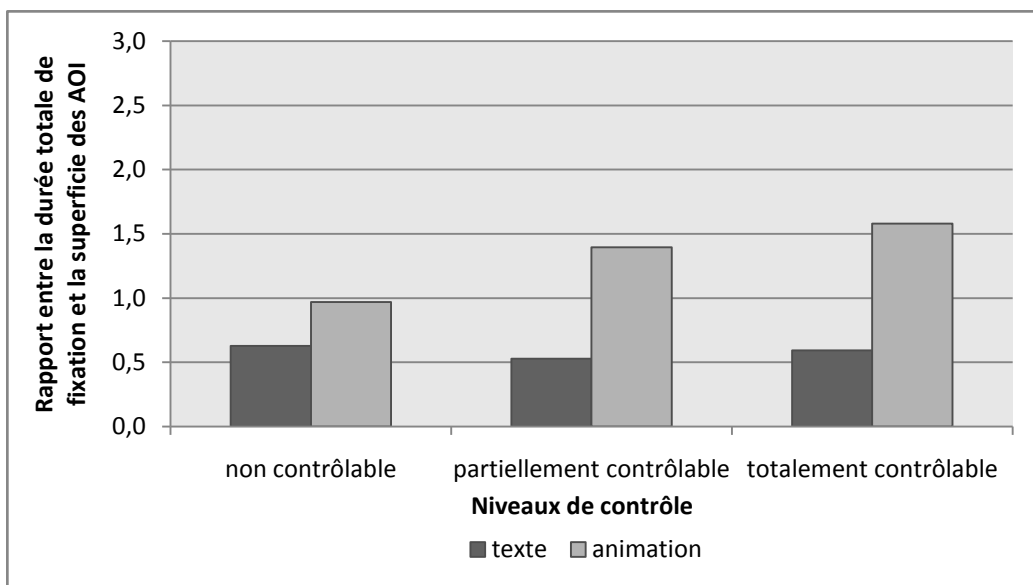


Figure 5.12. Rapport entre la durée totale de fixations et la superficie de chacune des deux AOI (en secondes) en fonction du niveau de contrôle de l'animation

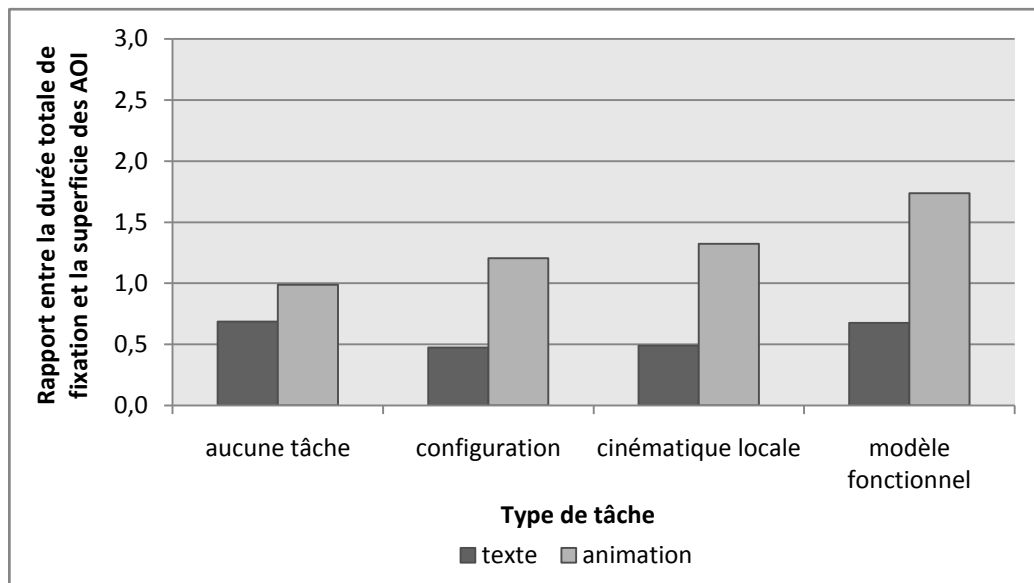


Figure 5.13. Rapport entre la durée totale de fixations et la superficie de chacune des deux AOI (en secondes) en fonction du type de tâche

Les résultats, à propos du nombre de fixations, ont montré que les apprenants utilisent autant le texte que l'animation lorsqu'ils n'avaient pas de tâche spécifique pour orienter leur attention ou lorsque l'animation était non contrôlable. Par ailleurs, les résultats à propos de la durée totale de fixations ont montré que le texte était inspecté également pour chacune des tâches spécifiques et pour chaque niveau de contrôle de l'animation. L'animation était plus inspectée que le texte lorsque les apprenants n'avaient pas de tâche pour orienter leur attention ou lorsque l'animation était contrôlable.

Malgré ces résultats, la durée totale de fixation indique que le texte est intégré plus rapidement que l'animation. La non-linéarité de l'animation semble être la cause de ce traitement plus long. Les traitements, conduits par les données, activés pour l'intégration du texte n'ont pas la même activation que pour l'animation du fait d'une diversité trop grande de ces dernières.

### *Nombre de transitions*

Les résultats à propos des transitions entre la zone incluant le texte et celle incluant l'animation indique un effet tendanciel du niveau d'habiletés mécaniques et spatiales des participants,  $F(1, 80) = 3.28$ ,  $p = .07$ . Le nombre de transitions entre les deux médias est plus important pour les participants avec de faibles aptitudes ( $M = 40.76$ ) que pour les participants avec de fortes aptitudes ( $M = 31.96$ ).

### *Mesures oculométriques approfondies*

L'analyse des données oculométriques provenant des aires d'intérêt (AOI) incluant le texte et l'illustration révèle des informations très pertinentes quant à la prise d'informations entre les deux supports différents de la part des apprenants pour l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel. Ces données indiquent que le texte est impliqué dans la construction d'un modèle mental fonctionnel du système. Les résultats suggèrent que les apprenants utilisent le texte différemment selon le niveau de contrôle de l'animation par l'utilisateur et selon la précision de la tâche.

Bien que ces indications sur la prise d'informations entre ces deux supports soient très importants, cette analyse reste très sommaire car on ne sait pas exactement quelles informations semblent être pertinentes pour les différents apprenants. Nous avons donc procédé à une analyse des données oculométriques plus précise en créant plusieurs AOI dans la zone du texte ainsi que dans la zone de l'animation. Nous avons créé six aires d'intérêts. Deux aires concernaient le texte et quatre aires concernaient les illustrations. La première AOI concernant le texte incluait les sept premiers paragraphes du texte correspondant à la configuration du système. La seconde AOI concernant le texte incluait le dernier paragraphe du texte et correspondait au fonctionnement du système lorsqu'un individu tire sur la corde du haut. Par ailleurs, les aires concernant l'illustration se référaient à des zones spécifiques de cette illustration. Ainsi l'AOI 1 incluait la poulie du haut, la seule qui ne se déplaçait pas, et qui correspondait au début de la chaîne causale du système. L'AOI 2 incluait la poulie du milieu lorsque celle-ci montait quand le système était actionné pour l'illustration animée ou pour les 5 schémas statiques séquentiels. L'AOI 3 incluait la poulie du milieu dans sa position initiale et la poulie du bas une fois que le système était actionné. L'AOI 4 quant à elle incluait la poulie du bas dans sa position initiale et la charge lorsque le système était actionné. Ces AOI sont présentées dans la figure 5.14.

Les six AOI ayant des superficies différentes, nous n'analyserons pas le nombre de fixations et la durée de fixations dans chacune des AOI, mais nous analyserons le rapport entre le nombre de fixations et la superficie et le rapport entre la durée de fixations et la superficie.

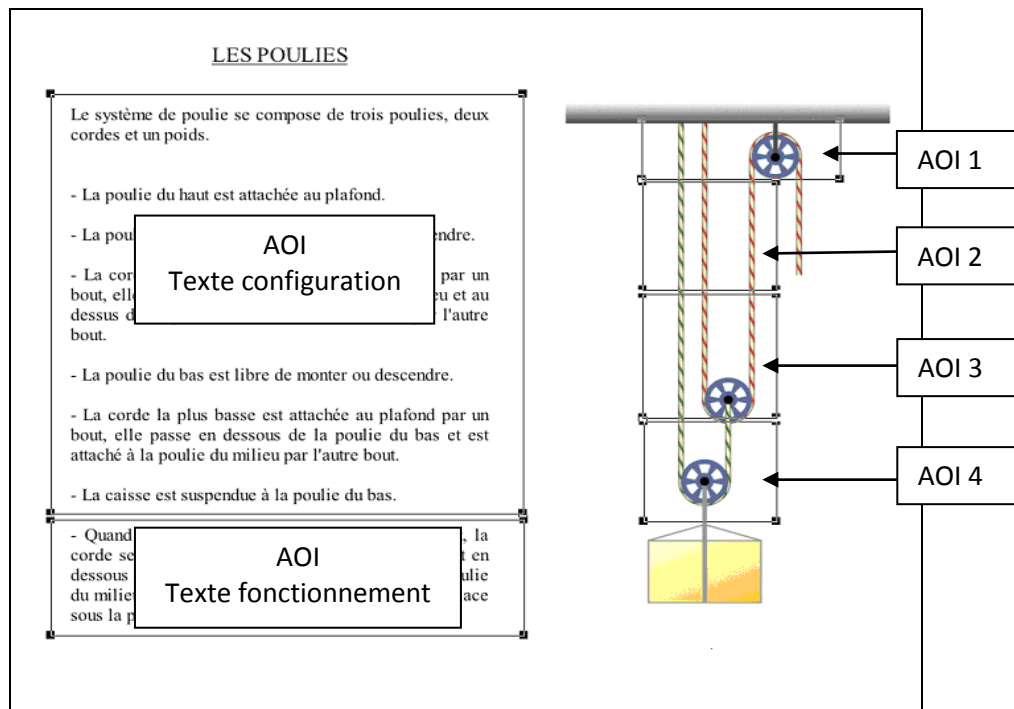


Figure 5 .14. AOI utilisées lors de l'analyse approfondie des données oculométriques (présenté également en annexe 9).

### ***Rapport entre Nombre de fixations et superficie pour les six AOI***

L'ANOVA incluant les trois niveaux de contrôle de l'animation, les quatre tâches, les deux niveaux d'habiletés et les six AOI comme variables dépendantes indique un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 80) = 3.80, p < .001$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'on oriente l'attention des participants sur le modèle fonctionnel ( $M_{\text{tâche modèle fonctionnel}} = 4.40, M_{\text{tâche cinématique locale}} = 2.88, M_{\text{tâche configuration}} = 2.99 \& M_{\text{sans tâche}} = 2.66$ ). Par ailleurs les résultats révèlent en effet significatif du type d'AOI,  $F(5, 400) = 123.13, p < .0001$ . Le nombre de fixations est plus important dans l'AOI 3 ( $M = 5.46$ ) que dans l'AOI 1&2 ( $M_{\text{AOI1}} = 4.68, M_{\text{AOI2}} = 4.34$ ). Les nombres de fixations dans les AOI 1&2 sont plus importants que dans l'AOI 4 ( $M = 2.23$ ). De plus, le nombre de fixations dans cette AOI est plus important que celui dans l'aire incluant le texte portant sur le fonctionnement du système ( $M = 1.47$ ), qui est quant à lui plus important que le nombre de fixations dans l'aire incluant le texte portant sur la configuration du système ( $M = 1.21$ ). Les résultats révèlent un effet d'interaction significatif entre le type d'AOI et le niveau de contrôle,  $F(10, 400) = 5.60, p < .0001$ . Le nombre de fixations dans l'AOI 2 est plus important lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 5.74$ ) que lorsqu'elle est totalement contrôlable ( $M = 4.15$ ), et ce nombre est plus important que lorsque l'animation est non contrôlable ( $M = 3.13$ ). De plus le nombre de fixation dans l'AOI 3 est plus important lorsque l'animation est contrôlable

( $M_{\text{totale}} = 5.97$  &  $M_{\text{partielle}} = 5.94$ ) que lorsqu'elle est non contrôlable ( $M = 4.46$ ), voir figure 5.15.

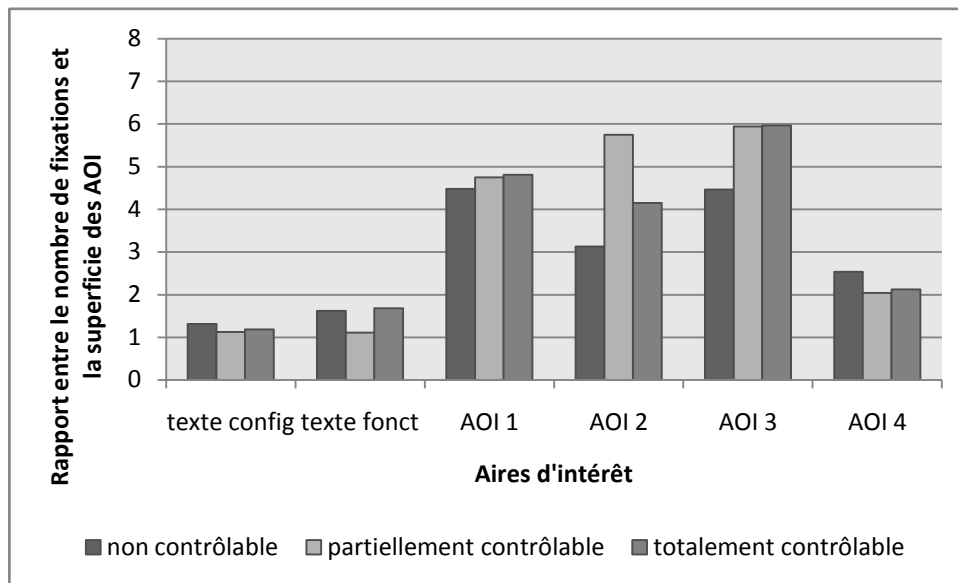


Figure 5.15. Rapport entre le nombre de fixation et la superficie pour chaque AOI en fonction du niveau de contrôle de l'animation.

Les résultats révèlent également un effet d'interaction significatif entre le type d'AOI et le type de tâche,  $F(15, 400) = 3.42$ ,  $p < .0001$ . Cet effet indique que lorsque l'on n'oriente pas l'attention des apprenants ou lorsque l'on oriente leur attention sur le modèle fonctionnel, le nombre de fixation sur le texte portant sur la configuration est plus important ( $M_{\text{sans tâche}} = 1.37$ ,  $M_{\text{tâche modèle fonctionnel}} = 1.38$ ) que lorsque l'on oriente l'attention des apprenants sur la configuration ou sur les aspects cinématiques locaux ( $M_{\text{tâche configuration}} = 1.01$ ,  $M_{\text{tâche cinématique locale}} = 1.06$ ),  $F(1, 80) = 6.54$ ,  $p = .01$ . De plus, lorsque l'on oriente l'attention des apprenants sur le modèle fonctionnel ( $M = 1.94$ ), le nombre de fixations sur le texte portant sur le fonctionnement du système est plus important que lorsque l'on oriente l'attention des apprenants sur les aspects cinématiques locaux ( $M = 1.08$ ),  $F(1, 80) = 5.39$ ,  $p = .02$ . Concernant les AOI 1, 2, 3 & 4 de l'animation, le nombre de fixations est plus important lorsque l'attention des apprenants est orientée sur le modèle fonctionnel que sur la configuration, ou sur les aspects cinématiques locaux, ou encore lorsque leur attention n'est pas orientée (figure 16).

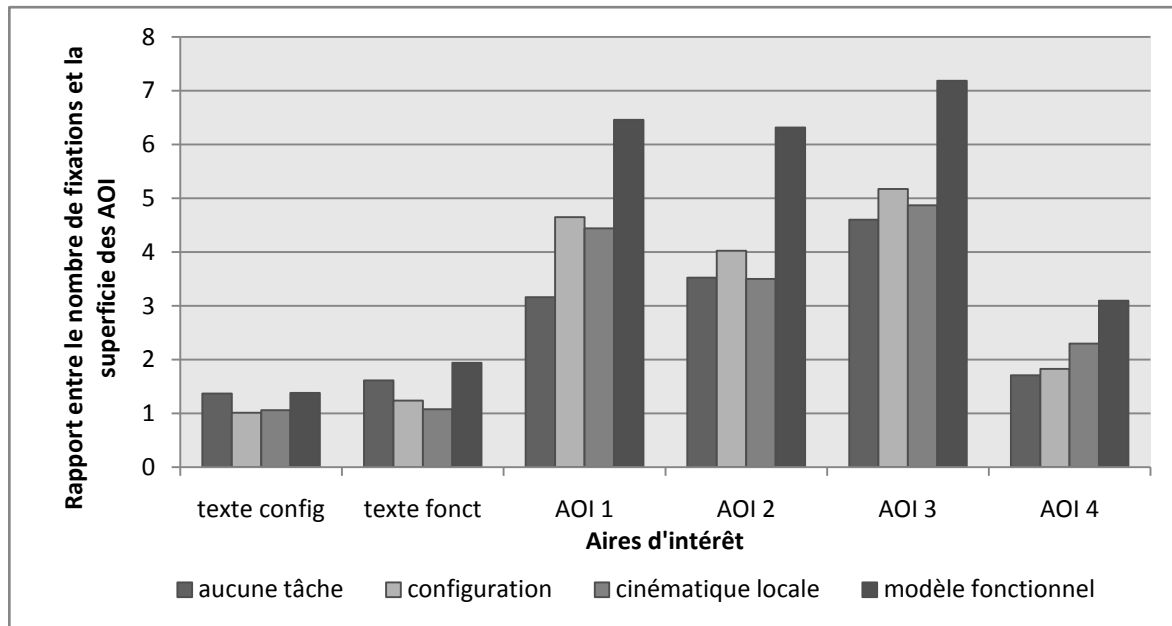


Figure 5.16. Rapport entre le nombre de fixation et la superficie pour chaque AOI en fonction du type de tâche.

Finalement, les résultats indiquent un effet d'interaction tendanciel entre le type d'AOI et le niveau des habiletés des apprenants,  $F(5, 400) = 2.18, p = .055$ . Le nombre de fixations dans les AOI 1&2 est plus important pour les apprenants à faibles aptitudes ( $M_{AOI1} = 5.31, M_{AOI2} = 4.76$ ) que pour les apprenants à fortes aptitudes ( $M_{AOI1} = 4.04, M_{AOI2} = 3.92$ ).

### *Rapport entre durée de fixations et superficie pour les six AOI*

Les corrélations entre le nombre de fixations et la durée de fixations pour chaque AOI étant toutes positives et significatives et les résultats indiquant les mêmes résultats que ceux concernant le rapport entre le nombre de fixations et la superficie pour les six AOI, nous ne détaillerons pas les résultats concernant le rapport entre la durée de fixation et la superficie pour ces mêmes AOI. Un seul de ces résultats est différent. La durée totale de fixations est plus importante lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 1.84s$ ) que lorsqu'elle n'est pas contrôlable ( $M = 1.36s$ ),  $F(2, 80) = 3.39, p = .039$ .

### *Nombre de transitions entre les six AOI*

Nous avons étudié initialement les transitions entre l'aire incluant le texte portant sur la configuration et les quatre AOI incluses dans l'illustration. L'ANOVA indique un effet significatif du type de transition,  $F(3, 240) = 26.65, p < .0001$ . Le nombre de transitions entre l'aire du texte portant sur la configuration et l'AOI 3 ( $M = 9.60$ ) est plus important que celui entre l'aire du texte portant sur la configuration et l'AOI 1 ( $M = 6.61$ ),  $F(1, 80) = 18.17, p <$

.0001. De même ce nombre de transitions est plus important que celui entre l'aire du texte portant sur la configuration et les AOI 2 et 4 (respectivement,  $M = 4.45$  &  $M = 4.48$ ),  $F(1, 80) = 12.49$ ,  $p = .0007$ . De plus, l'interaction tendancielle entre le niveau de contrôle, les habiletés des participants et le type de transition,  $F(6, 240) = 1.99$ ,  $p = .068$ , indique que le nombre de transitions entre le texte portant sur la configuration et l'AOI 1 est plus important lorsqu'une animation non contrôlable est utilisée par des participants à faibles habiletés,  $F(1, 80) = 10.11$ ,  $p = .002$ .

L'analyse portant sur les transitions entre l'aire incluant le texte portant sur le fonctionnement du système et les quatre AOI de l'animation indique uniquement un effet significatif du type de transition,  $F(3, 240) = 15.52$ ,  $p < .0001$ . Le nombre de transitions entre cette AOI du texte et l'AOI 3 ( $M = 2.55$ ) est supérieur au nombre de transitions entre cette même AOI du texte et les AOI 1 & 4 (respectivement  $M = 1.39$  &  $M = 1.63$ ),  $F(1, 80) = 17.11$ ,  $p < .0001$ . De plus, le nombre de transitions entre cette AOI du texte et les AOI 1 & 4 est supérieur au nombre de transitions entre cette AOI du texte portant sur le fonctionnement du système et l'AOI 2 ( $M = 0.81$ ),  $F(1, 80) = 13.27$ ,  $p = .0005$ .

Finalement, l'étude portant sur les transitions entre les diverses AOI de l'illustration animée indique dans un premier temps un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 80) = 6.22$ ,  $p = .00075$ . Le nombre de transitions est plus important lorsque l'on oriente les participants sur le modèle fonctionnel ( $M = 10.53$ ) que sur la configuration ( $M = 6.95$ ) ou sur les aspects cinématiques locaux ( $M = 7.32$ ) ou lorsque l'on n'oriente pas leur attention ( $M = 5.63$ ). Les résultats indiquent également un effet significatif du type de transition,  $F(5, 400) = 72.73$ ,  $p < .0001$ . Le nombre de transitions entre les AOI 1&3 ( $M = 12.42$ ) et les AOI 2&3 ( $M = 11.75$ ) est plus important que le nombre de transitions entre les AOI 1&2 ( $M = 9.03$ ) et entre les AOI 3&4 ( $M = 7.75$ ). Et ces nombres de transitions sont plus nombreux que celles entre les AOI 1&4 ( $M = 2.54$ ) et les AOI 2&4 ( $M = 2.17$ ). L'interaction significative entre le type de transitions et le niveau de contrôle,  $F(10, 400) = 3.16$ ,  $p = .0007$ , indique que le nombre de transitions entre les AOI 1&2 est plus important lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 10.85$ ) que lorsqu'elle est non contrôlable ( $M = 7.75$ ),  $F(1, 80) = 3.53$ ,  $p = .06$ . Cette interaction indique également que le nombre de transitions entre les AOI 2&3 est plus important lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 15.19$ ) que lorsqu'elle est manipulable ( $M = 11.82$ ),  $F(1, 80) = 3.13$ ,  $p = .08$ , ou que lorsqu'elle est non contrôlable ( $M = 8.24$ ),  $F(1, 80) = 14.05$ ,  $p = .0003$ , (figure 5.17). L'interaction significative entre le type de transition et le type de tâche,  $F(15, 400) = 2.31$ ,  $p = .0037$  indique par ailleurs que le nombre de transitions entre les AOI 1&2 et 2&3 est plus important lorsque l'on oriente

l'attention sur le modèle fonctionnel (respectivement  $M = 14.09$ , et  $M = 16.58$ ) que lorsque l'on oriente l'attention sur la configuration (respectivement  $M = 8.33$  et  $M = 10.59$ ) ou sur le cinématique local (respectivement  $M = 8.33$  et  $M = 9.37$ ) ou lorsque l'on n'oriente pas l'attention (respectivement  $M = 5.35$  et  $M = 10.46$ ). De plus, cette interaction met également en évidence que le nombre de transitions entre les AOI 1&3 est plus important lorsque l'on oriente l'attention des participants sur le modèle fonctionnel ( $M = 16.04$ ) que lorsque l'on n'oriente pas leur attention ( $M = 8.40$ ), (figure 5.18).

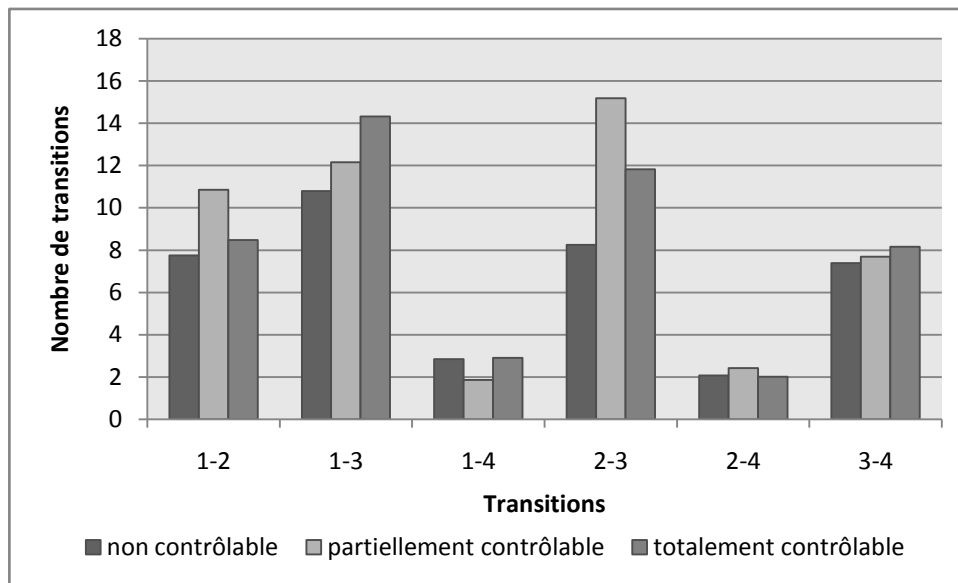


Figure 5.17. Nombre de transitions entre les quatre AOI de l'illustration animée en fonction du niveau de contrôle de l'animation.

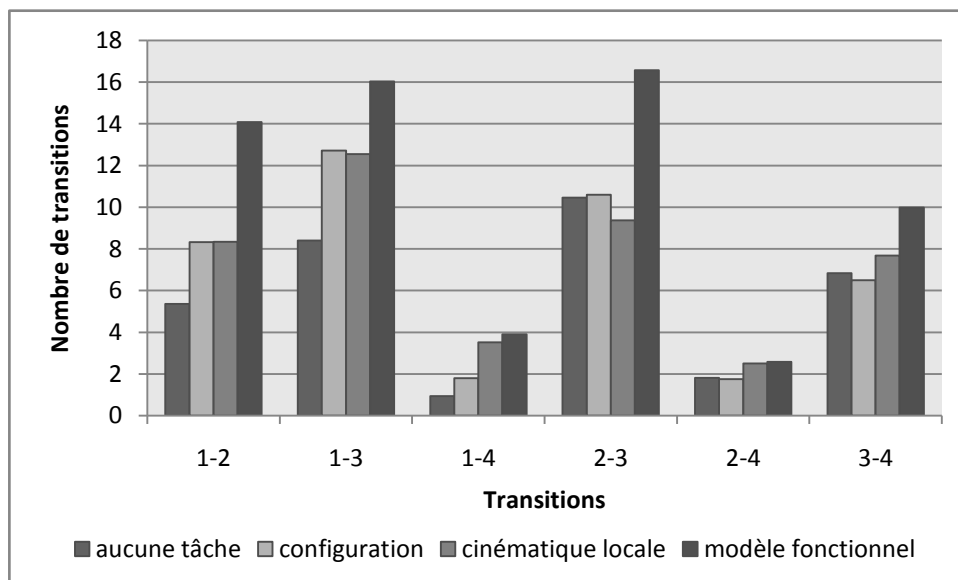


Figure 5.18. Nombre de transitions entre les quatre AOI de l'illustration animée en fonction du type de tâche



### *Etude du type de transition*

Cette étude porte sur la comparaison entre plusieurs types de transition concernant les AOI de l'illustration animée. Nous avons distingué des transitions locales, c'est-à-dire des transitions entre deux AOI placées l'une à côté de l'autre (eg. 1/2, 2/3, 3/4), des transitions globales, c'est-à-dire des transitions entre deux AOI qui ne sont pas situées l'une à côté de l'autre (eg. 1/3, 1/4, 2 :4), et des transitions qui suivent les parcours de la chaîne causale du système, c'est-à-dire des transitions ayant au moins trois AOI qui sont situées les une à côté des autres (eg. 1/2/3, 4/3/2/1).

L'ANOVA indique comme auparavant un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 80) = 6.92, p = .0003$ . Le fait d'orienter l'attention sur le modèle mental induit plus de transitions que pour les autres tâches. Par ailleurs, l'effet du type de transition se montre significatif,  $F(2, 160) = 191.37, p < .0001$ . Le nombre de transitions locales ( $M = 28.52$ ) est plus important que le nombre de transitions globales ( $M = 17.13$ ), qui est lui même plus important que le nombre de transitions se rapportant à la chaîne causale ( $M = 8.59$ ). L'interaction significative entre le type de transition et le niveau de contrôle,  $F(4, 160) = 4.98, p = .0008$ , indique que seul le nombre de transitions locales varient en fonction du contrôle. Ce nombre est plus important lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 33.72$ ) que non contrôlable ( $M = 23.38$ ),  $F(1, 80) = 7.81, p = .006$  (figure 5.19).

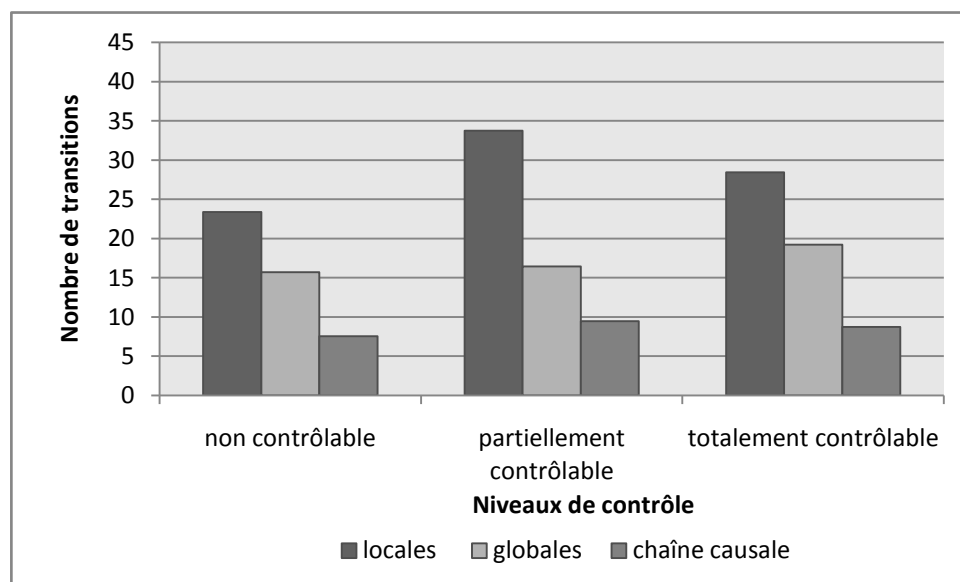


Figure 5.19. Nombre de transitions entre les trois types d'AOI de l'illustration animée en fonction du niveau de contrôle.

L'interaction significative entre le type de transitions et le type de tâche,  $F(6, 160) = 4.17$ ,  $p = .0006$  (figure 5.20), indique que le nombre de transitions locales est plus important lorsque l'on oriente l'attention des participants sur le modèle fonctionnel ( $M = 40.64$ ) que lorsque l'on oriente l'attention sur la configuration, les aspects cinématiques locaux ou lorsque l'on n'oriente pas l'attention (respectivement,  $M = 25.42$ ,  $M = 25.38$ , et  $M = 22.65$ ). Cet effet indique également que le nombre de transitions globales est plus important lorsque l'attention des participants est orientée sur le modèle fonctionnel ( $M = 22.52$ ) que lorsque l'attention est orientée sur la configuration ( $M = 16.27$ ) ou lorsqu'elle n'est pas orientée ( $M = 11.16$ ). De même le nombre de transitions suivant la chaîne causale est plus important lorsque l'on oriente l'attention des participants sur le modèle fonctionnel ( $M = 13.15$ ) que lorsque l'on oriente l'attention sur la configuration, les aspects cinématiques locaux ou lorsque l'on n'oriente pas l'attention (respectivement,  $M = 7.46$ ,  $M = 8.10$ , et  $M = 5.66$ ).

L'interaction double significative entre le type de transitions, le type de tâche et le niveau des habiletés mécaniques et spatiales,  $F(6, 160) = 2.16$ ,  $p = .049$ , indique que le nombre de transitions pour chaque type de transition est plus important lorsque l'on oriente l'attention des participants sur le modèle fonctionnel du système et ce uniquement pour les participants avec de faibles aptitudes (figure 5.21).

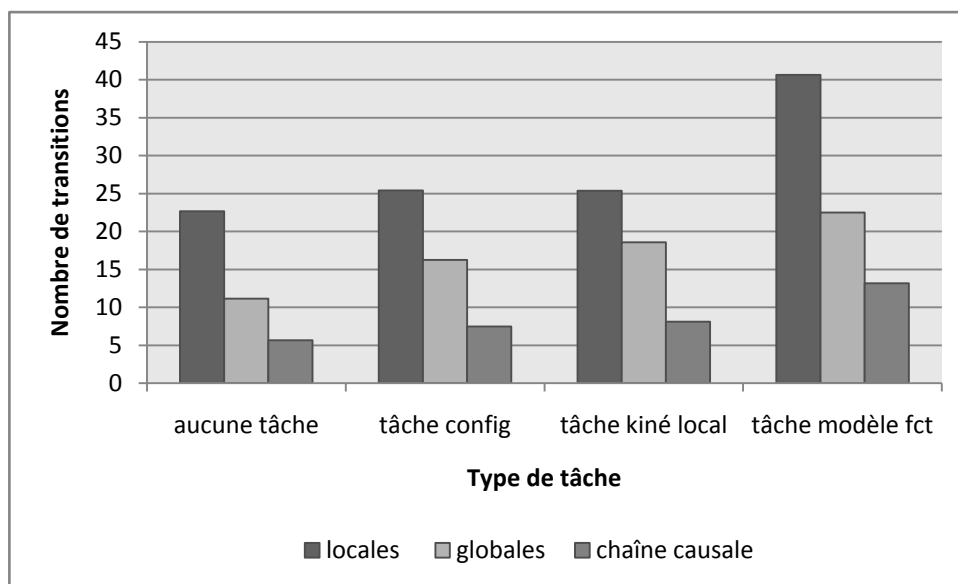


Figure 5.20. Nombre de transitions entre les trois types d'AOI de l'illustration animée en fonction du type de tâche.

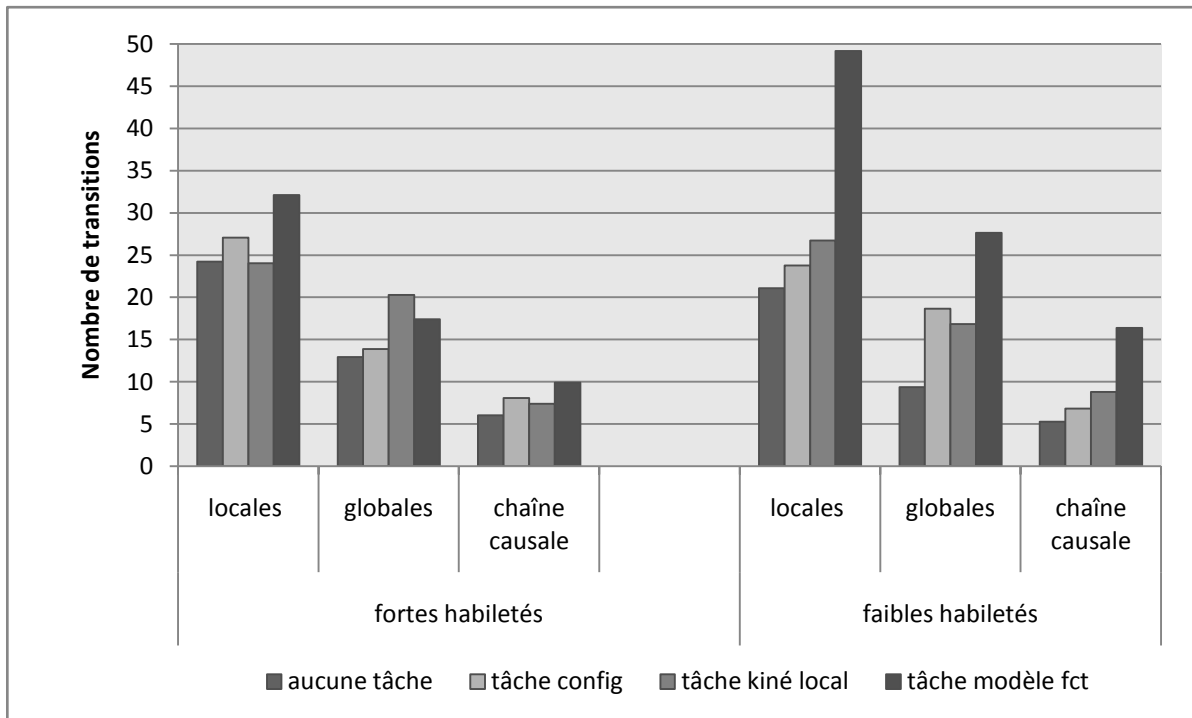


Figure 5.21. Nombre de transitions entre les trois types d'AOI de l'illustration animée en fonction du type de tâche pour les participants avec de fortes et de faibles habiletés mécaniques et spatiales

### 4.3. Conclusions

Dans cette quatrième expérience, nous avons mis en évidence qu'une orientation de l'attention sur le modèle fonctionnel ou sur les aspects cinématiques locaux, plutôt que sur la configuration du système de poulies ou lorsque l'attention n'est pas orientée, facilite l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel de la part des apprenants. Un guidage attentionnel par le biais d'instructions augmente l'appréhension des composants pertinents et de leurs comportements. Les résultats montrent également que l'élaboration cognitive des aspects cinématiques locaux et d'un modèle mental fonctionnel est facilitée par une animation contrôlable (partiellement ou totalement) pour les apprenants avec de faibles habiletés mécaniques et spatiales.

Les données issues des mouvements oculaires suggèrent que lorsque l'attention des apprenants n'est pas orientée sur un but spécifique ou lorsque l'animation est non contrôlable, ils utilisent autant le support textuel que l'animation. Les apprenants exploitent plus profondément les informations textuelles lorsque les conditions de délivrance des informations picturales sont pauvres et lorsque le but de la recherche d'informations n'est pas spécifié. Lorsque le processus de compréhension des apprenants est principalement basé sur les informations textuelles, l'animation est utilisée comme une illustration permettant une activité de vérification de la bonne compréhension du texte.

Les données issues des mouvements oculaires approfondis indiquent que le nombre de transitions est plus important entre la partie du texte sur la configuration et l'animation, qu'entre la partie du texte sur le fonctionnement et l'animation. Ce pattern comportemental suggère que les apprenants construisent dans un premier temps un modèle référentiel du système à partir du texte et des informations graphiques à l'aide d'un nombre de transitions élevés entre ces deux aires. Ensuite, les apprenants semblent intégrer le fonctionnement du système à partir des aires de l'animation générant beaucoup de mouvements, en utilisant les propriétés du contrôle de l'animation et du but des tâches spécifiques.

En conclusion, cette expérience révèle qu'une animation interactive prend une place importante dans la compréhension du fonctionnement du système. Mais, la plupart des recherches à propos des animations sont réalisées avec un texte et un support graphique, de ce fait, nous n'en savons pas plus quant au traitement de l'animation en tant que tel.

Ainsi, pour une meilleure compréhension des traitements cognitifs impliqués dans l'intégration d'un système complexe par le biais d'une animation, nous avons supprimé le texte explicatif dans la prochaine expérience.

## **5. Expérience 5**

Le but de la cinquième expérience consiste à mettre en évidence le rôle de l'orientation ainsi que celui du contrôle d'une animation chez des apprenants ayant de fortes et de faibles aptitudes mécaniques et spatiales à partir d'une illustration animée sans texte explicatif.

### **5.1.Méthode**

#### ***Sujets***

Un groupe de cent vingt et un étudiants de premier cycle de psychologie de l'université de Bourgogne, composé de quatre vingt dix neuf filles et vingt deux garçons, ont participé à l'expérience 5 pour obtenir des points d'expérience.

#### ***Matériel de la tâche expérimentale***

Le matériel utilisé lors de cette expérience était identique à celui utilisé lors de la précédente expérience mais sans texte explicatif (figure 5.22). Par ailleurs, le nom des différents éléments constituant le système de poulies était affiché pendant une minute pour que les participants puissent les réutiliser lors de la tâche de compréhension. Durant cette

minute, ils ne pouvaient pas faire fonctionner l'animation, mais une fois celle-ci écoulée, les noms disparaissaient et ils pouvaient faire fonctionner l'animation.

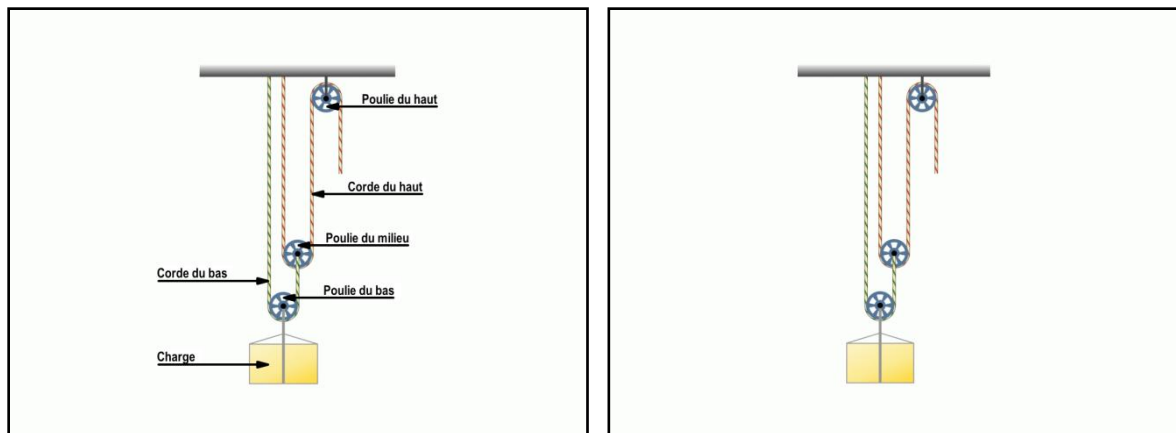


Figure 5.22. Illustration animée représentant le système de poulies durant la première minute de l'expérience avec les noms des éléments affichés et après cette première minute.

### *Mesures de mémorisation et de compréhension*

Nous avons utilisé le même test de mémorisation et de compréhension que celui utilisé lors de l'expérience 5.

### *Mesure des différences interindividuelles*

La constitution de nos deux groupes de sujets s'effectuait comme dans les expériences précédentes à l'aide des tests relations spatiales et raisonnement mécanique tirés de la batterie de tests du DAT5 (Bennett, Seashore & Wesman, 1973, 2002).

### *Appareils*

Le système de poursuite de mouvements oculaires était le même que celui utilisé pour les expériences précédentes. De plus, le logiciel pour l'enregistrement et l'analyse des données était le même que celui de l'expérience 4 (Gazetracker).

### *Procédure*

Dans le but de différencier les sujets avec de fortes et de faibles habiletés mécaniques et spatiales, on mesurait les habiletés mécanique et spatiale des participants avec les deux tests appartenant au DAT5. Du fait d'une corrélation significative ( $p < .01$ ) entre les performances aux deux tests, nous avons moyenné les scores obtenus pour tous les sujet. Nous avons déterminé la médiane pour délimiter la frontière entre les sujets à fortes et à faibles habiletés.

Le score médian obtenu était de 57% de réponses correctes. Les sujets ayant obtenu un score supérieur ou égal à cette médiane constituent notre groupe de sujets à fortes habiletés alors que les sujets ayant obtenu un score inférieur à cette médiane constituent notre groupe de sujets à faibles habiletés. Ainsi faite, la répartition dissociait 60 sujets à fortes habiletés ( $M = 69.45$ ,  $SD = 8.84$ ) et 61 sujets à faibles habiletés ( $M = 44.77$ ,  $SD = 8.43$ ). La différence entre les scores obtenus par les sujets à fortes habiletés et ceux obtenus par les sujet à faibles habiletés se révèle fortement significative,  $F(1,97) = 203.38$ ,  $p < .0001$ . Ces sujets étaient ensuite distribués parmi les trois niveaux de contrôle de l'animation et les quatre tâches spécifiques concernant l'orientation de l'attention. Les tests post-hoc indiquent une différence entre les groupes de sujets à fortes et à faibles habiletés pour chaque et entre chaque niveau de contrôle ( $p < .01$ , Newman-Keuls test). De plus, ces tests post-hoc n'indiquent aucune différence significative entre les groupes de sujets à fortes habiletés pour les trois niveaux de contrôles ( $p > .05$ , Newman-Keuls test), et n'indiquent aussi aucune différence significative entre les groupes de sujets à faibles habiletés pour les trois niveaux de contrôle ( $p > .05$ , Newman-Keuls test).

Dans la seconde étape de l'expérience, on présentait aux participants, sur un écran d'ordinateur, l'illustration animée du système de poulie de façon individuelle. Leur tâche était d'étudier le fonctionnement du système de poulies avec l'un des trois niveaux de contrôle de l'animation de sorte qu'il puisse l'expliquer à quelqu'un d'autre sans l'avoir sous les yeux. Néanmoins, tout comme dans l'expérience précédente, on orientait l'attention des sujets différemment à l'aide d'une consigne spécifique selon la condition expérimentale dans laquelle il se trouvait. Les différentes consignes avaient pour but d'orienter l'attention des sujets sur la configuration, ou sur les aspects cinématiques locaux, ou sur le modèle fonctionnel du système, ou ne pas orienter l'attention du sujet (condition contrôle). Pour orienter l'attention du sujet sur la configuration du système, on précisait aux sujets qu'après la leçon ils devraient répondre à certaines questions et que celles-ci porteraient principalement sur les différents éléments du système. Concernant l'orientation de l'attention sur les aspects cinématiques locaux, on précisait aux sujets que les questions porteraient principalement sur la direction du mouvement, le sens de rotation et la vitesse de rotation des poulies composant le système. Pour l'orientation sur le modèle fonctionnel, on précisait aux sujets que les questions porteraient sur les différents éléments composant le système, ainsi que sur la direction du mouvement, le sens de rotation et la vitesse de rotation des poulies composant le système. Enfin, pour le groupe contrôle, on précisait aux sujets qu'ils auraient des questions pour mesurer leur compréhension, mais on n'indiquait pas sur quoi elles pourraient porter. Le

temps d'étude de la leçon était libre mais les participants avaient l'obligation de faire fonctionner l'animation trois fois entièrement. Durant cette étape, nous avons capturé les mouvements oculaires de certains sujets après avoir déterminé leur œil directeur.

La consultation de la leçon terminée, les participants devaient répondre au questionnaire de compréhension.

## **5.2. Résultats**

### ***Performances au test de compréhension***

Le nombre de réponses correctes moyen ainsi que les écarts-types au test de compréhension pour chaque indicateur (configuration, cinématique local, modèle mental fonctionnel), pour chaque niveau de contrôle de l'animation (non, partiellement, ou totalement contrôlable), pour chaque tâche spécifique (aucune, configuration, cinématique local, modèle fonctionnel) et pour chaque niveau d'aptitudes (fort, faible) sont présentés dans le tableau 5.6.

	Fortes habiletés			Faibles habiletés		
	Animation non contrôlable N = 20	Animation partiellement contrôlable N = 20	Animation totalement contrôlable N = 20	Animation non contrôlable N = 20	Animation partiellement contrôlable N = 21	Animation totalement contrôlable N = 20
<b>Configuration</b>						
Aucune tâche N = 30	79.17 (6.59)	81.67 (6.97)	90.00 (8.12)	80.00 (17.28)	73.33 (25.45)	75.00 (14.73)
Tâche configuration N = 30	80.00 (17.53)	84.17 (13.31)	84.17 (9.95)	84.17 (8.54)	78.33 (10.37)	89.17 (7.57)
Tâche ciné locale N = 31	81.67 (17.08)	89.17 (8.64)	73.33 (6.32)	66.67 (18.63)	84.03 (8.09)	83.33 (8.33)
Tâche modèle fct N = 30	91.67 (8.33)	91.67 (4.17)	89.17 (4.75)	83.33 (12.15)	85.83 (11.64)	89.17 (11.26)
<b>Cinématique local</b>						
Aucune tâche N = 30	66.90 (11.07)	84.14 (7.55)	91.72 (6.26)	77.93 (21.62)	68.97 (14.21)	71.03 (22.95)
Tâche configuration N = 30	74.48 (15.54)	71.72 (20.89)	88.28 (11.33)	69.66 (11.28)	47.58 (15.88)	68.97 (18.89)
Tâche ciné locale N = 31	82.07 (17.48)	91.03 (8.99)	71.72 (16.43)	68.28 (26.53)	72.41 (14.95)	82.07 (12.53)
Tâche modèle fct N = 30	84.83 (9.32)	82.61 (10.05)	94.48 (6.72)	60.69 (11.85)	55.17 (14.83)	79.31 (12.43)
<b>Modèle mental fonctionnel</b>						
Aucune tâche N = 30	28.33 (18.49)	39.17 (8.51)	35.00 (12.36)	21.67 (13.94)	17.50 (6.18)	27.50 (19.00)
Tâche configuration N = 30	33.33 (16.40)	25.00 (13.18)	32.50 (4.56)	25.00 (18.87)	19.17 (10.03)	32.50 (20.07)
Tâche ciné locale N = 31	45.83 (18.63)	45.83 (23.75)	40.83 (14.55)	39.17 (11.64)	37.50 (17.08)	43.33 (18.07)
Tâche modèle fct N = 30	51.67 (11.26)	46.67 (17.28)	65.00 (6.97)	37.50 (23.20)	25.00 (26.35)	34.17 (22.71)

Tableau 5.6. Pourcentage de réponses correctes aux trois indicateurs de compréhension en fonction de chaque niveau de contrôle et pour chaque orientation spécifique de l'attention pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écart-types sont entre parenthèses.

L'ANOVA incluant les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches, les deux niveaux d'habiletés et les trois indicateurs de compréhension révèle dans un premier temps un effet du niveau des habiletés mécaniques et spatiales,  $F(1, 97) = 21.91, p < .0001$ . Les participants avec de fortes aptitudes (69.24%) ont de meilleures performances que ceux avec de faibles aptitudes (59.85%). Une animation totalement contrôlable (67.99%) permet d'obtenir de meilleures performances de compréhension qu'une animation non contrôlable (63.08%) ou partiellement contrôlable (62.55%),  $F(2, 97) = 2.97, p = .056$ . Les performances des participants aux indicateurs de compréhension sont meilleures lorsque leur attention est orientée sur les aspects cinématiques locaux (66.57%) ou sur le modèle fonctionnel du système (69.53%) plutôt que sur la configuration (60.45%) ou encore lorsque l'on n'oriente pas l'attention (61.61%),  $F(3, 97) = 4.47, p = .006$ .



Ces résultats suggèrent que la compréhension du système de poulie est améliorée lorsque l'on oriente l'attention des apprenants sur les aspects cinématiques locaux et sur le modèle fonctionnel du système ou lorsque l'animation est totalement contrôlable.

De plus, l'effet du niveau des indicateurs de compréhension se montre également significatif : les scores portant sur la configuration (82.84%) sont supérieurs à ceux portant sur les aspects cinématiques locaux (75.40%), ceux-ci étant également supérieurs à ceux portant sur le modèle mental fonctionnel (35.38%),  $F(2, 194) = 555.54, p < .0001$ . L'interaction entre le niveau des habiletés et les trois indicateurs de compréhension se montre elle aussi significative,  $F(2, 194) = 5.81, p = .004$ . Cette interaction indique que les apprenants avec de fortes aptitudes mécaniques et spatiales obtiennent de meilleures performances que les apprenants avec de faibles aptitudes, uniquement pour les scores portant sur les aspects cinématiques locaux (respectivement 82.30% et 68.51%) et sur le modèle mental fonctionnel (respectivement 40.76% et 30%). L'interaction entre le type de tâche et les indicateurs de compréhension montre un plus gros bénéfice lorsque l'attention des apprenants est centrée sur le modèle fonctionnel,  $F(6, 194) = 5.04, p = .0008$ .

Ces résultats ont été examinés plus en détail par trois autres ANOVA, une pour chaque indicateur de compréhension.

Pour l'indicateur portant sur la configuration du système, nous observons uniquement un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 97) = 3.47, p = .019$ . Les apprenants dont l'attention est centrée sur le modèle fonctionnel (88.47%) ont de meilleures performances que ceux dont l'attention est centrée sur les aspects cinématiques locaux (79.70%),  $F(1, 97) = 7.96, p = .006$ , ou ceux dont l'attention n'est pas orientée (79.86%),  $F(1, 97) = 7.56, p = .007$ .

Pour l'indicateur portant sur les aspects cinématiques locaux, les apprenants ayant de fortes aptitudes (82.30%) obtiennent de meilleures performances que ceux ayant de faibles aptitudes (68.51%),  $F(1, 97) = 25.33, p < .0001$ . Par ailleurs, nous observons un effet significatif du niveau de contrôle de l'animation,  $F(2, 97) = 4.13, p = .019$ . Les apprenants pouvant utiliser une animation totalement contrôlable (80.95%) obtiennent de meilleures performances que ceux pouvant utiliser une animation partiellement contrôlable (72.16%) ou non contrôlable (73.10%). Nous observons également un effet d'interaction tendanciel entre le niveau des habiletés et le niveau de contrôle,  $F(2, 97) = 2.51, p = .086$ . Cette interaction indique une diminution des performances pour les apprenants avec de faibles aptitudes lorsque l'animation est partiellement contrôlable (pour les apprenants avec de faibles aptitudes :  $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 61.03\%$ ,  $M_{\text{non contrôlable}} = 69.14\%$ ,  $M_{\text{totalement contrôlable}} = 75.34\%$ ).

Cette diminution chez ces apprenants peut être dû au fait que ce niveau partiel de contrôle implique un manque de continuité des aspects cinématiques que n'implique pas les deux autres niveaux.

Concernant l'indicateur mesurant le modèle mental fonctionnel, nous observons un effet significatif du niveau des habiletés,  $F(1, 97) = 12.75$ ,  $p = .0006$ . Les apprenants avec de fortes aptitudes (40.76%) ont de meilleures performances que ceux avec des faibles aptitudes (30%). Nous observons également un effet du type de tâche, les apprenants dont l'attention est orientée sur les aspects cinématiques locaux (42.08%) ou sur le modèle fonctionnel (43.33%) obtiennent de meilleures performances que ceux dont l'attention est orientée sur la configuration (21.92%) ou ceux dont l'attention n'est pas orientée (28.19%),  $F(3, 97) = 7.90$ ,  $p < .0001$ .

Pour résumer, l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel efficient, à partir d'une animation sans texte, est améliorée lorsque l'on oriente l'attention de l'apprenant sur les aspects cinématiques locaux ou sur le modèle fonctionnel du système de poulies ou lorsque l'animation est totalement contrôlable et ceci particulièrement pour les aspects cinématiques locaux du système.

### ***Durée d'étude du document***

Nous avons analysé les durées de cent treize participants, dont les mouvements oculaires ont été enregistrés, (présentées dans le tableau 5.7). L'ANOVA concernant la durée d'étude du document et incluant les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches, les deux niveaux d'habiletés les trois indicateurs de compréhension comme variables indépendantes met en évidence que la durée d'étude de la leçon lorsque l'animation est partiellement contrôlable (186.83s) ou totalement contrôlable (193.86s) est plus importante que la durée d'étude du document pour une animation non contrôlable (134.95s),  $F(2, 89) = 9.68$ ,  $p = .0002$ . Le fait que le contrôle d'une animation induit une durée d'étude du document plus importante, nous avons analysé l'impact de cette durée d'étude sur les performances aux indicateurs de compréhension.

L'ANCOVA incluant les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches, les deux niveaux d'habiletés comme variables indépendantes, la durée d'étude du document comme facteur covariant avec des mesures répétées pour les trois indicateurs de compréhension met également en évidence un effet significatif du niveau des habiletés,  $F(3, 86) = 8.94$ ,  $p < .0001$ . Les apprenants avec de fortes aptitudes obtiennent de meilleures performances que les sujets

avec de faibles aptitudes. L'analyse indique également un effet tendanciel du niveau de contrôle de l'animation,  $F(6, 172) = 1.91, p = .08$ . Les performances des apprenants sont meilleures lorsque l'animation est totalement contrôlable que partiellement ou non contrôlable. Enfin l'effet du type de tâche indique de meilleures performances de compréhension lorsque l'on oriente l'attention des apprenants sur les aspects cinématiques locaux ou sur le modèle fonctionnel plutôt que sur la configuration ou lorsque l'on n'oriente pas leur attention,  $F(9, 209.45) = 3.60, p < .0004$ .

En prenant en compte la durée d'étude dans l'analyse statistique des performances de compréhension, il s'avère que les effets obtenus précédemment restent stables. La durée d'étude n'a donc qu'un effet assez faible sur les performances de compréhension. Le fait d'étudier plus longtemps le document n'induit pas de meilleures performances de compréhension.

	Fortes habiletés			Faibles habiletés		
	Animation non contrôlable N = 20	Animation partiellement contrôlable N = 18	Animation totalement contrôlable N = 18	Animation non contrôlable N = 19	Animation partiellement contrôlable N = 19	Animation totalement contrôlable N = 19
<b>Spécificité de la tâche</b>						
Aucune tâche N = 29	121.91 (16.18)	193.92 (59.97)	171.78 (21.95)	119.29 (14.37)	181.24 (27.13)	208.90 (84.88)
Tâche configuration N = 25	113.21 (8.02)	186.64 (47.02)	166.54 (52.01)	133.22 (24.65)	156.86 (25.13)	205.93 (103.58)
Tâche ciné locale N = 30	133.88 (12.69)	163.62 (29.08)	176.19 (59.96)	120.77 (8.45)	193.74 (47.25)	191.24 (52.85)
Tâche modèle fct N = 29	155.70 (35.10)	178.04 (24.26)	205.44 (110.47)	181.65 (125.52)	240.55 (134.24)	224.88 (73.00)

Tableau 5.7. Durée d'étude moyenne (en secondes) du document pour chacun des niveaux de contrôle de l'animation et pour chaque tâche en fonction du niveau des habiletés mécaniques et spatiales des apprenants. Les écart-types sont entre parenthèses.

### *Mesures oculométriques*

Toujours dans le but d'étudier les traitements on-line dans la compréhension des animations, nous avons analysé les fixations oculaires de cent treize participants. Nous avons créé quatre AOI, présentées figure 5.23. Les quatre AOI étaient similaires à celles utilisées lors du traitement approfondi portant sur l'animation lors de l'expérience 4. La première AOI incluait la poulie du haut. Cette aire correspond au point de départ de la chaîne causale. La seconde AOI incluait la poulie du milieu lorsque le système était actionné lors de l'animation. La troisième AOI incluait la poulie du milieu lorsque le système n'était pas actionné et la

poulie du bas lorsque le système était actionné lors de l'animation. Cette AOI se révèle être une aire particulièrement importante pour l'intégration des aspects cinématiques du système. Finalement, la quatrième AOI incluait la poulie du bas lorsque le système n'était pas actionné et la charge lors de la simulation animée. Cette AOI semble être la moins pertinente pour l'intégration des aspects cinématiques, par ailleurs elle indique le résultat lorsque le système de poulies est actionné.

Deux exemples typiques de scanpaths sont consignés dans la figure 5.24. Chaque exemple, constitué de quatre figures, représente l'état du scanpath à la période de 60 secondes où l'illustration est statique et trois périodes égales du temps total d'enregistrement du mouvement des yeux (respectivement 1/3, 2/3 et 3/3 du temps total). Sur chaque cliché de la figure 5.24, les points en noirs représentent les fixations oculaires, d'au moins 300 millisecondes (à l'intérieur de chaque point figurent deux chiffres, le premier donne le numéro de la fixation dans l'ordre chronologique d'apparition et le deuxième indique la durée de la fixation). Les lignes reliant les ronds noirs représentent la trajectoire des yeux entre les fixations.

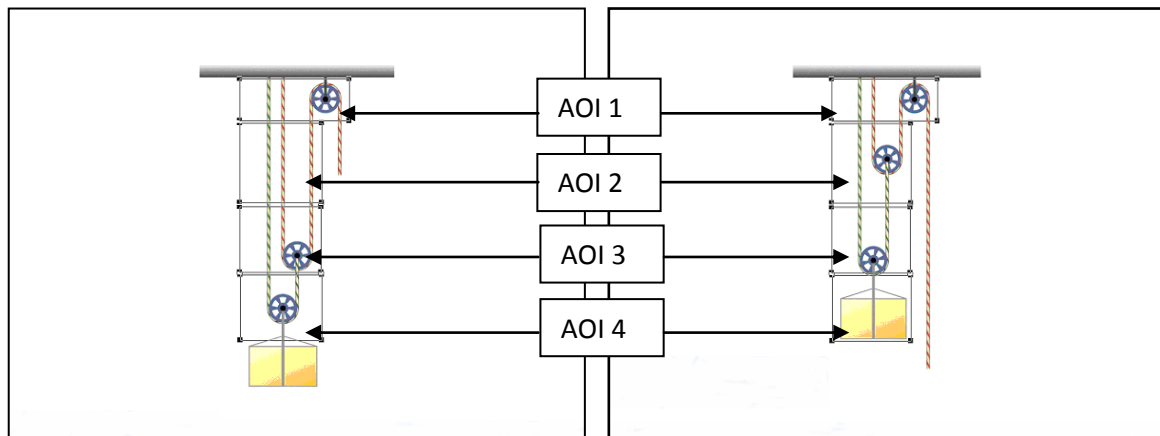


Figure 5.23. AOI utilisées lors de l'analyse des données oculométriques lorsque le système n'est pas actionné et lorsqu'il l'est (présenté également en annexe 10).

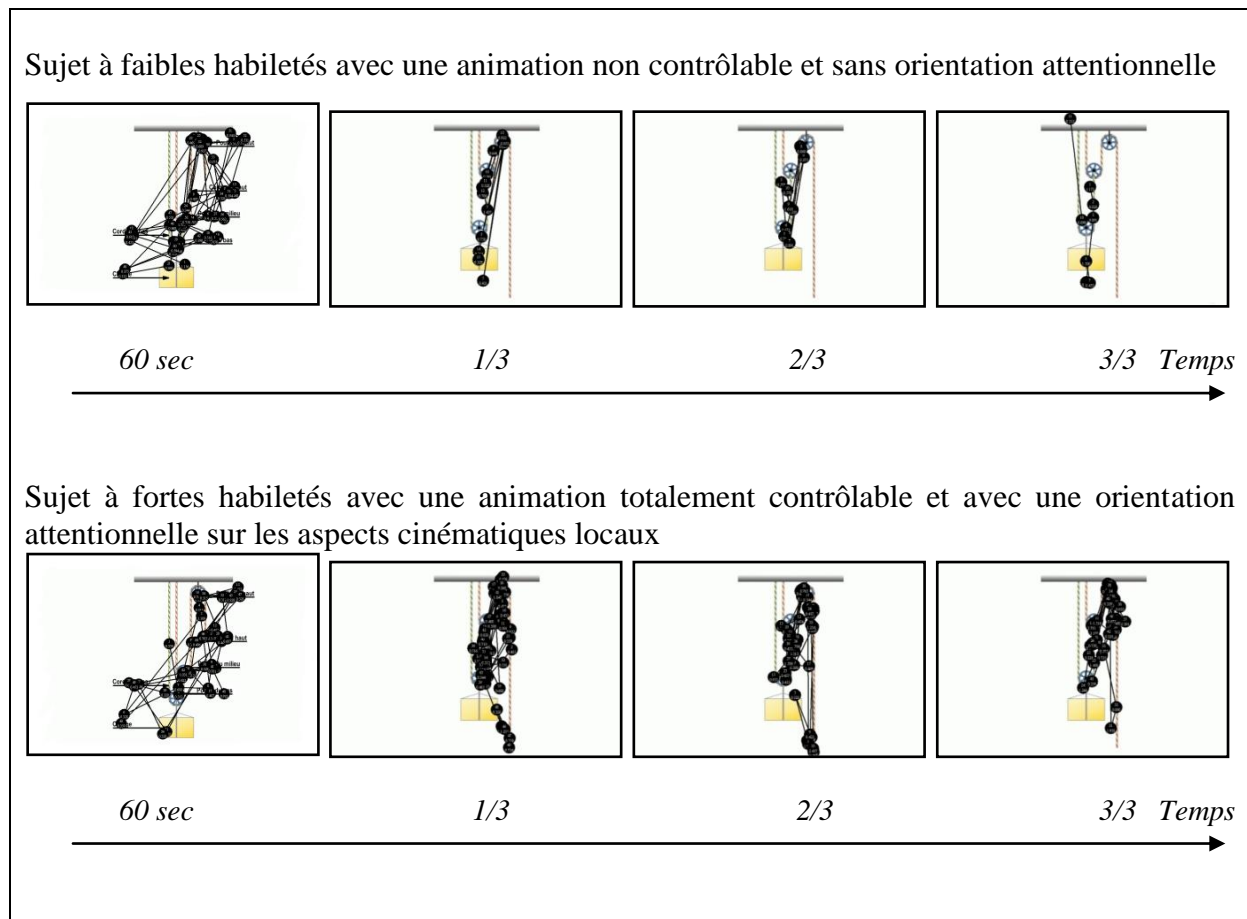


Figure 5.24. Deux scanpaths typiques, les fixations indiquées correspondent à des fixations d'au moins 300 millisecondes.

### *Nombre de fixations*

Tout comme dans l'expérience précédente, nous n'analyserons pas le nombre de fixations en tant que tel mais le rapport entre le nombre de fixation et la surface.

L'ANOVA incluant les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches, les deux niveaux d'habiletés et les quatre AOI comme mesures dépendantes indique un effet significatif du niveau de contrôle,  $F(2, 89) = 6.86, p = .002$  (figure 5.25). Le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 6.91$ ) ou totalement contrôlable ( $M = 6.11$ ) que lorsque l'animation est non contrôlable ( $M = 4.99$ ). De plus, l'effet du type d'AOI est lui aussi significatif, le nombre de fixations dans l'AOI 3 ( $M = 8.50$ ) est plus important que celui dans l'AOI 1 ( $M = 6.12$ ), lui même plus important que celui de l'AOI 2 ( $M = 4.94$ ). Celui-ci est également plus important que celui dans l'AOI 4 ( $4.44$ ),  $F(3, 267) = 56.90, p < .0001$ .

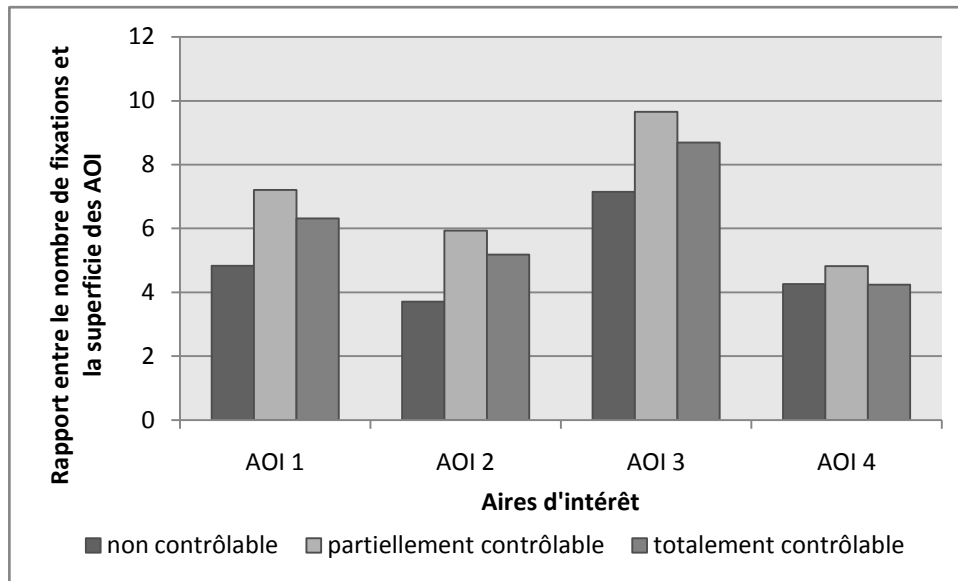


Figure 5.25. Rapport entre le nombre de fixations et la superficie de chacune des AOI en fonction du niveau de contrôle.

Dans le but d'affiner ces résultats, nous avons conduit une ANOVA pour chaque AOI. En ce qui concerne l'AOI 1, le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation est partiellement ou totalement contrôlable (respectivement,  $M = 7.21$  &  $M = 6.32$ ) que lorsque celle-ci est non contrôlable ( $M = 4.83$ ),  $F(2, 89) = 4.42$ ,  $p = .015$ . Avec la même tendance, nous observons également un effet du contrôle pour l'AOI 2 ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 5.93$ ,  $M_{\text{totalement contrôlable}} = 5.18$ ,  $M_{\text{non contrôlable}} = 3.71$ ),  $F(2, 89) = 8.91$ ,  $p = .0003$  et pour l'AOI 3 ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 9.66$ ,  $M_{\text{totalement contrôlable}} = 8.69$ ,  $M_{\text{non contrôlable}} = 8.69$ ),  $F(2, 89) = 3.78$ ,  $p = .026$ . Ces effets indiquent que le nombre de fixations est plus élevé lorsque l'animation est partiellement contrôlable ou totalement contrôlable que lorsque celle-ci est non contrôlable et ceci uniquement pour les AOI 1, 2 & 3. Le nombre de fixations dans l'AOI 4 est équivalent pour tous les degrés de contrôle (figure 5.26).

Finalement, en ce qui concerne le nombre de fixations dans l'AOI 4, qui est l'aire la moins pertinente quant à l'intégration mentale de la chaîne causale du système, nous observons un effet tendanciel de l'orientation de l'attention,  $F(3, 89) = 2.58$ ,  $p = .059$ . Le nombre de fixations pour cette AOI est plus important lorsque l'on n'oriente pas l'attention de l'apprenant par une tâche spécifique ( $M = 5.36$ ) que lorsque l'on oriente leur attention et ce plus particulièrement lorsque l'on oriente leur attention sur les aspects cinématiques locaux du système ( $M = 3.60$ ). Lorsque l'on oriente l'attention des apprenants à l'aide d'une tâche spécifiée, leur nombre de fixations sur les éléments non pertinents quant à l'intégration du système est plus important (figure 5.26). Par ailleurs, les résultats indiquent également un effet d'interaction significatif entre les aptitudes mécaniques et spatiales et les différents

niveaux d'orientation de l'attention pour cette AOI 4,  $F(3, 89) = 2.85$ ,  $p = .042$ . Cette interaction suggère que le nombre de fixations dans cette aire est plus élevé lorsque l'attention des apprenants n'est pas orientée, mais ceci uniquement pour les apprenants avec de fortes aptitudes mécaniques et spatiales ( $M_{\text{fortes aptitudes}} = 6.71$ ,  $M_{\text{faibles aptitudes}} = 4.02$ ),  $F(1, 89) = 8.88$ ,  $p = .004$ .

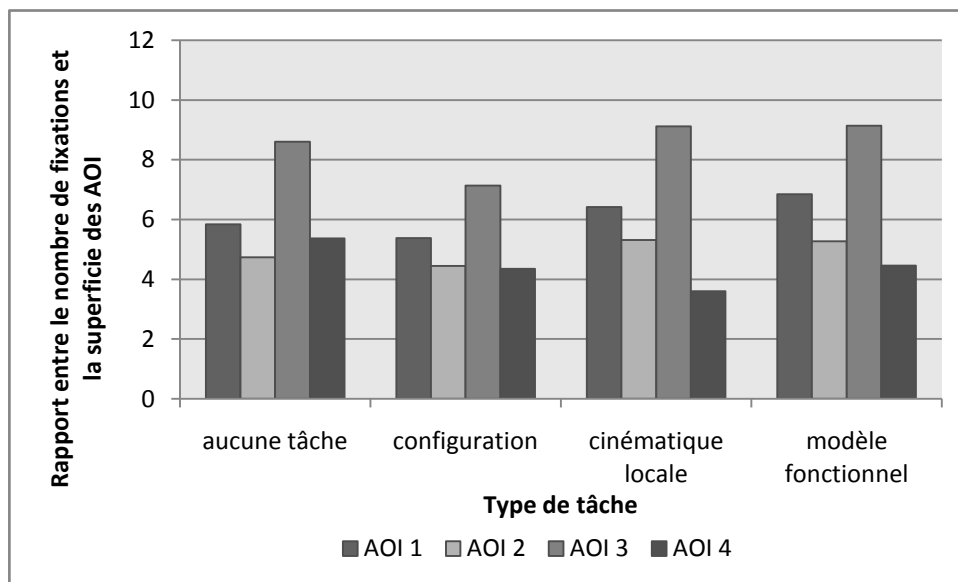


Figure 5. 26. Rapport entre le nombre de fixations et la superficie de chacune des AOI en fonction du type de tâche

En résumé, nous observons un nombre de fixations important dans les aires contenant beaucoup de mouvements et nous observons un nombre plus important dans ces aires lorsque le contrôle de l'animation est total ou partiel. Nous pouvons donc supposer que ces aires permettent une meilleure intégration du fonctionnement du système de poulies car nous observons de meilleures performances au test de compréhension dans ces deux conditions de contrôle de l'animation. Néanmoins, ces résultats peuvent être aussi partiellement dus à l'activité de contrôle elle-même. Dans le but de préciser ces résultats, nous allons approfondir l'analyse des données oculaires.

### *Durée de fixations*

Du fait de la forte corrélation, positive et significative, entre la durée de fixation et le nombre de fixation dans chaque AOI (AOI 1  $r = .88$ ,  $p < .05$ , AOI 2  $r = .86$ ,  $p < .05$ , AOI 3  $r = .94$ ,  $p < .05$ , AOI 4  $r = .94$ ,  $p < .05$ ) et du fait que l'analyse statistique indiquait les mêmes résultats que pour l'analyse des nombre de fixations, nous ne développerons pas ces résultats.

### *Nombre de transitions*

L'ANOVA incluant les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches, les deux niveaux d'habiletés et les six transitions entre les différentes AOI comme mesures dépendantes indique un effet significatif du niveau de contrôle,  $F(2, 89) = 4.01$ ,  $p = .02$ . Cet effet révèle que le nombre de transitions est plus important lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 17.44$ ) que lorsqu'elle est non contrôlable ( $M = 13.31$ ).

L'analyse statistique indique également un effet significatif du type de transition,  $F(5, 445) = 47.12$ ,  $p < .0001$ . Le nombre de transitions entre les AOI 1&3 ( $M = 19.02$ ) et les AOI 2&3 ( $M = 22.78$ ) est plus important que le nombre de transitions entre les AOI 1&2 ( $M = 16.99$ ) et les AOI 3&4 ( $M = 18.95$ ), ces nombres de transitions étant eux-mêmes plus important que ceux entre les AOI 1&4 ( $M = 7.46$ ) et entre les AOI 2&4 ( $M = 7.95$ ).

L'interaction significative entre le type de transition et le niveau de contrôle,  $F(10, 445) = 2.06$ ,  $p = .026$ , indique un plus grand nombre de transitions entre les AOI 1&2, 1&3 pour l'animation partiellement contrôlable (respectivement  $M = 22.46$  et  $M = 22.92$ ) que pour l'animation non contrôlable ( $M = 13.05$  et  $M = 15.82$ ). Cette interaction indique également un plus grand nombre de transitions entre les AOI 2&3 pour les animations contrôlables que pour l'animation non contrôlable ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 26.57$ ,  $M_{\text{totalelement contrôlable}} = 25.22$ ,  $M_{\text{non contrôlable}} = 17.77$ ), voir figure 5.27.

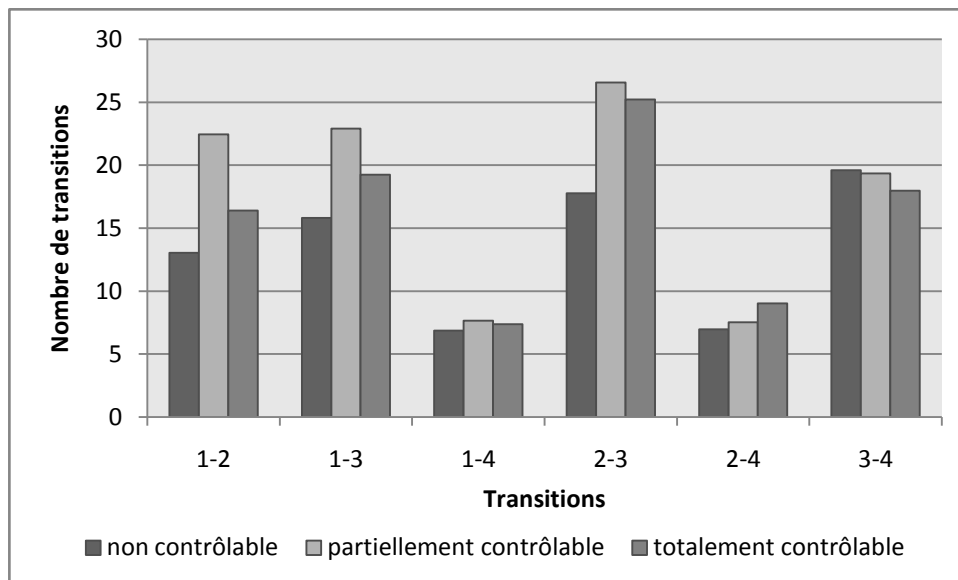


Figure 5.27. Nombre de transitions entre les différentes AOI en fonction du niveau de contrôle

Dans le but d'examiner plus précisément ces résultats, nous avons réalisé une ANOVA pour chaque sorte de transition.



Pour les transitions entre les AOI 1&2, le nombre de transitions pour l'animation partiellement contrôlable ( $M = 21.78$ ) est plus important que le nombre de transitions pour l'animation non contrôlable ( $M = 12.98$ ),  $F(2, 89) = 4.21$ ,  $p = .018$ .

Concernant les transitions entre les AOI 2&3, nous observons également un effet significatif du niveau de contrôle,  $F(2, 89) = 4.61$ ,  $p = .012$ . Le nombre de transitions entre ces deux aires est plus important lorsque l'animation est contrôlable ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 25.61$ ,  $M_{\text{totalelement contrôlable}} = 25.01$ ) que non contrôlable ( $M = 17.71$ ). De plus toujours concernant les transitions entre ces deux AOI, les résultats indiquent un effet significatif de l'orientation de l'attention,  $F(3, 89) = 2.76$ ,  $p = .047$ . Le nombre de transitions entre les AOI 2&3 est plus faible lorsque l'on oriente l'attention des apprenants sur les aspects portant sur la configuration ( $M = 16.81$ ) que pour les trois conditions d'orientation de l'attentions ( $M_{\text{sans orientation}} = 23.24$ ,  $M_{\text{cinématiques}} = 25.76$ ,  $M_{\text{modèle fonctionnel}} = 25.29$ ), voir figure 5.28.

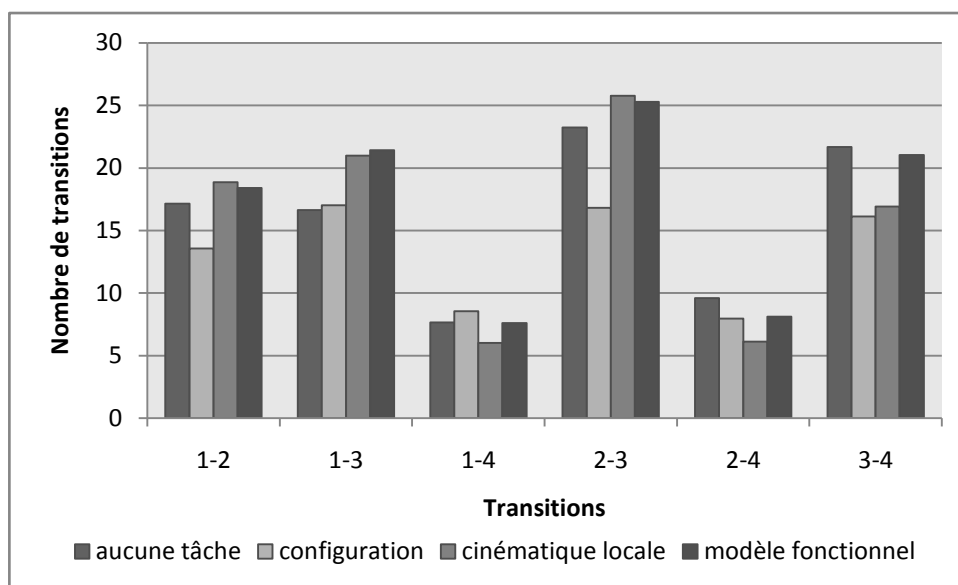


Figure 5.28. Nombre de transitions entre les différentes AOI en fonction du type de tâche.

### *Etude du type de transition*

Tout comme dans l'expérience précédente, l'étude du type de transition porte sur la comparaison entre plusieurs types de transitions concernant les AOI de l'illustration animée. Nous avons distingué des transitions locales, c'est-à-dire des transitions entre deux AOI placées l'une à côté de l'autre (eg. 1/2, 2/3, 3/4), des transitions globales, c'est-à-dire des transitions entre deux AOI qui ne sont pas situées l'une à côté de l'autre (eg. 1/3, 1/4, 2/4), des transitions qui suivent les parcours de la chaîne causale du système, c'est-à-dire des

transitions ayant au moins trois AOI qui sont situées les une à côté des autres (eg. 1/2/3, 2/3/4, 1/2/3/4).

L'ANOVA indique comme auparavant un effet significatif du niveau de contrôle de l'animation,  $F(2, 89) = 3.80$ ,  $p = .026$ . Les animations contrôlables induisent plus de transitions que l'animation non contrôlable. Par ailleurs, les résultats révèlent également un effet du type de transition significatif,  $F(2, 178) = 302.32$ ,  $p < .00001$ . Le nombre de transitions locales ( $M = 58.64$ ) est plus important que le nombre de transitions globales ( $M = 34.44$ ) et ce dernier est lui même plus important que le nombre de transitions de chaîne causale ( $M = 11.48$ ).

Les résultats montrent aussi un effet d'interaction significatif entre les différents types de transition et le type de tâche,  $F(6, 178) = 2.18$ ,  $p.047$  (figure 5.29). Cet effet montre que le nombre de transitions locales et de chaîne causale est moins important lorsque l'on oriente l'attention des apprenants sur les aspects de la configuration du système ( $M_{\text{transitions locales}} = 46.54$  et  $M_{\text{transitions chaîne causale}} = 8.81$ ) que sur les aspects cinématiques locaux ( $M_{\text{transitions locales}} = 62.03$  et  $M_{\text{transitions chaîne causale}} = 13.00$ ), que sur le modèle fonctionnel ( $M_{\text{transitions locales}} = 64.71$  et  $M_{\text{transitions chaîne causale}} = 11.85$ ), ou encore lorsque l'on oriente pas l'attention ( $M_{\text{transitions locales}} = 61.28$  et  $M_{\text{transitions chaîne causale}} = 12.26$ ).

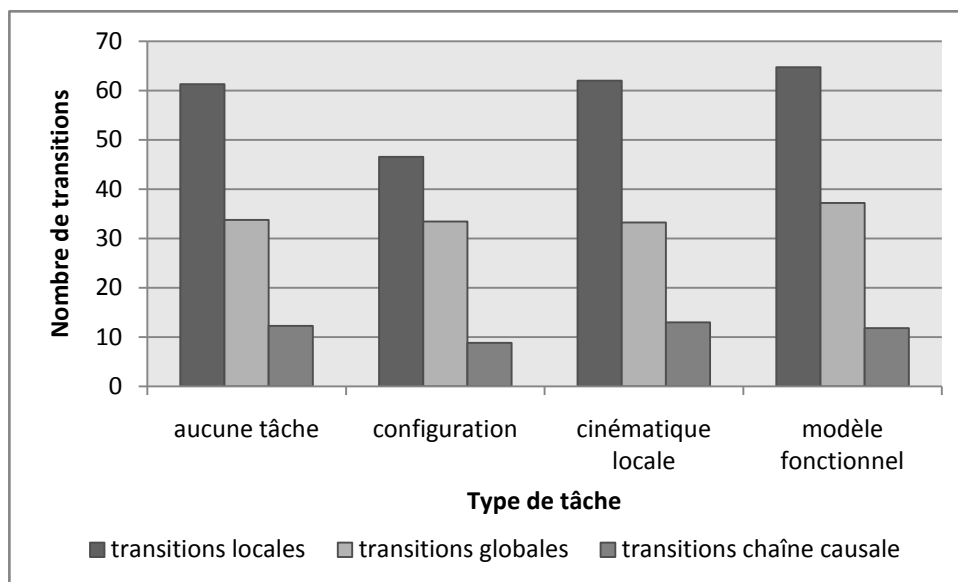


Figure 5.29. Nombre de transitions selon le type de transition et le type de tâche

### 5.3. Conclusions

Le but de la cinquième expérience était d'étudier le contrôle d'une animation et l'orientation spécifique de l'attention dans l'élaboration d'un modèle mental efficient d'un système mécanique complexe à partir d'une animation sans texte descriptif. Dans cette expérience, tout comme dans l'expérience précédente, nous avons mis en évidence que le fait d'orienter l'attention des apprenants, sur le modèle fonctionnel ou sur les aspects cinématiques locaux du système de poulies par le biais de tâches spécifiques, facilite l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel. Cela confirme de nouveau que l'orientation spécifique de l'attention influence l'organisation de l'activité d'intégration des différents éléments et des relations entre ces éléments selon la chaîne causale du système. Les résultats indiquent que le fait de rendre une animation contrôlable permet également d'influencer l'organisation de l'activité d'intégration et ce en particulier en ce qui concerne les aspects cinématiques locaux. Néanmoins, malgré un effet du contrôle de l'animation et un effet de l'orientation spécifique de l'attention, l'interaction entre ces deux variables ne se révèle pas significative.

Par ailleurs, les données issues des enregistrements oculaires indiquent que le nombre de fixations est plus important dans les aires concernant les aspects cinématiques du système ; et ceci particulièrement pour les animations contrôlables. L'intégration du mouvement des différents composants inclus à l'intérieur de ces aires, facilitée par le contrôle, semble donc être nécessaire à la construction d'un modèle mental efficient du système de poulies. L'étude des transitions entre les différentes AOI suggère que les apprenants utilisent les caractéristiques de l'animation et du contrôle pour traiter les informations pertinentes permettant la construction d'un modèle de la chaîne causale du système. En effet, le fait que le nombre de transitions soit plus important entre les aires juxtaposées semble indiquer que l'élaboration du modèle mental s'effectue bien étape par étape comme l'indique le modèle conceptualisé par Hegarty (1992, 2004) et Narayanan & Hegarty (1998, 2002) pour des illustrations de systèmes mécaniques complexes statiques. Le traitement d'une animation ne serait donc pas holistique. De plus, les résultats montrent que le fait d'orienter l'attention des apprenants sur les aspects cinématiques locaux ou sur le modèle fonctionnel produit une augmentation des transitions locales et des transitions suivant le parcours de la chaîne causale, améliorant ainsi cette élaboration étape par étape et induisant de ce fait de meilleures performances de compréhension.

En résumé, qu'il y ait présence ou absence de texte explicatif, le fait d'orienter l'attention sur les éléments pertinents du système et sur le fonctionnement de ceux-ci avec des instructions verbales aide les apprenants à élaborer un modèle mental fonctionnel. La construction de ce modèle mental fonctionnel bénéficie également du contrôle de l'animation. Néanmoins, l'orientation de l'attention a un impact plus important sur la construction du modèle mental fonctionnel que le contrôle de l'animation.

Dans le but d'étudier le rôle du texte et de l'animation dans la construction d'une représentation animée, nous avons pris la liberté de réaliser une analyse statistique portant sur la comparaison des données obtenues dans les expériences 4 et 5.

## **6. Le rôle du texte et de l'animation dans la construction d'une animation mentale : comparaison des expériences 4 et 5**

Dans la plupart des expériences étudiant l'effet des animations sur la compréhension, l'animation était accompagné d'un texte explicatif. Les résultats n'indiquaient pas l'apport du texte et l'apport de l'animation dans la compréhension.

Compte tenu que les expériences 4 et 5 étaient similaires en tout point, nous avons pris la liberté de les comparer pour étudier l'apport du texte dans la compréhension à partir d'une animation. On suppose que les apprenants utiliseront plus les caractéristiques de l'animation si elle n'est pas accompagnée d'un texte.

Dans le but d'avoir des groupes expérimentaux homogènes, nous avons écarté deux participants extrêmes de l'expérience 5. Ainsi, l'analyse a été réalisée sur un groupe de deux cent trente huit étudiants de premier cycle de psychologie de l'université de Bourgogne, composé de deux cent sept filles et trente et un garçons. Par ailleurs, du fait d'un grand nombre de variables, nous avons écarté la variable portant sur les habiletés mécaniques et spatiales.

Le score médian obtenu au DAT 5 était de 55% de réponses correctes. Les sujets ayant obtenu un score supérieur ou égal à cette médiane constituent les sujets à fortes habiletés alors que les sujets ayant obtenu un score inférieur à cette médiane constituent les sujets à faibles habiletés. Cette répartition dissociait 120 sujets à fortes habiletés ( $M = 67.31$ ,  $SD = 9.98$ ) et 118 sujets à faibles habiletés ( $M = 42.33$ ,  $SD = 7.80$ ). Ces sujets étaient ensuite distribués, de façon équilibrée, parmi les deux conditions expérimentales se rapportant à la présence ou non du texte, les trois niveaux de contrôle de l'animation et les quatre tâches spécifiques. Les tests

post-hoc n'indiquent aucune différence entre les groupes de sujets ( $p > .05$ , Newman-Keuls test).

## 6.1.Résultats

### *Performances au test de compréhension*

Le nombre de réponses correctes moyen ainsi que les écarts-types au test de compréhension pour chaque indicateur (configuration, cinématique local, modèle fonctionnel), pour chaque support (animation seule ou accompagnée d'un texte explicatif), pour chaque niveau de contrôle de l'animation (non, partiellement, ou totalement contrôlable) et pour chaque tâche spécifique (aucune, configuration, cinématique local, modèle fonctionnel) sont présentés dans le tableau 5.8.

	Animation + Texte			Animation seule		
	Animation non contrôlable N = 40	Animation partiellement contrôlable N = 40	Animation totalement contrôlable N = 40	Animation non contrôlable N = 39	Animation partiellement contrôlable N = 40	Animation totalement contrôlable N = 39
<b>Configuration</b>						
Aucune tâche N = 58	78.33 (21.85)	75.42 (19.98)	74.58 (23.19)	79.58 (12.34)	76.39 (18.87)	81.02 (13.68)
Tâche configuration N = 61	79.17 (16.43)	81.25 (16.23)	87.12 (15.19)	82.08 (13.18)	81.25 (11.66)	86.67 (8.74)
Tâche ciné locale N = 61	70.42 (15.27)	80.83 (14.86)	75.83 (17.87)	74.17 (18.61)	86.36 (8.35)	78.33 (8.74)
Tâche modèle fct N = 58	82.50 (12.23)	82.08 (12.58)	84.72 (13.18)	86.57 (10.98)	88.75 (8.80)	89.17 (8.15)
<b>Cinématique local</b>						
Aucune tâche N = 58	76.21 (8.82)	73.79 (17.82)	72.76 (15.37)	72.41 (17.20)	77.01 (14.11)	79.31 (19.20)
Tâche configuration N = 61	70.34 (16.27)	75.52 (14.49)	76.49 (11.62)	72.07 (13.05)	59.66 (21.63)	78.62 (17.87)
Tâche ciné locale N = 61	85.52 (7.59)	75.17 (21.37)	75.52 (17.99)	75.17 (22.39)	80.88 (15.45)	76.90 (14.81)
Tâche modèle fct N = 58	81.03 (15.70)	83.10 (16.61)	75.10 (12.16)	69.73 (13.88)	70.69 (20.25)	86.90 (12.36)
<b>Modèle mental fonctionnel</b>						
Aucune tâche N = 58	21.25 (13.95)	31.67 (16.46)	26.87 (14.78)	25.00 (15.84)	27.78 (14.09)	31.02 (16.55)
Tâche configuration N = 61	25.21 (13.91)	20.83 (10.94)	26.89 (17.42)	29.17 (17.24)	22.08 (11.46)	32.50 (13.72)
Tâche ciné locale N = 61	37.92 (11.36)	31.87 (20.32)	42.50 (12.23)	42.50 (15.06)	41.29 (19.76)	42.08 (15.52)
Tâche modèle fct N = 58	39.58 (14.20)	36.04 (14.23)	34.03 (11.92)	43.98 (19.78)	35.83 (23.91)	49.58 (22.69)

Tableau 5.8. Pourcentage de réponses correctes aux trois indicateurs de compréhension en fonction de chaque niveau de contrôle et pour chaque orientation spécifique de l'attention pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écart-types sont entre parenthèses.

L'ANOVA incluant les deux supports, les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches et les trois indicateurs de compréhension révèle un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 214) = 5.59, p = .001$ . Les performances de compréhension sont meilleures lorsque l'on focalise l'attention des apprenants sur les aspects cinématiques locaux (65.18%) ou sur le modèle fonctionnel (67.74%) que sur la configuration (60.38%) ou lorsque l'on ne focalise pas leur attention (60.02%). Par ailleurs, les résultats ne révèlent aucun effet significatif du niveau de contrôle et de la présence ou non d'un texte.

Les résultats indiquent un effet significatif du niveau des indicateurs de compréhension,  $F(2, 428) = 1107.7, p < .0001$ . Les performances obtenues aux questions portant sur la configuration (80.94%) sont plus élevées que celles obtenues aux questions portant sur les aspects cinématiques locaux (75.83%),  $F(1, 214) = 20.40, p < .0001$ . Les performances aux questions portant sur les aspects cinématiques locaux sont supérieures à celles obtenues aux questions portant sur le modèle fonctionnel (33.23%),  $F(1, 214) = 1546.80, p < .0001$ . L'effet d'interaction entre les trois indicateurs de compréhension et la présence ou non d'un texte explicatif se révèle significatif,  $F(2, 428) = 3.94, p = .02$ . Cet effet d'interaction indique que le score aux questions portant sur la configuration ( $M_{\text{avec texte}} = 79.35\%$  &  $M_{\text{sans texte}} = 82.53\%$ ) est supérieur à celui aux questions portant sur les aspects cinématiques locaux ( $M_{\text{avec texte}} = 76.71\%$  &  $M_{\text{sans texte}} = 74.95\%$ ), uniquement lorsque l'animation est seule,  $F(1, 214) = 22.23, p < .0001$ . Par ailleurs, il semble que les performances à la question portant sur le modèle fonctionnel sont meilleures lorsque l'animation est seule (35.23%) plutôt qu'accompagnée d'un texte (31.22%),  $F(1, 214) = 3.68, p = .057$ , voir figure 5.30.

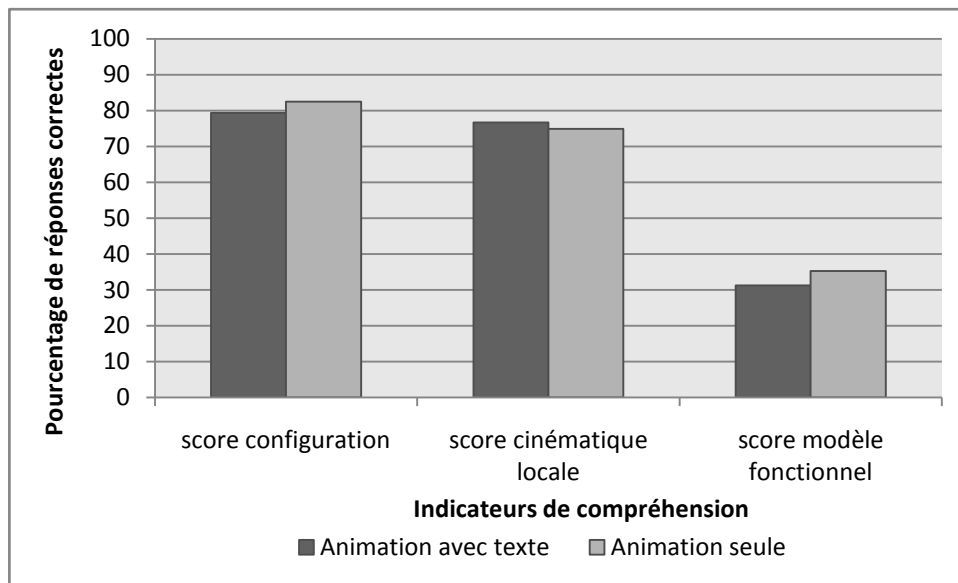


Figure 5.30. Pourcentage de réponses correctes aux différents indicateurs de compréhension en fonction du support.

Finalement, l'interaction entre les trois indicateurs de compréhension et le type de tâche est significatif,  $F(6, 428) = 7.90, p < .0001$ , voir figure 5.31. Cet effet indique que les performances aux questions portant sur la configuration sont supérieures lorsque l'orientation de l'attention des apprenants est focalisée sur la configuration ou sur le modèle fonctionnel plutôt que sur les aspects cinématiques locaux ou lorsque l'attention n'est pas orientée,  $F(1, 214) = 12.05, p = .0006$ . Les performances aux questions portant sur les aspects cinématiques locaux sont supérieures lorsque l'orientation des apprenants est focalisée sur les aspects cinématiques locaux ou sur le modèle fonctionnel plutôt que sur la configuration ou lorsque l'attention n'est pas orientée,  $F(1, 214) = 4.18, p = .04$ . Les performances aux questions portant sur la configuration sont meilleures que celles portant sur les aspects cinématiques locaux, uniquement lorsque l'attention des apprenants est orientée sur la configuration ou sur le modèle fonctionnel,  $F(1, 214) = 13.94, p = .0002$ . Il s'avère également que les performances aux questions portant sur le modèle fonctionnel sont meilleures lorsque l'attention des apprenants est orientée sur le modèle fonctionnel ou sur les aspects cinématiques locaux plutôt que sur la configuration ou lorsque l'attention n'est pas orientée,  $F(1, 214) = 39.06, p < .0001$ .

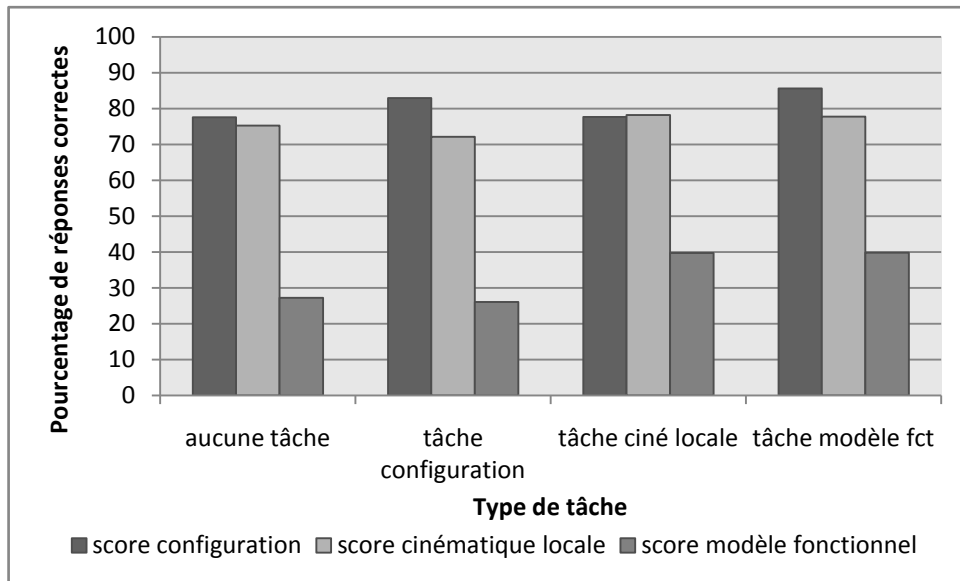


Figure 5.31. Pourcentage de réponses correctes aux différents indicateurs de compréhension en fonction du type de tâche.

### *Durée d'étude du document*

L'ANOVA concernant la durée d'étude du document (tableau 5.9) et incluant les deux supports, les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches et les trois indicateurs de compréhension comme variables indépendantes met en évidence que la durée d'étude d'une animation accompagnée d'un texte explicatif (204.25s) est plus importante que la durée d'étude d'une animation seule (172.77s),  $F(1, 191) = 11.32, p = .0009$ . Les résultats montrent également un effet significatif du niveau de contrôle de l'animation,  $F(2, 191) = 9.08, p = .0002$ . Les apprenants étudient plus longtemps la leçon lorsque l'animation est totalement (204.41s) ou partiellement contrôlable (200.20s) que lorsqu'elle est non contrôlable (160.91s). Les résultats indiquent également que les apprenants étudient plus longtemps la leçon lorsque leur attention est focalisée sur le modèle fonctionnel ( $M_{\text{modèle fonctionnel}} = 223.61s, M_{\text{cinématique locale}} = 178.10s, M_{\text{configuration}} = 175.74s, M_{\text{sans tâche}} = 176.57s$ ),  $F(3, 191) = 6.15, p = .0005$

L'analyse de covariance (ANCOVA) incluant la durée d'étude de la leçon comme facteur covariant indique un nouvel effet significatif du texte,  $F(3, 188) = 3.59, p = .015$ . Les performances aux questions portant sur le modèle fonctionnel sont meilleures lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte ( $M_{\text{avec texte}} = 30.67\% \& M_{\text{sans texte}} = 35.24\%$ ),  $F(1, 190) = 4.14, p = .04$ . De plus, les résultats indiquent toujours un effet significatif du type de tâche,  $F(9, 547.69) = 5.68, p < .0001$ .



	Animation + Texte			Animation seule		
	Animation non contrôlable	Animation partiellement contrôlable	Animation totalement contrôlable	Animation non contrôlable	Animation partiellement contrôlable	Animation totalement contrôlable
	N = 38	N = 32	N = 34	N = 38	N = 36	N = 37
<b>Spécificité de la tâche</b>						
Aucune tâche	183.63	154.48	214.46	120.60	193.83	192.40
N = 55	(46.22)	(25.99)	(94.20)	(14.49)	(42.16)	(64.55)
Tâche configuration	170.45	200.84	198.76	122.10	173.88	188.42
N = 51	(59.73)	(60.88)	(67.43)	(19.27)	(39.61)	(82.52)
Tâche ciné locale	162.89	217.84	197.63	127.33	180.05	182.88
N = 57	(48.66)	(63.10)	(48.51)	(12.29)	(41.26)	(53.93)
Tâche modèle fct	236.48	267.93	245.54	163.79	212.76	215.16
N = 52	(104.92)	(113.49)	(105.34)	(91.84)	(101.57)	(88.87)

Tableau 5.9. Durée d'étude moyenne (en secondes) du document pour chacun des niveaux de contrôle de l'animation et pour chaque tâche en fonction du niveau du support. Les écart-types sont entre parenthèse.

### *Mesures oculométriques*

Nous avons analysé les fixations oculaires de deux cent quinze participants. Nous avons uniquement analysé les fixations oculaires dans les quatre AOI de l'animation. Les quatre AOI étaient similaires à celles utilisées lors du traitement approfondi portant sur l'animation lors de l'expérience 4 et de l'expérience 5. Pour rappel, la première AOI incluait la poulie du haut. La seconde AOI incluait la poulie du milieu lorsque le système était actionné lors de l'animation. La troisième AOI incluait la poulie du milieu lorsque le système n'était pas actionné et la poulie du bas lorsque le système était actionné lors de l'animation. Finalement, la quatrième AOI incluait la poulie du bas lorsque le système n'était pas actionné et la charge lors de la simulation animée.

### *Nombre de fixations*

Tout comme dans l'expérience précédente, nous analyserons le rapport entre le nombre de fixations et la surface.

L'ANOVA incluant les deux supports, les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches et les quatre AOI comme mesures dépendantes indique un effet significatif du niveau du support,  $F(1, 191) = 42.59, p < .0001$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation est seule ( $M_{\text{avec texte}} = 4.16$  &  $M_{\text{sans texte}} = 6.03$ ). L'analyse indique également un effet significatif du niveau de contrôle,  $F(2, 191) = 10.31, p < .0001$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 5.85$ ) plutôt que totalement contrôlable ( $M = 5.17$ ) et celui-ci est plus important lorsque l'animation

est totalement contrôlable plutôt que non contrôlable ( $M = 4.27$ ). Les résultats révèlent un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 191) = 4.85$ ,  $p = .003$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'attention est orientée sur le modèle fonctionnel ( $M_{\text{modèle fonctionnel}} = 6.03$ ,  $M_{\text{cinématique locale}} = 4.97$ ,  $M_{\text{configuration}} = 4.62$ ,  $M_{\text{sans tâche}} = 4.76$ ). De plus les résultats révèlent un effet d'interaction significatif entre le support et le type de tâche,  $F(3, 191) = 3.01$ ,  $p = .03$ . Cet effet indique qu'une animation seule implique un nombre de fixations important et équivalent pour toutes les tâches spécifiées. Au contraire, lorsqu'une animation est accompagnée d'un texte, le nombre de fixations est inférieur au nombre de fixations lorsque l'animation est seule sauf lorsque l'attention des apprenants est orientée sur le modèle fonctionnel (figure 5.32).

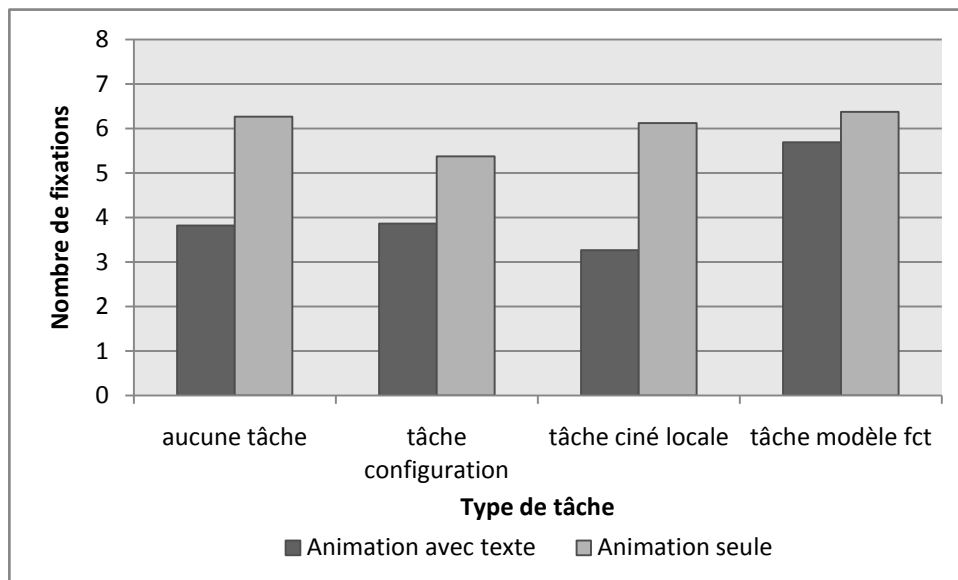


Figure 5.32. Nombre de fixations en fonction du support et du type de tâche.

Les résultats montrent un effet significatif du type d'AOI,  $F(3, 573) = 97.29$ ,  $p < .0001$ . Le nombre de fixations dans l'AOI 3 ( $M = 7.01$ ) est supérieur au nombre de fixation dans l'AOI 1 ( $M = 5.36$ ), lui même supérieur à celui dans l'AOI 2 ( $M = 4.64$ ). Celui-ci est également supérieur à celui de l'AOI 4 ( $M = 3.37$ ). L'interaction entre le support et le type d'AOI est significatif,  $F(3, 573) = 11.07$ ,  $p < .0001$ . Cette interaction indique que le nombre de fixations est supérieur dans l'AOI 1 à celui dans l'AOI 2 uniquement lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte ( $M_{\text{AOI1}} = 6.11$  &  $M_{\text{AOI2}} = 4.98$ ),  $F(1, 191) = 18.17$ ,  $p < .0001$ , voir figure 5.33.

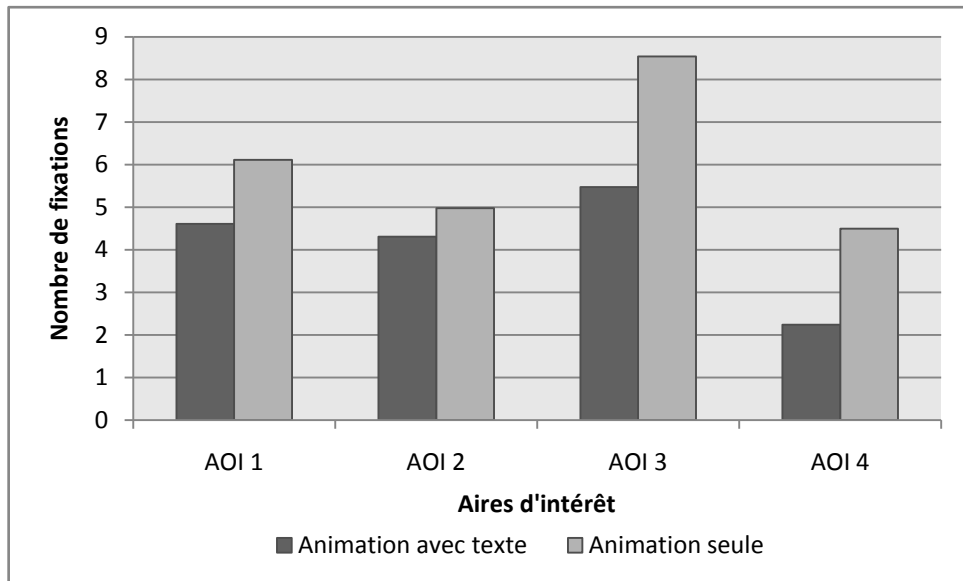


Figure 33. Nombre de fixations en fonction du support et du type d'AOI

Finalement, l'interaction entre le niveau de contrôle et le type d'AOI se révèle également significative,  $F(6, 573) = 4.37$ ,  $p = .0003$ . Le nombre de fixations dans chacune des aires est différent selon le contrôle de l'animation (figure 5.34).

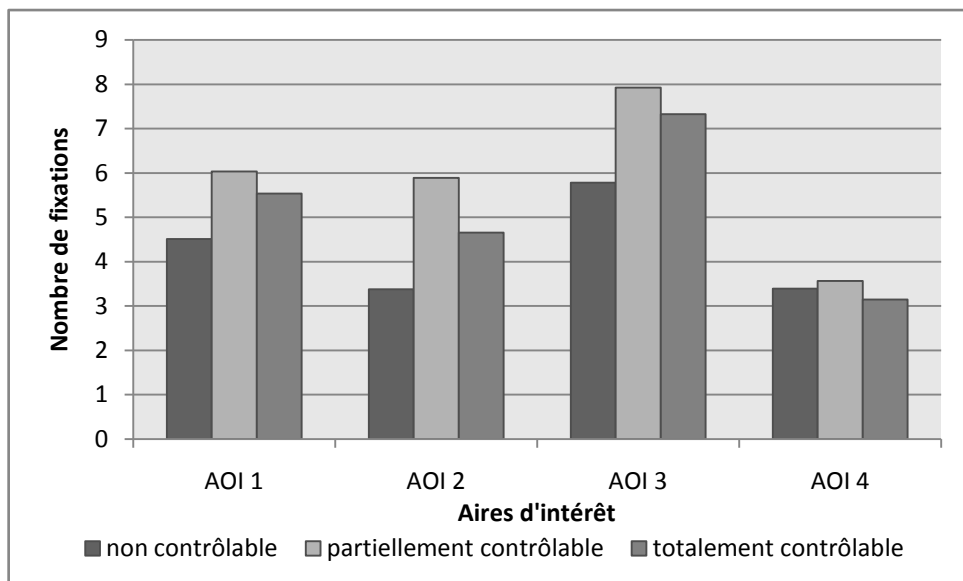


Figure 5.34. Nombre de fixations en fonction du niveau de contrôle et du type d'AOI.

Dans le but d'affiner ces résultats, nous avons conduit une ANOVA pour chaque AOI. Concernant l'AOI 1, le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation n'est pas accompagné d'un texte ( $M_{\text{avec texte}} = 4.61$  &  $M_{\text{sans texte}} = 6.11$ ),  $F(1, 191) = 11.35$ ,  $p = .0009$ . De plus, le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation est contrôlable ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 6.03$  &  $M_{\text{totalement contrôlable}} = 5.54$ ) plutôt que non contrôlable ( $M = 4.51$ ),  $F(2, 191) =$

4.09,  $p = .018$ . Nous observons également un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 191) = 3.60$ ,  $p = .015$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'attention des apprenants est orientée sur le modèle mental ( $M_{\text{modèle fonctionnel}} = 6.51$ ,  $M_{\text{cinématique locale}} = 5.48$ ,  $M_{\text{configuration}} = 4.89$ ,  $M_{\text{sans tâche}} = 4.56$ ).

Concernant l'AOI 2, le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte ( $M_{\text{avec texte}} = 4.30$  &  $M_{\text{sans texte}} = 4.98$ ),  $F(1, 191) = 4.35$ ,  $p = .038$ . Le nombre de fixations dans cette AOI est également plus important lorsque l'animation est partiellement contrôlable ( $M = 5.89$ ) plutôt que totalement contrôlable ( $M = 4.65$ ). Ce nombre de fixations est également plus important comparativement à celui de l'animation est non contrôlable ( $M = 3.38$ ). Les résultats indiquent un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 191) = 5.25$ ,  $p = .002$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'attention des apprenants est orientée sur le modèle mental ( $M_{\text{modèle fonctionnel}} = 5.75$ ,  $M_{\text{cinématique locale}} = 4.44$ ,  $M_{\text{configuration}} = 4.23$ ,  $M_{\text{sans tâche}} = 4.15$ ). Les résultats révèlent finalement un effet d'interaction significatif entre le support et le type de tâche,  $F(3, 191) = 3.59$ ,  $p = .015$ . Il s'avère que le nombre de fixations dans cette zone est supérieur lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte que lorsque celle-ci est accompagnée d'un texte, mais ceci uniquement lorsque l'attention n'est pas orientée ( $M_{\text{avec texte}} = 3.51$  &  $M_{\text{sans texte}} = 4.80$ ) ou lorsqu'elle est orientée sur les aspects cinématiques locaux ( $M_{\text{avec texte}} = 3.52$  &  $M_{\text{sans texte}} = 5.35$ ).

En ce qui concerne l'AOI 3, le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte ( $M_{\text{avec texte}} = 5.48$  &  $M_{\text{sans texte}} = 8.54$ ),  $F(1, 191) = 41.39$ ,  $p < .0001$ . Les résultats indiquent également que le nombre de fixations dans cette AOI est plus important lorsque l'animation est contrôlable ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 7.92$  &  $M_{\text{totalement contrôlable}} = 7.32$ ) que non contrôlable ( $M = 5.78$ ),  $F(2, 191) = 7.30$ ,  $p = .0008$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'attention des apprenants est orientée sur le modèle fonctionnel ( $M = 8.14$ ) plutôt que sur la configuration ( $M = 6.18$ ) ou lorsque l'attention n'est pas orientée ( $M = 6.72$ ),  $F(3, 191) = 2.91$ ,  $p = .036$ .

Finalement, en ce qui concerne l'AOI 4, la moins pertinentes pour comprendre le système, le nombre de fixations est plus important lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte ( $M_{\text{avec texte}} = 4.49$  &  $M_{\text{sans texte}} = 2.24$ ),  $F(1, 191) = 60.85$ ,  $p < .0001$ . Les résultats indiquent un effet d'interaction significatif entre le support et le type de tâche,  $F(3, 191) = 4.35$ ,  $p = .005$ . Cet effet indique que le nombre de fixations dans cette AOI est plus important lorsque l'attention n'est pas orientée uniquement lorsque l'animation est seul ( $M_{\text{modèle fonctionnel}} = 4.43$ ,  $M_{\text{cinématique locale}} = 3.59$ ,  $M_{\text{configuration}} = 4.43$ ,  $M_{\text{sans tâche}} = 5.53$ ). Par ailleurs, le nombre de fixation dans cette AOI est plus important lorsque l'attention est orientée sur le modèle

fonctionnel uniquement lorsque l'animation est accompagnée d'un texte ( $M_{\text{modèle fonctionnel}} = 3.04$ ,  $M_{\text{cinématique locale}} = 2.32$ ,  $M_{\text{configuration}} = 1.90$ ,  $M_{\text{sans tâche}} = 1.70$ ). Enfin, les résultats indiquent un effet d'interaction significatif entre le niveau de contrôle et le type de tâche,  $F(6, 191) = 2.56$ ,  $p = .02$ . Cet effet indique que le nombre de fixations dans cette AOI est important lorsque l'animation est non contrôlable et que l'attention des apprenants est orientée sur le modèle fonctionnel ou lorsque l'animation est partiellement contrôlable et que l'attention n'est pas orientée ou orientée sur la configuration.

### *Durée de fixation*

Du fait de la forte corrélation, positive et significative, entre la durée de fixation et le nombre de fixation dans chaque AOI (AOI 1  $r = .90$ ,  $p < .05$ , AOI 2  $r = .90$ ,  $p < .05$ , AOI 3  $r = .94$ ,  $p < .05$ , AOI 4  $r = .95$ ,  $p < .05$ ) et que l'analyse statistique indiquait les mêmes résultats que pour l'analyse des nombre de fixations, nous ne développerons pas ces résultats.

### *Nombre de transition*

L'ANOVA incluant les deux supports, les trois niveaux de contrôle, les quatre types de tâches et les six transitions entre les différentes AOI comme mesure dépendantes indique un effet significatif du support,  $F(1, 191) = 124.75$ ,  $p < .0001$ . Le nombre de transitions est plus important lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte ( $M_{\text{avec texte}} = 7.59$  &  $M_{\text{sans texte}} = 15.62$ ). Les résultats indiquent un effet significatif du niveau de contrôle,  $F(2, 191) = 7.52$ ,  $p = .0007$ . Le nombre de transitions est plus important lorsque l'animation est contrôlable ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 13.17$  &  $M_{\text{totalelement contrôlable}} = 11.85$ ) plutôt que non contrôlable ( $M = 9.80$ ). De plus le nombre de transitions est plus important lorsque l'on oriente l'attention des apprenants sur le modèle fonctionnel ( $M_{\text{modèle fonctionnel}} = 13.60$ ,  $M_{\text{cinématique locale}} = 11.62$ ,  $M_{\text{configuration}} = 11.01$ ,  $M_{\text{sans tâche}} = 10.20$ ),  $F(3, 191) = 3.95$ ,  $p = .009$ .

L'effet du type de transition se révèle significatif,  $F(5.955) = 93.04$ ,  $p < .0001$ . Le nombre de transitions entre les AOI 2&3 ( $M = 17.38$ ) est plus important que le nombre de transitions entre les AOI 1&3 ( $M = 15.75$ ). Le nombre de transitions entre les AOI 1&3 est lui même plus important que celui entre les AOI 1&2 et 3&4 (respectivement,  $M = 12.96$  et  $M = 13.43$ ). Le nombre de transitions entre les AOI 1&2 et 3&4 est plus important que celui entre les AOI 1&4 et 2&4 (respectivement,  $M = 5.02$  et  $5.10$ ).

Nous observons un effet d'interaction significatif entre le type de transitions et du support,  $F(5.955) = 5.77$ ,  $p < .0001$ . Cette interaction indique que le nombre de transitions entre les AOI 2&3 est supérieur au nombre de transitions entre les AOI 1&3, uniquement

lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte. De plus on remarque que l'effet du type de transition est accentué lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte (figure 5.35).

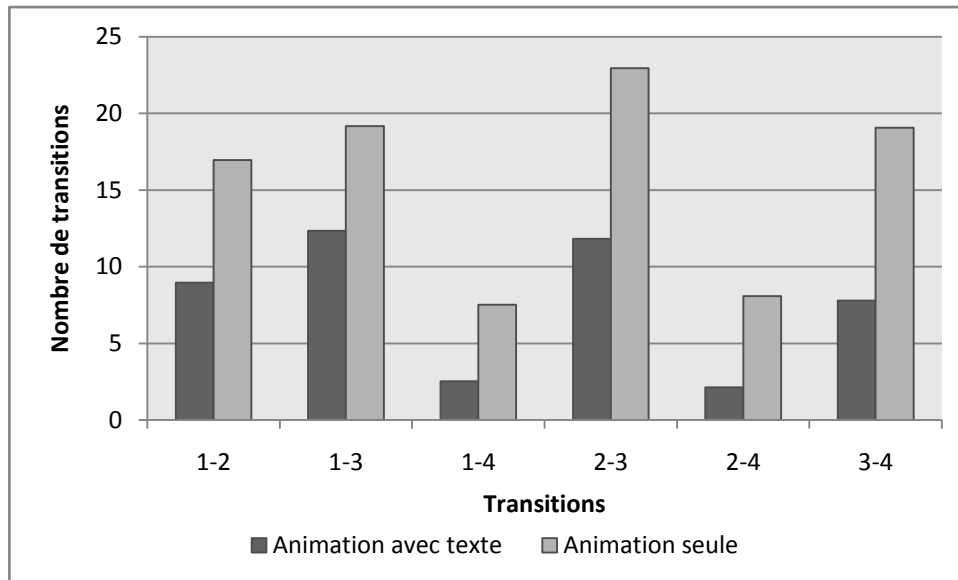


Figure 5.35. Nombre de transitions entre les différentes AOI en fonction du support.

De plus, les résultats indiquent un effet d'interaction significatif entre le type de transition et le niveau de contrôle,  $F(10, 955) = 3.54$ ,  $p = .0001$ . Cet effet indique qu'une animation contrôlable favorise un nombre de transitions entre les AOI 1&3 ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 17.61$  &  $M_{\text{totalelement contrôlable}} = 16.72$ ) et 2&3 ( $M_{\text{partiellement contrôlable}} = 20.78$  &  $M_{\text{totalelement contrôlable}} = 18.49$ ) plus important qu'une animation non contrôlable ( $M_{1\&3} = 12.93$  et  $M_{2\&3} = 12.88$ ). De plus une animation partiellement contrôlable favorise un nombre de transitions entre les AOI 1&2 ( $M = 16.41$ ) plus important que les deux autres niveaux de contrôle ( $M_{\text{totalelement contrôlable}} = 12.36$  &  $M_{\text{non contrôlable}} = 10.11$ ) (figure 5.36).

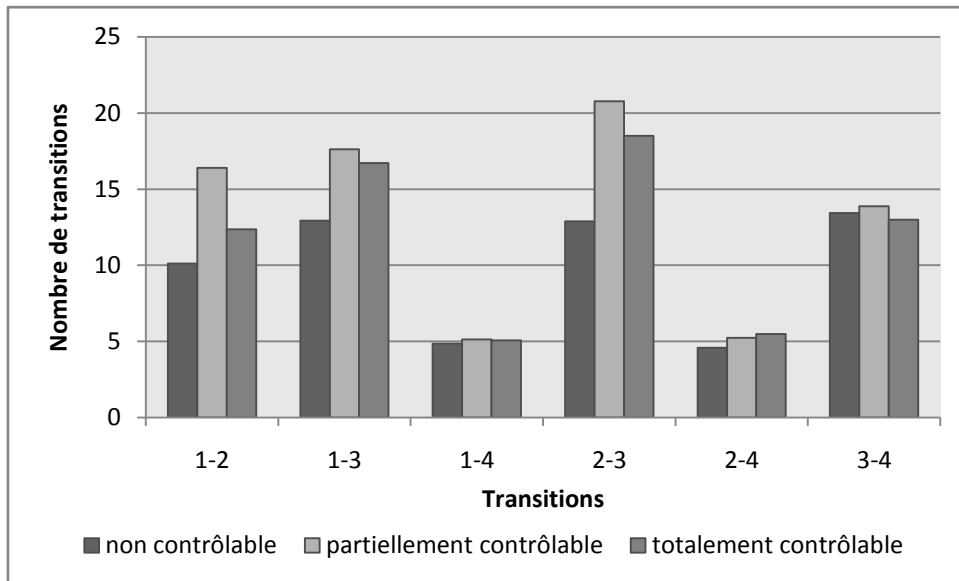


Figure 5.36. Nombre de transitions entre les différentes AOI en fonction du niveau de contrôle

Finalement les résultats indiquent un effet d'interaction significatif entre le type de transition et le type de tâche,  $F(15.955) = 1.80$ ,  $p = .03$ . Les nombre de transitions entre les AOI 1&2, 1&3 et 2&3 augmentent lorsque l'attention des apprenants est orientée sur le modèle fonctionnel ( $M_{1\&2} = 15.86$ ,  $M_{1\&3} = 18.43$  et  $M_{2\&3} = 20.92$ ) et dans une moindre mesure sur les aspects cinématiques locaux ( $M_{1\&2} = 13.83$ ,  $M_{1\&3} = 16.88$  et  $M_{2\&3} = 17.62$ ), voir figure 5.37.

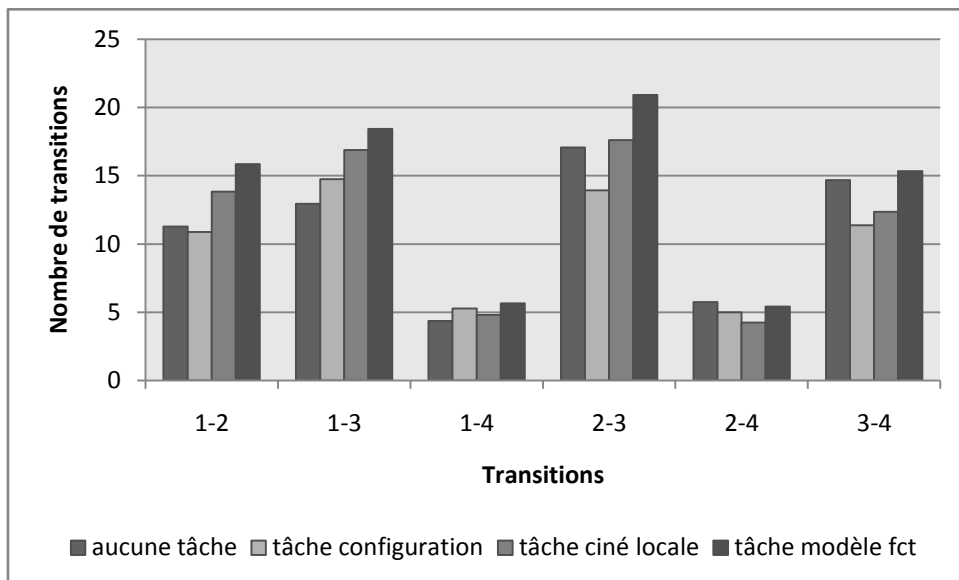


Figure 5.37. Nombre de transitions entre les différentes AOI en fonction du type de tâche.

### *Etude du type de transition*

Tout comme dans l'expérience précédente, l'étude du scanpath porte sur la comparaison entre plusieurs types de transitions concernant les AOI de l'illustration animée. Nous avons distingué des transitions locales, des transitions globales et des transitions qui suivent les parcours de la chaîne causale du système.

L'ANOVA indique comme auparavant un effet significatif du support,  $F(1, 191) = 104.80$ ,  $p < .0001$ , un effet significatif du contrôle,  $F(2, 191) = 7.06$ ,  $p = .001$  et un effet significatif du type de tâche,  $F(3, 191) = 4.39$ ,  $p = .005$ .

Les résultats indiquent également un effet significatif du type de transition,  $F(2, 382) = 448.54$ ,  $p < .0001$ . Le nombre de transitions locales ( $M = 43.69$ ) est plus important que le nombre de transitions globales ( $M = 25.88$ ), lui-même étant plus important que le nombre de transitions de chaîne causale ( $M = 10.11$ ). L'effet d'interaction significatif entre le type de transition et le support,  $F(2, 382) = 73.99$ ,  $p < .0001$ , indique que l'effet du type de transition est amplifié lorsque l'animation n'est pas accompagnée d'un texte (figure 5.38).

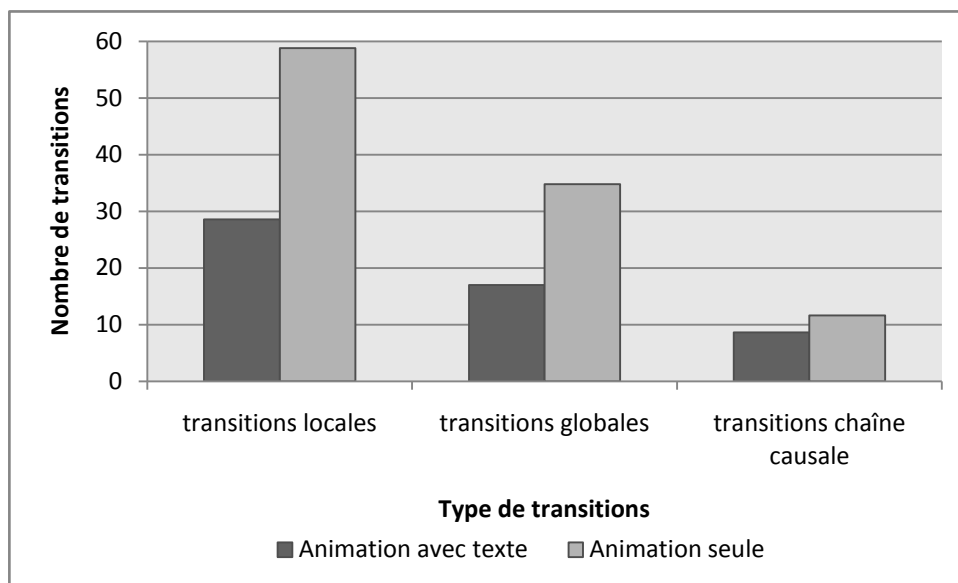


Figure 5.38. Nombre de transitions selon le type de transition et le support.

Il s'avère que l'effet du type de transition est également accentué lorsque l'animation est totalement ou partiellement contrôlable (figure 5.39),  $F(4, 382) = 4.48$ ,  $p = .0015$ , ou lorsque l'attention est orientée sur le modèle fonctionnel (figure 5.40),  $F(6, 382) = 3.09$ ,  $p = .006$ .



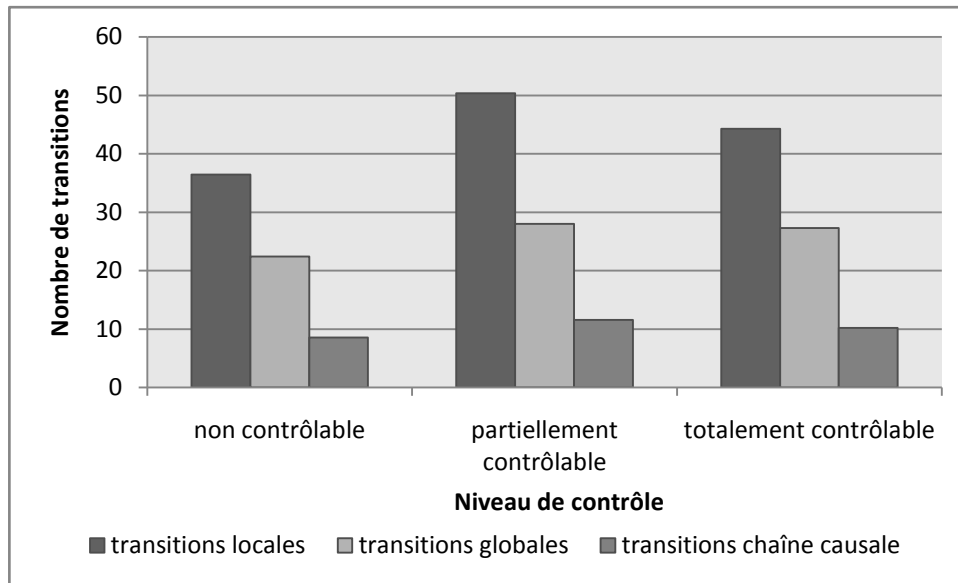


Figure 5.39. Nombre de transitions selon le type de transition et le niveau de contrôle.

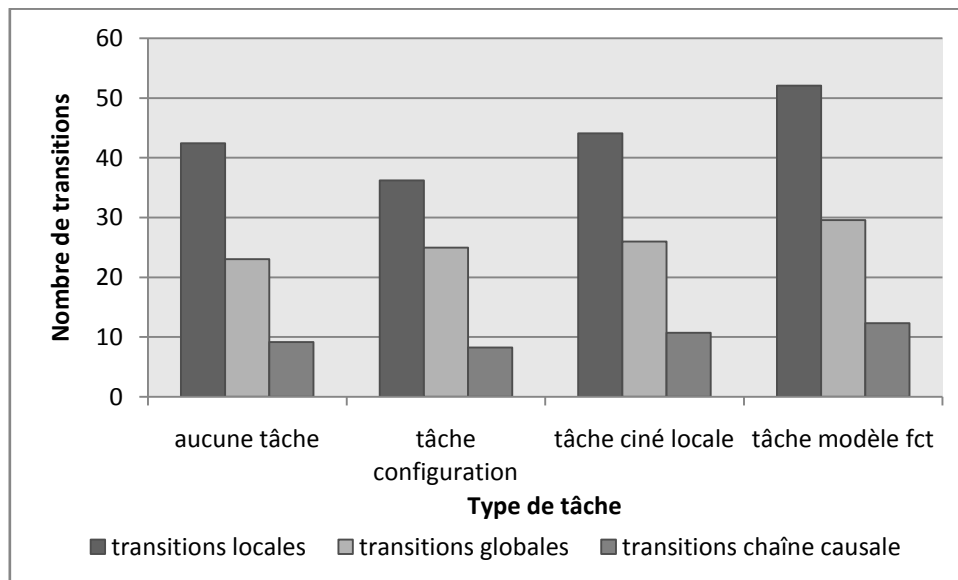


Figure 5.40. Nombre de transitions selon le type de transition et le type de tâche

Finalement l'analyse indique un effet d'interaction double tendanciel entre le type de transition, le support et le type de tâche,  $F(6, 382) = 2.04$ ,  $p = .059$ . Il s'avère que, pour une animation sans texte, le nombre de transitions locales et de chaînes causales est plus important lorsque l'orientation n'est pas orientée ou lorsque celle-ci est orientée sur les aspects cinématographiques et le modèle fonctionnel, que lorsque l'attention est orientée sur la configuration. Par ailleurs, pour une animation avec un texte, il s'avère que le nombre de transitions locales et de chaînes causales est plus important lorsque l'attention est orientée sur le modèle fonctionnel plutôt que sur les aspects cinématographiques locaux et la configuration, ou lorsque l'attention n'est pas orientée. Par ailleurs, il s'avère également que pour une

animation sans texte, le nombre de transitions globales est plus important lorsque l'animation est orientée sur le modèle fonctionnel ou sur les aspects cinématiques locaux (figure 5.41).

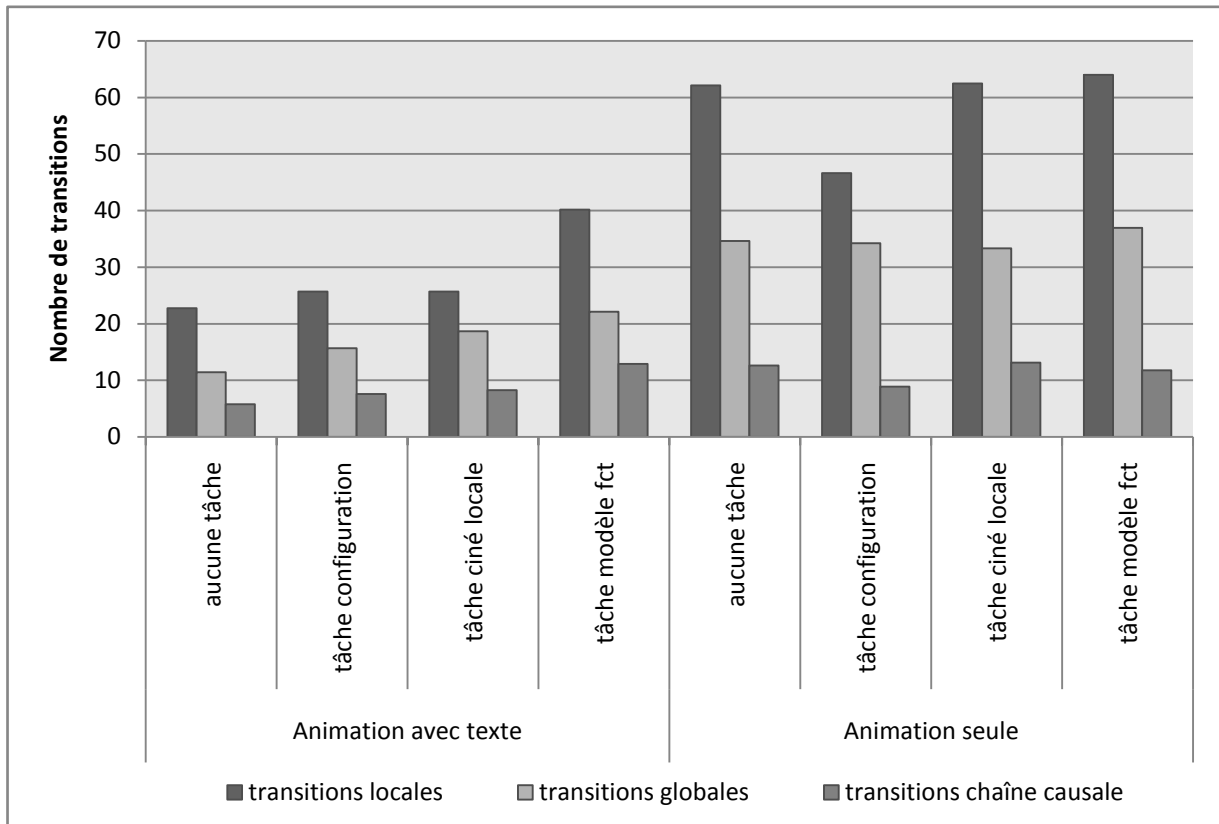


Figure 5.41. Nombre de transitions selon le type de transitions, le support et le type de tâche

## 6.2. Conclusions

La comparaison des expériences 4 et 5 a permis de mettre en évidence un effet du guidage attentionnel très important. Les performances sont meilleures lorsque l'attention des apprenants est orientée sur les aspects cinématiques locaux et sur le modèle fonctionnel. L'analyse n'a révélé aucun effet significatif du niveau de contrôle de l'animation. L'analyse indique également que la présence d'un texte explicatif ne facilite pas la compréhension du système mécanique et perturbe la construction d'un modèle mental fonctionnel. De plus, la présence d'un texte induit un temps d'étude de la leçon plus important.

En ce qui concerne l'analyse des données oculométriques, il s'avère que le nombre de fixations, les durées totales des fixations dans chaque AOI, ainsi que le nombre de transitions entre chaque AOI est plus important lorsque l'animation est seule. De plus, bien que les transitions locales soient plus importantes que les transitions globales et que celles-ci soient plus importantes que les transitions de chaîne causale lorsque l'animation est accompagnée ou non d'un texte, cet effet est amplifié lorsque l'animation est seule. Ainsi le nombre de

transitions plus important entre les aires juxtaposées lorsque l'animation est seule, facilite l'élaboration d'un modèle mental étape par étape (Hegarty, 1992, 2004, Narayanan & Hegarty, 1998, 2002).

Contrairement aux résultats obtenus par Hegarty & Just (1993) où une illustration statique accompagnée d'un texte explicatif facilitait la construction d'une animation mentale, il s'avère qu'une animation accompagnée d'un texte explicatif n'est pas le meilleur moyen pour permettre aux apprenants de se construire une animation mentale efficace rapidement.

Dans ces deux expériences, nous avons donc orienté l'attention des apprenants en utilisant des consignes verbales dans lesquelles nous spécifions une tâche. L'utilisation de consignes verbales n'est pas l'unique moyen d'orienter l'attention des sujets sur des aspects précis du système. En effet, nous pouvons supposer que l'utilisation d'indices attentionnels graphiques permet également aux apprenants d'orienter leur attention sur certains éléments pertinents du système. Ils devraient fournir une aide aussi bien dans l'intégration des aspects cinématiques locaux des différents composants du système que dans l'intégration des interactions entre ces composants. Dans la sixième expérience, nous allons donc tester l'effet sur la compréhension de flèches directionnelles dans une illustration statique ou animée du système de poulies. Les illustrations n'étaient pas accompagnées de texte.

Le fait d'inclure des flèches indiquant le sens de rotation et les directions des différents éléments du système de poulies permettrait aux apprenants d'appréhender ces aspects cinématiques à partir d'une illustration statique aussi bien qu'à partir d'une animation.

## **7. Expérience 6**

L'objectif de cette dernière expérience est d'étudier le guidage attentionnel graphique. Nous comparerons une illustration statique ou animée avec ou sans flèches indiquant les directions et les rotations des poulies du système.

Les performances au score de compréhension devraient être équivalentes entre une illustration statique incluant des flèches et une animation avec ou sans flèches. Les flèches devraient plus aider les participants à faible aptitudes mécaniques et spatiales. De plus ces conditions devraient entraîner un nombre de fixations dans les aires de mouvements ainsi qu'un nombre de transitions locales plus importants, induisant un traitement approfondi des informations dynamiques ainsi que des relations causales entre tous les mouvements des composants.

## 7.1.Méthode

### *Sujets*

Un groupe de quatre vingt étudiants de premier cycle de psychologie de l'université de Bourgogne, composé de soixante dix filles et dix garçons ont participé à cette expérience pour obtenir des points d'expérience.

### *Matériel de la tâche expérimentale*

Tout comme dans l'expérience précédente, le matériel utilisé est une illustration décrivant un système complexe de poulies sans texte explicatif. Par ailleurs, selon la condition dans laquelle les participants étaient placés, cette illustration pouvait être animée ou non et également accompagnée de flèches représentant les directions et les rotations des poulies ou non (figure 5.42). Le nom des différents éléments constituant le système de poulies était affiché pendant une minute pour que les participants puissent les réutiliser lors de la tâche de compréhension. Durant cette minute, ils ne pouvaient pas faire fonctionner l'animation, mais une fois celle-ci écoulée, les noms disparaissaient et ils pouvaient faire fonctionner l'animation.

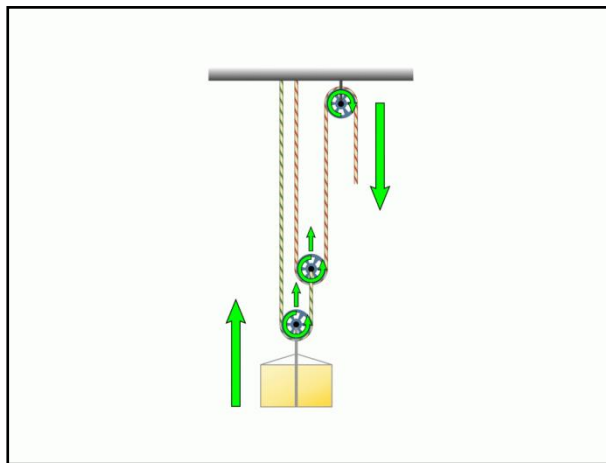


Figure 5.42. Illustration du système de poulies accompagnée d'indices attentionnels.

### *Mesures de mémorisation et de compréhension*

Nous avons utilisé le même test de mémorisation et de compréhension que celui utilisé lors de l'expérience 4&5.

### *Mesure des différences interindividuelles*

La constitution de nos deux groupes de sujets s'effectuait comme dans les expériences précédentes à l'aide des tests relations spatiales et raisonnement mécaniques tirés de la batterie de tests du DAT5 (Bennett, Seashore & Wesman, 1973, 2002).

### *Appareils*

Le système de poursuite de mouvements oculaires, ASL 5000, était le même que celui utilisé pour les expériences précédentes. De plus, le logiciel Gazetracker pour l'enregistrement et l'analyse des données était le même que celui utilisé lors des expériences 4&5.

### *Procédure*

Toujours dans le but de différencier les sujets avec de fortes et de faibles habiletés mécaniques et spatiales, on utilisait les tests appartenant au DAT5. Du fait d'une corrélation significative ( $p < .01$ ) entre les performances aux deux tests, nous avons moyenné le score obtenu, puis nous avons déterminé le score médian qui était de 54% de réponses correctes. Les sujets ayant obtenu un score supérieur ou égal à cette médiane constituent notre groupe de sujets à fortes habiletés alors que les sujets ayant obtenu un score inférieur à cette médiane constituent notre groupe de sujets à faibles habiletés. Ainsi faite, la répartition dissociait 40 sujets à fortes habiletés ( $M = 67.25$ ,  $SD = 8.51$ ) et 40 sujets à faibles habiletés ( $M = 42.22$ ,  $SD = 8.63$ ). La différence entre les scores obtenus par les sujets à fortes habiletés et ceux obtenus par les sujet à faibles habiletés se révèle fortement significative,  $F(1,72) = 158.28$ ,  $p < .0001$ . Ces sujets étaient ensuite distribués parmi les deux formats de présentation de l'illustration et les deux conditions expérimentales se rapportant à la présence ou non d'indices attentionnels. Les tests post-hoc indiquent une différence entre les groupes de sujets à fortes et à faibles habiletés pour chaque et entre chaque niveau de contrôle ( $p < .01$ , Newman-Keuls test). De plus, ces tests post-hoc n'indiquent aucune différence significative entre les groupes de sujets à fortes habiletés pour les trois niveaux de contrôles ( $p > .05$ , Newman-Keuls test), et n'indiquent aussi aucune différence significative entre les groupes de sujets à faibles habiletés pour les trois niveaux de contrôle ( $p > .05$ , Newman-Keuls test).

Dans la seconde étape de l'expérience, on présentait aux participants, sur un écran d'ordinateur, l'illustration du système de poulie. Leur tâche était d'étudier le fonctionnement du système de poulies à partir de l'illustration présentée de sorte qu'il puisse l'expliquer à quelqu'un d'autre sans l'avoir sous les yeux. Néanmoins, dans la condition où l'illustration

était accompagnée d'indices attentionnels, on précisait aux participants qu'ils devaient obligatoirement s'aider de ces indicateurs pour comprendre le fonctionnement du système. Le temps d'étude de la leçon était libre, néanmoins les participants devaient soit faire fonctionner l'animation au moins trois fois, soit d'imaginer le fonctionnement du système au moins trois fois pour la condition statique. Durant cette étape, nous avons capturé les mouvements oculaires de certains sujets après avoir déterminé leur œil directeur.

La consultation de la leçon terminée, les participants devaient répondre au questionnaire de compréhension.

## 7.2.Résultats

### *Performances au test de compréhension*

Le nombre de réponses correctes moyen ainsi que les écarts-types au test de compréhension pour chaque indicateur (configuration, cinématique local, modèle fonctionnel) sont présentés dans le tableau 5.10.

	Fortes habiletés		Faibles habiletés	
	Statique	Animation	Statique	Animation
	N = 20	N = 20	N = 20	N = 20
<b>Configuration</b>				
Présence d'indices N = 40	87.08 (6.93)	86.25 (11.63)	72.92 (15.37)	80.00 (16.99)
Absence d'indices N = 40	85.42 (13.64)	91.67 (6.51)	80.83 (14.72)	75.37 (15.94)
<b>Cinématique local</b>				
Présence d'indices N = 40	70.69 (15.18)	83.11 (10.96)	71.38 (10.16)	75.17 (16.80)
Absence d'indices N = 40	71.38 (15.51)	75.52 (15.03)	62.41 (21.10)	70.35 (10.18)
<b>Modèle fonctionnel</b>				
Présence d'indices N = 40	28.54 (13.82)	39.58 (12.27)	25.42 (14.36)	34.17 (23.61)
Absence d'indices N = 40	21.46 (12.99)	26.04 (13.44)	22.08 (12.27)	29.17 (9.77)

Tableau 5.10. Pourcentage de réponses correctes aux trois indicateurs de compréhension en fonction de chaque format de présentation de l'illustration avec et sans indices attentionnels pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écart-types sont entre parenthèses.

L'ANOVA incluant les deux formats de présentation de l'illustration, la présence ou l'absence d'indicateurs attentionnels, les deux niveaux d'habiletés et les trois indicateurs de compréhension montre dans un premier temps que les participants avec de fortes habiletés

(63.89%) obtiennent de meilleures performances que les participants avec de faibles habiletés (58.27%),  $F(1, 72) = 7.00, p = .01$ . Les résultats révèlent également un effet significatif du format de présentation, les participants obtiennent de meilleures performances lorsque l'illustration est animée (63.87%) que lorsqu'elle est statique (58.30%),  $F(1, 72) = 6.86, p = .01$ . Nous pouvons également observer un effet tendanciel des indices attentionnels qui indiquent que les performances des participants sont supérieures lorsque l'illustration comporte des indices attentionnels (62.86%) plutôt que non (59.31%),  $F(1, 72) = 2.79, p = .099$ .

L'effet du niveau des indicateurs est significatif, les scores portant sur la configuration (82.44%) sont supérieurs à ceux portant sur les aspects cinématiques locaux (72.50%), ceux-ci étant également supérieurs à ceux portant sur le modèle fonctionnel (28.31%),  $F(2, 144) = 394.72, p < .0001$ . L'interaction entre le niveau d'habiletés et les trois indicateurs se montre quant à lui tendanciel,  $F(2, 144) = 2.48, p = .087$ . Cette interaction indique que les apprenants avec de fortes aptitudes mécanique et spatiale obtiennent de meilleures performances que les apprenants avec de faibles aptitudes uniquement pour les scores portant sur la configuration (respectivement 87.60% et 77.28%). De même, nous pouvons également observer un effet d'interaction tendanciel entre les indices attentionnels et les trois scores de compréhension,  $F(2, 144) = 2.64, p = .07$ . Cette effet nous renseigne sur le fait que les performances sont supérieures lorsque l'illustration comporte des indices attentionnels plutôt que non et ce uniquement pour le score portant sur le modèle mental fonctionnel (respectivement 31.93% et 24.69%).

Ces résultats ont également été examinés plus en détail à l'aide de trois autres ANOVA pour chaque indicateur de compréhension.

Concernant l'indicateur portant sur la configuration du système, seul l'effet du niveau des habiletés se montrent significatif,  $F(1, 72) = 12.12, p = .0009$ . Les sujets avec de fortes habiletés (87.60%) obtiennent de meilleures performances que les participants avec de faibles habiletés (77.28%).

Pour l'indicateur portant sur les aspects cinématiques locaux, les résultats indiquent un effet significatif du format de présentation,  $F(1, 72) = 4.57, p = .036$ . Lorsque l'illustration est animée, les participants obtiennent de meilleures performances (76.04%) que lorsque l'illustration est statique (68.97%). Néanmoins la présence d'indices ne semble pas améliorer les performances des participants pour ce score.

Concernant l'indicateur portant sur le modèle fonctionnel, nous observons un effet significatif des indices attentionnels,  $F(1, 72) = 4.93, p = .03$ . Les participants obtiennent de

meilleures performances pour ce score lorsque l'illustration comporte des indicateurs attentionnels (31.93%) plutôt que non (24.69%). Par ailleurs, lorsque l'illustration est animée les performances des participants (32.24%) sont supérieures à celles obtenues lorsque l'illustration est statique (24.37%),  $F(1, 72) = 5.82, p = .018$ .

En résumé, la compréhension des principes cinématiques locaux est facilitée par l'utilisation d'une illustration animée, mais n'est en aucune manière facilitée par la présence d'indices attentionnels présents sur cette illustration. Il s'avère néanmoins que l'élaboration d'un modèle fonctionnel est facilitée par l'utilisation d'une animation et par la présence d'indices attentionnels sur l'illustration du système à intégrer.

### ***Indicateurs complémentaires dans l'évaluation du modèle mental fonctionnel***

Le score mesurant le modèle fonctionnel étant issu d'une question ouverte, nous nous sommes intéressés au rapport entre le nombre de verbes indiquant des mouvements et le nombre de mots utilisés. Nous nous sommes également intéressés au rapport entre le nombre d'erreurs concernant les mouvements et le nombre de verbes de mouvement utilisés.

L'hypothèse sous jacentes à ces deux analyses est que les participants utilisent plus de verbes indiquant des mouvements lorsque l'illustration est animée et lorsque l'illustration statique comporte des indicateurs attentionnels.

### ***Ratio entre le nombre de verbes de mouvements et le nombre de mots***

Les résultats indiquent un effet significatif des indices attentionnels,  $F(1, 72) = 4.77, p = .03$ . Contrairement à nos hypothèses, les participants utilisent plus de verbes de mouvement dans la question mesurant le modèle mental fonctionnel lorsque l'illustration ne comporte pas d'indices attentionnels (11.52%) que lorsqu'elle n'en comporte pas (10.07%). Le fait que les participants utilisent plus de verbes de mouvement ne certifie pas de la qualité de ceux-ci. La prochaine analyse nous renseignera sur cette qualité.

### ***Ratio entre le nombre d'erreurs de mouvements et le nombre de verbes de mouvements***

Ces résultats montrent un effet tendanciel des indices attentionnels,  $F(1, 72) = 3.49, p = .066$ . Les participants font un plus grand nombre d'erreurs de mouvement lorsque l'illustration comporte des indices attentionnels (14.20%) que lorsqu'elle n'en comporte pas (6.7%). Les résultats indiquent également un effet d'interaction significatif entre le niveau des



habiletés mécaniques et spatiales et les indices attentionnels,  $F(1, 72) = 5.15$ ,  $p = .026$ . Cet effet montre que pour les participants avec de fortes habiletés, le pourcentage d'erreurs de mouvement restent constant qu'il y ait ou non présence d'indices attentionnels (respectivement 8.55% et 10.17%). A l'inverse, en ce qui concerne les participants avec de faibles habiletés, le pourcentage d'erreurs de mouvement est plus important lorsque l'illustration présente des indices attentionnels (19.85%) que non (3.21%). Il semble que les apprenants avec de faibles aptitudes mécaniques et spatiales n'arrivent pas à extraire les éléments de compréhension pertinents pour la construction d'un modèle mental fonctionnel lorsqu'on leur présente trop d'informations sur une illustration. Finalement, l'effet d'interaction double entre les niveaux d'habileté, les formats de présentation, et les indices attentionnels est elle aussi significative,  $F(1, 72) = 6.68$ ,  $p = .012$  (figure 5.43). Cette interaction double révèle que le nombre d'erreurs reste stable pour les participants avec de fortes habiletés qu'on leur présente une animation ou une illustration statique et que celles-ci soient accompagnées ou non de flèches. Par ailleurs, concernant les participants avec de faibles habiletés, il s'avère que le nombre d'erreurs est très important lorsqu'on leur présente une illustration statique accompagnée d'indices attentionnels ( $M_{\text{faibles statique.avec indices}} = 31.19\%$ ,  $M_{\text{faibles.statique.sans indices}} = 3.33\%$ ,  $M_{\text{faibles.dynamique.avec indices}} = 8.50\%$ ,  $M_{\text{faibles.dynamique.sans indices}} = 3.10\%$ ),  $F(1, 72) = 12$ ,  $p = .0009$ .

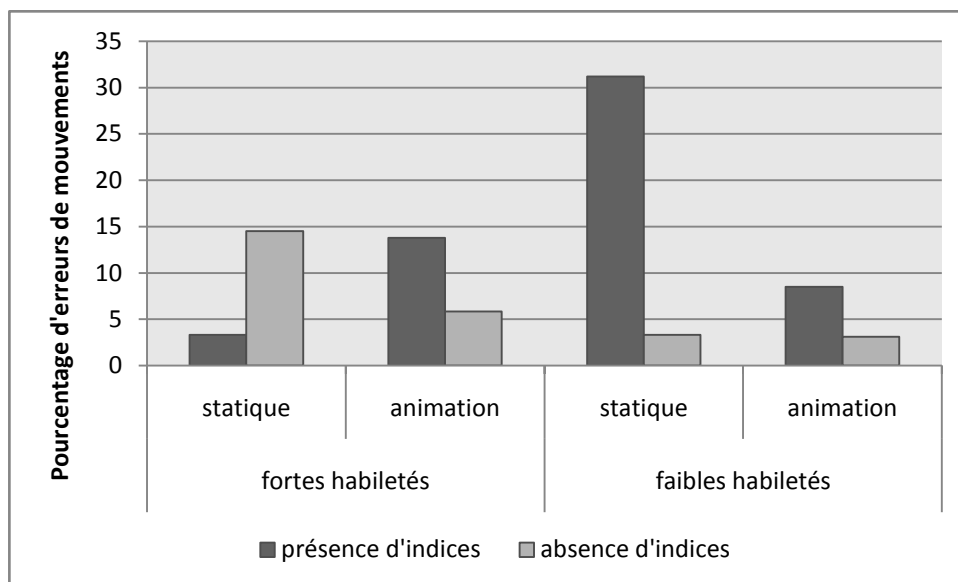


Figure 5.43. Pourcentage d'erreurs de mouvements chez les participants à fortes et à faibles habiletés en fonction du format de présentation de l'illustration et de la présence ou non d'indices attentionnels

### *Durée d'étude du document*

Les durées d'étude du document ainsi que les écarts-types des soixante quinze participants dont on a enregistré les mouvements oculaires, sont fournis dans le tableau 5.11. L'ANOVA conduite sur ces données incluant les deux formats de présentation de l'illustration, la présence ou l'absence d'indicateurs attentionnels, les deux niveaux d'habileté indique tout d'abord que la durée d'étude d'une animation est plus longue que la durée d'étude d'une illustration statique (respectivement 137.34s et 114.96s),  $F(1, 67) = 20.53$ ,  $p < .0001$ . La présence d'indices attentionnels induit également une durée d'étude plus longue ( $M_{\text{avec indices}} = 131.87\text{s}$  et  $M_{\text{sans indices}} = 120.43\text{s}$ ),  $F(1, 67) = 5.36$ ,  $p = .02$ .

Les résultats révèlent une interaction significative entre le niveau des habiletés et les indices attentionnels,  $F(1, 67) = 4.51$ ,  $p = .037$ . Cette interaction indique que les participants avec de fortes habiletés étudient l'illustration plus longtemps lorsqu'elle est accompagnée d'indices attentionnels (126.98s) que non (136.76s),  $F(1, 67) = 9.99$ ,  $p = .002$ . Au contraire, les participants avec de faibles aptitudes étudient aussi longtemps l'illustration lorsqu'elle est accompagnée d'indices attentionnels (126.98) que non (126.04).

L'interaction entre le format de présentation de l'illustration et les indices attentionnels se montre également significative,  $F(1, 67) = 9.81$ ,  $p = .003$ . Les participants étudient plus longtemps l'illustration lorsqu'elle est animée et lorsqu'elle est accompagnée d'indices attentionnels (150.79s) comparativement à une illustration animée non accompagnée d'indices (123.89s), à une illustration statique accompagnée d'indices (112.95s), ou encore à une illustration statique non accompagnée d'indices (116.98s). Le fait que la durée d'étude du document joue un rôle important, nous avons analysé l'impact de cette durée sur les performances aux questions de compréhension.

L'ANCOVA incluant les deux formats de présentation de l'illustration, la présence ou l'absence d'indicateurs attentionnels, les deux niveaux d'habiletés comme variables indépendantes, et la durée d'étude du document comme facteur covariant avec des mesures répétées pour les trois indicateurs de compréhension indique uniquement un effet significatif du niveau des habiletés,  $F(3, 64) = 4.25$ ,  $p = .008$ . Néanmoins l'effet du temps est non significatif.

	Fortes habiletés		Faibles habiletés	
	Statique	Animation	Statique	Animation
	N = 19	N = 19	N = 18	N = 19
<b>Indices attentionnels</b>				
Présence d'indices N = 37	118.70 (32.03)	154.82 (26.74)	124.02 (32.48)	146.77 (12.93)
Absence d'indices N = 38	109.94 (18.53)	119.72 (9.49)	107.20 (7.91)	128.06 (14.26)

Tableau 5.11. Durée d'étude moyenne (en secondes) du document pour chaque format de présentation de l'illustration avec et sans indices attentionnels pour les sujets à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Les écart-type sont entre parenthèses.

### Mesures oculométriques

Nous avons analysé les fixations oculaires de soixante-quinze participants. Pour l'analyse des fixations oculaires, nous avons créé sept AOI, lesquelles sont présentées figure 5.44. La première AOI incluait uniquement la poulie du haut. La seconde incluait la poulie du milieu lorsque le système était actionné (pour l'illustration animée). La troisième incluait la poulie du milieu lorsque le système n'était pas actionné. La quatrième incluait la poulie du bas lorsque le système n'était pas actionné. La cinquième incluait la charge lorsque le système n'était pas actionné. Ensuite la sixième AOI incluait la flèche symbolisant la montée de la charge située à gauche de l'illustration et la septième incluait la flèche symbolisant la descente de la corde située à droite de l'illustration.

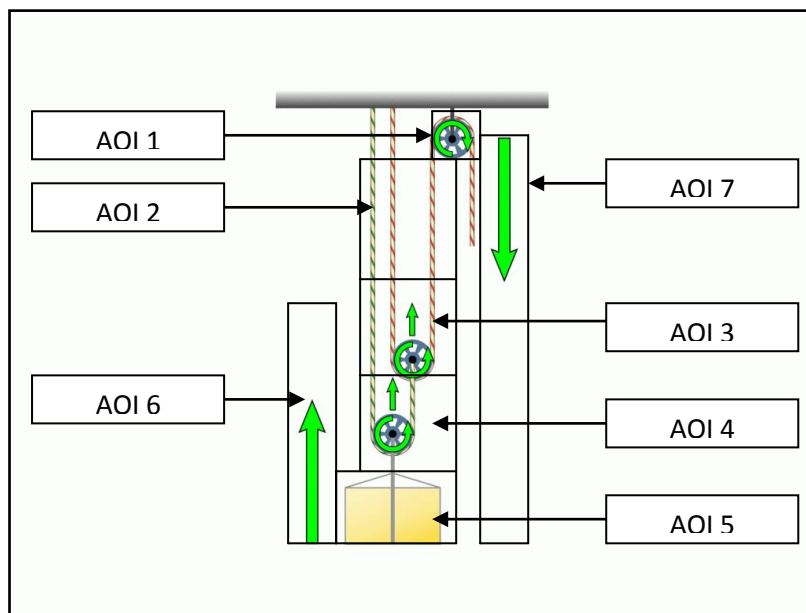


Figure 5.44. AOI utilisées lors de l'analyse des données oculométriques (présenté également en annexe 11).

Deux exemples typiques de scanpaths sont consignés dans la figure 5.45. Chaque exemple, constitué de quatre figures, représente l'état du scanpath à la première période de 60 secondes où l'illustration est accompagnée de noms des éléments. Puis, il représente trois périodes égales du temps total d'enregistrement du mouvement des yeux (respectivement 1/3, 2/3 et 3/3 du temps total). Sur chaque cliché de la figure 5.45, les points en noirs représentent les fixations oculaires, d'au moins 300 millisecondes (à l'intérieur de chaque point figurent deux chiffres, le premier donne le numéro de la fixation dans l'ordre chronologique d'apparition et le deuxième indique la durée de la fixation). Les lignes reliant les ronds noirs représentent la trajectoire des yeux entre les fixations.

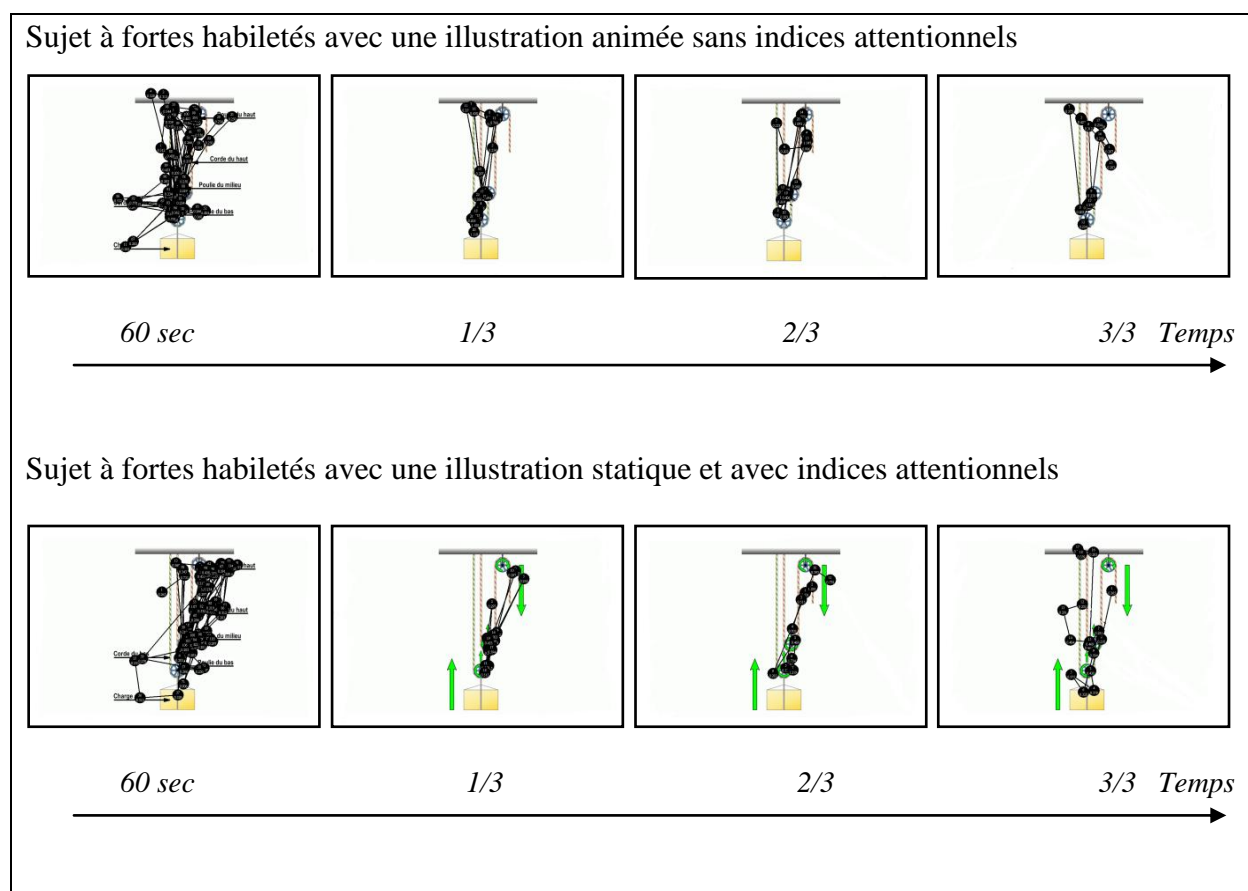


Figure 5.45. Deux scanpaths typiques, les fixations indiquées correspondent à des fixations d'au moins 300 millisecondes.

### *Nombre de fixations*

Tout comme dans les expériences précédentes impliquant des AOI avec des surfaces différentes, nous analyserons le rapport entre le nombre de fixations et la surface. L'ANOVA incluant les deux formats de présentation de l'illustration, la présence ou l'absence d'indicateurs attentionnels, les deux niveaux d'habiletés, et les sept AOI en mesures répétées

indique en premier lieu un effet significatif du format de présentation,  $F(1, 66) = 15.28, p = .0002$ . Le nombre de fixations est plus important lorsque l'illustration est animée ( $M = 7.65$ ) que lorsqu'elle est statique ( $M = 6.33$ ).

L'effet du type d'AOI se montre également significatif,  $F(6, 396) = 196.75, p < .0001$ . Le nombre de fixations dans l'AOI 3 ( $M = 15.99$ ) est plus important que celui dans l'AOI 4 ( $M = 10.47$ ), lui-même plus important que celui dans les AOI 1 & 2 (respectivement,  $M = 8.50$  et  $M = 7.30$ ), eux-mêmes plus importants que ceux dans les AOI 5, 6 & 7 (respectivement,  $M = 1.64$ ,  $M = 1.38$ , &  $M = 3.63$ ). Les résultats indiquent par ailleurs un effet d'interaction significatif entre le type d'AOI et le format de présentation de l'illustration,  $F(6, 396) = 9.95, p < .0001$  (figure 5.46). Cet effet indique que le nombre de fixations pour les AOI 1, 2 & 3 est plus important lorsque l'illustration est animée (respectivement,  $M = 10.13$ ,  $M = 9.59$  &  $M = 17.59$ ) que lorsqu'elle est statique (respectivement,  $M = 6.86$ ,  $M = 5.02$  &  $M = 14.40$ ). Ceci est très cohérent car ces zones sont les zones qui recouvrent en grande partie la chaîne causale du système. De plus l'AOI 3 est l'AOI qui délivre le plus d'informations cinématiques pour deux poulies lorsque l'illustration est animée. De plus nous observons également un effet d'interaction tendanciel entre le type d'AOI et les indices attentionnels,  $F(6, 396) = 1.84, p = .089$ . Cet effet indique que le nombre de fixations est plus important dans les AOI qui comportent des indices attentionnels, en particulier les AOI 3 & 4, lorsque l'illustration est accompagnée d'indices (figure 5.47).

Dans le but d'approfondir ces résultats, nous avons conduit une ANOVA pour chaque AOI. En ce qui concerne l'AOI 1, le nombre de fixations est plus important lorsque l'illustration est animée ( $M = 10.13$ ) que lorsqu'elle est statique ( $M = 6.86$ ),  $F(1, 66) = 9.11, p = .004$ . Avec la même tendance, nous observons également un effet du format de présentation pour l'AOI 2 ( $M_{\text{statique}} = 5.02$  &  $M_{\text{dynamique}} = 9.59$ ),  $F(1, 66) = 49.06, p < .0001$ , et pour l'AOI 3 ( $M_{\text{statique}} = 14.40$  &  $M_{\text{dynamique}} = 17.59$ ),  $F(1, 66) = 9.46, p = .003$ . Les résultats indiquent également un effet du format de présentation pour l'AOI 5, mais cette fois avec la tendance inverse ( $M_{\text{statique}} = 1.88$  &  $M_{\text{dynamique}} = 1.40$ ),  $F(1, 66) = 4.27, p = .04$ . L'AOI 6 révèle un effet tendanciel des indices attentionnels,  $F(1, 66) = 3.59, p = .06$ . Le nombre de fixations dans cette aire est plus important lorsque l'illustration est accompagnée d'indices attentionnels ( $M_{\text{indices}} = 1.60$  &  $M_{\text{sans}} = 1.15$ ). Finalement, concernant l'AOI 7, le nombre de fixations est plus important pour les sujets à fortes habiletés lorsqu'il y a des indices attentionnels ( $M_{\text{indices}} = 4.55$  &  $M_{\text{sans}} = 3.05$ ),  $F(1, 66) = 4.59, p = .036$ .

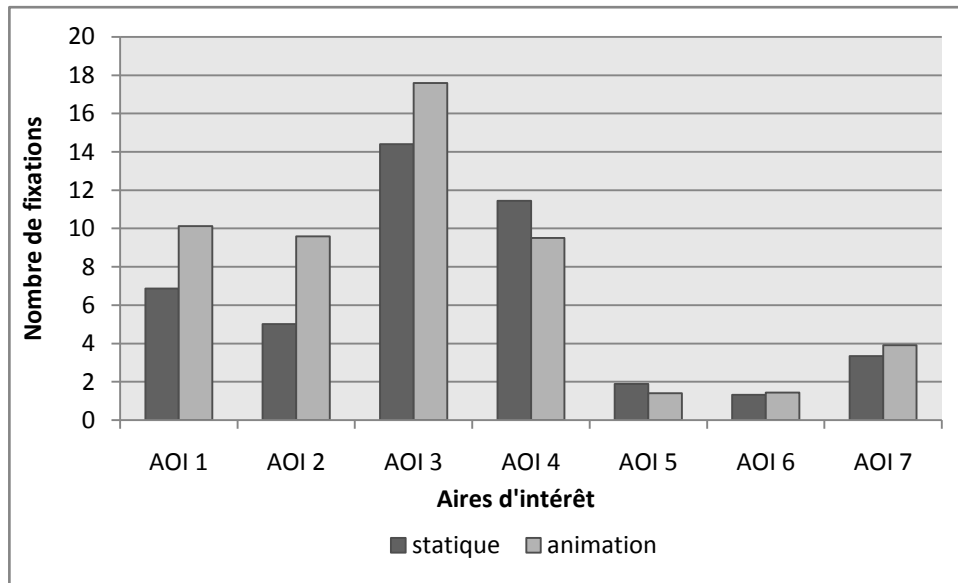


Figure 5.46. Nombre de fixations pour chaque AOI en fonction du format de présentation.

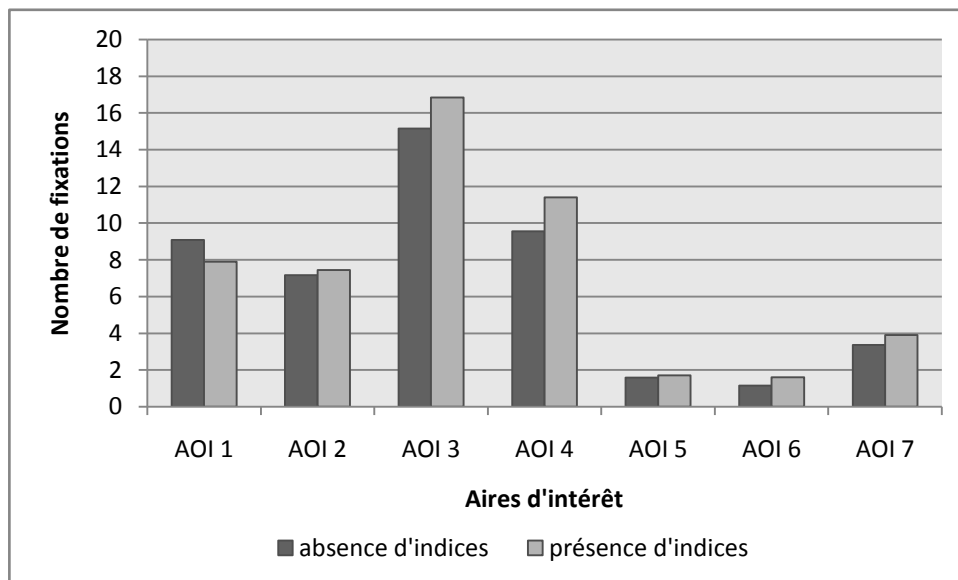


Figure 5.47. Nombre de fixations pour chaque AOI en fonction des indices attentionnels.

### *Durée de fixation*

Du fait de la forte corrélation, positive et significative, entre la durée de fixation et le nombre de fixations dans chaque AOI (AOI 1  $r = .87$ ,  $p < .05$ , AOI 2  $r = .92$ ,  $p < .05$ , AOI 3  $r = .79$ ,  $p < .05$ , AOI 4  $r = .89$ ,  $p < .05$ , AOI 5  $r = .90$ ,  $p < .05$ , AOI 6  $r = .91$ ,  $p < .05$ , AOI 7  $r = .91$ ,  $p < .05$ ) et que l'analyse statistique indiquait principalement les mêmes résultats que pour l'analyse des nombre de fixations, nous ne détaillerons pas tous ces résultats.

Un résultat intéressant issu de l'ANOVA incluant les deux formats de présentation de l'illustration, la présence ou l'absence d'indicateurs attentionnels, les deux niveaux d'habiletés, et les sept AOI en mesures répétées de la durée des fixations est l'effet

d'interaction significatif entre le format de présentation et les indices attentionnels,  $F(1, 66) = 6.19$ ,  $p = .015$ . Cet effet révèle que les durées de fixations entre les deux formats de présentation de l'illustration sont identiques lorsque l'illustration n'est pas accompagnée d'indices attentionnels ( $M_{\text{statique}} = 2.84$  et  $M_{\text{dynamique}} = 2.85$ ), alors que les durées de fixations sont supérieures lorsque l'illustration est animée ( $M_{\text{statique}} = 2.52$  et  $M_{\text{dynamique}} = 3.38$ ). Il semble donc que le fait de présenter des indices attentionnels inclus dans une illustration animée implique un traitement plus profond du système. Mais ce traitement plus profond peut lui-même être dû à un traitement plus coûteux du fait d'un nombre plus important d'informations.

### *Nombre de transitions*

Dans le but d'analyser le nombre de transitions, nous avons réalisé une ANOVA incluant les deux formats de présentation de l'illustration, la présence ou l'absence d'indicateurs attentionnels, les deux niveaux d'habiletés et les vingt et une transitions entre les sept AOI comme mesure répétées.

Cette analyse indique en premier lieu un effet significatif du format de présentation,  $F(1, 66) = 19.92$ ,  $p < .0001$ . Le format dynamique induit un nombre de transitions ( $M = 4.83$ ) plus important que le format statique ( $M = 3.84$ ). Le fait que le système soit animé, l'apprenant à tendance à réaliser plus de transitions afin de suivre les mouvements des différents éléments. L'analyse indique également que le fait d'introduire des indices attentionnels dans une illustration provoque un nombre de transition plus important ( $M = 4.68$ ) que lorsque l'on n'introduit pas d'indices attentionnels ( $M = 3.99$ ),  $F(1, 66) = 9.33$ ,  $p = .003$ .

L'analyse révèle également un effet significatif du type de transitions,  $F(20, 1320) = 110.44$ ,  $p < .0001$ . Nous observons un grand nombre de transitions entre les AOI 2&3 ( $M = 14.45$ ) et 3&4 ( $M = 16.16$ ). Nous observons également un grand nombre de transitions mais un peu plus faible entre les AOI 1&2 ( $M = 7.32$ ), 1&3 ( $M = 9.70$ ), et 3&7 ( $M = 8.66$ ). Le nombre de transitions entre les autres aires n'est pas très élevé. L'effet d'interaction entre le type de transition et le format de présentation se montre lui aussi significatif,  $F(20, 1320) = 9.70$ ,  $p < .0001$  (figure 5.48). Cet effet montre que le nombre de transitions entre les AOI 1&2, 1&3 et 2&3 est plus important lorsque l'illustration est animée (respectivement  $M = 10.50$ ,  $M = 12.16$ , et  $M = 19.26$ ) que lorsqu'elle est statique (respectivement  $M = 4.14$ ,  $M = 7.25$ , et  $M = 9.64$ ). Cet effet montre par ailleurs que le nombre de transitions entre les AOI 4&5 est plus important lorsque l'illustration est statique ( $M = 4.69$ ) que lorsqu'elle est animée

( $M = 2.57$ ). Il s'avère que le format dynamique entraîne plus de transitions dans des aires centrales pour la compréhension de la chaîne causale, ce qui implique une meilleure élaboration d'un modèle mental fonctionnel de la part des apprenants.



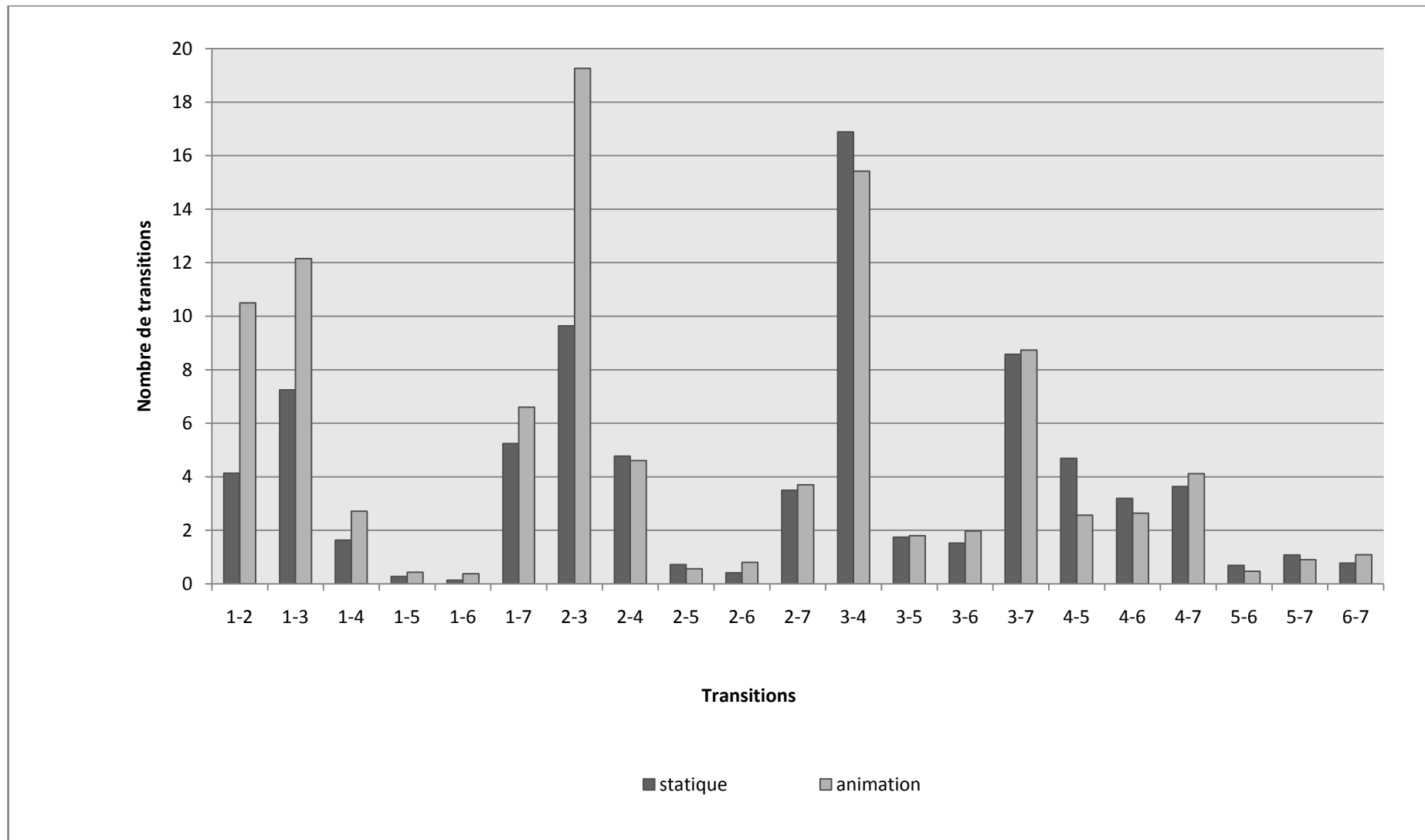


Figure 5.48. Nombre de transitions entre les différentes AOI en fonction du format de présentation de l'illustration.

### *Etude du type de transition*

Cette étude porte toujours sur la comparaison entre les transitions locales, les transitions globales et les transitions de chaîne causale. Du fait de la spécificité de ces transitions, les transitions entre les AOI 6 & 7 n'ont pas été prises en compte.

L'ANOVA incluant les deux formats de présentation de l'illustration, la présence ou l'absence d'indicateurs attentionnels, les deux niveaux d'habiletés et les trois types de transitions indique comme auparavant un effet significatif du format de présentation de l'illustration,  $F(1, 66) = 20.58, p < .0001$ . L'animation induit plus de transitions qu'une illustration statique. Par ailleurs, l'analyse révèle un effet significatif du type de transition,  $F(2, 132) = 297.72, p < .0001$ . Le nombre de transitions locales ( $M = 41.56$ ) est plus important que le nombre de transitions globales ( $M = 19.35$ ), lui même plus important que le nombre de transitions de chaîne causale ( $M = 13.99$ ). L'analyse montre également un effet d'interaction significatif entre le type de transition et le format de présentation,  $F(2, 132) = 7.13, p = .001$  (figure 5.49). Cet effet nous permet de préciser que l'effet du type de transition est plus marqué lorsque l'illustration est animée.

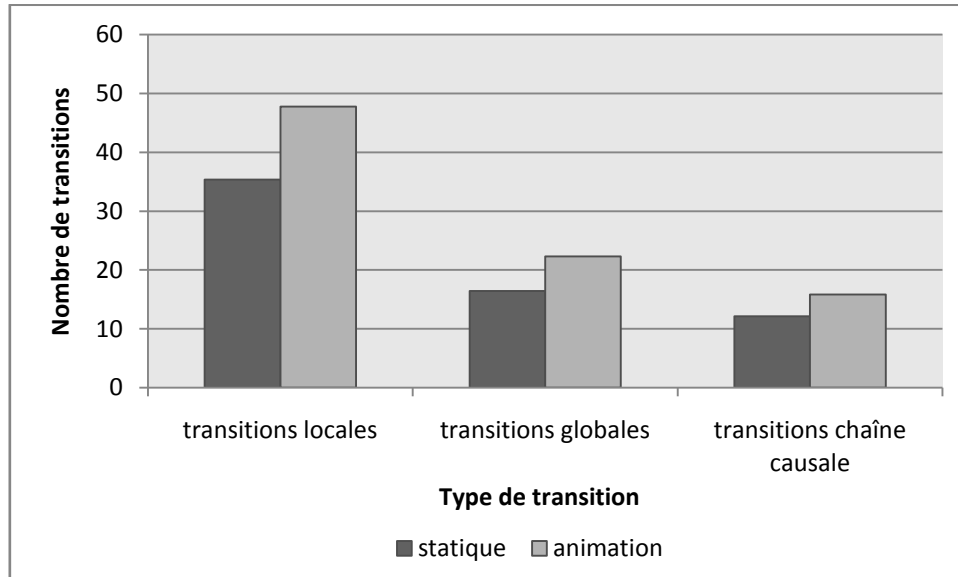


Figure 5.49. Nombre de transitions selon le type de transition et le format de présentation de l'illustration

### **7.3. Conclusions**

Le but de cette sixième expérience était d'étudier le rôle des flèches directionnelles dans la compréhension de l'illustration statique ou animée d'un système de poulies.

Les résultats indiquent que des flèches représentant les sens de directions et de rotation des différentes poulies contribuent à la construction d'un modèle mental fonctionnel efficient. Néanmoins cet effet est dû principalement aux performances des apprenants disposant de faibles aptitudes mécaniques et spatiales.

L'analyse des erreurs de mouvements indiquent que les apprenants avec de faibles aptitudes mécaniques et spatiales éprouvent des difficultés à inférer les mouvements des différents éléments lorsque l'illustration est statique et accompagnée de flèches directionnelles. L'ajout de flèches sur des schémas statiques n'est donc pas suffisant pour comprendre le fonctionnement d'un système mécanique complexe pour des sujets à faibles habiletés mécaniques et spatiales. Cet effet est compatible avec les résultats obtenus par Heiser & Tversky (2002). En effet ces auteurs ont également mis en évidence que l'ajout de flèches sur des schémas statiques n'est pas suffisant pour une bonne compréhension du fonctionnement d'un système complexe.

Les données oculométriques, indiquent que les apprenants utilisent les caractéristiques de l'animation, plus que celle de l'image statique, pour traiter les informations pertinentes à la construction d'un modèle mental efficient. En effet le nombre de fixations se révèle très élevé dans les aires incluant le plus grand nombre de mouvements. De plus, la durée de fixations dans les AOI est supérieure lorsque l'on introduit des flèches dans l'animation.

Par ailleurs, le nombre de transitions entre les aires juxtaposées correspondant à la chaîne causale du système est plus important pour une illustration animée. Cela suggère à nouveau qu'un traitement étape par étape est à l'œuvre dans le cas d'une animation tout comme dans le cas d'illustrations statiques (Hegarty, 1992, 2004). Les résultats indiquent également un plus grand nombre de transitions locales suivant le parcours de la chaîne causale lorsque l'illustration est animée. Cela facilite l'intégration étape par étape du fonctionnement du système et accroît ainsi les performances de compréhension.

Par ailleurs l'intégration de flèches à l'intérieur de l'image permet une élaboration plus efficiente du modèle mental fonctionnel uniquement pour des apprenants disposant de fortes aptitudes mécanique et spatiale. En revanche la compréhension se révèle reste plus difficile pour des apprenants ayant de faibles aptitudes spatiales. S'appuyer sur des indices internes à l'image ne suffit pas pour intégrer les divers mouvements présents dans le système. Les données issues de l'enregistrement du mouvement des yeux indiquent que les flèches sont

traitées mais que leur coordination, nécessaire pour comprendre le système, paraît être difficile pour les apprenants disposant de faibles aptitudes spatiales.

## 8. Synthèse sur les quatre expériences

Le but de la première expérience de ce second chapitre expérimental était d'étudier l'impact de la fréquence d'exposition à une animation sur l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel. Nous postulions qu'en raison du caractère éphémère de l'animation, l'apprenant ne pourrait pas la traiter assez profondément. Les traces qu'il garderait en mémoire seraient trop fugitives. On supposait qu'une fréquence d'exposition plus élevée à une animation pouvait renforcer les traces mnésiques de l'apprenant et par conséquent faciliter les traitements cognitifs permettant la construction d'un modèle mental fonctionnel. Exposer plus souvent les apprenants à une animation entraîne des temps de réaction plus rapides aux questions portant sur la configuration et sur la cinématique du système. On peut en conclure que les traces mnésiques, renforcées par une exposition plus fréquente à une animation, rendent le modèle mental fonctionnel plus stable et plus accessible pour les apprenants. Néanmoins, l'impact de la fréquence d'exposition à une animation sur la compréhension du système a des limites. En effet un apprenant avec de faibles aptitudes mécaniques et spatiales ou qui a peu de connaissances préalables sur le système à étudier peut avoir certaines difficultés à relever et à traiter les informations pertinentes présentes dans l'animation. Le fait d'exposer l'animation à cet apprenant un grand nombre de fois ne l'aide pas nécessairement à élaborer un modèle mental efficient.

Le but des trois expériences suivantes était de préciser le rôle de l'orientation de l'attention, soit en spécifiant la tâche par des instructions (expériences 4, 5), soit en intégrant des indicateurs attentionnels graphiques de type flèches à l'intérieur même de l'illustration (expérience 6).

Orienter l'attention des apprenants vers les éléments pertinents du système ainsi que vers les aspects cinématiques locaux grâce à des tâches spécifiques améliore l'élaboration de leur modèle mental fonctionnel.

Dans une moindre mesure, contrôler l'animation favorise également l'élaboration d'une animation mentale. Le contrôle permet aux apprenants ayant de fortes habiletés mécaniques et spatiales d'appréhender plus aisément certaines particularités essentielles du système.

La présentation d'un texte accompagné d'une animation pour lesquels aucune tâche spécifique n'était précisée entraînait une utilisation majoritaire du support textuel par rapport à l'illustration pour comprendre le système. La propriété linéaire du texte rend son traitement plus facile pour les apprenants comparativement à une animation dont la structure n'est pas linéaire et nécessite des connaissances mécaniques et spatiales pour comprendre la chaîne causale du système. Diriger l'attention des apprenants à l'aide d'une tâche spécifique leur permet de mieux structurer l'animation et ainsi d'extraire les informations pertinentes. Nous avons également mis en évidence que dans le cas des animations, la présence d'un texte explicatif ne facilite pas nécessairement l'élaboration d'une animation mentale.

Bien que les apprenants étudient la leçon plus longtemps, ils obtiennent des performances similaires ou plus faibles que lorsque l'animation est présentée seule. La prise d'informations pertinente dans l'animation est beaucoup plus élevée lorsque celle-ci est seule.

Les flèches directionnelles incorporées à l'illustration, permettent aux apprenants disposant de fortes aptitudes mécaniques et spatiales d'intégrer plus profondément les informations pertinentes et favorisent l'élaboration d'un modèle mental. Néanmoins, la présence de ces indices engendre des erreurs se rapportant aux aspects cinématiques du système chez les apprenants ayant de faibles aptitudes mécaniques et spatiales. Les indices amorceraient le traitement des processus dynamiques chez les sujets disposant de fortes habiletés.

Récemment, des chercheurs ont également étudié d'autres moyens d'orienter l'attention sur les informations pertinentes tel que la vitesse de présentation d'une animation (Fisher, Lowe & Schwan, 2007, accepté), la schématisation (Scheiter, Gerjets, Huk, Imhof & Kammerer, soumis) ou encore la propagation du mouvement (Lowe & Boucheix, 2007).

Dans une étude portant sur la compréhension d'un mécanisme d'horlogerie (figure 5.50), Fisher, Lowe & Schwan (2007, accepté) ont mis en évidence que lorsque la vitesse d'animation était normale, alors le pendule qui est le composant le moins pertinent pour la compréhension est également le plus saillant perceptivement car c'est l'élément qui est le plus animé. Lorsque l'on augmente la vitesse de présentation le pendule bouge très vite et il paraît ainsi immobile alors que les engrenages composants les éléments pertinents pour la compréhension deviennent saillants perceptivement. Les résultats de cette expérience montrent qu'avec une présentation plus rapide du système ayant pour but de rendre perceptivement saillantes les informations pertinentes, les apprenants construisent un modèle mental du système plus approprié.

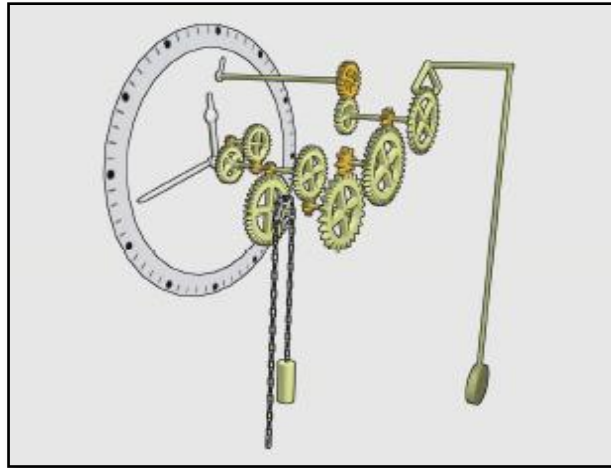


Figure 5.50. Animation du mécanisme d'horlogerie tiré de Fischer, Lowe & Schwan (2007, accepté)

Scheiter, Gerjets, Huk, Imhof & Kammerer (soumis) ont quant à eux étudié l'effet du réalisme d'une animation illustrant la réplication cellulaire ou mitose. Dans une première expérience, ils ont comparé une vidéo réaliste à une animation schématisée (animation en noir et blanc) (voir figure 5.51). Les résultats indiquaient que les performances de compréhension des apprenants étaient supérieures lorsqu'ils étudiaient une animation schématisée qui mettait particulièrement en lumière les traits pertinents du processus. Dans une seconde expérience, ils ont comparé une animation réaliste suivie de la même animation réaliste ou schématisée à une animation schématisée suivie de la même animation schématisée ou réaliste. Les résultats montraient que les performances de compréhension étaient supérieures lorsque l'on présentait aux apprenants une animation schématisée suivie d'une animation schématisée ou une animation réaliste suivie d'une animation schématisée, comparativement à une présentation réaliste suivie d'une présentation réaliste.

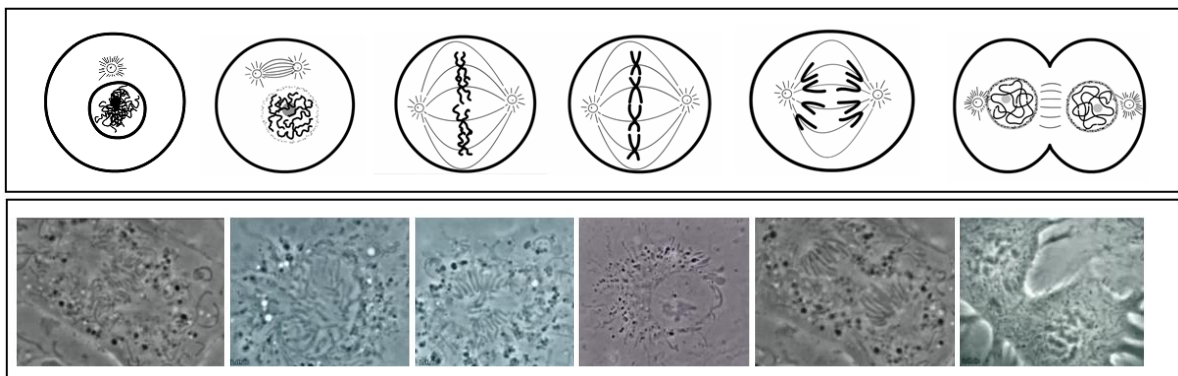


Figure 5.51. Images tirées de la visualisation schématisque (en haut) et de la visualisation réaliste (en bas). Extrait de Scheiter, Gerjets, Huk, Imhof & Kammerer (soumis)

Récemment, Lowe & Boucheix (2007), dans une étude portant sur le fonctionnement d'un mécanisme de piano, ont comparé trois versions contrôlables d'une animation : une version sans indices, une version avec des flèches dynamiques et une version avec un indice bicolore contrôlable de propagation du mouvement dans le système. Les performances de compréhension étaient supérieures lorsque les apprenants étudiaient la version avec l'indice de propagation du mouvement bicolore. Par ailleurs, les performances de compréhension étaient identiques pour les aspects cinématiques et pour le modèle fonctionnel lorsque les apprenants étudiaient une version sans indices ou une version indicée par des flèches. L'analyse des mouvements oculaires indiquaient que les apprenants orientaient leur attention différemment selon les modalités d'*indication*. Dans la condition avec flèches les participants passaient plus de temps à regarder les aires avec des flèches et les aires où il y avait les mouvements les plus amples. Ces mouvements ne sont pas les plus pertinents pour comprendre le système. Les participants dans la condition avec indice de propagation du mouvement bicolore regardaient plus souvent les composants pertinents pour comprendre le système.

## **Chapitre 6**

### **Discussion générale**



Dans ce chapitre, nous présenterons d'abord une synthèse rapide des principaux résultats de notre recherche. Puis nous discuterons nos résultats et nous exposerons les limites de nos expériences. Enfin, nous préconiserons quelques perspectives de recherches avant de formuler des indications ergonomiques pour concevoir des supports éducatifs animés plus efficaces.

### **1. L'apport de nos travaux dans l'étude du traitement des animations**

Le tableau 1.2 résume les modalités de délivrance des informations que nous avons fait varier pour rendre les processus dynamiques d'un système de poulies plus appréhendables et les principaux résultats que nous avons obtenus. La colonne de gauche du tableau précise le numéro de l'expérience. Les colonnes à sa droite précisent si l'image était accompagnée ou non d'un texte, les objectifs, les différentes modalités testées, ainsi que les résultats principaux et les conclusions pour chaque expérience.

Expérience	Présence d'un texte explicatif	Objectifs	modalités	Résultats	Conclusions
1	Oui	Format de présentation	Statique vs 5 schémas statiques juxtaposés vs 5 schémas statiques séquentiels vs animation	5 schémas juxtaposés et animation > 5 schémas séquentiels et 1 schéma statique	5 schémas juxtaposés et animation favorisent les comparaisons entre les éléments importants du système, cela permet de réaliser des inférences internes
2	Oui	Contrôle de l'animation	Non contrôlable vs partiellement contrôlable vs totalement contrôlable	Le contrôle partiel améliore les performances de compréhension pour les sujets à faibles aptitudes  Le contrôle perturbe la compréhension chez les sujets à fortes aptitudes	Le contrôle partiel améliore les performances de compréhension des sujets à faibles aptitudes mécaniques et spatiales
3	Oui	Fréquence d'exposition et contrôle de l'animation	Présentation 1x vs 5x vs 10x  Non contrôlable vs partiellement contrôlable vs totalement contrôlable	Présentation 10x > 1x  Pas d'effet du contrôle	L'effet du nombre de présentation reste faible  Voir ou manipuler plusieurs fois l'animation n'indique pas comment traiter celle-ci  Le contrôle n'améliore pas la compréhension

Tableau 6.1. Synthèse des expériences réalisées au cours de cette thèse partie 1

4	Oui	Guidage attentionnel verbal et contrôle de l'animation	Orientation attentionnelle sur la configuration <i>vs</i> sur la cinématique <i>vs</i> le modèle fonctionnel <i>vs</i> aucune orientation attentionnelle  Non contrôlable <i>vs</i> partiellement contrôlable <i>vs</i> totalement contrôlable	Orientation modèle fonctionnel ou cinématique > configuration ou sans orientation  Pas d'effet du contrôle	L'orientation attentionnelle augmente l'appréhension des informations pertinentes et de leurs comportements  Une orientation attentionnelle à l'aide d'instructions est plus efficace que le contrôle
5	Non	Guidage attentionnel verbal et contrôle de l'animation	Orientation attentionnelle sur la configuration <i>vs</i> sur la cinématique <i>vs</i> le modèle fonctionnel <i>vs</i> aucune orientation attentionnelle  Non contrôlable <i>vs</i> partiellement contrôlable <i>vs</i> totalement contrôlable	Orientation modèle fonctionnel ou cinématique > configuration ou sans orientation  Contrôle total > contrôle partiel ou sans contrôle particulièrement pour les questions sur la cinématique	Une orientation attentionnelle à l'aide d'instructions est plus efficace que le contrôle  Un contrôle total d'une animation seule ainsi qu'une orientation attentionnelle augmente l'appréhension des informations pertinentes et l'appréhension de leurs comportements
Comparaison des expériences 4 & 5	_____	Guidage attentionnel verbal et contrôle de l'animation	Animation avec texte <i>vs</i> animation seule  Orientation attentionnelle sur la configuration <i>vs</i> sur la cinématique <i>vs</i> le modèle fonctionnel <i>vs</i> aucune orientation attentionnelle  Non contrôlable <i>vs</i> partiellement contrôlable <i>vs</i> totalement contrôlable	Pas d'effet de la présence d'un texte  Orientation modèle fonctionnel ou cinématique > configuration ou sans orientation  Pas d'effet du contrôle	Une orientation attentionnelle à l'aide d'instructions est plus efficace que le contrôle  La présence d'un texte ne facilite pas la compréhension d'un système mécanique animé

Tableau 6.1. Synthèse des expériences réalisées au cours de cette thèse partie 2

6	Non	Guidage attentionnel graphique (flèches)	<p>Illustrations avec flèches <i>vs</i> sans flèches</p> <p>Illustration statique <i>vs</i> animée</p>	<p>Animation &gt; illustration statique</p> <p>Flèches &gt; sans flèches Beaucoup d'erreurs de mouvements pour les sujets à faibles aptitudes lorsqu'il y a des flèches</p>	<p>L'animation facilite la construction d'un modèle mental</p> <p>Les flèches permettent une meilleure élaboration d'un modèle mental seulement pour les sujets à fortes aptitudes qui peuvent utiliser ces indices efficacement</p> <p>La bonne utilisation des indices nécessite : des connaissances préalables des aspects cinématiques, la signification des indices et une coordination efficiente des indices</p>
---	-----	--	--	---	---

Tableau 6.1. Synthèse des expériences réalisées au cours de cette thèse partie 3

### 1.1. Le format de présentations

Une série de 5 schémas intégrés tout autant qu'une animation favorise la construction d'un modèle mental fonctionnel. Le format intégré pourrait permettre en particulier de réaliser des transitions pertinentes entre les éléments importants du système. Les apprenants pourraient élaborer plus aisément des inférences à propos des interactions que les éléments entretiennent entre eux à partir de ces transitions. Dans cette expérience, nous avons enregistré les parcours oculaires pour un très petit échantillon. Il serait intéressant de tester plus spécifiquement cette série d'illustrations juxtaposées avec un échantillon plus grand. Il serait par ailleurs préférable que les cinq illustrations soient alignées au même niveau horizontal.

L'utilisation de séries d'illustrations qui décrivent un processus dynamique pose également le problème de la segmentation. Comment choisir les étapes cruciales pour la compréhension du phénomène ? Une solution consisterait à demander à des « experts » du domaine de réaliser une segmentation des étapes clés du processus dynamique. Après avoir présenté un grand nombre d'illustrations à des novices, on pourrait également leur demander de rappeler les étapes principales du phénomène. On suppose ainsi que les images rappelées le plus souvent par les sujets seraient les étapes principales permettant l'intégration du processus.

Un autre problème concerne la nature des étapes présentées dans les illustrations. La compréhension de certains processus dynamiques ne requiert pas une segmentation en état, mais requiert la compréhension des transitions entre les états. Par exemple, pour comprendre et imiter les mouvements humains, la présentation de différents états pourrait ne pas être suffisamment pertinente comparativement à la présentation des transitions entre ces états. Selon le contenu, les images sélectionnées devraient présenter soit les états principaux du processus soit les transitions entre ces états.

Le nombre des illustrations peut aussi avoir un effet sur le bénéfice d'un tel format. Un nombre important d'images, permettrait certes aux apprenants d'inférer les transitions entre ces étapes, mais le coût cognitif lié au traitement de toutes ces images serait important. De même, un nombre d'images insuffisant, qui présente des étapes trop éloignées les unes des autres pourrait ne pas permettre la réalisation d'inférences concernant les transitions entre ces étapes, rendant inefficace ce format.

## 1.2. Le contrôle de l'animation

Une animation partiellement contrôlable facilite la construction d'un modèle mental efficient pour les apprenants disposant de faibles aptitudes spatiales. Mais il n'y a pas proprement parlé d'effet du contrôle total. Le contrôle total semble avoir un effet lorsqu'il y a des consignes pour orienter la tâche et lorsque l'animation est seule.

L'effet du contrôle de l'animation par les apprenants varie sensiblement d'une expérience à l'autre. Cette variation peut être due au fait que l'on ignore comment les participants utilisent l'animation. On pourrait dans un premier temps comparer un groupe de participants qui utilisent beaucoup l'animation à un groupe utilisant peu l'animation pendant la tâche de compréhension. Les participants qui utilisent plus l'animation devraient avoir un nombre de fixations plus élevé dans les aires de mouvements et devraient réaliser plus de transitions entre les éléments pertinents du système. De plus ces sujets devraient obtenir des performances supérieures à celles obtenues par des sujets qui utilisent peu le contrôle. Dans nos études, les sujets devaient faire fonctionner au moins trois fois le système animé. Cette consigne avait pour but d'obliger tous les sujets à utiliser l'animation, évitant ainsi la présence de participants qui utilisent très peu l'animation.

Il serait également intéressant d'analyser le couplage des mouvements oculaires avec l'utilisation du contrôle, en analysant comment les participants manipulent l'animation. On pourrait ainsi mieux comprendre l'utilisation de l'animation : si les apprenants font dérouler l'animation entièrement ou s'ils ne font dérouler l'animation que sur une petite surface pour revenir en arrière ensuite. De cette façon, nous pourrions mieux comprendre l'activité d'intégration d'un apprenant lorsqu'il se sert d'une animation contrôlable.

Les apprenants ayant de faibles connaissances préalables sur le domaine présenté pourraient être incapables d'utiliser le contrôle de l'animation efficacement. Un système prenant en charge une partie de l'interactivité pourrait guider ces apprenants pour une utilisation efficace du contrôle. D'un autre côté, un système qui prendrait en charge une partie trop importante de l'interactivité rendrait l'apprenant passif et aurait des effets négatifs sur les performances de compréhension. A l'inverse, une animation totalement contrôlable, où l'apprenant utilise le contrôle comme il le souhaite pour étudier le support, pourrait être la solution adéquate pour les experts du domaine présenté (Lowe, 2004). Les experts possèdent les connaissances préalables pour segmenter correctement l'animation. Un système qui guiderait cette segmentation serait donc inutile dans ce cas de figure.

Finalement, lorsqu'une animation est facilement appréhendable par les sujets, alors le contrôle pourrait se révéler inutile, surtout si le processus est court. Les apprenants n'ont pas

besoin d'utiliser les caractéristiques du contrôle pour extraire les informations dynamiques pertinentes.

### **1.3. La fréquence d'exposition**

Les apprenants qui sont exposés une seule fois à l'animation ont de plus faibles performances de compréhension que ceux qui y sont exposés dix fois. Le temps de réaction pour répondre aux questions portant sur la configuration et celles portant sur la cinématique du système est plus rapide lorsque l'exposition est plus fréquente.

Néanmoins, si des apprenants ne savent pas extraire les informations pertinentes à partir d'une animation, une fréquence d'exposition élevée n'améliore pas pour autant l'élaboration d'un modèle mental fonctionnel.

Il faut donc distinguer la stabilité d'une représentation en mémoire à long terme et la construction d'une représentation mentale exacte du phénomène. Une exposition fréquente à l'animation pourrait améliorer le stockage des informations perceptives de l'animation. La représentation perceptive construite par l'apprenant pourrait ainsi mieux correspondre à la représentation décrite. Mais une exposition plus fréquente à l'animation ne permet pas pour autant le stockage en mémoire à long terme d'un modèle mental exhaustif, cohérent et fonctionnel si l'apprenant n'est pas capable de relier les événements dynamiques entre eux. Cela pourrait être le cas pour les apprenants disposants de faibles aptitudes.

L'animation que nous avons utilisée lors de nos expériences est de courte durée. Les apprenants pourraient disposer de suffisamment de temps pour la percevoir et pour stocker une grande partie des informations délivrées. Aussi dans ce cas de la présentation d'une animation d'une durée plus longue, une exposition plus fréquente pourrait permettre aux apprenants d'enregistrer des informations différentes à partir des présentations successives.

Une exposition plus fréquente à l'animation pour des apprenants auxquels on ne fournit pas de tâches spécifiques au cours de l'apprentissage pourrait donner lieu à un traitement passif de l'animation.

### **1.4. Le guidage attentionnel**

Les résultats des expériences 4 et 5 indiquaient qu'une orientation attentionnelle par des courtes consignes verbales spécifiant le but de la recherche d'informations en focalisant l'attention des apprenants sur les aspects cinématiques et sur le modèle fonctionnel facilite la construction d'un modèle mental. Par ailleurs, contrairement à ce qui était attendu, l'absence d'interaction entre l'orientation attentionnelle et le contrôle de l'animation par l'utilisateur

indiquerait que les apprenants pour lesquels l'attention était orientée par une consigne n'utilisaient pas nécessairement le contrôle de l'animation de façon plus efficace. Ainsi comme le souligne Keehner & al. (accepté), orienter l'attention sur les éléments pertinents du processus selon un bon point de vue semble plus efficace que leur permettre d'interagir librement avec le système. Néanmoins, si l'on distingue les sujets selon leur utilisation du contrôle, alors il se pourrait que l'on trouve une interaction avec les consignes. Les sujets avec une forte utilisation du contrôle devraient utiliser l'animation différemment selon la consigne fournie.

Dans l'expérience 6, nous avons étudié le guidage attentionnel graphique en utilisant des flèches indiquant les directions et les sens de rotation des poulies. Nous avons comparé une illustration statique et animée avec ou sans flèches.

Les résultats ont montré une supériorité de la présence des flèches, surtout due aux apprenants disposant de fortes aptitudes mécaniques et spatiales, ainsi qu'une supériorité de l'animation sur les performances de compréhension. Une étude approfondie des erreurs de verbes de mouvement indiquaient que les flèches permettent une meilleure élaboration d'un modèle mental uniquement pour les sujets à fortes aptitudes capables d'utiliser ces indices efficacement. Les difficultés liées à la présence de flèches pour les apprenants à faibles habiletés pourraient être dues aux nombreuses significations de celles-ci. Les flèches peuvent indiquer une direction, un sens de rotation, peuvent pointer un élément, etc.

Un contrôle par les utilisateurs de ces indices pourrait également s'avérer efficace pour intégrer les informations dynamiques. Les sujets en contrôlant l'apparition, le déroulement, la segmentation de ces indices, pourraient les coordonner efficacement avec les connaissances préalables des aspects cinématiques ou de la perception du mouvement.

En conclusion, on peut dire que l'important pour comprendre un processus dynamique à partir d'une animation est ce que l'on regarde et non le degré d'interactivité.

### **1.5. Le rôle du texte**

Lorsque l'animation est seule, les apprenants utilisent efficacement et activement les caractéristiques de celle-ci. Le temps d'étude est plus rapide que lorsque l'animation est accompagnée d'un texte mais les performances sont meilleures.

Contrairement aux études portant sur le rôle des illustrations statiques dans la compréhension pour lesquelles l'ajout d'un texte explicatif augmente les performances de compréhension comparativement à la présentation seule de l'un ou l'autre des médias, l'ajout d'un texte à une animation n'améliore pas nécessairement la compréhension. L'animation



seule peut être suffisante, sauf s'il s'agit d'un système complexe et abstrait pour construire un modèle mental efficient. Toutefois, le matériel que nous avons utilisé présente un processus où tous les événements sont perceptibles. Un texte explicatif peut se révéler indispensable pour comprendre des animations extrêmement complexes ou particulièrement abstraites dans lesquelles toutes les informations ne sont pas visibles.

### **1.6. L'apport des données *oculométriques* dans la compréhension des processus de traitement**

Les données issues des enregistrements oculaires indiquent que les conditions qui facilitent la compréhension du système de poulies animé (tel que les consignes ou les flèches pour les apprenant ayant de fortes aptitudes mécaniques et spatiales) impliquent un nombre et une durée de fixation plus importante dans les aires délivrant le plus d'informations dynamiques, ainsi qu'un grand nombre de transitions entre ces aires, particulièrement locales. Ces données seraient compatibles avec un traitement intégratif des animations, étape par étape décrit par Hegarty (1992) dans le cas des illustrations statiques et non avec un traitement holistique. Les apprenants segmenteraient les informations dynamiques en reconstituant l'ordre de la chaîne causale des événements dans le but d'élaborer une représentation mentale animée. Dans le but de confirmer cette hypothèse de traitement étape par étape, il faudrait analyser en détails les scanpaths de certains sujets comme Hegarty (1992), Hegarty & Just (1993) l'avaient fait pour l'étude du traitement des illustrations statiques. De cette façon, on pourrait voir exactement comme un apprenant segmente une animation dans le but de comprendre un processus dynamique. Par ailleurs, il serait intéressant d'avoir une idée de la nature des différentes fixations oculaires réalisées par les sujets. Selon la durée des fixations on pourrait distinguer plusieurs types de fixations, comme par exemple des fixations d'intégration ou des fixations superficiels. Cela nécessiterait une investigation particulière pour déterminer précisément ces différents types de fixations.

Finalement, les résultats que nous avons obtenus grâce aux enregistrements des mouvements des yeux pourraient être plus fins si l'on pouvait créer des aires d'intérêt dynamiques permettant de pouvoir suivre des éléments dynamiques d'une animation. Les logiciels d'analyses de données oculométriques actuels ne permettent par la création de ce type d'aires d'intérêt dynamiques.

### **1.7. Un premier modèle de traitement des animations**

En accord avec ce traitement étape par étape des animations, Lowe & Boucheix (2007) ont très récemment élaboré un premier modèle de traitement des animations complexes en cinq étapes.

La première étape concerne l'exploration perceptuelle localisée. Durant cette étape, les apprenants segmentent le flux continu de la présentation d'informations dynamiques en segments sémantiquement pertinents. On assiste à une compétition entre traitement perceptif du flux continu de l'animation sensible aux traits saillants et la nécessité de segmenter ce flux par étapes.

La seconde étape concerne la formation de structures régionales. Une fois la création d'unités élémentaires générée, l'apprenant coordonne ces segments locaux à l'intérieur de structures dynamiques plus importantes en les combinant deux par deux ou plus encore pour créer des unités régionales intégrant des dimensions temporelles et spatiales : micro « *chunks* » dynamiques.

La troisième étape rend compte de la caractérisation globale. Cette étape permet de relier entre elles toutes ou une partie des chaînes causales individuelles en mouvement qui sont contenues dans les fragments dynamiques régionaux.

La quatrième étape implique la différenciation fonctionnelle. Durant cette phase, l'apprenant reconstruit un modèle mental de la ou des chaînes causales physiques. Les relations fonctionnelles entre les différents sous-systèmes ne sont pas entièrement intégrées.

La cinquième étape traite de la consolidation du modèle mental. Le résultat des divers traitements successifs d'une animation est un modèle mental dynamique fonctionnel complet. Dans cette ultime étape, l'apprenant a réussi à établir les relations fonctionnelles entre les différentes chaînes causales du système.

## **2. Les limites de nos travaux**

Bien que nous ayons apporté un soin particulier à la conception et à la passation de nos expériences, certains points particuliers peuvent être source de discussion.

Un premier point concerne le choix d'utiliser un matériel expérimental ayant trait à la mécanique. Toutes nos expériences ont été réalisées avec le même système de trois poulies. Ce choix renforce la cohérence des résultats obtenus au cours des six expériences de cette thèse. Le fait d'utiliser un système unique permet de pouvoir comparer les expériences entre elles du point de vue des variables manipulées. Néanmoins se pose la question de la généralisation de nos résultats vers d'autres types de matériel. On peut supposer que les

résultats que nous avons obtenus seraient généralisables à d'autres systèmes mécaniques de complexité moyenne (par exemple un mécanisme de levier). Les traitements d'une majorité des animations impliquent la mise en œuvre d'opérations visuo-spatiales élémentaires telles que des rotations, des directions, etc. Les résultats que nous avons obtenus pourraient donc être généralisés à toutes les animations impliquant de telles opérations.

Dans toutes nos expériences, nous avons contrôlé les habiletés mécaniques et spatiales. Ce contrôle a permis d'atténuer un biais de population lié au sexe majoritairement féminin des participants. L'étalonnage du DAT 5 indique un effet du sexe seulement sur le raisonnement mécanique en faveur des garçons. Aucun effet du sexe n'a été montré à propos des relations spatiales. Par ailleurs, les performances des filles disposant d'aptitudes mécaniques et spatiales fortes sont en moyennes similaires aux performances des garçons disposant d'aptitudes mécaniques et spatiale moyennes. Cela montre que nos résultats obtenus sur une population majoritairement féminine pourraient être généralisés à une population masculine disposant d'aptitudes mécaniques et spatiales moyennes.

Comme dans la plupart des études portant sur la compréhension, les mesures de compréhension que nous avons utilisées sont des épreuves verbales. On peut se demander si ces mesures verbales pour évaluer une compréhension impliquant des phénomènes visuo-spatiaux sont pertinentes. Des mesures de compréhension visuo-spatiales plus directes (par exemple la réalisation de procédures) pourraient apporter une évaluation plus fine de la compréhension des apprenants.

Ces trois points considérés, il n'en demeure pas moins que les résultats obtenus lors de cette recherche apportent un certain nombre des réponses aux questions que nous nous sommes posées au commencement de cette thèse et étoffent les connaissances sur l'étude de la compréhension à partir d'animations.

### **3. Perspectives de recherches futures**

Beaucoup de questions restent toujours sans réponse en ce qui concerne la construction d'un modèle mental à partir d'une animation. Nous ne savons pas non plus si une animation peut faciliter la construction d'un modèle mental pertinent pour tous les apprenants. Enfin, nous ne savons pas dans quelle mesure le modèle mental construit est stable ou éphémère en mémoire du fait qu'il a été élaboré à travers un ensemble d'informations en mouvement apparaissant de façon rapide.

Plusieurs axes de recherches pour poursuivre ce travail peuvent être investigués. Le premier concerne la segmentation des processus dynamiques. Quelles informations doit-on

fournir aux apprenants pour qu'ils comprennent le phénomène décrit ? Combien d'images doit-on présenter ? De quelle nature doivent-être ces informations ? Doit-on présenter des transitions entre les différents états ou les états eux même ?

Un autre axe de recherche potentiel est celui de l'étude du type de stratégie d'utilisation du contrôle par les apprenants. Les résultats contradictoires liés aux études analysant le rôle des animations peuvent être dus au fait que nous ne savons pas comment les apprenants utilisent le contrôle d'une animation. Même si l'on peut observer qu'un apprenant utilise l'interactivité d'une animation, on ne sait pas vraiment comment il l'utilise et si le fait de lui donner une tâche à réaliser a une influence sur son utilisation. Par ailleurs, on peut imaginer que des instructions pour utiliser le contrôle efficacement pourraient faciliter l'intégration des processus dynamiques pertinents.

Un troisième axe pourrait être l'étude de la stabilité en mémoire de la représentation mentale animée. Les animations peuvent aider les sujets à comprendre des processus dynamiques, mais on ignore si la compréhension de ces processus dynamiques reste stable en mémoire. Le fait de voir le déroulement d'un phénomène dynamique plutôt que de l'inférer peut impliquer un traitement passif. Les sujets visualisant une animation pourraient donc réussir des épreuves de compréhension immédiate mais pas des épreuves de compréhension différée. Les sujets visualisant une image statique pourraient réussir aussi bien des épreuves de compréhension immédiate que des épreuves de compréhension différée, uniquement si la représentation mentale construite grâce à l'image est exacte.

Finalement un quatrième axe de recherche pourrait être l'importance de la généralisation. Il serait intéressant d'analyser le rôle des animations dans différents contenus tels que les contenus scientifiques, mécaniques, biologiques. L'effet des animations peut être différent selon le contenu présenté. Les animations devraient être efficaces pour les contenus à fortes composantes dynamiques dont la décomposition en étape est particulièrement difficile et où les transitions entre ces étapes sont essentielles à la compréhension.

#### **4. Recommandations pour l'élaboration d'animations efficaces**

Cette thèse avait pour but de comprendre les processus cognitifs impliqués dans le traitement des animations. Néanmoins, les résultats obtenus peuvent également servir de préconisations pour la conception de support multimédia facilitant la compréhension des apprenants.

Bétrancourt & Tversky (2000) et Tversky et al. (2002) ont défini le principe d'appréhension. Ce principe précise que les caractéristiques externes doivent être directement

perçues et appréhendées par les apprenants. Ce principe recommande également d'éviter tout ajout d'informations décoratives qui n'est pas utilisé pour la compréhension.

Bétrancourt (2005) a défini deux autres principes de conception d'une animation qui peuvent avoir un impact positif sur le principe d'appréhension. Il s'agit des principes d'interactivité et de guidage attentionnel. Le principe d'interactivité indique que les informations décrites dans l'animation sont mieux comprises si le système permet le contrôle sur la marche de l'animation par les apprenants. Le principe de guidage attentionnel rend compte de l'importance d'orienter l'attention pendant le traitement de l'animation de sorte que les apprenants puissent ne pas omettre d'extraire certaines informations dynamiques pertinentes.

D'après nos résultats, nous pouvons émettre les préconisations suivantes :

- 1) L'utilisation de multiples illustrations statiques peut être aussi efficace qu'une animation pour permettre aux apprenants de comprendre le fonctionnement d'un système dynamique. Il faut pour cela que les images soit spatialement proches pour permettre aux apprenants de comparer les différentes étapes décrites dans celles-ci et permettre d'inférer les processus dynamiques. Il faut néanmoins que les étapes soit suffisamment proches pour ne pas rompre la réalisation des inférences du processus dynamique, mais pas trop proche pour éviter à l'apprenant de traiter trop d'images, cela augmentant la charge cognitive.
- 2) Pour qu'une animation n'ait pas uniquement un statut de décoration, mais qu'elle soit efficace sur le plan des apprentissages. Un partage du contrôle entre l'apprenant et le système peut se révéler efficace.  
Une animation partiellement contrôlable facilite la compréhension pour les novices alors qu'une animation totalement contrôlable améliore la compréhension des experts. On préférera un contrôle partiel, en partie contrôlé par l'interface, pour les novices incapables de coordonner l'interactivité de l'animation avec leur représentation mentale pour qu'ils puissent bénéficier pleinement de l'apport de l'animation. Une animation totalement contrôlable peut déstabiliser l'apprenant si la manipulation s'avère trop délicate ou si les moyens de contrôler l'animation obligent un partage de l'attention trop important.

Les experts seraient d'avantage capable de coordonner l'interactivité de l'animation et leur représentation mentale, on préférera une animation totalement contrôlable lorsqu'ils sont engagés dans une tâche de compréhension.

- 3) Il faut privilégier l'orientation attentionnel de l'apprenant sur les informations dynamiques pertinentes du système vers les aspects cinématiques et vers le modèle fonctionnel du système à l'aide de courtes consignes verbales. Préciser les buts de la recherche d'informations semble être efficace pour faciliter l'élaboration d'une représentation mentale. Ces consignes ont pour but d'aider la perception et l'extraction des informations pertinentes mais également d'aider la construction des relations entre les différentes chaînes causales du système.
- 4) Dans certains cas, il faut éviter d'utiliser des indices graphiques ambigus ou polysémiques tels que des flèches qui seront sources d'erreurs dans la compréhension de processus dynamiques pour des sujets à faibles habiletés spatiales ou des novices. Par ailleurs, les flèches placées sur une animation apportent des informations totalement redondantes.

## REFERENCES

- Arguel, A., & Jamet, E. (2007). Using static pictures associated with dynamic visualizations to improve the learning of procedural documents. In proceedings of 12<sup>th</sup> Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, Hungary, August 28 – September 1.
- Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The split-attention effect principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 135-146). Cambridge: Cambridge University Press.
- Baccino, T. (2004). *La lecture électronique*. Presses Universitaires de Grenoble
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1999). *Human Memory*. Boston: Allyn & Bacon.
- Baek, Y. K., & Layne, B. H. (1988). Color, graphics, and animation in a computer-assisted learning tutorial lesson. *Journal of Computer-Based Instruction*, 15, 131-135.
- Bennet, G. K., Seashore, H. G. & Wesman, A. G. (1973,2002). Differential aptitude test. 5<sup>ème</sup> edition. *ECPA*.
- Bétrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning. In R. Mayer (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 287-296). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bétrancourt, M., Bauer-Morrison, J., & Tversky, B. (2001). Les animations sont-elles vraiment plus efficaces ? *Revue d'intelligence artificielle : les interactions Homme-Système : perspectives de recherches psycho-ergonomiques*, 14(1-2), 149-166.
- Bétrancourt, M., & Dillenbourg, P & Clavien. (sous presse). Reducing cognitive load in learning from animation: impact of delivery features. In J-F Rouet, R. K. Lowe & W. Schnotz (Eds.), *Multimedia Comprehension*.
- Bétrancourt, M., & Réalini, N. (2005). Le contrôle sur le déroulement de l'animation. 11<sup>ème</sup> JETCSIC ;17 Juin, Nice.
- Bétrancourt, M., & Rebetez, C. (2007). Building dynamic mental models from animation: effect of user control on exploration behaviours. In proceedings of 12<sup>th</sup> Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, Hungary, August 28 – September 1.
- Bétrancourt, M., & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on user's performance: a review. *Le travail humain*, 63(4) 311-329.
- Bogacz, S., & Trafton, J. G. (2005). Understanding dynamic and static displays: using images to reason dynamically. *Cognitive Systems Research*, 6, 312-319.
- Boucheix, J. M. (2007). On-line methods to study dynamic representations processing: eye tracking and comprehension. In proceedings of 12<sup>th</sup> Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, Hungary, August 28 – September 1.

- Boucheix, J. M. (sous presse). Young learners' control of technical animations. In R.Lowe & W. Schnotz, (Ed), *Learning with animation: Research and implications for design*. Cambridge University Press.
- Boucheix, J. M., & Guignard, H. (2005). Which animation condition can improve text comprehension in children? *European Journal of Psychology of Education*, 20(4), 369-388.
- Boucheix, J. M., Lowe, R. K. & Soirat, A. (2006). On line processing of a complex technical animation : eye tracking investigation during verbal description. *EARLI-SIG 2 Proceedings, Nottingham, August, 28<sup>th</sup> - 30<sup>th</sup>*.
- Bransford, J. D., & Johnson, M.K. (1972). Contextuel prerequisite for understanding: some investigation in comprehension and recall. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11, 717-726.
- Byrne, M. D., Catrambone, R. & Stasko, J. T. (1999). Evaluating animations as student aids in learning computer algorithms. *Computers and Education*, 33, 253-278.
- Caroll, P. J., Young, J. R. & Guertin, M. S. (1992). Visual analysis of cartoons: a view from the far side. In K. Rayner (Eds.). *Eye movements and visual cognition*. Springer Series in Neuropsychology. New York: Springer Verlag.
- Catrambone, R., & Fleming Seay, A. (2002). Using animation to help students learn computer algorithms. *Human Factors*, 44(3), 495-511.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- ChanLin, L. J. (1998). Animation to teach students of different knowledge levels. *Journal of Instructional Psychology*, 25, 166-175.
- Cohen, C. A., & Hegarty, M. (sous presse). Individual differences in use of an external visualization while performing an internal visualization task. *Applied Cognitive Psychology*.
- Fayol, M., & Gaonac'h, D. (2003). Aider les élèves à comprendre. Paris : Hachette
- Fischer, S., Lowe, R.K. & Schwan, S. (2007). Temporal manipulations for instructional design: effects of presentation speed. In proceedings of 12<sup>th</sup> *Biennial Conference for Research on Learning and Instruction*, Budapest, Hungary, August 28 – September 1.
- Fischer, S., Lowe, R.K. & Schwan, S. (accepté). Effects of presentation speed of a dynamic visualization on the understanding of a mechanical system. *Applied Cognitive Psychology*.
- Ganier, F., Gombert, J.E. & Fayol, M. (2000). Effet du format de présentation des instructions sur l'apprentissage des procédures à l'aide de documents techniques. *Le Travail Humain*, 63, 121-152.
- Gernsbacher, M. A. (1990). Language comprehension as structure building. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gernsbacher, M. A. (1991). Cognitive processes and mechanisms in language comprehension: the structure building framework. *The Psychology of Learning and Motivation*, 27, 217-263.



- Gernsbacher, M. A. (1995). The Structure Building Framework: What it is, what it might also be, and why. In B. K. Britton, & A. C. Graesser, (Eds.), *Models of text understanding* (pp. 289-311). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gernsbacher, M. A. (1997). Two decades of structure building. *Discourse Processes*, 23, 265-304.
- Gernsbacher, M. A., & Faust, M. (1991). The mechanism of suppression: a component of general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 245-262.
- Gernsbacher, M.A., & Faust, M. (1995). Skilled suppression. In F. N. Dempster & C.N. Brainerd (Eds), *Interference and inhibition in cognition* (pp. 97-128). Amsterdam: North-Holland
- Gernsbacher, M. A., & Foertsch, J. (1999). Three models of discourse comprehension. In S. Garrod & M. J. Pickering (Eds.), *Human language processing* (pp. 283-299). East Sussex, UK: Psychology Press.
- Gernsbacher, M. A., Varner, K. R., & Faust, M. (1990). Investigating differences in general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 430-445.
- Goldberg, J. H., & Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 631-645.
- Goldberg J. H., & Schryver, J. C. (1995). Eye-gaze contingent control of the computer interface: methodology and examples for zoom detection. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 27, 338-350.
- Goldberg, J.H., Stimson, M.J., Lewenstein, M., Scott, N. & Wichansky, A. M. (2002). Eye tracking in web search tasks: design implications. In proceedings of the 2002 symposium on eye tracking research and applications (pp51-58). New Orleans, Louisiana.
- Gonzales, C. (1996). Does animation in user interfaces improve decision making? In proceedings of the International Conference in *Computer Human Interaction CHI'96* (pp.7-34). New York, NY: ACM Press.
- Grimes, P. W., & Willey, T. E. (1990). The effectiveness of microcomputer simulations in the principles of economics course. *Computer Education*, 14, 81-86.
- Gyselinck, V., Ehrlich, M. F., Cornoldi, R., de Beni, R. & Dubois, V. (2000). Visuospatial working memory in learning from multimedia systems. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16, 5-19.
- Haenggi, D., Kintsch, W. & Gernsbacher, M. A. (1995). Spatial situation models and text comprehension. *Discourse Processes*, 19, 173-200.
- Harp, S. F., & Mayer, R. E. (1997). The role of interest in learning from scientific text and illustrations: on the distinction between emotional interest in sciences learning. *Journal of Educational Psychology*, 89, 92-102.
- Harp, S. F., & Mayer, R. E. (1998). How seductive details do their damage: a theory of cognitive interest in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 90, 414-434.

- Harrison, S. M. (1995). A comparison of still, animated, or non illustrated on-line help with written or spoken instructions in a graphical user interface. In I. R. Katz, R. Mack, L. Marks, M. B. Rosson & J. Nielsen (Eds.). *Proceedings of the ACM conference on human factors in computing systems* (pp. 82-89). Denver, CO: ACM
- Hegarty, M. (1992). Mental Animation: Inferring Motion From Static Displays of Mechanical Systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition* September, 18(5), 1084-1102.
- Hegarty, M. (2004). Mechanical reasoning by mental simulation. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(6), 280-285.
- Hegarty, M. (2005). Multimedia learning about physical systems. In R. Mayer (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 447-466). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hegarty, M., & Just, M. A. (1989). Understanding machines from text and diagrams. In H. Mandl & J. Levin (Eds.). *Knowledge acquisition from text and picture*. Amsterdam: North Holland (Elsevier Science Publishers).
- Hegarty, M. & Just, M. A. (1993). Constructing mental models from texts and diagrams. *Journal of Memory and Language*, 32, 717-742.
- Hegarty, M. & Kozhevnikov, M. (1999). Types of visual-spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 91, 684-689.
- Hegarty, M., Kriz, S., & Cate, C. (2003). The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems. *Cognition and instruction*, 21(4), 325-360.
- Hegarty, M., Narayanan, N. H. & Freitas, P. (2002). Understanding machines from multimedia and hypermedia presentations. In J. Otéro, J. A. León & A. C. Graesser (Eds.). *The psychology of science text comprehension* (pp. 357-384), Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hegarty, M., Quilici, J., Narayanan, H. N., Holmquist, S. & Moreno, R. (1999). Multimedia instructions : lessons from evaluation of theory-based design. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 8, 119-150.
- Hegarty, M., & Sims, V. K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory & Cognition*, 22, 411-430.
- Hegarty, M., & Steinhoff, K. (1997). Use of diagrams as external memory in a mechanical reasoning task. *Learning and Individual Differences*, 9, 19-42.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. In P. Shah & A. Miyake (Eds.). *Handbook of Visuospatial Thinking*. Cambridge University Press.
- Heiser, J., & Tversky, B. (2002). Descriptions and Depictions in Acquiring Complex Systems. *In the proceedings of the 24th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*.
- Hidrio, C., & Jamet, E. (2002). Compréhension d'un dispositif technique: apports d'une illustration dynamique et des traitements multiples. *Psychologie française*, 47 (1), 61-67.

- Hoeffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Replacing an instructional animation with a series of static pictures : does the quantity matter ? In proceedings of 12<sup>th</sup> Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, Hungary, August 28 – September 1.
- Holsanova, J., Rahm, H. & Holmqvist, K. (2006). Entry points and reading paths on newspaper spreads: comparing a semiotic analysis with eye-tracking measurements. *Visual Communication*, 5, 65-93.
- Jamet, E., & Ehrel, S. (2006). Les effets de l'intégration spatiale de fenêtres ponctuelles sur la compréhension de documents illustrées. *Psychologie française*, 51, 73-86.
- Johansson, R., Holsanova, J., & Holmqvist, K. (2006). Pictures and spoken descriptions elicit similar eye movements during mental imagery, both in light and in complete darkness. *Cognitive Science*, 30, 1053-1079
- Johnson-Laird, P. N. (1983). Mental models. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., Whelan, S. & Hecht, S. (1992). Influence of animation on dynamical judgments. *Journal of experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 669-690.
- Kalyuga, S. (sous presse). Relative effectiveness of animated and static diagrams: an effect of learner prior knowledge. *Computer in Human Behavior*.
- Keehner, M., Hegarty, M., Cohen, C., Khooshabeh, P., Montello, D. R. (accepté). Spatial reasoning with external visualizations: what matters is what you see, not whether you interact. *Cognitive Science*.
- Keller, T., Gerjets, P., Scheiter, K. & Garosffky, B. (2006). Information visualizations for knowledge acquisition: the impact of dimensionality and color coding. *Computers in Human Behavior*, 22, 43-65.
- Kicka, M., Baccino, T., & Chevalier, A. (2006). Cognitive load during information seeking: eye-movements investigation. Communication orale présentée au Workshop : Cognitive Load Measure and Cognitive Processing of Documents, Toulouse, France, Septembre.
- Kieras, D. (1992). Diagrammatic display for engineering systems: effects on human performance in interacting with malfunctioning systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18, 669-690.
- Kintsch, W. (1988). The use of knowledge in discourse processing: a construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
- Kintsch, W. (1993). Information accretion and reduction in text processing: inferences. *Discourse Processes*, 16, 193-202.
- Kintsch, W. (1998). Comprehension. Cambridge University Press.
- Kintsch, W., & van Dijk, T.A. (1978). Towards a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85, 363-394.

- Kriz, S., & Hegarty, M. (2007). Mental models of mechanical systems: Top-down and bottom-up influences on learning from animations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65 (11), 911-930.
- Kruey, P., Sciama, S. C. & Glenberg, A. M. (1994). On-line processing of textual illustrations in the visuospatial sketchpad: evidence from dual-task studies. *Memory and Cognition*, 22 (3), 261-272.
- Lazarowitz, R., & Huppert, J. (1993). Science Process Skills of 10<sup>th</sup> grade biology students in a computer-assisted learning setting. *Journal of Research in Computer in Education*, 25, 366-382.
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13, 177-189.
- Loftus, G. R. & Mackworth, N. H. (1978). Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 565-572.
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education*. Special Issues: visual Learning, W. Schnotz, (Ed). 14(2), 225-244.
- Lowe, R. K. (2003). Animation and learning selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13, 157-176.
- Lowe, R. K. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning. *Learning and Instruction*, 14, 257-274.
- Lowe, R. K. (2005). Multimedia learning of meteorology. In R. Mayer (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 429-446). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lowe, R. K., & Boucheix, J. M. (2007). Eye tracking as a basis for improving animation design. In proceedings of 12<sup>th</sup> Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, Hungary, August 28 – September 1.
- Lowe, R. K., & Schnotz, W. (2007). Animations and temporal manipulation: supporting comprehension of complex dynamic information. In proceedings of 12<sup>th</sup> Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, Hungary, August 28 – September 1.
- Lowe, R. K., & Schnotz, W. (sous presse). Traitement cognitif et fonctions pédagogiques des animations graphiques. In J. M. Boucheix & J. F. Rouet (Eds.). Les animations graphiques et leurs effets dans le cadre des technologies d'apprentissage.
- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2001). Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 93, 377-389.
- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2007). Cognitive aids for guiding graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 99, 640-652.
- Mayer, R. E. (1979). Twenty years of research on advance organizers: assimilation theory is still the best predictor of results. *Instructional Science*, 8, 133-167.

- Mayer, R. E. (1996). Learning strategies for making sense of expository text: the SOI model for guiding three cognitive processes in knowledge construction. *Educational Psychology Review*, 8, 357-371.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: are we asking the right questions?. *Educational Psychologist*, 32, 1-19.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2003). *Learning and instruction*. Upper Saddle River, NJ: Merrill Prentice Hall.
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1991). Animations need narrations: an experimental test of dual-coding hypothesis. *Journal of educational psychology*, 83, 484-490.
- Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of educational psychology*, 84, 444-452.
- 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, 390-397.
- Mayer, R. E., & Gallini, E. (1990). When is an illustration worth than thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.
- 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, 2569-265.
- Mayer, R. E., Heiser, J. & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: when presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93, 187-198.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (1998). A split attention effect in multimedia learning: evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Experimental Psychology*, 90, 312-320.
- Mayer, R. E., & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology*, 86, 389-401.
- Merlet, S. (1998). Niveaux de traitement et integration des informations multimédias. L'exemple de la compréhension orale en langue étrangère. In A. Tricot & J.F. Rouet (Eds). *Les hypermédias : approches cognitives et ergonomiques*, (pp. 141-155). Paris: Hermès.
- Meyer, B. J. F. (1975). *The organization of prose and its effects on memory*. New York: Elsevier.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principle of multimedia learning: the role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91, 358-368.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2000). Learning in science in virtual reality multimedia environments: role of methods and media. *Journal of Educational Psychology*, 94, 598-610.

- Mousavi, S. Y., Low, R. & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of educational psychology*, 87, 319-334.
- Narayanan, N. H., & Hegarty, M. (1998). On designing comprehensible interactive hypermedia manuals. *International Journal of Human-Computer Studies*, 48, 267-301.
- Narayanan, H. N., & Hegarty, M. (2002). Multimedia design for communication of dynamic information. *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 279-315.
- Nevalainen S., Sajaniemi J. (2004). Comparison of Three Eye Tracking Devices in Psychology of Programming Research. Proceedings of the 16th Annual Workshop of the Psychology of Programming Interest Group. Institute of Technology Carlow, Ireland, 151-158.
- Paas, F., Renckl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design. *Educational Psychologist*, 38, 1-4.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Palmiter, S., & Elkerton, J. (1993). Animated demonstrations for learning procedural computer-based tasks. *Human-Computer Interaction*, 8, 193-216.
- Palmiter, S., Elkerton, J. & Baggett, P. (1991). Animated demonstrations versus written instructions for learning procedural tasks: a preliminary investigation. *International Journal of Man-Machine Studies*, 34, 687-701.
- Pane, J.F., Corbett, A.T., & John, B.E. (1996). Assessing dynamics in computer-based instructions. In *Proceedings of the International Conference in computer-based human interaction*, CHI'96 (pp. 115-151). New York, NY: Springer.
- Rayner, K. (1992). Eye movements and visual cognition: introduction. In K. Rayner (Eds.). *Eye movements and visual cognition*. Springer Series in Neuropsychology. New York: Springer Verlag.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372-422.
- Rayner, K., Motello, C. M., Stewart, A.J., Keir, J. & Duffy, S. A. (2001). Integrating text and pictorial information: eye movements when looking at print advertisements. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 219-226.
- Rebetz, C., & Bétrancourt, M. (2007). Control and interactivity when learning collaboratively from animation. In proceedings of 12<sup>th</sup> Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, Hungary, August 28 – September 1.
- Richardson, D. C. & Spivey, M. J. (2004). Eye-tracking: characteristics and methods. In W. Wnek & G. Bowlin (Eds). *Encyclopedia of biomaterials and biomedicalengineering* (pp 566-572). New York: Marcel Dekker, Inc.

- Rieber, L. P. (1989a). The effects of computer animation on intentional and incidental learning and motivation. Paper presented at the annual meeting of the *Association for the development of computer-based Instructional Systems*. Washington, DC, November.
- Rieber, L. P. (1989b). The effect of computer animated elaboration strategies and practice on factual and application learning in an elementary science lesson. *Journal of Educational Computing Research*, 5, 431-444.
- Rieber, L. P. (1990). Using computer animated graphics in science instruction with children. *Journal of Educational Psychology*, 82, 135-140.
- Rieber, L. P. (1991). Animation incidental learning and continuing motivation. *Journal of Educational Psychology*, 83, 318-328.
- Rieber, L. P., Boyce, M. & Assad, C. (1990). The effect of computer animation on adult learning and retrieval tasks. *Journal of Computer-Based Instruction*, 17, 46-52.
- Rieber, L. P., Tzeng, S.-C., & Tribble, K. (2004). Discovery learning, representation, and explanation within a computer-based simulation: finding the right mix. *Learning and Instruction*, 14(3), 307-323.
- Scheiter, K., Gerjets, P. & Catrambone, R. (2006). Making the abstract concrete: visualizing mathematical solution procedures. *Computer in Human Behavior*, 22, 9-25.
- Scheiter, K., Gerjets, P., Huk, T., Imhof, B. & Kammerer, Y. (soumis). Learning with dynamic visualizations: is there a place for realistic depictions? *Journal of Educational Psychology*.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R.E. Mayer (Eds), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). Cambridge: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interferences in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.
- Schnotz, W., Böeckheler, J. & Grzondiel, H. (1999). Individual and co-operative learning with interactive animated pictures. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 245-265.
- Schnotz, W., & Lowe, R. K. (2003). External and internal representations in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 13, 117-123.
- Schwan, S., & Riempp, R. (2004). The cognitive benefits of interactive videos: learning to tie nautical knots. *Learning and Instruction*, 14, 293-305.
- Seufert, T., & Brünken, R. (2006). Cognitive load and the format of instructional aids for coherence formation. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 321-331.
- Shah, P., Mayer, R.E. & Hegarty, M. (1999). Graphs as aids to knowledge construction: signaling techniques for guiding the process of graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 91, 690-702.

- Sims, V. K., & Hegarty, M. (1997). Mental animation in the visual-spatial sketchpad: Evidence from dual-task studies. *Memory & Cognition*, 25, 321-332.
- Sweller, J. (1999). Instructional design in technical areas. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. Ross (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (vol. 43, pp. 215-266). San Diego, CA: Academic Press.
- Sweller, J. (2005). Implication of cognitive load theory for multimedia learning. In R. Mayer (Eds.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19-30). Cambridge: Cambridge University Press.
- Sweller, J. & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12, 185-233.
- Tassini, S., & Bétrancourt, M. (2003). Le contrôle sur l'animation influence-t-elle le niveau d'efficacité cognitive de l'animation. *Neuvièmes Journées JETCSIC*, 21 juin : Dijon.
- Taylor, M. J., Poutney, D. C. & Baskett, M. (sous presse). Using animation to support the teaching of computer game development techniques. *Computers & Education*.
- Thompson, S. V., & Riding, R. J. (1990). The effect of animated diagrams on the understanding of a mathematical demonstration in 1 to 14-years-old pupils. *British Journal of Educational Psychology*, 60, 93-98.
- Tversky, B., Bauer-Morrison, J., & Bétrancourt, M. (2002). Animation : can it facilitate ? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57, 247-262.
- Tversky, B, Zacks, J., Lee, P. U., and Heiser, J. (2000). Lines, blobs, crosses, and arrows: Diagrammatic communication with schematic figures. In M. Anderson, P. Cheng, and V. Haarslev (Editors). *Theory and application of diagrams*. p. 221-230. Berlin: Springer.
- Van der Meij, J. & de Jong, T. (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction*, 16, 199-212.
- Van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). Strategies of discourse comprehension. New York: Academic Press.
- Viviani, P. (1990). Eye movements in visual search: cognitive, perceptual and motor control aspects. In E. Kowler (Eds). *Eye movements and their role in visual and cognitive processes*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Wight, B. (1993). Thinkertools: causal models, conceptual change, and science education. *Cognition and Instruction*, 10, 1-100.
- Wright, P., Milroy, R. & Lickorish, A. (1999). Static and animated graphics in learning from interactive texts. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 203-224.
- Yarbus, A. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum Press.
- Zacks, J. M., & Tversky, B. (2003). Structuring Information Interfaces for Procedural Learning. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, 9, 88-100.



## Résumé

Cette thèse étudie les processus cognitifs mis en œuvre lors d'activité de traitements d'animations graphiques. Le matériel était un système mécanique de poulies, accompagnées ou non de texte. Nous avons analysé les performances de compréhension pour différents niveaux d'intégration, ainsi que les comportements oculaires des sujets pendant l'étude de l'animation. Les mouvements des yeux reflètent l'activité « on-line » d'apprenants à fortes et à faibles habiletés mécaniques et spatiales.

Cette recherche a montré que :

- (1) Un format permettant de préserver la continuité des mouvements, tel qu'une animation ou une série d'illustrations statiques juxtaposées, se révèle bénéfique pour la compréhension par rapport à une illustration statique et à une série d'illustrations statiques présentées séquentiellement.
- (2) Le contrôle partiel d'une animation par l'utilisateur facilite la construction d'un modèle mental pour les apprenants à faibles habiletés mécaniques et spatiales.
- (3) La fréquence d'exposition à l'animation n'a pas une réelle incidence sur les performances de compréhension. La vitesse d'accès aux informations mémorisées est plus rapide lorsque les apprenants traitent l'animation plusieurs fois.
- (4) Un guidage attentionnel verbal, à l'aide d'instructions orientant l'attention des sujets sur les aspects cinématiques ou sur le modèle fonctionnel du système améliorent la compréhension comparativement à une orientation sur la configuration des éléments ou à une condition sans orientation.
- (5) Un guidage attentionnel graphique par des flèches se révèle bénéfique uniquement pour les apprenants à fortes habiletés qui ont les connaissances nécessaires pour les utiliser correctement. Au contraire la présence de ces indices perturbe la compréhension des apprenants à faibles habiletés.
- (6) Une animation sans texte explicatif induit un bénéfice en compréhension plus important qu'une animation accompagnée d'un texte, pour le système de poulies étudié.

Les données issues des enregistrements des mouvements des yeux sont en faveur d'un traitement des animations étape par étape (Hegarty, 2004), et non d'un traitement holistique. Les apprenants doivent segmenter les informations dynamiques de l'animation en suivant l'ordre de la chaîne causale des événements pour construire un modèle mental animé.

Ces résultats apportent une contribution dans le domaine du traitement des animations et permettent la conception de supports ergonomiques facilitant la compréhension des apprenants.

**Mots clés :** Animation ; Multimédia ; Compréhension ; Mouvements oculaires ; Différences individuelles ; Modèle mental fonctionnel ; Appréhension ; Principes ergonomiques