



Sous quelles conditions l'animation améliore-t-elle l'apprentissage ?

Cyril Rebetez

Mémoire présenté pour l'obtention du DESS STAF
"Sciences et Technologies de l'Apprentissage et de la Formation"

TECFA
Faculté de Psychologie et de Sciences de l'Education
Université de Genève

Octobre 2004

Jury:

Mireille Bétrancourt

Pierre Dillenbourg

Christian Depover

Professeur, TECFA - UNIGE

Professeur, CRAFT - EPFL

Professeur, UTE – UMH

Directrice



Résumé

L'utilisation des animations informatisées est une réalité pour une large palette d'applications. Nous nous intéressons à leur utilisation dans le cadre de l'apprentissage de modèles dynamiques. Dans cette optique nous mettons en évidence les qualités mais également les défauts intrinsèques aux présentations animées. Nous aboutissons à la proposition de mesures pour limiter les aspects négatifs de l'animation. Une première idée est de la mise sur pied d'une permanence du contenu. L'information fugace de l'animation doit pouvoir être accessible par la suite. Nous donc avons proposé une série d'images-clés accessible entre les diverses animations pour permettre au participant de récupérer d'éventuelles informations lui manquant. Une seconde idée est de permettre à plusieurs participants d'échanger entre les animations. La construction d'une représentation partagée pourrait tirer un meilleur bénéfice d'une présentation animée. Enfin, nous comparons la présentation de matériel animé à un matériel composé d'images fixes. L'expérience mise sur pieds comprend deux matériels différents, l'un expliquant l'astronomie des transits de vénus et l'autre les rifts et subductions en géologie. Nos résultats portant sur 160 participants novices montrent un effet positif de l'animation sur la rétention. La compréhension semble également favorisée mais uniquement chez les participants travaillant en paire. La permanence a quelques effets positifs mais uniquement chez les participants en solo. Nous pensons donc que l'animation a bel et bien un potentiel supérieur pour l'explication de systèmes dynamiques. Toutefois, ce potentiel ne se révèle pas seul et une aide telle que la construction d'une représentation partagée ou une permanence de l'information semble nécessaire.

Table des matières

RÉSUMÉ	2
1. INTRODUCTION	6
2. INTRODUCTION THÉORIQUE	7
2.1. La présentation dynamique	7
2.2. A quoi servent les animations ?	7
2.3. Les animations améliorent-elles la compréhension d'instructions multimédia ?	9
2.4. La nature fugace de l'animation	11
2.4.1. L'animation porte un plus grand fardeau	12
2.5. Modèles théoriques	12
2.5.1. Le modèle de Mayer : théorie cognitive de l'apprentissage multimédia	12
2.5.1.1. Principes de création d'animations multimédia	16
2.5.2. Le modèle de Schnotz : intégration de la compréhension du texte et de l'image	17
2.5.3. Le modèle de la compréhension des systèmes dynamiques	19
2.5.3.1. Décomposition :	19
2.5.3.2. Construction d'un modèle statique, connections représentationnelles :	20
2.5.3.3. Liens référentiels :	20
2.5.3.4. Rapports de cause à effet :	21
2.5.3.5. Construction d'un modèle mental dynamique :	21
2.5.4. Théorie de la charge cognitive	22
2.5.4.1. Lignes directrices pour la création de matériels d'apprentissage	24
2.5.4.2. Effet de dissociation de l'attention (split-attention)	24
2.5.4.3. Effet de redondance (redundancy effect)	25
2.6. Facteurs pouvant être liés à l'efficacité des animations	26
2.6.1. Interactivité	26
2.6.2. Permanence de l'information	28
2.6.3. Collaboration	29
2.6.4. Les capacités individuelles	31
2.6.4.1. Capacités d'empan et de rotation mentale	31
2.6.4.2. Niveau d'expertise du domaine	31
2.7. Questions de recherche	33
2.8. Que prédiraient les différents modèles ?	34
2.8.1. Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia	35
2.8.1.1. Animation	35
2.8.1.2. Permanence	35
2.8.1.3. Collaboration	36
2.8.2. Modèle d'intégration de la compréhension du texte et de l'image	36
2.8.2.1. Animation	36
2.8.2.2. Permanence	37
2.8.2.3. Collaboration	37
2.8.3. Modèle de compréhension des systèmes dynamiques	38
2.8.3.1. Animation	38
2.8.3.2. Permanence	38
2.8.3.3. Collaboration	38
2.8.4. Théorie de la charge cognitive	39
2.8.4.1. Animation	39

2.8.4.2.	Permanence	39
2.8.4.3.	Collaboration	40
2.9.	Notre point de vue, hypothèses	40
2.9.1.	Animation	40
2.9.2.	Permanence	40
2.9.3.	Collaboration	41
2.9.3.1.	Précisions sur les capacités individuelles	42
3.	METHODE	43
3.1.	Population	43
3.2.	Matériel	43
3.2.1.	Contenu pédagogique :	43
3.2.1.1.	Matériel « astro »	44
3.2.1.2.	Matériel « géo »	44
3.2.2.	Dispositif expérimental	45
3.3.	Procédure	47
3.3.1.	Les pré-tests :	47
3.3.2.	Introductions	47
3.3.3.	Les matériels	48
3.3.4.	Les questionnaires de charge cognitive (nasa-tlx)	48
3.3.5.	Les post-tests :	49
3.3.6.	Tests supplémentaires	49
3.4.	Plan expérimental	50
3.4.1.	Variables indépendantes :	50
3.4.2.	Variables dépendantes	50
3.5.	Hypothèses opérationnelles	51
3.5.1.	Animation	51
3.5.2.	Permanence	51
3.5.3.	Collaboration	51
4.	RÉSULTATS	52
4.1.	Traitement des données	52
4.2.	Rétention et inférence	53
4.2.1.	Effet simple de l'animation	53
4.2.2.	Interaction animation-collaboration	53
4.2.3.	Interaction Permanence-collaboration	55
4.2.4.	Différences entre les matériels	56
4.3.	Temps de réflexion et de discussion	57
4.3.1.	Effets simples	57
4.3.2.	Collaboration et permanence	58
4.3.3.	Animation et permanence	59
4.3.4.	Matériel et temps de réflexion	60
4.4.	Charge perçue	61
4.5.	Niveau de certitude	61
4.6.	Les participants en condition SOLO	61
4.6.1.	Les capacités visuo-spatiales	61
4.6.2.	Capacités visuo-spatiales et charge perçue	63

4.6.3.	Animation et permanence en condition solo	64
5.	DISCUSSION	65
5.1.	Discussion des résultats	65
5.1.1.	Animation	65
5.1.1.1.	Rétention	66
5.1.1.2.	Inférence	68
5.1.1.3.	Permanence	71
5.2.	Matériel	72
5.3.	Les temps de réflexion et de discussion	73
5.3.1.	Collaboration	73
5.3.2.	Permanence	74
5.4.	Capacités visuo-spatiales	75
5.5.	Critiques et propositions	76
5.5.1.	Matériel	76
5.5.2.	Le niveau verbal	78
5.5.3.	Permanence	79
6.	CONCLUSION	79
7.	BIBLIOGRAPHIE	81
8.	REMERCIEMENTS	85
9.	ANNEXES	86

1. Introduction

On parle toujours de l'informatique comme étant le futur, c'est faux. Le monde de l'information automatique est le présent depuis longtemps déjà. La technologie et les possibilités qui découlent de ce monde en mouvement sont plus riches chaque jour. La difficulté, pour un utilisateur des réseaux, n'est plus d'accéder à l'information mais de se soustraire aux informations inutiles. La pléthore d'information est un problème contemporain.

Cette problématique se retrouve dans un domaine beaucoup plus spécifique, bien que lié à la société de l'information : la compréhension de systèmes dynamiques. Les phénomènes qui nous entourent sont effectivement rarement statiques et immobiles. La plupart sont changeants à une échelle de temps plus ou moins perceptible et pour des causes plus ou moins intrinsèquement liées. Le monde est un système dynamique. Pour l'expliquer et rendre la multitude des éléments reliés on a recours à des médias tels que les textes, les images ou, plus récemment, les animations.

Les animations portent un grand espoir, celui de rendre visible les changements au sein de systèmes dynamiques. D'ailleurs, bien avant que des chercheurs aient pu montrer leur réelle efficacité, des graphistes et des commerciaux l'utilisent sans relâche.

Mais comprend-on vraiment mieux les choses lorsqu'on nous les explique à l'aide d'une animation plutôt qu'en lisant un texte ou qu'en regardant des images fixes ? Après déjà plusieurs années de recherche, la réponse reste floue.

Le travail présenté ici compte apporter des observations empiriques supplémentaires pour mettre en évidence l'intérêt de présentations dynamiques. Un certain nombre de théories ont été formulées pour rendre compte de l'utilisation de ces dernières (ou d'autres modalités de présentation). Nous voulons savoir à quel point l'animation peut servir à apporter une meilleure compréhension des systèmes dynamiques. Nous voulons également comprendre dans quelles circonstances les animations ont vraiment un intérêt.

2. Introduction théorique

2.1. La présentation dynamique

Bétrancourt & Tversky (2000) définissent l'animation multimédia comme « *toute application qui génère une série d'images, de sorte que chaque image apparaisse comme une altération de la précédente et où la séquence des images est déterminée soit par le concepteur de l'animation, soit par l'utilisateur* ». Cette définition a l'avantage d'être relativement large. L'interactivité avec l'utilisateur n'est ni exclue, ni requise. De même le niveau de réalisme, de symbolisme ou même d'efficacité explicative est gardée floue ; tout comme le contexte ou l'intention d'utilisation.

Le terme d'animation regroupe donc un grand nombre de choses et il est bien entendu difficile de statuer sur l'avantage des présentations dynamiques dans l'absolu. Les différences entre les niveaux et contextes d'utilisation sont justement au cœur des débats actuels. En effet, l'utilisation des contenus multimédia animés, spécialement pour la formation est aujourd'hui très répandue. Toutefois, les recherches empiriques effectuées dans ce domaine ne montrent, de loin, pas unanimement un avantage des animations. C'est le cas tout spécialement par rapport à des présentations statiques (images, graphiques, etc.).

2.2. A quoi servent les animations ?

Les raisons d'utiliser une animation plutôt qu'une présentation statique peuvent être multiples. Par contre, on distingue trois manières d'utiliser des animations :

- *Pour attirer l'attention* : l'animation est purement décorative (effets spéciaux de transition, symboles animés, etc.). Elles peuvent aider l'utilisateur à apprécier un texte en le rendant plus attractif, mais peuvent aussi le distraire de la tâche (Levin & Mayer, 1993).
- *Pour représenter quelque chose* : accompagnant ou non un texte, l'animation est utilisée pour démontrer ou expliquer un concept, une règle ou une procédure (learning by viewing).
- *Pour exercer* : utilisée dans le cadre d'une stratégie d'apprentissage par l'action (learning by doing). Ce type d'animation est souvent basée sur l'interactivité, c'est-à-dire qu'elle change dans le temps en fonction des actions de l'utilisateur. A ce niveau il peut devenir difficile de distinguer l'animation d'un micro-monde, ou d'une simulation.

La grande variété de formes que peuvent prendre les animations, et les fonctions qu'elles offrent, fait penser que l'efficacité des animations multimédia ne réside pas dans l'animation en elle-même mais bien dans son utilisation. Le but recherché, la mise en œuvre, la tâche de l'utilisateur ainsi que d'autres variables que nous détailleront plus bas, sont autant de facteurs de succès. Il est bien clair que des utilisations différentes des animations ont des implications différentes sur le plan cognitif. L'apport de l'animation ne dépend donc pas uniquement de sa composition mais également, et surtout, de son contexte d'utilisation.

Les graphiques peuvent illustrer très efficacement des relations qu'un texte ne peut que décrire. De la même manière, une animation peut expliciter un processus dynamique d'une manière qu'un graphique ou qu'un texte ne pourront jamais que suggérer. Les présentations dynamiques ajoutent des informations temporelles en plus de l'organisation spatiale déjà présente dans un graphique. Lowe (2003, 2004) décrit les types de changements typiquement intégrés dans des animations :

- **Transformations** : changement dans les formes présentes sur les images, des altérations dans leur taille, forme, couleur ou texture.
- **Translations** : changement de position d'un ou plusieurs éléments, relativement au champ de l'animation ou aux autres éléments qui la composent.
- **Transitions** : changement dans le nombre d'éléments présents, il peut s'agir de disparition ou d'apparition, complètes ou partielles, de fusion d'éléments, de sortie du champ, etc.

Les changements peuvent être dus aux éléments présents dans l'animation, se modifiant selon l'une de ces trois catégories. Ils peuvent aussi provenir d'un changement de point de vue de l'observateur, qui engendre des changements sur l'écran. Evidemment, il peut s'agir d'une combinaison des deux. Le changement de point de vue est utile par exemple pour donner plusieurs représentations de la même situation à un observateur, comme on pourrait le faire en examinant soigneusement un objet sous tous ses angles.

Soulignons encore qu'une animation complexe, comprenant plusieurs mouvements et transformations d'éléments peut engendrer une dissociation de l'attention. Un apprenant ne pouvant exercer toute son attention sur l'ensemble des activités dynamiques perd forcément un certain nombre d'informations. Ce qui est d'autant plus préjudiciable dans le cas d'une animation s'il ne peut revoir les éléments à volonté (Mayer & Anderson, 1992).

Lowe & Schnotz (sous presse) parlent de deux fonctions de l'animation, une fonction habilitante (enabling) et une fonction facilitante (facilitating). D'une part, la fonction habilitante signifie que des processus cognitifs jusqu'alors impossibles deviennent réalisable grâce à une animation. Salomon (1994) parlait déjà d'une fonction de supplantation à ce sujet. D'autre part, l'animation peut faciliter la compréhension. Un processus qui aurait demandé un effort important pour être réalisé peut, par le biais d'une animation, être réalisé plus facilement. Le support externe fourni par l'animation est alors d'une grande aide.

2.3. Les animations améliorent-elles la compréhension d'instructions multimédia ?

Généralement, une animation étant plus sophistiquée que du texte ou que des images statiques, les concepteurs pensent qu'elle permet de mieux faire passer un message ou de mieux enseigner qu'un « simple » graphique.

L'intégration d'illustrations dans un texte apporte des bénéfices connus pour la formation d'un modèle mental (Mandl & Levin, 1989; Mayer, 1989; Schnotz, 2001). Par ailleurs, l'avantage de coupler des informations visuelles telles que des images à une explication textuelle est connue depuis Pavio (1986). Pourtant, les recherches empiriques mettant en œuvre des animations dans divers contextes d'apprentissage peinent à montrer l'avantage de celles-ci. Les animations ne semblent pas plus efficaces que des graphiques statiques, même pour expliquer le fonctionnement de systèmes dynamiques (Bétrancourt, Bauer-Morrison, & Tversky, 2001; Bétrancourt & Tversky, 2000). Plusieurs recherches ont comparé les effets de présentation de graphiques statiques avec des présentations de graphiques animés, les résultats divergent.

Palmiter & Elkerton (1991, 1993) se sont penchés sur l'efficacité des animations pour faire la démonstration de procédures d'interfaces simples. Les résultats ont montré que les utilisateurs des conditions « animation » avaient de meilleures performances que les utilisateurs des conditions « texte » durant la phase d'entraînement, mais pas au post-test retardé.

Pane, Corbett, & John (1996) ont présenté un matériel composé d'une animation (film), d'un graphique statique ou d'un texte. Le phénomène expliqué était celui de la migration des cellules dans l'embryon. Aucune différence de performance d'apprentissage n'a pu être mise en évidence entre ces trois conditions.

Rieber (1990) a comparé des modalités animées et textuelles chez des enfants. Il n'observe également aucune différence d'apprentissage. De plus, les participants ont trouvé la présentation animée beaucoup plus sollicitante sur le plan cognitif. Ils disaient qu'ils n'auraient pas disposé d'un temps suffisant pour visualiser l'animation. Ce qui pose un autre problème : le flux, intrinsèque à toute animation, peut-il mener à un trop plein d'information et donc à une perte d'information ? Les apports des animations au niveau de la représentation des changements d'états, du dynamisme sont-ils annulés par la surcharge que le flux d'informations continu apporte ?

Lowe (1999, 2004) complète cette explication de la surcharge. Soit les apprenants sont soumis à un trop grand nombre d'informations et deviennent incapables de les traiter. On rejoint ainsi la théorie de la charge cognitive de Sweller (Sweller & Chandler, 1994; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998). Lowe parle alors de surcharge (*overwhelming*). La possibilité inverse est que l'animation produise une baisse du traitement cognitif par l'apprenant, Lowe parle alors de sous-charge (*underwhelming*). Cette baisse peut être due à une illusion de compréhension ou à un désinvestissement causé par la complexité des éléments et interactions à l'œuvre. Dans un cas comme dans l'autre, l'apprentissage est mis en péril ou au moins gêné par les caractéristiques de l'animation.

Une distinction supplémentaire faite par Lowe (2003, 2004) est inspirée par la théorie du fond et de la forme de la Gestalt (Ellis, 1939; Wertheimer, 1923). Les caractéristiques dynamiques de l'animation différencieraient ses composantes en une « forme » (*field*) recevant la plupart de l'attention, et un « fond » (*ground*) qui aurait alors une importance secondaire. Chez les novices, l'extraction et la rétention des informations d'une animation sont en effet largement guidées par ses caractéristiques perceptives. Une information très saillante est plus prise en compte du fait de sa visibilité, quelle que soit son importance réelle dans le schéma. Cette distinction du fond/forme dynamique, si elle se confirme, nécessiterait une attention particulière lors de la conception de matériels pédagogiques destinées aux néophytes. D'ailleurs, la tendance des animations à être de plus en plus graphiques au détriment du paradigme explicatif utilisé n'est pas forcément de bonne augure. De même, les apprenants novices semblent extraire préférentiellement les informations provenant de changements de position que de changements de formes (Lowe, 2004).

2.4. La nature fugace de l'animation

L'avantage mais aussi la difficulté de l'animation tient à sa nature même : le dynamisme. Dans une animation, l'information change, évolue, apparaît et disparaît. Ce dynamisme est très utile car il permet de faire apparaître les micro-étapes des processus, d'avoir une vision à la fois globale et détaillée (Bétrancourt & Tversky, 2000). Mais en même temps, le flux rend l'information fuyante et changeante. Tout doit être récupéré en mémoire, voire traité au vol, car les données disparaissent et sont remplacées. Cependant, le système de traitement de l'information dispose de capacités limitées, et celles-ci peuvent être rapidement dépassées par le flux informationnel. En comparaison, on pourrait dire qu'un graphique statique ne contient qu'une image alors qu'une animation en contient 12 à 25 par seconde. Chaque image contenant des informations structurelles, conceptuelles et spatiales qui peuvent être interprétées séparément. De plus, le mouvement induit par le défilement des éléments contenus dans les images ajoute des informations temporelles.

Le défilement des images crée le dynamisme, mais ajoute également une difficulté pour apprendre à partir d'animations. Les images formant la présentation sont momentanées, elles disparaissent aussi vite qu'elles apparaissent. L'information est donc à la fois plus riche et plus fuyante. La pression temporelle pour traiter les éléments provenant d'une animation est considérablement plus élevée que pour des messages statiques. Une perte d'information peut survenir très facilement, ce qui est bien entendu négatif pour la compréhension. De même, l'information risque d'être traitée à une profondeur insuffisante, avec les mêmes conséquences.

Les processus représentés à l'aide d'animations contiennent bien souvent plus d'un élément en mouvement, en transformation ou en transition. On peut d'ailleurs dire qu'une présentation dynamique ne présentant qu'un mouvement n'a pas vraiment de raison d'être (dans un contexte explicatif). Toutefois, la multiplicité des transitions augmente encore la difficulté de traitement pour l'apprenant. Les informations sont à la fois fugitives, multiples, et concurrentes.

Enfin, la nature éphémère de l'information colportée par une animation, ne permet pas de consulter l'information à loisir. Dans le cas d'une image statique, l'apprenant peut prendre son temps pour observer les différentes parties du graphique et y revenir autant qu'il veut. Au fur et à mesure de l'élaboration de son modèle mental, il peut revenir vérifier un détail auquel il n'aurait pas été attentif jusque là. Dans le cas d'une animation, les informations changent dans le temps et une information ratée ou non récupérée est une information perdue.

2.4.1. L'animation porte un plus grand fardeau

L'apprenant peut ne pas être en mesure de traiter toutes les informations. On parle alors de surcharge cognitive. Les animations sont moins efficaces que les images statiques car elles surchargent, d'une part la **charge perceptive** lorsque plusieurs mouvements surviennent en même temps, le système perceptif doit tout récupérer. D'autre part, la **charge mnésique** est mise à contribution, les capacités de stockage de la mémoire de travail peuvent être dépassées autant au niveau du nombre que du temps de conservation (Baddeley, 1986; Miller, 1956). Enfin, la **charge conceptuelle** est également surchargée, en ce sens que l'être humain n'a pas le temps de traiter l'information et de se construire un modèle mental de la connaissance (Clavien, 2003). Dans cette perspective, Mayer & Chandler (2001) ont pu montrer qu'en offrant la possibilité à l'utilisateur de garder un certain contrôle sur le déroulement de l'animation, on diminuait la charge cognitive liée au flux d'information et, par voie de conséquence, augmentait la rétention de l'information.

2.5. Modèles théoriques

Au fur et à mesure des études, des chercheurs ont proposé des conditions pouvant améliorer les apports des animations. La compréhension des phénomènes cognitifs liés au traitement d'informations dynamiques avance d'autant et plusieurs modèles théoriques ont été développés. Nous présenterons ici les quatre modèles les plus répandus dans la littérature traitant de l'apprentissage de contenus multimédia.

2.5.1. Le modèle de Mayer : théorie cognitive de l'apprentissage multimédia

Pour élaborer son modèle de l'apprentissage multimédia, Mayer s'inspire de trois théories largement reconnues en sciences cognitives : la capacité limitée de la mémoire de travail, le double codage, et l'apprentissage actif.

L'idée de la **capacité limitée de la mémoire de travail** est elle-même incluse dans la théorie de la structure tripartite de la mémoire (Atkinson & Shiffrin, 1968). Comme cette dernière est largement reconnue nous nous permettrons de la présenter rapidement dans le cadre de ce modèle. La structure tripartite de la mémoire se réfère donc à trois types de mémoire différentes : la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme.

La mémoire sensorielle (MS) stocke l'énorme quantité d'information provenant des systèmes perceptifs, pour une durée très courte. Elle permet de sélectionner l'information pertinente avant de la relayer si nécessaire. On distingue la mémoire iconique (visuelle, d'une capacité de l'ordre de la demi seconde) et la mémoire échoïque (auditive, conservant l'information plusieurs secondes) (Sperling, 1963).

La mémoire à court terme (MCT) sert à stocker l'information pertinente pendant la réalisation d'une tâche annexe. Elle est caractérisée par sa capacité de stockage limitée. Miller (1956) a mis en avant qu'il était impossible de stocker plus de 7 ± 2 éléments séparés. Il est toutefois possible de regrouper plusieurs éléments pour qu'ils n'en forment plus qu'un. Miller parle « chunks » d'information. L'expertise d'un domaine peut aider à réaliser efficacement ce « chunking ». La capacité exacte dépend de chaque individu et on parle alors d'empan mnésique. Quant à la durée de rétention, elle serait de dix à vingt secondes.

La mémoire à long terme (MLT) aurait quant à elle une capacité de stockage illimitée et pour ainsi dire permanente. Les informations n'y sont pas effacées, par contre elles peuvent devenir irrécupérables et ainsi oubliées. Pour être retenu, chaque élément est lié à son contexte aussi bien physique que cognitif. La réactivation d'un élément se fait à l'aide d'indices correspondants. Plus une information a été traitée sur le plan cognitif, plus son modèle mental sera élaboré, et plus elle disposera d'indices pour sa récupération. Elle sera donc susceptible d'être rappelée plus facilement.

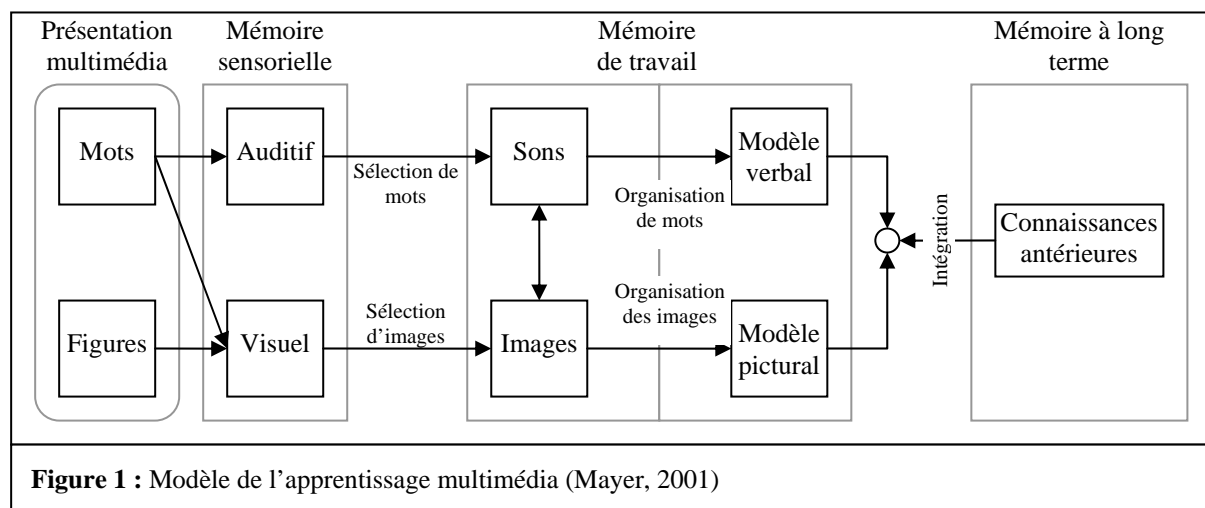
Baddeley (1986, 1998) élabore l'idée d'une structure supplémentaire en partie redondante avec la MCT : **la mémoire de travail** (MdT) servant au traitement de l'information. La MdT comprend trois parties principales :

- La boucle phonologique traite les informations de nature auditive. Il est possible de prolonger la rétention d'information dans cette partie en répétant mentalement son contenu (boucle de répétition sub-vocale), mais cela n'augmente pas sa capacité. Un stimulus présenté visuellement (mot, non-mot ou dessin verbalisable) peut également être transféré et stocké dans la boucle phonologique grâce à ce procédé.
- Le calepin visuo-spatial stocke et traite les informations visuelles.
- L'administrateur central relie ces deux structures pour contrôler et coordonner leurs actions.

Comme pour la mémoire à court terme, les parties de la mémoire de travail ont des capacités intrinsèquement limitées. Ainsi il est impossible de conserver plus de 7 ± 2 éléments d'ordre auditifs dans la boucle phonologique, ni plus de 5 ± 2 éléments visuels dans le calepin visuo-spatial.

La théorie du double codage développée par PAVIO (1986) repose sur le principe d'un traitement séparé des informations de type verbales et des informations non-verbales (ou visuelles). Les deux structures sont indépendantes mais l'information peut passer de l'une à l'autre par le biais de connections référentielles en mémoire de travail (visualiser un mot ou mettre un nom sur une image).

Quant au principe du **traitement actif de l'information** cher à Mayer (1999, 2001), il s'agit de l'idée qu'un apprentissage est plus efficace s'il est accompagné d'un réel travail cognitif, d'une activité cognitive consciente de la part de l'apprenant. Il peut par exemple s'agir d'orienter son attention vers les éléments les plus importants, de les organiser mentalement entre eux et avec les connaissances antérieures, etc. Un apprentissage actif conduit à une meilleure élaboration du modèle mental, et plus ce modèle est élaboré, meilleur est le stockage en MLT. La capacité à réutiliser le contenu de l'apprentissage dans d'autres situations (transfert) est également améliorée.



Partant de ces principes de base, Mayer (2001) distingue trois étapes de traitement de l'information pour son modèle de l'apprentissage multimédia: La sélection, l'organisation et l'intégration (voire figure 1).

Sélection : La présentation d'un matériel, aussi bien visuel qu'auditif, est tout d'abord traitée par le système perceptif qui relaie tout de suite l'information à la mémoire sensorielle. Les images, figures et animations sont prises en charge par la mémoire iconique (partie visuelle). Les mots peuvent quant à eux être traités soit par la mémoire échoïque (auditive) s'il s'agit d'un commentaire, soit par la mémoire iconique s'il s'agit d'un texte écrit. La procédure de sélection correspond au relais vers la mémoire de travail des informations jugées pertinentes pour la tâche.

→ Dans cette étape, la non-sélection d'éléments importants ou la fausse sélection d'éléments non-importants sont toutes deux des erreurs qui peuvent mener à de mauvaises compréhensions.

Organisation : L'information pertinente est récupérée par la mémoire de travail. Elle peut y être maintenue et manipulée, c'est à ce stade que l'information est accessible à la conscience. Encore une fois, deux systèmes différents gèrent, d'une part les informations de nature auditive, et d'autre part les informations de nature visuelle. Le passage d'un système à l'autre est par ailleurs possible : soit en donnant un nom à une figure (par exemple, transformer l'image mentale d'un arbre vers le mot « arbre ») ; soit au contraire en associant une image mentale à un terme lu ou entendu. Il est également possible d'utiliser la boucle de répétition sub-vocale pour faire passer dans la partie auditive un terme qui a été précédemment lu. Les ressources de traitement sont donc séparées mais les systèmes ne sont pas cloisonnés.

A ce stade, l'information doit être organisée. Chaque unité d'information perçue et identifiée, doit être liée aux autres. Les relations peuvent être causales, temporelles, logiques, etc. Mayer signale qu'à ce stade, les informations picturales et verbales restent cloisonnées. L'apprenant crée donc un modèle mental sur la base des informations visuelles (pictorial model) et un autre en utilisant les informations verbales (verbal model).

→ La mémoire de travail limitée induit qu'une certaine quantité d'information pourrait ne pas être traitée et l'information perdue. Des erreurs dans la construction du schéma peuvent également survenir si les causalités sont mal explicitées ou s'il subsiste des imprécisions dans le matériel. Bien entendu toute information non sélectionnée à l'étape précédente ne pourra être organisée (mais rien n'empêche d'aller la rechercher ensuite pour l'inclure).

L'intégration : Les informations picturales et verbales qui ont été organisées séparément sont intégrées et liées à des connaissances antérieures pour ne former qu'un seul modèle mental. La mémoire à long terme intervient pour fournir les connaissances antérieures. L'intégration se fait en mémoire de travail. Ce nouveau modèle mental, élargi et indicé, est stocké en mémoire à long terme. On peut alors considérer que les informations ont été apprises.

→ Des erreurs d'inférences, la création de mauvais liens, trop peu de contexte encodé et pas assez d'élaboration mène à peu d'ancrage en mémoire, et donc à des difficultés de récupération.

Mayer (2003) insiste sur le fait que les trois processus décrits ne surviennent pas dans un ordre linéaire rigide. Il s'agit plutôt d'un processus itératif, d'aller et venue entre sélection, organisation et intégration. Ceci d'autant plus que les capacités limitées de la MdT ne permettent pas de prendre en compte la totalité des informations pour les organiser en une seule fois.

2.5.1.1. Principes de création d'animations multimédia

Sur la base de ses nombreux travaux, Mayer (2001) décrit sept principes pour l'élaboration de messages multimédias efficaces :

1. **Principe multimédia** : Un message composé de mots et d'images correspondantes est mieux retenu qu'un message composé de mots uniquement.
2. **Principe de contiguïté spatiale** : L'apprentissage est plus efficace lorsque les images et les mots correspondants sont présentés de manière rapprochée. Par exemple en situant les légendes des divers éléments de l'image à côté de chacun d'eux.
3. **Principe de contiguïté temporelle** : Les performances d'apprentissage sont plus hautes lorsque les éléments verbaux et visuels sont présentés en même temps.
4. **Principe de cohérence** : L'apprentissage est meilleur lorsque les mots, images et sons, qui ne sont pas directement utiles à l'apprentissage, sont absents. Typiquement, lorsque l'on s'abstient d'inclure des anecdotes ou des illustrations.
5. **Principe de modalité** : Présenter des animations accompagnées d'un commentaire audio conduit à de meilleurs résultats que des animations accompagnées d'un texte à l'écran.
6. **Principe de redondance** : L'apprentissage est de meilleure qualité en présentant une animation et un commentaire audio plutôt qu'une animation, un commentaire audio et du texte à l'écran.
7. **Principe des différences individuelles** : Les effets décrits sont plus forts sur des apprenants disposant de peu de connaissances du domaine. De même, ils sont plus forts pour des utilisateurs disposant d'un haut niveau de capacités visuo-spatiales.

2.5.2. Le modèle de Schnotz : intégration de la compréhension du texte et de l'image

Schnotz (Schnotz & Bannert, 2003; Schnotz, Böckheler, & Grzondziel, 1999), décrit un modèle intégrant la construction d'une représentation issue de textes et issue d'images. Une première distinction est faite entre les représentations descriptives et dépicatives (représentatives). Une seconde distinction sépare les représentations internes des représentations externes.:

Une **représentation descriptive** est constituée de symboles. Ces symboles sont eux-mêmes des signes associés selon une convention. Un texte ou une représentation verbale font typiquement partie de cette catégorie.

Une **représentation dépicative** est quant à elle constituée de signes visuels concrets ou abstraits. Le sens est tiré de leur association dans l'espace. Les relations entre éléments ne sont pas forcément explicitées par d'autres symboles ; elles font intrinsèquement partie de la représentation. Les images et les diagrammes font partie de cette catégorie.

Dans le cas d'images réalistes, il y a une correspondance visuelle forte entre l'image et l'objet représenté, on parle alors de *similarité*. Dans ce cas, le réalisme permet d'utiliser moins de conventions de représentation et de rendre le matériel plus accessible. D'un autre côté, une représentation réaliste contient plus d'éléments qui peuvent être inutiles à l'apprentissage et engendrer plus de problèmes de sélection de l'information. Pour les graphiques par contre, cette correspondance est plus abstraite et on parle d'*analogie*. Les avantages sont alors inversés, les conventions de représentation utilisées doivent être connues ou comprises par l'apprenant pour saisir le sens du matériel. Néanmoins, les informations fournies peuvent être sélectionnées avec plus de finesse pour ne présenter que ce qui est nécessaire.

La seconde catégorisation distingue **représentation interne** et **représentation externe**. L'idée est que l'information externe est perçue et traitée pour devenir une représentation interne. La représentation interne d'une source descriptive reste toutefois intrinsèquement différente de celle d'une représentation dépicative.

Comme on peut le voir sur la figure 2, des processus organisationnels séparés traitent les informations internalisées. L'acquisition d'information se fait au moyen de fonctions de sélection et d'organisation de l'information. Les critères peuvent aussi bien être guidés par l'organisation perceptive (bottom-up) que les connaissances antérieures (top-down). Au fur et à mesure des traitements, ces informations s'internalisent encore plus pour former des représentations propositionnelles et des modèles mentaux.

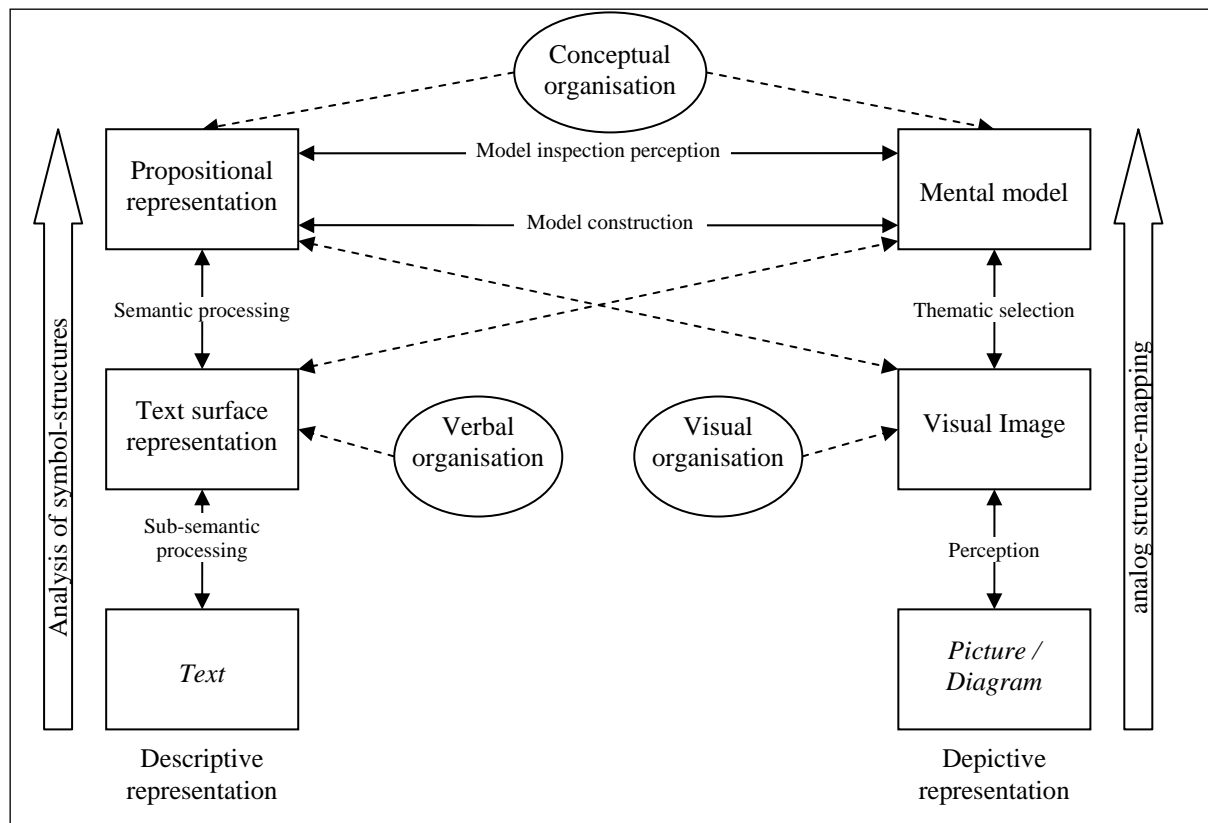


Figure 2 : modèle intégré de la compréhension des textes et des images, selon Schnotz & Bannert (2003)

Les représentations propositionnelles et les modèles mentaux sont de nature différente mais leur utilisation est totalement complémentaire. Cette complémentarité distingue le modèle de Schnotz de la théorie du double codage de Pavio (1986). Cette dernière voit l'ajout d'une modalité comme un simple bénéfice qualitatif, une amélioration de l'encodage et des indices de récupération de l'information. Les informations visuelles et verbales sont intégrées en une seule représentation. Pour Schnotz par contre, les deux représentations restent séparées et différentes tout en étant liées et complémentaires. Les représentations descriptives et décriptives ont des capacités plus égalitaires chez Schnotz. Le bénéfice n'est pas uniquement amené pour le verbal si on traite du visuel en plus, mais bien pour les deux représentations à la fois. La représentation propositionnelle et le modèle mental sont construits petit à petit dans une relation très proche. L'organisation conceptuelle de ces deux éléments se fait de manière à ce que les structures sémantiques du premier correspondent aux structures visuo-spatiales du second.

Cette construction est bien entendu faite d'aller et retour entre les structures, de sélection et d'organisation de l'information en provenance des représentations externes ou internes, de prises d'information supplémentaire, de vérifications, etc. Bien entendu, rien n'empêche de

construire un modèle mental à partir d'un texte ou une représentation propositionnelle à partir d'une image. Cependant, le travail cognitif d'abstraction et de visualisation sera plus grand.

Schnotz & Bannert (2003) mettent en évidence que pour comprendre une image, et ne pas simplement la percevoir, l'information doit dépasser le stade de l'image internalisée et former un modèle mental. Une organisation sématique est nécessaire. Les éléments graphiques doivent devenir des structures mentales et les relations spatiales doivent se changer en relations sémantiques intégrées au modèle mental. Les processus de construction peuvent se faire dans deux directions. Ils peuvent être dirigés par les schémas et connaissances antérieures (top-down). Ils servent alors à évaluer un modèle existant, à le confronter à la réalité et à l'améliorer. A l'inverse, créer un nouveau modèle se fait en suivant les caractéristiques de l'image (bottom-up). Son organisation et les éléments s'y trouvant sont perçus selon les schémas de la vie quotidienne et forment petit à petit la représentation mentale.

2.5.3. Le modèle de la compréhension des systèmes dynamiques

Narayanan & Hegarty (1998, 2002) mettent sur pied un modèle qui rend compte de la compréhension d'informations à caractère dynamique. Le traitement de l'information, transmise à travers plusieurs formats ou plusieurs modalités sensorielles (texte, son, image, animation, diagramme...), est également prise en compte. L'apprentissage est vu comme l'intégration de nouveaux éléments dans un modèle mental existant. Son objectif est d'accompagner la conception de documents qui expliquent le fonctionnement de systèmes dynamiques. La construction d'une représentation dynamique se fait en cinq étapes.

2.5.3.1. Décomposition :

Tous les éléments perçus sont décomposés en unités d'information. Typiquement, lorsque le matériel présenté est un graphique, il est formé de plusieurs éléments plus ou moins schématisés et organisés spatialement. Chaque élément doit être identifié et compris. Les connaissances antérieures sur le domaine sont évidemment d'un grand secours (influence top-down). Réciproquement, la qualité visuelle des éléments représentés joue aussi un rôle (influence bottom-up). Ainsi si les éléments du graphique suggèrent les éléments représentés de façon pertinente, la compréhension sera plus efficace. De même, des textes soignés et mis en page efficacement seront plus vite compris.

→ Un bon dispositif d'apprentissage devrait donc permettre à l'apprenant de séparer et d'identifier aisément les différentes unités d'information graphiques et symboliques. Des

informations textuelles doivent être mises en page et séparer les différents concepts aussi bien par l'indentation que par l'aspect des caractères.

2.5.3.2. Construction d'un modèle statique, connections représentationnelles :

Les unités identifiées durant l'étape précédente sont organisées. D'une part les éléments sont reliés entre eux (les éléments visuels et verbaux sont organisés séparément). Il s'agit d'identifier les interactions physiques (dans le cas de modèles causaux), ou logiques (dans le cas de modèles non causaux) entre les éléments. D'autre part, des liens sont créés avec les connaissances préalables de l'apprenant. Notons que ces connaissances préalables peuvent toucher aussi bien au domaine explicité dans le matériel (mécanique, géologie, astronomie...) qu'aux éventuelles conventions de représentation utilisées dans le graphique (dans le cas de schémas électriques par exemple).

→ Pour la bonne mise en œuvre de cette étape, on peut conseiller l'utilisation de conventions de représentation adaptées aux connaissances de l'apprenant. Des exemples et analogies plus concrètes peuvent également aider la liaison aux savoirs antérieurs. Les relations spatiales et logiques entre les éléments doivent être aussi explicites que possibles. Plusieurs points de vue sont parfois nécessaires, et des descriptions supplémentaires sont recommandables pour ce qui est des connections logiques. Des hyperliens peuvent servir à mettre des éléments en rapport ou à donner des définitions supplémentaires.

2.5.3.3. Liens référentiels :

Le modèle mental statique doit intégrer les informations provenant des diverses modalités jusque-là traitées séparément. Les éléments visuels et verbaux sont regroupés et intégrés dans un même modèle. En particulier, les éléments des diverses modalités représentant la même entité, le même concept, doivent être associés au sein du modèle (« co-reference resolution »). Il faut donc que les informations verbales et visuelles à relier se trouvent ensemble dans la mémoire de travail. En présentant ces éléments de façon contiguë (simultanément dans le temps ou proches spatialement), Mayer & Sims (1994) ont pu montrer un bénéfice au niveau de l'apprentissage (décrits comme le principe de contiguïté spatiale et temporelle). De même, Sweller, Chandler, Tierney, & Cooper (1990) ont montré l'importance de ce qu'ils nomment l'effet de dissociation de l'attention.

→ Une présentation multimodale de qualité devrait présenter les éléments relatifs à la même entité de manière contiguë dans l'espace et le temps. Encore une fois, des hyperliens pourraient aider à cette mise en rapport.

2.5.3.4. Rapports de cause à effet :

Les chaînes d'évènements qui surviennent dans le système constituent la prochaine étape de compréhension. Ces chaînes peuvent être de type causal ou de type logique, selon la nature du système présenté. Tenter d'appliquer le mauvais type de chaîne à un modèle induit des erreurs de compréhension. Inférer les relations causales d'un système nécessite de bien comprendre les relations à la fois spatiales et temporelles des éléments entre eux. Dans le cas de systèmes physiques relativement simples, une présentation animée des évènements peut suffire pour mettre à jour les chaînes causales. Toutefois, comme dans l'a montré Lowe (1999), des apprenants novices infèrent faussement des causalité uniquement temporelles à un phénomène présenté dynamiquement. Le déroulement (temporel) de l'animation ayant biaisé la construction des relations. Nous le verrons plus bas, les participants novices se basent sur les éléments les plus saillants au niveau perceptif pour construire leur représentation. Lowe (2004) précise que les changements de positions sont traités préférentiellement par rapport aux changements forme. Les informations provenant de tels changements sont donc mieux rappelées. Hegarty, Kriz, & Cate (2003) ajoutent encore que le stockage semble se faire uniquement sous la forme de chaînes causales. En effet, même si les présentations contenaient plusieurs éléments animés en parallèle, les participants se fixent sur la description d'une chaîne de causalités.

→ Narayanan & Hegarty (2002) soulèvent le besoin d'une technique d'explicitation et de visualisation des relations logiques et des relations causales. Ils mettent également en exergue la nécessité de préciser les interactions temporelles et spatiales.

2.5.3.5. Construction d'un modèle mental dynamique :

Enfin, pour refléter le fonctionnement de l'ensemble du système, un modèle mental dynamique doit être construit. Ce travail se fait habituellement par l'inférence du comportement dynamique de chaque élément. D'abord en cherchant comment d'autres éléments peuvent influencer cet élément (causalement ou logiquement), ensuite en cherchant comment cet élément peut en influencer d'autres, qui en influenceront d'autres, etc. Une présentation dynamique est avantageuse car elle rend explicite le comportement relatif des divers éléments.

Toutefois, le comportement dynamique des éléments du schéma peut tout à fait être inféré à partir d'une présentation statique. Hegarty (1992) l'a démontré en présentant un diagramme statique accompagné d'un texte décrivant l'activité dynamique. Les résultats obtenus sont comparables à ceux d'une animation accompagnée d'un commentaire. Toutefois, une

animation montre plus d'efficacité si les apprenants ont auparavant essayé d'inférer le comportement dynamique du système présenté. L'animation semble alors leur permettre de mieux contrôler leurs prédictions et pseudo représentations (Hegarty, Narayanan, & Freitas, 2002).

L'inférence du comportement dynamique peut se réaliser soit en se basant sur les connaissances antérieures, et grâce à une influence top-down : des règles connues de comportement permettent d'inférer les influences réciproques des éléments du schéma. Soit de manière bottom-up, par visualisation mentale des étapes successives et en recréant les interactions (Schwartz & Hegarty, 1996). Hegarty (1992) a mis en évidence le processus d'animation mentale, dans le domaine mécanique, pour simuler le comportement des éléments du modèle. Les capacités spatiales propres à l'apprenant jouent un rôle non négligeable pour encoder et inférer des informations à partir de dispositifs graphiques (Hegarty & Kozhevnikov, 1999), ainsi que pour intégrer des informations provenant de textes et de graphiques (Hegarty & Just, 1993).

→ La compréhension peut être améliorée en permettant aux apprenants de simuler mentalement le fonctionnement du système. Une technique efficace est de demander aux participants d'inférer le mouvement sur la base d'images présentant les différentes étapes avant de présenter l'animation elle-même. Dans le cas de systèmes complexes, des présentations séparées du déroulement causal et du déroulement logique avant l'animation peuvent mener à une meilleure compréhension. De plus, l'apprenant devrait pouvoir régler la vitesse de présentation de l'animation en fonction de son niveau et de ses capacités. Il est également possible de découper l'animation en unités d'information cohérentes logiquement ou causalement. L'utilisateur est ainsi libre de faire des pauses.

→ Les systèmes présentés se basent souvent sur des lois du physiques ou logiques. Les utilisateurs n'y étant pas ou peu introduits peuvent en souffrir grandement pour ce qui est de la compréhension du matériel. Il est donc conseillé de donner des explications suffisantes (mais facultatives) de ces lois pour ne pas désavantager certains apprenants.

2.5.4. Théorie de la charge cognitive

Cette théorie présentée par Sweller (Sweller, 2003; Sweller et al., 1990; Sweller et al., 1998), se base principalement sur le constat de capacités limitées de la mémoire de travail (Baddeley, 1986, 1998). Le traitement cognitif nécessaire à l'apprentissage ayant lieu dans cette structure, il est essentiel de garder un maximum de ressources pour celui-ci. Des données inutiles ou une organisation inefficace de l'information peuvent mener à une réservation de ressources

pour des tâches non-liées directement à l'apprentissage. Toutes les ressources utilisées ainsi ne peuvent l'être pour les autres types de charge. Si les ressources viennent à manquer, l'apprentissage ne peut être réalisé efficacement ; on parle alors de surcharge cognitive.

Ce modèle, s'il n'est pas d'une efficacité renversante pour la construction de matériels, permet de donner une explication lors de l'absence d'effets de certaines conditions. Toutefois, on peut reprocher à cette interprétation d'être relativement simpliste et de ne pas aller très loin dans la compréhension des processus cognitifs. De plus, il est difficile de délimiter un niveau de charge auquel les problèmes commencent, les facteurs individuels jouant un très grand rôle.

Pour en revenir au modèle proprement dit, Sweller & Chandler (1994 ; Sweller et al., 1998) distinguent deux sources de charge cognitive : La charge intrinsèque et la charge extrinsèque.

La charge cognitive intrinsèque : correspond à la difficulté du concept à apprendre. Elle augmente avec le nombre d'éléments ainsi qu'avec la complexité des relations entre ces éléments. C'est la partie de la charge cognitive irréductible pour apprendre un sujet ou un concept donné.

La charge cognitive extrinsèque : ne dépend pas de la matière à apprendre mais de l'activité d'apprentissage elle-même. On distingue deux formes de charge extrinsèque :

- *La charge utile (germane)* : correspond à la charge engendrée par les processus cognitifs inhérents à l'apprentissage. Il s'agit typiquement de la compréhension des divers éléments, de leur organisation et de toute l'abstraction nécessaire à la bonne construction d'un modèle mental. Cette charge est positive à l'apprentissage.
- *La charge externe* : Il s'agit de tous les traitements cognitifs supplémentaires et inutiles à l'apprentissage. Ainsi, un matériel mal organisé ou lacunaire, mal conçu ou non-centré sur l'apprenant nécessitera une réorganisation et des efforts de compréhension supplémentaires. Ces traitements seront source de charge externe, néfaste à l'apprentissage car consommant inutilement des ressources déjà limitées. On peut noter que le principe de cohérence formulé par Mayer (2001) va tout à fait dans le sens de meilleurs résultats lorsque la charge externe est réduite (mots, images et sons inutiles retirés de la présentation). Toutefois, il ne s'agit pas des seuls éléments susceptibles d'augmenter la charge externe, on peut penser par exemple à des explications contre-intuitives ou à une mauvaise planification des interactions.

2.5.4.1.Lignes directrices pour la création de matériels d'apprentissage

Sweller (2003) cite une série de lignes directrices destinées à la création de matériels d'apprentissage. Nous citerons rapidement :

L'absence de but (*goal-free effect*) : des apprenants novices ayant un but d'apprentissage se focalisent sur ce but au détriment de l'apprentissage. (Nous parlons ici d'un but très spécifique comme une question à laquelle répondre et pas au sens d'un objectif relativement large que pourraient donner des pédagogues).

L'utilisation d'exemples connus (*worked examples effect*) : illustrer les concepts à l'aide de problèmes déjà résolus permet de diminuer la charge cognitive et d'améliorer l'apprentissage.

La résolution de problèmes (*problem completion effect*) : faire suivre l'exemple déjà résolu par un exercice non résolu pour maximiser la motivation.

L'effet de modalité (*modality effect*) : deux messages devraient venir de deux modalités sensorielles différentes.

L'interactivité des éléments (*Element interactivity effect*) : l'interactivité du matériel augmente l'effet de dissociation de l'attention ainsi que l'effet de redondance (décrits plus bas), elle est donc négative pour l'apprentissage.

L'apprentissage d'éléments isolés (*Isolated interacting elements effect*) : Avec des modèles complexes comprenant des éléments interagissant, il est préférable de commencer par présenter les éléments séparément avant de les intégrer les uns aux autres.

L'imagination (*imagination effect*) : simuler mentalement le fonctionnement et l'interaction entre les éléments permet à des experts d'obtenir de meilleurs résultats.

Le retour d'expertise (*expertise reversal effect*) : avec l'expertise, beaucoup d'effets sont inversés et il vaut alors mieux suivre des règles conceptions classiques plutôt que celles focalisées sur la charge cognitive.

Atténuation de la conduite (*guidance fading effect*) : au fur et à mesure de l'augmentation de l'expertise, les apprenants devraient être moins guidés dans les exercices qu'ils ont à réaliser.

Nous décrirons plus en détail les deux derniers effets, il s'agit de la dissociation de l'attention (*split-attention effect*) et de la redondance (*redundancy effect*).

2.5.4.2.Effet de dissociation de l'attention (split-attention)

Cet effet, négatif à l'apprentissage, se produit quand les sujets doivent traiter des sources d'information multiples, dont l'intégration doit être opérée mentalement afin que le sens puisse

être inféré du matériel présenté (Chandler & Sweller, 1991). Sweller et al. (1990) ont illustré cet effet en montrant qu'un schéma de géométrie intégrant des explications est mieux compris et en moins de temps qu'un schéma les présentant séparément. Cet effet est par ailleurs très semblable aux principes de contiguïté spatiale et de contiguïté temporelle formulés par Mayer (2001).

Les animations sont souvent utilisées comme facteur de motivation et d'attraction sur des matériels par ailleurs peu attractifs. En réalité, si elles sont une source d'information supplémentaire inadéquate ou si elles ajoutent une source d'information contiguë, les animations peuvent se révéler négatives. Elles risquent de perturber ou de détourner la concentration de l'apprenant des aspects essentiels. Bien entendu, cela vaut aussi pour des images statiques. L'effet de dissociation de l'attention est vrai, pour autant que les sources d'informations ne soient pas compréhensibles de façon isolée. Si les informations se recoupent, on peut avoir à faire à un effet de redondance.

2.5.4.3. Effet de redondance (redundancy effect)

Lorsque une même information est présentée plusieurs fois, celle-ci doit être traitée plusieurs fois. Ce traitement multiple augmente la charge cognitive et est négatif à l'apprentissage. Cet effet est par ailleurs lié au niveau d'expertise des apprenants dans le domaine présenté. Des novices pourront être avantagés par un matériel présentant des redondances (qui seront considérés comme des informations intégrées). Alors que pour le même matériel, des experts trouveront les informations redondantes et en seront gênés (Kalyuga, Chandler, & Sweller, 1999). Cet effet est également décrit par Mayer (2001) sous le nom de « principe de redondance ». A ce propos, Mayer, Heiser, & Lonn (2001) ont montré que des présentations animées comprenant un commentaire et du texte sont moins efficaces que celles sans texte.

Nous remarquerons que la redondance survient lorsque les informations doubles sont présentées dans les mêmes canaux sensoriels. En effet, Baddeley (1998) a mis en avant des processus de traitement différents et des ressources indépendantes pour les informations de type verbales et celles de type visuelles. Les ressources étant séparées, il est possible de traiter des informations provenant des deux modalités plus facilement que des informations provenant de la même modalité. Un traitement multimodal est même positif pour l'apprentissage, selon le principe multimédia de Mayer (2001), ainsi que la théorie du double codage de Pavis (1986).

2.6. Facteurs pouvant être liés à l'efficacité des animations

Comme nous avons pu le voir au travers des modèles, l'efficacité ou non des animations peut être due à un grand nombre de facteurs. Ces facteurs s'expliquant d'ailleurs différemment selon chacun des modèles. Nous allons passer en revue plusieurs études tentant de mettre en valeur les avantages de l'animation. On distingue les méthodes privilégiant la réduction des désavantages liés à la fugacité ; donner un contrôle sur le déroulement de l'animation par le biais d'une interactivité, ou produire des résumés des données pour créer une information permanente. D'autres méthodes consistent à s'intéresser aux capacités cognitives individuelles qui peuvent entrer en ligne de compte dans ce type d'apprentissage ; le niveau d'expertise du domaine, ou les capacités de rotation mentale par exemple. Enfin, on peut faire un lien avec les théories de la cognition partagée et utiliser des paradigmes collaboratifs pour améliorer l'apprentissage.

2.6.1. Interactivité

On peut définir cette caractéristique comme la modification de l'animation en fonction de l'activité de l'utilisateur. Comme signalé plus haut, l'utilisation des animations pour exercer des connaissances recourus facilement à l'interactivité. Cette caractéristique pourrait en elle-même apporter des bénéfices sur le plan cognitif. Certaines études ont essayé de séparer les effets de l'interactivité et de l'animation (Gonzales, 1996; Rieber, 1990; Rieber, Boyce, & Assad, 1990), mais les résultats semblent aller dans le sens d'un effet positif de l'interactivité uniquement lorsque celle-ci permet à l'utilisateur de contrôler le flux de l'animation. Sweller (2003) parle même d'un effet négatif de l'interactivité.

Schnotz et al. (1999) ont présenté un hypertexte contenant des graphiques statiques ou des animations interactives à des participants en leur proposant une série de questions pour les guider. Les résultats montrèrent un effet positif de l'animation pour l'apprentissage de détails (connaissances directement appliquées) mais pas pour ce qui est de la simulation mentale (application du modèle appris à des situations différentes). Dans une seconde étude, ces mêmes auteurs présentèrent cet hypertexte à des paires avec la même tâche. Les performances furent alors plus médiocres dans la condition animée, et ce aussi bien pour les questions de détails que pour les questions de simulation mentale.

Mayer & Chandler (2001) ont observé qu'en donnant la possibilité d'avoir un certain contrôle sur le déroulement de l'animation, les participants avaient de meilleures performances. Le contrôle du flux des données semble donc diminuer la charge cognitive. De même, Tassini (2004) a proposé trois formats de présentation d'une animation : en continu, avec la

possibilité de faire des pauses ou avec un contrôle total sur le déroulement (avancer, reculer, pause). Les résultats, s'ils vont dans le sens d'un avantage des conditions plus interactives, ne sont pas significatifs.

Chandler & Sweller (1996) ainsi que Tindall-Ford, Chandler, & Sweller (1997) n'ont observé un effet de modalité que sur les matériels à haute interactivité. La charge cognitive intrinsèque étant plus haute avec un matériel interactif, moins de ressources restent disponibles pour l'apprenant. Des conditions augmentant la charge externe sont donc plus à même de se manifester par une baisse de la qualité de l'apprentissage.

Lowe (1999, 2003) a montré que les apprenants novices dans le domaine enseigné étaient très largement influencés par les caractéristiques perceptives du dispositif. Les éléments visuels ayant une saillance perceptive faible étaient négligés quelque soit le niveau d'importance pour la compréhension du phénomène (un phénomène météorologique). Les informations prises en compte par les novices étaient celles qui entraient le plus en contraste avec le reste de la présentation. Il s'agissait des éléments bougeant plus, ou au contraire moins que les autres. Cette expérience illustre encore le fait que les novices adoptent des stratégies bottom-up en se basant sur la composition des images et des animations. Les informations qu'ils récoltent pour créer leur modèle mental sont donc définies à l'avance au sein de l'animation. De plus, même si les informations extraites peuvent se révéler pertinentes, rien n'indique que le participant sera à même de les retenir et de les traiter correctement.

2.6.2. Permanence de l'information

Les explications du constat d'échec des animations font le plus souvent référence à la théorie de la charge cognitive (Sweller et al., 1990). L'excès d'information arrivant simultanément induirait une surcharge cognitive, c'est-à-dire une incapacité de l'être humain à gérer ce flux continu d'information, de le stocker dans la mémoire de travail et de structurer l'information afin de créer un modèle mental. C'est de ce constat que naît l'idée de remédier à la nature fugitive des animations. Pour ce faire, une idée est de fixer dans le temps une partie des informations et de les rendre accessibles en permanence pour l'apprenant (Clavien, 2003).

Le Bohec & Jamet (2003) ont, dans un contexte très écologique, étudié l'influence de la possibilité de prendre des notes pendant une présentation statique (avec commentaire audio), contenant trois niveaux de redondance de l'information (nulle, partielle ou totale). Leurs résultats, sur des participants novices, montrent que la possibilité de prendre des notes supprime l'effet néfaste observé dans la condition de redondance totale. Seuls les participants en condition de redondance totale et ne pouvant pas prendre de notes avaient des performances inférieures aux autres. Ces résultats n'ont été observés que dans les questions de transferts, aucune différence n'étant significative pour la rétention.

La possibilité de conserver l'information semble donc être une solution lorsque la charge cognitive devient trop importante. Les participants novices sont les premiers concernés par ces problèmes. Ils ne disposent pas encore des schémas mentaux qui leur permettraient de structurer l'information et de palier aux limitations de la mémoire de travail (Sweller et al., 1998).

La surcharge due aux flux continus de l'information dans les animations pourrait donc être réduite si l'information reste accessible ensuite et que le participant le sait. Bétrancourt, Dillenbourg, & Clavien, 2003; Clavien, 2003) ont créé un résumé de l'animation au moyen de vignettes affichées sur l'écran. Grâce à celles-ci, le participant avait accès à une image clé de chaque étape. Les résultats obtenus ne montrent cependant aucun effet de la permanence de l'information. Toutefois, comme le souligne Clavien, cela peut être dû à la simplification du matériel utilisé.

2.6.3. Collaboration¹

Apprendre à plusieurs a-t-il une influence sur l'apprentissage ? Les premiers travaux dans ce domaine datent des années trente (Vygotsky, 1978). Vygotsky défendait que la construction de toute connaissance est socialement médiatisée. Piaget (1936) ajoutant que toute connaissance est construite par l'apprenant, on comprend vite l'importance du niveau social pour l'apprentissage. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons plus précisément à ce qu'on appelle l'apprentissage collaboratif médiatisé par ordinateur (CSCL). Dillenbourg, (1999) propose trois caractéristiques pour une situation collaborative.

Premièrement, les participants doivent avoir un **degré de symétrie** dans leur interaction. Ce qui veut dire qu'ils partagent un niveau de connaissance relativement comparable. Ainsi les remarques de l'un sont toujours potentiellement bénéfiques pour la compréhension de l'autre.

Deuxièmement, les participants **partagent des objectifs** et des intérêts communs pour la réalisation de la tâche. Les buts personnels peuvent entrer en ligne de compte mais avant tout la tâche doit être la même pour les deux participants si on compte obtenir une collaboration.

Troisièmement, la **distribution du travail** est fine entre les collaborateurs. Ils travaillent ensemble en tout temps. Même si l'un se charge, par exemple, plus de l'utilisation de l'interface pendant que l'autre s'occupe des aspects stratégiques. La distribution des rôles reste extrêmement flexible et il est toujours possible de les échanger ou de les modifier. Cette troisième caractéristique distingue la collaboration de la coopération. La coopération étant définie comme la séparation des tâches entre les participants et une résolution séparée des problèmes. Dans ce paradigme, les rôles sont clairement définis au début et ils sont difficiles à échanger.

La recherche en CSCL établit un grand nombre de concepts décrivant l'activité collaborative et ses caractéristiques. Dans le cadre de ce mémoire, nous décrirons les concepts de cognition distribuée, d'artefacts ainsi que de grounding. Une description plus complète est développée dans le mémoire de Mirweis Sangin.

Le concept de **cognition distribuée** trouve son origine dans les années 90, Moore & Rocklin (1998) rassemblent une série d'études sous ce terme. L'idée est que les connaissances des individus sont distribuées entre plusieurs objets (outils, livres, notes, pages web, etc.) et entre plusieurs autres individus. Cet ensemble de sources d'information constitue un cadre de connaissance et d'apprentissage ancré dans le monde physique. Ces divers éléments-

¹ Les théories actuelles portant sur la collaboration sont plus développées dans le mémoire « jumeau » de Mirweis Sangin.

ressources sont appelés des **artefacts** et servent non seulement à la cognition de l'individu, mais également à la médiation de ses connaissances. Vygotsky (1978) voit l'apprentissage comme une simple internalisation des outils. Bien entendu, l'existence des artefacts, externes à l'individu par définition, fait qu'il est aisé de partager socialement des connaissances.

Le **grounding** correspond au travail de maintien d'une représentation commune. En effet, lorsque plusieurs personnes collaborent sur une tâche, elles ont besoin de partager une représentation. Un « terrain commun » (*common ground*) doit être créé et maintenu au long du temps et de la tâche (*grounding*) (Clark & Brennan, 1991; Roschelle & Teasley, 1995). Il s'agit d'un processus collectif au cours duquel les participants cherchent à s'assurer de leur compréhension mutuelle. Un effort est donc fourni, tout au long de l'interaction, pour parvenir à cet objectif. Au fur et à mesure de la construction de cette représentation, l'effort s'amenuise car des références aux éléments du terrain commun peuvent augmenter.

Pour en revenir à notre problématique, Schnotz et al. (1999) ont présenté un hypertexte contenant des animations (interactives) ou des graphiques statiques ainsi qu'un dizaine de questions à des participants. Les questions servaient de guide pour explorer le matériel. Une fois la phase d'apprentissage terminée, des questionnaires portant sur la rétention des détails ainsi que sur la simulation du modèle mental ont été remplis par les participants. Les résultats montrent des résultats de rétention des détails plus hauts en dynamique qu'en statique. Par contre, aucun effet n'est observé sur la simulation. Dans une seconde étude, ces mêmes auteurs proposèrent le même dispositif à des paires de participants. Les résultats sont alors en faveur de la présentation statique pour les deux mesures, particulièrement pour la simulation. Schnotz et al. expliquent ces résultats par une augmentation de la charge cognitive lors d'un apprentissage collaboratif. Cette augmentation serait due à l'énergie et à l'attention à fournir pour discuter et maintenir une représentation de la perception de son partenaire. Cette augmentation de charge serait fatale aux groupes duos lorsqu'ils doivent en plus traiter une information fugitive provenant d'une animation.

2.6.4. Les capacités individuelles

2.6.4.1. Capacités d'empan et de rotation mentale

La structure tripartite de la mémoire de travail est connue depuis Baddeley (1986). Plus particulièrement, le traitement différencié des informations visuo-spatiales et des informations verbales. Lecerf (1998) a étudié plus profondément la mémoire de travail visuo-spatiale et est parvenu à différencier des performances différentes selon que l'information est présentée de manière simultanée ou séquentielle. Le calepin visuo-spatial se distinguerait en une composante visuelle et une composante spatiale, possédant des capacités distinctes. Une présentation simultanée des informations impliquerait les deux composantes, alors qu'une présentation séquentielle ne bénéficierait que des ressources spatiales. Ceci expliquerait les performances moindres observées dans ce cas de figure. Toutefois, les tâches des participants dans le cadre de ces études sont loin de tâches d'apprentissage et concernent strictement les capacités d'empan ou de traitement visuo-spatial.

Si la charge mnésique est bien une des causes des mauvaises performances observées lors des présentations dynamiques, les participants disposant des plus grandes ressources de traitement pour ce type de tâche devraient être les moins affectés. D'autre part, l'inférences des transitions entre les différentes étapes, ainsi que la visualisation mentale des processus dynamiques, sont très certainement plus élevés chez les participants disposant de meilleures capacités de rotation mentale.

Hegarty et al. (2003; Hegarty & Sims, 1994) ont mis en avant l'importance des capacités de rotation mentale pour l'inférence du comportement dynamique lors de présentations statiques. Néanmoins, le niveau de compréhension du matériel présenté est toujours supérieur chez des participants ayant un haut niveau de capacités d'animation mentale. Ces capacités ont été mesurées à l'aide du paper-folding test (Ekstorm, French, Harman, & Dermen, 1976).

2.6.4.2. Niveau d'expertise du domaine

Plusieurs auteurs (Cooper, Tindall-Ford, Chandler, & Sweller, 2001; Sweller, 2003), décrivent ce qu'ils nomment l'effet d'imagination (*imagination effect*). Des participants ayant un certain niveau de connaissance dans les domaines étudiés sont capables d'imaginer la dynamique à partir d'images fixes. Ainsi, des apprenants qui ont comme consigne « d'imaginer » les processus dynamiques obtiennent de meilleurs résultats que des participants devant simplement « étudier » le matériel. A l'inverse, les participants novices ont eu de meilleurs résultats en devant « étudier » plutôt que « imaginer ». Leur faible niveau

de connaissance les empêchait de traiter l'ensemble des informations en mémoire de travail. L'effet de l'imagination mentale semble donc liée au niveau d'expertise.

Sweller (2003) souligne que dans le cas de traitement d'informations très familières (donc chez des experts), les restrictions de la mémoire de travail ne s'appliquent plus vraiment. En effet, dès Miller (1956) nous savons que l'information peut être regroupée (« chunking ») en mémoire de travail. Grâce aux connaissances en MLT, des éléments regroupés libèrent des ressources pour d'autres informations ou traitements. Les limitations de la mémoire de travail sont donc liées à la capacité de regrouper les informations. de Groot (1965) ainsi que Chase & Simon (1973) ont d'ailleurs pu montrer que les joueurs d'échecs professionnels pouvaient retenir la configuration entière d'un échiquier en mémoire de travail du fait de leur expertise. Une configuration impossible des pièces était par ailleurs plus difficile à retenir. Ericsson & Kintsch (1995) parlent de « mémoire de travail à long terme » pour cette capacité à traiter et à conserver un très grand nombre d'informations sur de longues périodes de temps. Cette disposition ne s'applique que pour des stimuli très connus et un matériel très bien appris. Si des schémas précis et complets du domaine sont connus, les capacités de traitement sont nettement plus élevées.

Ces différences vont tout à fait dans le sens des travaux de Lowe (2003), montrant des différences importantes de traitement et de résultats selon le niveau d'expertise des apprenants. Conformément au modèle théorique d'intégration et de compréhension de texte et d'image (Schnotz & Bannert, 2003; Schnotz et al., 1999), les participants ayant un haut niveau d'expertise sont capables d'activer des stratégies de recherche d'information (top-down). Les participants novices, quant à eux, ne savent pas différencier les informations essentielles pour leur compréhension du phénomène. Ils sont donc très influencés par les caractéristiques visuelles intrinsèques à la présentation (bottom-up). Lowe (2004) observe alors plus d'influence d'effets de fond-forme dynamique, et donc de moins bonnes performances, chez les novices ; surtout pour les éléments ayant une forte saillance perceptive.

2.7. Questions de recherche

Notre recherche a pour objectif de mettre en évidence l'influence, de la **continuité du flux**, de la **collaboration**, de la **permanence des états antérieurs**, ainsi que de vérifier la portée de **variables individuelles** telles que l'empan visuel et les capacités de rotation mentale.

Nous postulons qu'une animation facilite la compréhension du fonctionnement d'un système dynamique, car elle permet de visualiser les transitions entre étapes. Or, ces transitions peuvent parfois être difficiles à se représenter. Dans le cas de graphiques statiques, elles doivent être inférées. Ainsi, les novices du domaine, qui n'ont pas les connaissances nécessaires pour inférer ces transitions, devraient comprendre plus aisément à partir d'une animation qu'à partir d'une série de graphiques statiques (Bétrancourt & Tversky, 2000). Néanmoins, pour que le modèle mental auquel les participants doivent aboutir soit de nature dynamique, il faut que les micro-étapes présentées dans l'animation aient leur importance (Mayer, 1989). Un soin particulier doit donc être donné au choix des matériaux expérimentaux pour que l'aspect dynamique soit une caractéristique importante.

D'autre part, dans une animation, puisqu'une étape du fonctionnement (frame) supprime la précédente et ainsi de suite, l'utilisateur n'a plus de référent. Ce que nous nommerons par la suite la « non permanence des états antérieurs » ôterait à l'apprenant la possibilité de comparer les étapes entre elles, stratégie utile, si ce n'est nécessaire, à la construction d'un modèle mental (Mayer, 2001; N. Narayanan & Hegarty, 1998) et, a fortiori, à la compréhension d'un système causal.

La surcharge cognitive constituerait donc une explication des mauvaises performances des utilisateurs des conditions « animation » versus « graphiques statiques », mais elle n'a toutefois jamais été réellement caractérisée. Une mesure de la charge cognitive perçue par le participant pendant son apprentissage pourrait nous aider à définir son influence exacte. Nous pensons qu'elle joue un rôle très important dans le traitement cognitif de l'information. En effet, dans le cadre d'animations, la supplantation des images antérieures par les images subséquentes sollicite les capacités mnésiques du sujet de manière substantielle. La question que nous nous posons est de savoir si le fait de modifier les facteurs de l'interface de présentation d'une animation ou d'une présentation graphique animée peut influencer l'apprentissage. La surcharge cognitive due au flux d'informations d'une présentation dynamique rend l'intégration ainsi que le stockage difficile. Un bon moyen de palier à ce problème serait de laisser l'information disponible en permanence, le participant pourrait ainsi y revenir autant de fois que nécessaire. Il serait ainsi meilleur d'une part pour retenir les

éléments importants et d'autre part, pour intégrer les différentes étapes en un modèle mental de la situation (Bétrancourt, Dillenbourg, & Clavier, 2003; Clavier, 2003).

Enfin, les capacités individuelles de rotation mentale, ainsi que d'empan visuel devraient être liées à la performance de rétention ainsi que de transfert. En effet, un bon empan visuel augmente la quantité d'information traitable en mémoire de travail. Ceci devrait retarder l'arrivée d'une surcharge cognitive et donc améliorer les performances de rétention comme d'inférence. Parallèlement, la capacité de rotation mentale, en permettant une meilleure représentation des changements et des relations entre les différentes étapes, devrait être liée aux performances de rétention, mais surtout de transfert. Un modèle mental se dégageant surtout de l'intégration des différentes étapes et de leurs relations (Narayanan & Hegarty 2002 ; Schnotz et al. 1999). De plus, l'imagination du mouvement dynamique à partir des images statiques devrait être plus facile pour des participants au fort potentiel de rotation mentale. L'apport de ces deux variables sera surtout de pouvoir être covariées aux résultats, afin de mieux mettre en évidence l'effet réel de la continuité de l'animation et de la permanence des états antérieurs, sur l'apprentissage.

Pour répondre à ces questions, nous avons mis sur pied un dispositif appelé « pondreuse d'images » permettant de conserver les états antérieurs d'une animation. Le système fonctionne un peu comme si plusieurs arrêts sur image étaient fait durant le déroulement d'un film, et restaient ensuite présent dans un coin de l'écran. La possibilité de garder affichées à l'écran les images reflétant les grandes étapes du modèle conceptuel, ou "permanence des états antérieurs", est le facteur que nous avons voulu mettre en lumière. En outre, nous avons voulu vérifier que l'animation apportait un réel bénéfice par rapport à une série d'images statiques, testant ainsi l'effet de la continuité du mouvement.

2.8. Que prédiraient les différents modèles ?

L'expérience que nous avons menée nous a fait faire des choix entre ces différents modèles et nos hypothèses ne sont pas directement issues de l'un d'entre eux. Chaque modèle aurait prédit des résultats différents. En nous plaçant successivement dans les quatre référents, nous allons exposer quatre points de vue sur les résultats d'abord attendus puis observés.

Cet exercice ne compte pas montrer la supériorité d'un modèle sur un autre. Un modèle restant avant tout une interprétation. Nous espérons simplement que la mise en commun de ces point de vue mène à plus de richesse de réflexion et à plus de pistes d'investigation.

2.8.1. Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia

Le modèle de Mayer (2001) se caractérise surtout par son caractère général. Il a été construit en grande partie sur la base d'expériences mettant en scène des animations. Toutefois, il ne sépare pas le traitement d'informations continues du traitement des informations statiques. A vrai dire, aucun modèle actuel ne fait cette distinction.

Dans tous les cas, le commentaire audio est traité par la partie auditivo-verbale du modèle. Le reste des informations, quelle que soit la modalité, passe par un traitement visuel. Selon nos conditions expérimentales, c'est donc uniquement au niveau visuel que nous verrons des différences.

2.8.1.1. Animation

La condition dynamique contient plus d'information, cela signifie plus d'éléments potentiellement sélectionnés pour être organisés, ce qui est positif. D'un autre côté, la mémoire de travail limitée ne permet pas de stocker un trop grand nombre d'éléments, surtout chez des participants novices. Le plus grand nombre d'informations en condition dynamique pourrait donc mener plus facilement à des pertes lors de leur organisation. Néanmoins, rien ne permet d'être certain que la perte potentielle concerne n'importe quelle information. Il est possible que les informations moins importantes soient plus facilement laissées de côté en cas de surcharge de la mémoire de travail. L'animation peut rester positive, car même en cas de surcharge, un grand nombre d'éléments reste tout de même en mémoire.

2.8.1.2. Permanence

La permanence n'apporte pas plus d'information mais permet de revenir la chercher. Le fait de revenir chercher des éléments est plutôt positif du point de vue de l'apprentissage actif, cher à Mayer. La mémoire de travail limitée devrait également tirer avantage d'une présentation permanente. En effet, une partie des informations se trouvant dans les vignettes peut être récupérée en cas de perte ou de surcharge, et finalement être tout de même traitée.

De ce point de vue, on peut s'attendre à une efficacité de la permanence, surtout dans la condition dynamique. C'est théoriquement celle qui contient le plus d'information et donc la plus grande probabilité de dépasser les capacités de mémoire de travail.

Toutefois, il faut bien souligner que toutes les informations ne se trouvent pas dans les vignettes : les informations propres à la présentation dynamique sont absentes et les commentaires ne peuvent être réentendus. Tous les éléments ne peuvent pas être récupérés s'ils ont été perdus. Toutefois, la possibilité reste valable pour une grande partie d'entre-eux.

2.8.1.3. Collaboration

Le modèle de Mayer ne nous permet pas de formuler d'hypothèses quant à l'influence de la collaboration. La discussion, engagée entre les deux protagonistes, peut ajouter des éléments de nature verbale dans la mémoire de travail de chacun des protagonistes. Les informations que l'un n'a pas sélectionnées, ou a perdues, pourront être apportées par l'autre. De plus, la réflexion commune pourrait améliorer l'organisation des éléments. L'intégration de ceux-ci reste cependant individuelle. De ce point de vue toutefois, si la charge engendrée par les éléments conversationnels en mémoire de travail sont trop nombreux, une partie des informations peut à nouveau se perdre. Comme l'animation, la collaboration serait donc à double tranchant.

2.8.2. Modèle d'intégration de la compréhension du texte et de l'image

Ce modèle met plus l'accent sur les procédures d'inspection et de construction du savoir. Le niveau de connaissance du participant est décisif pour comprendre quelle stratégie sera mise en œuvre. En ne sélectionnant que des apprenants novices dans le domaine, les stratégies de construction du modèle mental seront principalement bottom-up (Schnotz & Bannert, 2003).

La différenciation entre représentation internalisée et modèle mental (et représentation propositionnelle) est également un point important de la théorie de Schnotz et al. (1999). Une représentation internalisée peut suffire pour répondre aux questions de rétention. Par contre un niveau d'intégration supérieur est nécessaire pour ce qui est du questionnaire d'inférence.

2.8.2.1. Animation

Avec des participants novices, l'exploration sera guidée par les caractéristiques des images et des animations présentées. Un matériel dynamique désambiguïse le mouvement des divers éléments présentés. Par contre, une succession d'images ne peut arriver à ce résultat aussi facilement. L'animation est positive dans notre cas, car les novices peuvent tirer plus d'éléments de la présentation (leurs connaissances antérieures ne pouvant leur être d'aucun secours). L'absence de connaissances antérieures empêche toute stratégie de sélection de l'information particulière, c'est donc la présentation elle-même qui nourrit la représentation.

Dans nos animations, peu d'éléments bougent en même temps. L'effet de fond/forme dynamique décrit par Lowe (1999) n'est donc que peu ou pas présent. On s'attend à ce que toute l'information présente puisse être utilisée. Selon ce modèle, la condition dynamique est plus efficace et conduit à de meilleurs résultats.

2.8.2.2. Permanence

Les vignettes peuvent être utilisées de deux manières :

1. Pour le rappel des informations qui ont été perdues ou laissées de côté.
2. Pour récupérer de nouvelles informations en vue de vérifier quelque chose. Cette seconde possibilité implique un certain niveau d'élaboration du modèle mental (stratégie top-down).

Les participants pouvant consulter les vignettes peuvent avoir accès à une certaine quantité d'informations de manière permanente. Ils peuvent y faire appel si l'élaboration de leur représentation propositionnelle, ou de leur modèle mental, l'exige. La permanence laisse donc une place pour consulter à nouveau les éléments lorsqu'on y voit plus clair, ce qui est sans conteste positif.

Toutefois, seule une fraction de l'information présentée la première fois est re-accessible à travers les vignettes. De plus dans le cas de nos matériels, la plus grande partie des éléments visibles précédemment figure également dans les vignettes suivantes et dans la dernière image, toujours à l'écran. L'information peut donc être directement accessible sans passer par les vignettes. En utilisant des matériels très progressifs, il est possible que les éléments que l'on désire vérifier viennent plutôt après qu'avant. Les participants formant un modèle mental tendraient donc à formuler des prédictions sur la suite du phénomène plutôt que sur ce qui s'est déroulé auparavant.

2.8.2.3. Collaboration

Dans le cadre de ce modèle, l'apprentissage en paire n'est également pas pris en compte. On peut imaginer que les participants atteindront un niveau de modèle mental de façon désynchronisée. L'un favorisant un aspect avant l'autre. Les différents niveaux d'élaboration, couplés à la verbalisation explicative, peuvent être bénéfiques pour les deux membres du groupe.

2.8.3. Modèle de compréhension des systèmes dynamiques

Ce modèle décompose précisément les différentes étapes de traitement de l'information pour un apprentissage multimodal. Dans notre cas, le modèle mental existant est très lacunaire voir inexistant car les participants sont novices (Narayanan & Hegarty, 2002).

2.8.3.1.Animation

Au niveau de la décomposition des éléments, la qualité graphique est importante et d'autant plus pour des participants novices. En ce sens l'animation n'est pas forcément supérieure. Une présentation dynamique contient plus d'information mais il ne s'agit pas d'éléments graphiques supplémentaires. Comme les images fixes sont tirées des animations, on peut retrouver les mêmes éléments graphiques dans les deux conditions.

Pour les étapes suivantes, la contiguïté temporelle du commentaire, plus évidente en condition dynamique, peut avoir une influence positive sur la création de liens référentiels.

De même, les rapports de cause à effet sont plus clairs dans les animations, ce qui est positif. Toutefois, un risque de former de mauvaises causalités subsiste. Heureusement, les causalités présentées dans nos matériels sont essentiellement toutes du même type.

Enfin, pour ce qui est de la formation du modèle mental dynamique, l'animation apporte un grand avantage. En effet, l'inférence du comportement des divers éléments graphiques est explicite dans une animation. La formation du modèle est donc facilitée car l'apprenant a pu voir de ses yeux les mouvements impliqués.

2.8.3.2.Permanence

Les vignettes peuvent avoir un intérêt en condition statique. Elles présentent l'ensemble des étapes de manière très contiguë. Elles peuvent aider l'apprenant à reconstituer le dynamisme de la situation, et ainsi à former un modèle mental dynamique.

2.8.3.3.Collaboration

Cette variable n'est, encore une fois, pas prise en compte dans ce modèle. En se basant sur des théories de l'apprentissage collaboratif médiatisé (Dillenbourg, 1999), on peut mettre en avant que la mise en commun des représentations est une chose positive. Les étapes de construction des modèles, de construction de liens référentiels, de rapports cause à effet et l'élaboration du modèle mental dynamique peuvent sans conteste être facilitées par une discussion commune et une confrontation de points de vues.

2.8.4. Théorie de la charge cognitive

La théorie de la charge cognitive (Sweller et al., 1998), n'a pas été originellement développée pour traiter de l'apprentissage multimédia. Toutefois, elle est régulièrement invoquée pour expliquer un manque de résultats d'un facteur ou, au contraire, des résultats supérieurs inattendus d'un autre facteur.

2.8.4.1. Animation

L'animation contient plus d'informations donc plus d'information à traiter. La charge externe n'est pas forcément augmentée car cette information supplémentaire n'est pas forcément un traitement inutile. Par contre, le fait d'avoir plus d'information à traiter augmente les chances que les éventuels traitements inutiles aient un impact. Rappelons toutefois que notre matériel étant très progressif, il ne devrait comporter que peu de charge externe.

D'un autre côté, la même théorie pourrait faire l'hypothèse d'un avantage de l'animation. En effet, une présentation dynamique élimine le besoin d'effectuer une animation mentale pour se représenter le phénomène. L'économie de ce traitement cognitif laisse plus de ressources pour l'apprentissage lui-même, ce qui serait positif.

Cette théorie ne permet donc pas de se prononcer clairement sur l'influence de l'animation sur l'apprentissage.

2.8.4.2. Permanence

Les vignettes provoquent de la redondance et sont donc négatives à l'apprentissage. Toutefois, leur présence permanente rend possible une meilleure gestion de l'information à se rappeler et à traiter. Comme il est possible de les consulter à loisir, les vignettes peuvent faire effet de « mémoire externe » et alléger ainsi la charge cognitive.

Cette utilisation des vignettes peut toutefois nécessiter un apprentissage. Il est effectivement difficile d'imaginer un participant qui mettrait en oeuvre immédiatement ce type de stratégie. D'autant plus que celle-ci est relativement contre intuitive ; Les vignettes contiennent uniquement les informations graphiques les plus générales. Pour les utiliser de manière efficace, les participants devraient se concentrer sur les détails durant la présentation accompagnée du commentaire. Ensuite, les vignettes peuvent être utilisées pour intégrer le contexte. Ceci est très difficile à accomplir, d'autant plus pour des novices du domaine.

2.8.4.3. Collaboration

Comme l'ont suggéré Schnotz et al. (1999), travailler à deux augmente la charge externe en ajoutant des processus de traitement de l'interaction. Parallèlement à cela, une somme d'information plus importante est potentiellement disponible à chaque participant, par le biais de son collègue. Néanmoins, la mise en commun de ces informations requiert un bon travail de groupe et donc une augmentation des discours entre les pairs, ce qui ajoute encore de la charge cognitive (pas nécessairement externe celle-là).

2.9. Notre point de vue, hypothèses

2.9.1. Animation

Une présentation animée permet de visualiser les transitions entre les étapes. Une présentation statique par contre, force l'apprenant à imaginer le mouvement des éléments. Ce traitement supplémentaire est, à notre sens, négatif ; d'autant plus chez des participants novices.

→ Nous postulons donc que les participants en condition dynamique obtiendront de meilleurs résultats que les participants en condition statique, autant pour ce qui est du rappel des éléments vus (rétention) que pour la compréhension du modèle (inférence).

→ La charge cognitive perçue devrait suivre ces prédictions également. Ainsi, les participants bénéficiant d'animations reporteront moins de charge que les autres, du fait qu'ils n'avaient pas à effectuer un traitement supplémentaire de rotation mentale sur les éléments. Encore une fois, en utilisant des arguments de charge cognitive, l'hypothèse inverse peut être formulée. Les animations présentent plus d'informations et pourraient donc être plus lourdes à traiter.

→ Le temps passé à réfléchir et à discuter ne devrait pas différer entre les modalités statique et dynamique.

2.9.2. Permanence

→ La permanence des états antérieurs déleste la charge mnésique de l'utilisateur. La présence de permanence améliore les résultats de rappel et de l'intégration du modèle, par rapport à une absence de permanence.

→ Pour les mêmes raisons, la charge cognitive devrait être moindre lorsque les vignettes sont présentes que lorsqu'elles ne le sont pas.

→ Enfin, les temps de réflexion et de discussion n'ont pas de raison d'être différents avec ou sans permanence. Rien n'empêche de parler en regardant une image. On peut même penser

que la permanence baissera ces temps chez les paires. Les vignettes permettant d'améliorer la représentation commune à moindre effort, en devenant des artefacts.

→ L'effet de la permanence est d'autant plus grand que la charge induite par le matériel est grande. Les effets de la permanence seront donc plus grands en condition dynamique qu'en condition statique.

2.9.3. Collaboration

Travailler en collaboration sur un matériel donné permet aux deux partenaires de construire leur représentation de façon plus poussée. D'une part la représentation partagée et d'autre part l'effet de verbalisation des éléments, sont bénéfiques à l'apprentissage. Dans une optique de grounding et de constructivisme, les collaborateurs utilisant une animation, en partageant leurs représentations, disposeront de plus de ressources. L'évolution de leur représentation commune sera bénéfique aux deux individus, par rapport à un apprentissage individuel. Nous pouvons donc nous attendre à des résultats encore plus importants en condition de collaboration avec animation, que sans animation.

Cependant, nous pouvons formuler une hypothèse alternative en nous basant sur l'expérience de Schnotz et al. (1999). La collaboration ajoute une charge de gestion de l'interaction. Une partie de l'attention serait donc détournée du matériel, et de l'apprentissage, pour la gestion de la représentation commune citée dans l'hypothèse de grounding. L'effet observé par Schnotz était négatif à l'apprentissage.

→ Dans le cadre de cette recherche, nous prévoyons un effet positif de la collaboration. Les participants seront meilleurs en duo qu'en solo, autant au niveau du rappel que de l'intégration du modèle.

→ L'impression de charge cognitive sera cependant certainement plus grande en condition duo qu'en solo ; sur ce point, l'hypothèse de Schnotz prend le dessus.

→ En ce qui concerne le temps de réflexion et de discussion, il sera sans conteste plus grand en condition duo qu'en condition solo. Encore une fois, la gestion de l'interaction et le maintien de la représentation commune prennent du temps.

2.9.3.1. Précisions sur les capacités individuelles

Ces variables ne seront pas utilisées en tant que telles dans notre étude, cependant, on peut s'attendre à ce qu'elles soient liées à plusieurs effets, autant qu'elles sont liées entre elles.. Les scores de rotation mentale et d'empan seront corrélés au niveau d'apprentissage.

En effet, on peut s'attendre à ce que de bonnes capacités de rotation mentale facilitent la création du mouvement en condition statique. De même, un bon empan visuo-spatial permet de stocker plus d'informations dans tous les cas mais principalement en condition dynamique. Le besoin de permanence est donc très certainement diminué. En condition duo, les meilleures capacités d'un ou des deux participants peuvent même être positives pour la construction de la représentation commune. L'un des participants ayant un peu d'avance, il peut toujours expliquer à l'autre, nous rejoignons ici Vygotsky (1978) et sa zone proximale de développement. Toutefois, rappelons-nous qu'un degré de symétrie est essentiel à un travail collaboratif (Dillenbourg, 1999). La différence entre les niveaux des apprenants doit donc rester faible.

3. Méthode

3.1. Population

160 personnes ont participé à l'expérience, tous et toutes étaient en première ou en seconde année d'étude universitaire (entre 18 et 25 ans). La moitié des participants étaient issus du campus de Lausanne (école polytechnique et université), la seconde moitié de l'université de Genève (sciences humaines et sociales). Pour éviter des participants experts, les étudiants de l'école polytechnique n'ont pas été recrutés dans des facultés telles que géosciences, physique ou génie rural.

Tous les participants avaient un niveau de novice dans le domaine des matériels présentés. Aucun n'a suivi d'études particulières dans le domaine de la géologie ou de l'astronomie et les résultats aux prétests montrent des connaissances initiales basses. 93% des participants ont donné moins de quatre réponses justes aux deux prétests (pour un score maximum de 10). La médiane était d'une réponse juste seulement, le maximum était de 6. Une analyse de variance montre que le niveau au prétest n'était pas différent entre les groupes expérimentaux (cette analyse est disponible en annexe A).

3.2. Matériel

3.2.1. Contenu pédagogique :

Le matériel pédagogique utilisé pour l'expérience se compose de 2 contenus multimédias différents. Chaque matériel est créé en deux versions. D'une part, pour la condition dynamique, il est composé d'une série de 12 animations d'une durée variant entre 5 et 27 secondes ($m=16.3s$; $e-t=6.6$), à une cadence de 12 images/seconde. Dans la condition statique, la présentation est composée d'une série de 12 images statiques. Chaque image est sélectionnée comme étant la plus informative de chaque animation (généralement la dernière image). Les matériels visuels sont accompagnés d'un commentaire audio de la même durée, synchronisé à la présentation, typiquement pour que les éléments cités apparaissent au même moment (dans la condition dynamique).

Nous avons attaché une attention particulière à créer des matériels de qualité, à un niveau ergonomique et pédagogique. Les principes, conseils et lignes de conduites présentées dans les divers modèles en introduction ont été respectés un maximum. En particulier, les principes de Mayer (2001) et les effets décrits par Sweller (2003).

Les principes de Mayer (2001) respectés sont les suivants : multimédia (mots et images), contiguïté spatiale (les éventuelles légendes sont incluses à la présentation), contiguïté

temporelle (les éléments présentés à l'oral sont visibles en même temps, ils apparaissent en même temps en condition dynamique), cohérence, modalité, redondance (si l'on considère que la permanence n'apporte pas d'éléments visuels en parallèle). Quant au principe des différences individuelles, notre expérience ne comprend que des novices, les effets des autres principes sont donc plus forts. Nos matériels verront donc de meilleurs résultats car tous les principes ont été respectés.

Pour ce qui est des lignes directrices formulées par Sweller (2003) et décrites en introduction, nos matériels les respectaient toutes à l'exception de quelques unes : utiliser des exemples travaillés n'est pas applicable à notre matériel (bien que l'on pourrait considérer notre démonstration comme un exemple travaillé). De la même manière, la résolution de problème n'a pas été utilisée. Enfin, le retour d'expertise et l'effet d'imagination ne sont pas applicables car nos participants étaient novices. Seul l'effet de redondance peut éventuellement nous poser un problème dans la condition de permanence, comme cela a été décrit dans les hypothèses du modèle.

De plus, les thèmes présentés dans nos deux matériels sont différents et ont été choisis pour des raisons précises. En effet, conformément aux types de changements intégrés dans les animations (Lowe, 2004), nous avons créé des matériels mettant en scène des changements différents. Des translations sont plus courantes dans le premier matériel, alors que le second met plus en scène des transformations. Les contenus restent toujours intrinsèquement dynamiques.

3.2.1.1. Matériel « astro »

Le premier matériel expliquait le phénomène du transit de vénus. La série d'animations a été modélisée en trois dimensions à l'aide du langage VRML (Virtual Reality Modelling Language). Les images de la présentation statique, ont été tirées des animations et éventuellement commentées à l'aide du logiciel Paint Shop Pro 7.0 (Jasc Software). Les commentaires oraux ont été enregistrés à l'aide d'un micro relié à l'ordinateur et mastérisés à l'aide logiciel Wavelab 4.0 (Steinberg). Les images des 12 étapes statiques ainsi que leur commentaire sont regroupés en annexe B. Ce matériel est essentiellement constitué d'éléments se déplaçant dans le temps, c'est-à-dire de translations. C'est la position et le déplacement relatif d'un ensemble de corps astraux qui constitue le modèle mental à intégrer.

3.2.1.2. Matériel « géo »

Le matériel géologique expliquait quant à lui phénomène de la formation des océans et des chaînes de montagnes. Les 12 étapes animées ont été développées à l'aide du logiciel Flash

MX (macromedia). Les séquences statiques étaient des images tirées des animations et commentés au besoin à l'aide du logiciel Paint Shop Pro 7.0 (Jasc Software). Les commentaires oraux ont été enregistrés à l'aide d'un micro relié à l'ordinateur et mastérisés à l'aide logiciel Wavelab 4.0 (Steinberg). Les images des 12 étapes statiques ainsi que leur commentaire sont regroupés en annexe C. Ce matériel est essentiellement composé d'éléments se déformant dans le temps, c'est-à-dire de transformations. C'est la compréhension des forces entrant dans ces déformations et l'influence d'une déformation sur l'autre qui constituent l'essentiel de l'apprentissage.

3.2.2. Dispositif expérimental

Dans un souci d'automatisation de la procédure expérimentale, tous les médias ont été intégrés dans un même dispositif à l'aide du logiciel Authorware 6.0 (macromedia). La totalité des conditions ont été développées pour être présentées dans la même application, y compris les prétests, questionnaires, et tests cognitifs. La récolte des données se faisait également automatiquement, sous forme de fichiers textes associés au numéro de code du participant.

Pour les besoins de l'expérience, quatre versions différentes du matériel ont été développées (voir procédure). La taille de l'interface à l'écran était de 1152 x 870 pixels. Les images et animations avaient une taille à l'écran de 800 x 600 pixels et étaient disposées en haut à droite de l'interface. La résolution des écrans était réglée pour maximiser la taille visible des éléments. Dans les conditions dynamiques, les participants voyaient des animations. Dans les conditions statiques, des images fixes étaient présentées. Lorsqu'une présentation était terminée, c'est-à-dire lorsque le commentaire et l'éventuelle animation étaient achevés, la dernière image restait visible. De plus, à partir de la seconde étape, la consigne suivante apparaissait à l'écran : « expliquez-vous ce qui a changé depuis l'étape précédente ». Les participants en solo étaient alors encouragés à réfléchir aux changements. De leur côté, les paires échangeaient librement sur ce qu'ils avaient perçu et compris. Les gestes et discours des paires étaient enregistrés au moyen d'une caméra vidéo. Les gestes de souris à l'écran étaient également enregistrés (pour les duos) à l'aide du logiciel de capture d'écran Camtasia (TechSmith). Lorsqu'ils se sentaient prêt à continuer, les participants cliquaient sur un bouton à l'écran et passaient ainsi à l'étape suivante.

Dans les conditions avec permanence, une série de 12 vignettes grisées de 320 x 200 pixels étaient présentes sur la gauche de l'interface. Après chaque présentation d'une étape (statique ou dynamique), une nouvelle vignette devenait colorée et présentait une image-clé de l'étape.

Nous avons appelé cette partie du dispositif, la « pondeuse d'images ». Entre les présentations, pendant la phase de « réflexion », les participants en condition de permanence avaient accès à une version plus grande des images stockées dans les vignettes. Pour ce faire, il leur suffisait de passer la souris sur une vignette et l'image apparaissait au centre de l'écran (format 640 x 480 pixels). Seules les images des étapes déjà vues (vignettes colorées) étaient accessibles, et ce uniquement entre les présentations (commentaire avec image ou animation). La figure 3 illustre l'écran présenté au participant après la 9^{ème} étape du matériel géologique, en condition avec permanence.

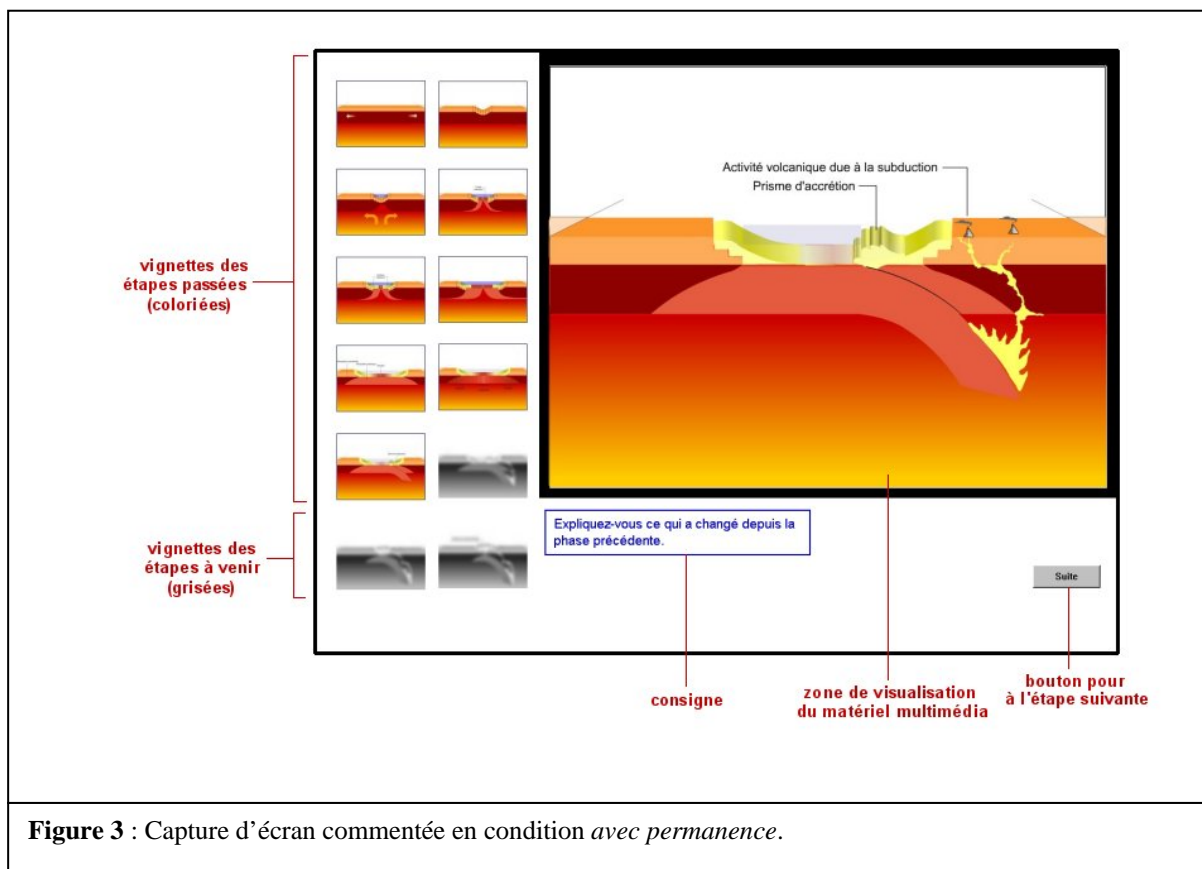
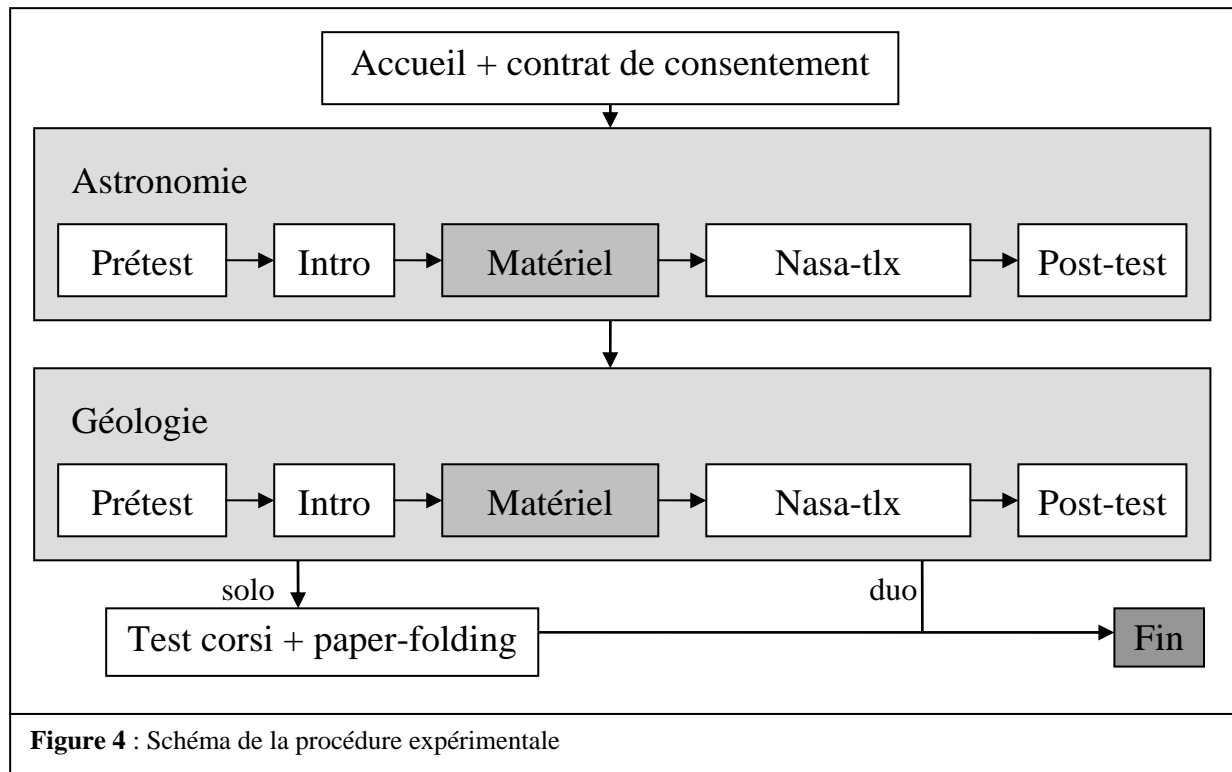


Figure 3 : Capture d'écran commentée en condition *avec permanence*.

En condition sans permanence, les vignettes étaient absentes. Les images des étapes précédentes n'étaient simplement pas accessibles.

3.3. Procédure

Notre matériel ayant été informatisé, notre procédure était strictement semblable d'un participant à l'autre. La figure 4 résume l'ensemble des étapes du logiciel. Avant d'être placés devant un ordinateur, les participants étaient accueillis et signaient un contrat de consentement (version solo en annexe D et duo en annexe E). Un expérimentateur restait dans la salle tout au long de la passation, en cas de problème ou de question.



3.3.1. Les pré-tests :

Chaque pré-test était composé de 5 questions à choix multiples. 2 de ces 5 questions se retrouvaient dans le post-test. Comme il n'était pas attendu d'expertise de la part des participants, ils étaient toujours libres de répondre « je ne sais pas ».

3.3.2. Introductions

Comme les participants sont novices, les introductions étaient destinées à donner le minimum de background théorique pour suivre le matériel proposé. Elles se composaient de 2-3 paragraphes illustrés présentant simplement quelques faits sur le système solaire (mouvement des planètes, phénomène de transit) ou sur les plaques tectoniques (différentes couches, mouvement). Les participants avaient le temps qu'ils désiraient pour lire ces informations avant de passer à la suite. Les photographies d'écran des deux introductions sont disponibles en annexe F.

En condition Duo, après la première introduction, les participants devaient situer, sur une échelle continue, le niveau de connaissance de leur partenaire (de totalement inconnu à très familier avec beaucoup de travaux en commun).

3.3.3. Les matériels

Les matériels décrits plus haut étaient présentés en concordance avec la condition expérimentale dans laquelle le participant se trouvait. De plus, en condition duo, un des participants était appelé à quitter son poste et à rejoindre l'autre pour la présentation. Les participants en duo étaient filmés durant cette phase. Notons que tous les participants commençaient toujours par suivre la partie « astro » avant de passer à la partie « géo ». L'ordre des matériels était donc fixe. L'effet du matériel ne nous intéressait pas. Ainsi, l'effet nous pouvons toujours séparer les observations en cas de problème. Les matériels sont décrits plus en détail plus haut, ainsi que dans les annexes B et C.

3.3.4. Les questionnaires de charge cognitive (nasa-tlx)

Cinq échelles parmi celles utilisées dans le nasa-tlx ont été sélectionnées. Le nasa-tlx est un test élaboré pour évaluer le niveau de charge de travail perçue par des astronautes. Nous n'avons gardé que les questions relatives à un effort cognitif (les échelles originales s'intéressaient également à l'effort physique). Les échelles conservées sont : demande mentale, demande temporelle, performance, effort et frustration. L'annexe G présente l'écran vu par les participants avec les définitions qui étaient données pour chaque échelle. Contrairement au test original, notre passation ne comprenait que la réponse aux cinq échelles au moyen du déplacement d'un curseur.

Notre simplification du nasa-tlx est due à deux choses : D'abord, une échelle était hors de propos, il s'agissait de l'évaluation de la demande physique de l'exercice (le nasa-tlx, comme son nom l'indique, a d'abord été développé pour des astronautes). Comme notre expérience n'avait rien à voir avec une réelle activité physique, nous avons retiré cette question pour éviter de la confusion et des données inutiles. Ensuite, la version originale contient une comparaison par paires de toutes les échelles, ce qui nous fait dix comparaisons avec les cinq échelles conservées. L'expérience durant déjà environ une heure, nous n'avons pas voulu fatiguer d'avantage nos participants dans des comparaisons par ailleurs peu explicatives.

3.3.5. Les post-tests :

Chaque post-test comportait 17 questions (1 question ouverte non analysée dans cette étude, et 16 questions à choix multiples). Les 16 questions à choix multiple comportent 9 questions de rétention et 7 questions d'inférence. Les réponses aux questions de rétention étaient directement présentes dans le contenu soit des images/animations, soit des commentaires. Pour répondre aux questions d'inférence (ou transfert), il fallait avoir compris le système présenté et inférer la réponse en utilisant correctement le modèle appris. 6 des questions parmi les 16 à choix multiples étaient des questions portant sur la modalité graphique (comparer, sélectionner des images). Les autres questions étaient présentées sous forme textuelle classique (Annexe H).

3.3.6. Tests supplémentaires

Les participants en condition solo, une fois les deux matériels terminés, devaient encore répondre à deux tests cognitifs. Les participants en condition duo étaient libérés et n'avaient pas à répondre à ces épreuves. Les tests en question étaient des versions informatisées des blocs de Corsi et du paper-folding. Les blocs de Corsi (Milner, 1971) mesurent l'empan visuo-spatial. Le test présentait des séries de séquences spatiales d'une complexité croissante. Le score est le nombre d'éléments maximal qu'un participant parvenait à retenir sans erreur (voire en annexe I). Le paper folding (Ekstorm et al., 1976) était composé de deux séries de 10 items présentant le pliage d'une feuille de papier et une perforation. La tâche du participant était alors de déplier mentalement le papier et d'indiquer la position des trous parmi cinq possibilités (annexe J).

3.4. Plan expérimental

Les participants étaient équitablement et aléatoirement répartis dans 8 groupes expérimentaux, selon 3 variables indépendantes, et un plan intra-sujet:

3.4.1. Variables indépendantes :

- Mode de présentation
 1. **Statique** : pour chaque partie du matériel, les participants voyaient une image.
 2. **Dynamique** : l'image était remplacée par une animation.
- Permanence de l'information
 1. **Avec** : des vignettes apparaissaient après chaque partie, elles donnaient accès à une image-clé de la partie en question.
 2. **Sans** : les vignettes et les images clés n'étaient pas disponibles.
- Mode d'apprentissage
 1. **Solo** : les participants étaient seuls pour suivre le matériel.
 2. **Duo** : les matériels étaient suivis par paires, les questionnaires étaient remplis seuls.

20 participants sont répartis dans chacune des 8 conditions expérimentales, les participants en condition «Duo » étaient regroupés en paires mais étaient évalués individuellement comme cela est visible sur le tableau de la figure 5.

	Permanence		Non-permanence	
Discret	Solo : n=20	Duo : n=20 (10 paires)	Solo : n=20	Duo : n=20 (10 paires)
Continu	Solo : n=20	Duo : n=20 (10 paires)	Solo : n=20	Duo : n=20 (10 paires)

Figure 5 : Tableau des conditions expérimentales avec effectifs.

3.4.2. Variables dépendantes

- Nombre de réponses correctes aux questionnaires de rétention.
- Nombre de réponses correctes aux questionnaires d'inférence.
- Niveau de certitude des réponses aux questionnaires.
- Scores sur cinq échelles de charge cognitive perçue (tirées du nasa-tlx).
- Score au paper-folding test.
- Score d'empan au test de Corsi.
- Temps (sec) et nombre d'utilisation des vignettes en condition de permanence.
- Temps de réflexion entre les présentations (sec).

3.5. Hypothèses opérationnelles

3.5.1. Animation

- Les scores d'inférence ainsi que les scores de rétention seront plus élevés en condition *dynamique* qu'en condition *statique*.
- La charge cognitive perçue sera plus élevée en condition *dynamique* qu'en condition *statique*. Les temps de discussion ainsi que les niveaux de certitude n'ont pas de raison d'être différents entre les conditions.

3.5.2. Permanence

- Les participants en condition *avec permanence* auront de meilleurs résultats aux questionnaires que les participants en condition *sans permanence*. Les résultats d'inférence sont tout particulièrement visés par cet effet.
- La charge cognitive perçue ne devrait pas être différente entre ces deux conditions. Les temps de discussion ainsi que les niveaux de certitude devraient être plus élevés *avec* que *sans permanence*.
- L'influence de la permanence sera d'autant plus grande si les participants sont en condition de présentation dynamique.

3.5.3. Collaboration

- La collaboration aura un effet positif sur l'apprentissage, autant en ce qui concerne la rétention que l'inférence. Toutefois, l'inférence devrait être tout particulièrement avantagée en cas de « grounding ». Les participants en *duo* auront donc de meilleurs scores que les participants en *solo*.
- En référence à Schnotz et al. (1999), nous attendons une charge cognitive perçue plus haute en condition *duo* qu'en condition *solo*.
- Les temps de discussion devraient être naturellement plus grand en condition *duo*. Les niveaux de certitude devraient également s'élever en condition *duo* face à la condition *solo*.

En ce qui concerne les capacités visuo-spatiales (score au paper folding et aux blocs de corse), nous pensons trouver une corrélation avec les résultats autant en inférence qu'en rétention. Si c'est le cas, le score pourra servir à covarier ces résultats pour expliquer une meilleure partie de la variance.

4. Résultats

Nous commencerons par décrire le traitement des données, puis les effets de l'ensemble des facteurs, à savoir l'animation, la permanence et la collaboration. Nous nous intéresserons d'abord aux variables dépendantes « principales » à savoir le score au questionnaire de rétention et le score au questionnaire d'inférence. Par la suite, nous entreprendrons de décrire plusieurs effets observés sur des variables telles que le temps de discussion et de réflexion pris par les participants, ainsi que la charge perçue et le niveau de certitude des réponses.

Ensuite, nous décrirons les résultats des variables d'animation et de permanence uniquement pour les participants en condition solo. Nous nous attacherons aux mêmes variables dépendantes. Nous nous consacrerons également aux capacités visuo-spatiales ayant été mesurées pour ces participants.

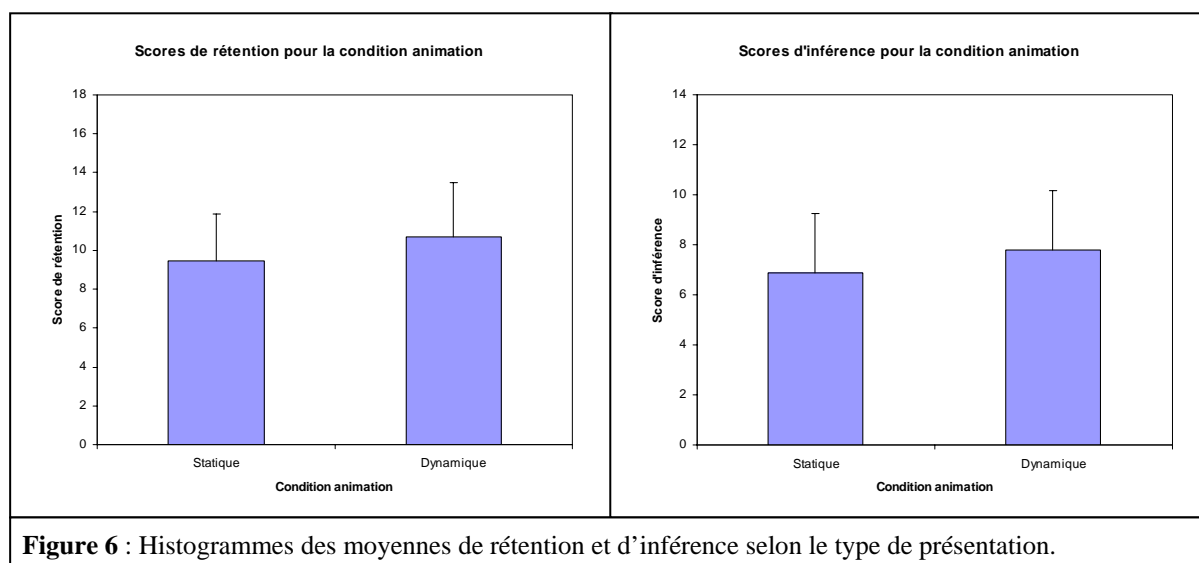
4.1. *Traitement des données*

Les données ont été automatiquement enregistrées au cours de la passation expérimentale. Plusieurs fichiers texte contenant les données ont été créés pour chaque participant. Ces fichiers ont été exportés dans Excel (Microsoft) et les données rassemblées à l'aide de macros puis organisées. Le logiciel de statistiques SPSS 12.01 (SPSS inc) a servi à effectuer les analyses statistiques à la fois exploratoires et inférentielles. La plupart des données présentées ici le sont sous la forme de variables centrées-réduites, des comparaisons sont ainsi possibles.

4.2. *Rétention et inférence*

4.2.1. Effet simple de l'animation

L'animation du matériel semble avoir une influence positive autant sur la rétention que sur l'inférence. Les participants ont des résultats significativement supérieurs lorsque la condition est dynamique plutôt que statique ($F_{(1;152)}=9.178$; $p<.01$ pour la rétention, et $F_{(1;152)}=6.246$; $p<.05$ pour l'inférence). Les scores figurent sur les tableaux en figure 6 et en annexe K.



Pour ce qui est des deux autres conditions, à savoir la permanence et la collaboration, elles n'ont aucun effet simple sur les capacités de rétention comme d'inférence (voire annexe K).

4.2.2. Interaction animation-collaboration

On observe une interaction entre la variable animation et la variable collaboration sur le score aux questions d'inférence. Les participants en condition solo n'ont pas de grandes différences de performance que la présentation soit statique ou dynamique. Par contre, les participants en duo ont des performances nettement plus grandes en condition dynamique qu'en condition statique ($F_{(1;152)}=7.644$; $p<.01$). Comme on peut le voir sur la figure 3 et en annexe K, les participants en duo sur la condition statique semblent même avoir un niveau d'inférence plus faible que les participants en solo (mais celle-ci n'est pas significative).

L'effet simple de la variable animation sur le score d'inférence est très certainement dû à cette interaction, les duos étant les seuls à vraiment bénéficier de la présentation dynamique.

Des anova subséquentes (annexe L), montrent que la différence entre les conditions statiques et dynamiques est significative pour les duos seulement ($F_{(1;76)}=15.1 ; p>.01$) et pas pour les solos ($F_{(1;76)}=3.4 ; p>.05$). De même, en condition dynamique, les duos obtiennent des résultats significativement meilleurs que les solos ($F_{(1;80)}=7.1 ; p<.01$). En condition statique, la différence n'est pas significative. Ces résultats concernent le questionnaire d'inférence uniquement.

Prises indépendamment, les différences de rétention sont significatives sur la variable animation, autant pour les solos ($F_{(1;76)}=3.96 ; p<.05$) que pour les duos ($F_{(1;76)}=5.28 ; p<.05$). Cependant, l'interaction n'est pas significative, comme on peut le voir dans la figure 7 et l'annexe K ($F_{(1;152)}=.034 ; p>.05$).

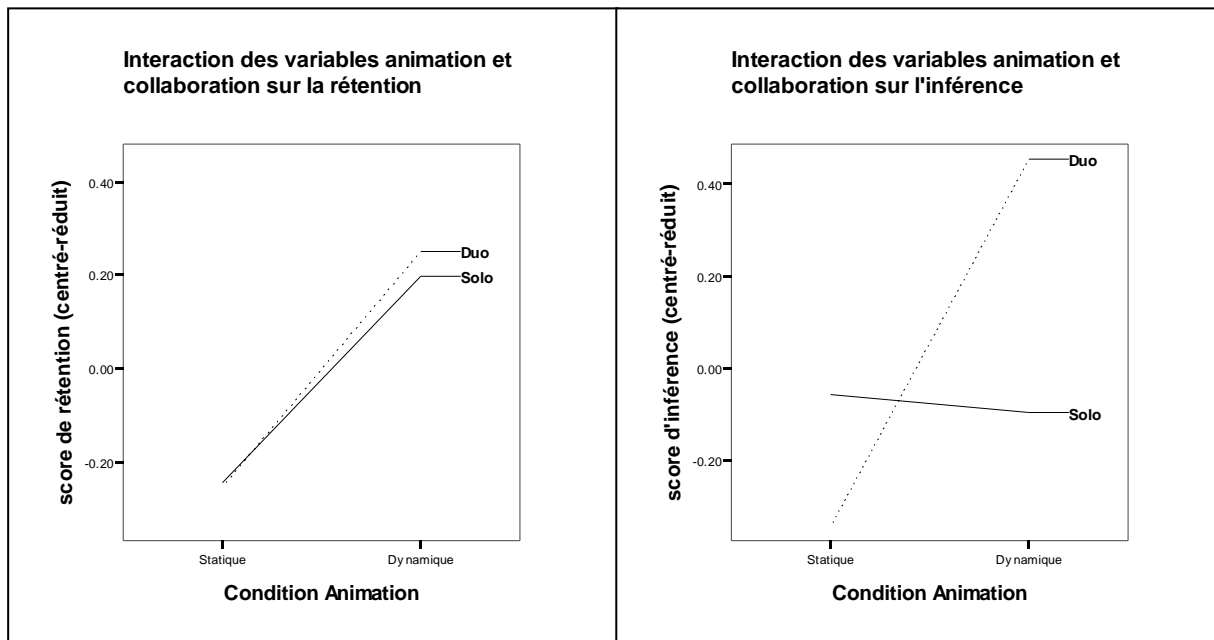


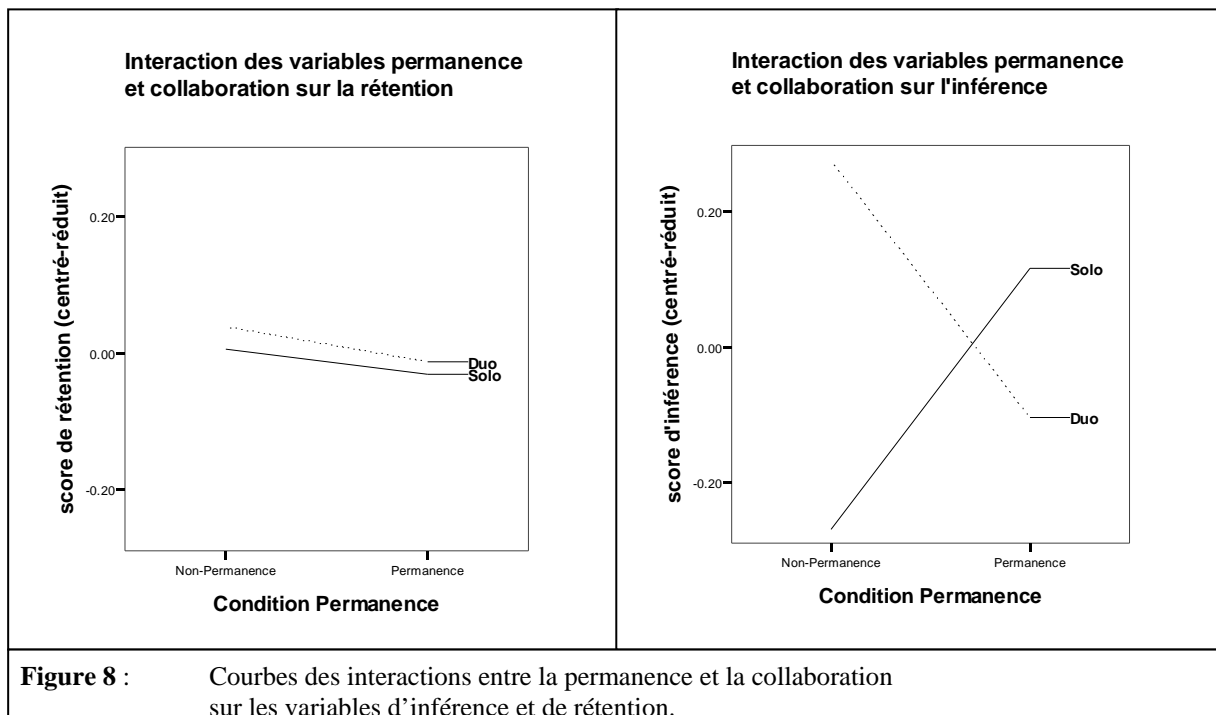
Figure 7 : Courbes des interactions entre l'animation et la collaboration sur les variables d'inférence et de rétention.

4.2.3. Interaction Permanence-collaboration

L'effet conjoint des variables de permanence et de collaboration ont également un effet significatif sur le score d'inférence ($F_{(1;152)}=6.630$; $p<.05$). Les participants travaillant seuls ont de meilleurs résultats en condition de permanence. Par contre, l'effet est inversé pour les participants en duo ; ils font de moins bonnes inférences en condition permanence qu'en condition non-permanence (voire figure 8 et annexe K).

Une anova a été effectuée en prenant compte uniquement des participants sans permanence (annexe M). On remarque alors que les groupes en duo ont des performances d'inférence significativement supérieures que les solos ($F_{(1;74)}=5.96$; $p<.05$).

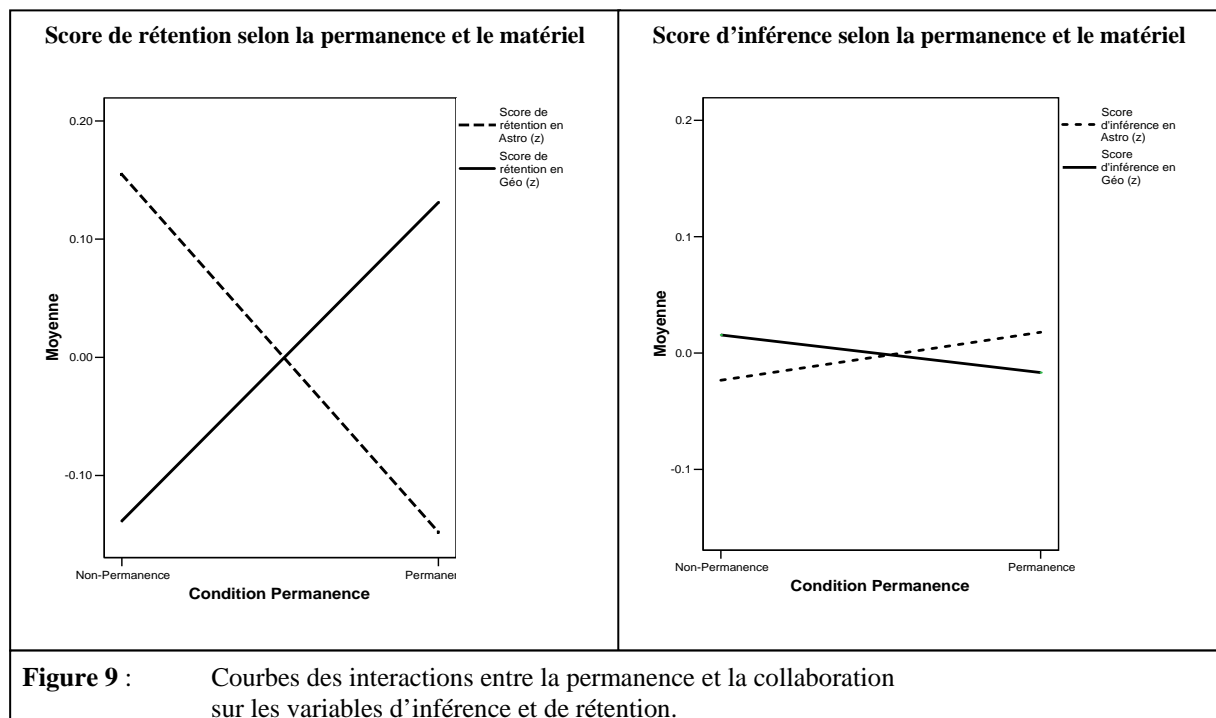
En ce qui concerne la rétention, l'interaction ainsi que les différences pour les sous-groupes ne sont jamais significatifs.



4.2.4. Différences entre les matériels

Après avoir centré et réduit les scores d'inférences et de rétention, une anova ne montre pas de différences majeure entre nos deux matériels (annexe K). Il y a toutefois une interaction entre le matériel et la permanence pour ce qui est de la rétention ($F_{(1 ; 152)}=9.776 ; p<.01$). Comme on peut le voir sur la figure 9, l'effet de la permanence est inversé entre les deux matériels. Lors de la présentation Astro, la permanence de l'information donne des résultats de rétention moins bons que la non-permanence. Alors que pour le matériel Géo, c'est la permanence qui fournit les meilleurs résultats de rétention. Ce résultat peut certainement être lié aux observations faites sur les temps de discussion détaillés plus bas.

La même interaction n'est pas significative sur le score d'inférence ($F_{(1 ; 152)}=.123 ; p>.05$) et les différences sont minimales. Toutefois, l'effet semble inversé.



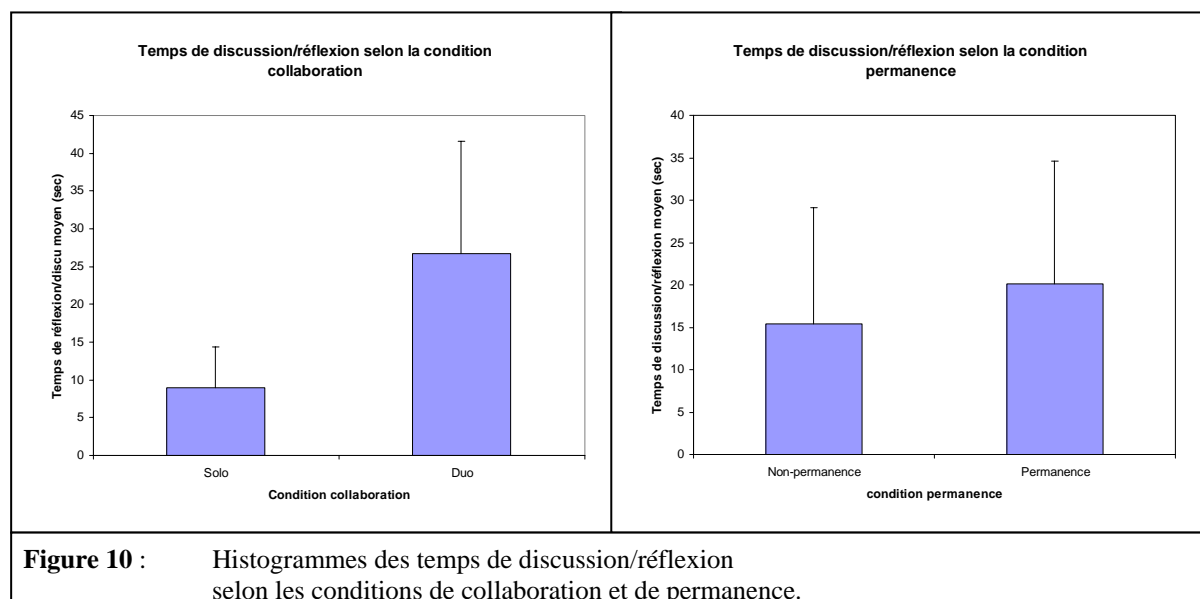
4.3. Temps de réflexion et de discussion

On entend par temps de réflexion et de discussion, le temps passé par les sujets entre chaque séquence du matériel. Pour les participants en condition solo, il s'agit d'un temps de réflexion et de récapitulation (la consigne est « expliquez-vous ce qui a changé depuis l'étape précédente »). Dans la condition duo, la consigne est la même mais il s'agit avant tout d'un temps de discussion entre les pairs. La consultation des vignettes (en condition permanence) se fait durant ce temps. La durée des animations (par ailleurs constante d'un groupe à l'autre) n'est donc pas comptée, il s'agit uniquement du temps (libre) entre les animations.

4.3.1. Effets simples

Comme on peut le voir dans la figure 10, le temps de réflexion/discussion est plus important en condition duo qu'en condition solo ($F_{(1;152)}=98.637$; $p<.01$), les détails de l'anova figurent en annexe K.

Le temps est également plus important en condition de permanence de l'information qu'en non-permanence ($F_{(1;152)}=5.084$; $p<.05$). La condition d'animation n'a aucun effet sur les temps.

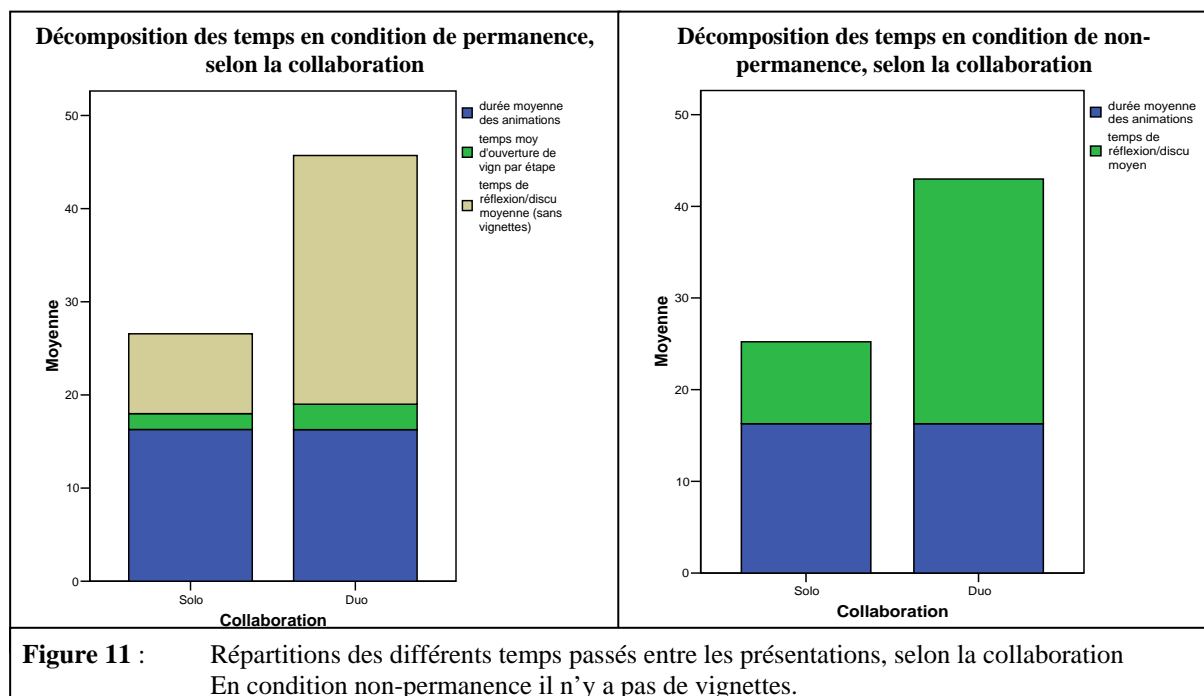


En regardant ces résultats d'un peu plus près, nous pouvons aller plus loin dans leur compréhension. Nous commencerons par les différences en condition de collaboration. Ce que nous avons appelé le temps de réflexion correspond en fait au temps d'ouverture de vignettes (lorsqu'il y en a) plus le temps de réflexion proprement dit. En condition duo, ce temps de réflexion est aussi un temps de discussion. Les histogrammes présentés dans les figures 11 et 12, montrent la composition de ces différences.

4.3.2. Collaboration et permanence

En condition de permanence, on voit très clairement que les temps d'ouverture de vignettes sont très minces dans ce qui compose le temps total de réflexion/discussion. Ce temps est d'ailleurs relativement identique entre les conditions solo et duo. Par contre, autant en condition de permanence qu'en non-permanence, le temps de réflexion/discussion « pur » (sans les vignettes) est nettement plus élevé en condition duo qu'en condition solo. Ces temps sont par ailleurs relativement égaux entre les deux modalités de la permanence.

Une anova (annexe N) montre que la différence de temps de réflexion/discussion entre condition solo et condition duo est significative autant sur la mesure du temps total ($F_{(1;142)}=88.51 ; p<.01$) que sur le temps en soustrayant le temps d'ouverture des vignettes ($F_{(1;142)}=97.64 ; p<.01$). Par contre, cette différence n'est pas significative sur le temps d'ouverture des vignettes seul ($F_{(1;142)}=1.59 ; p>.05$), on peut dire que cette différence se situe vraiment dans la discussion hors des vignettes, comme cela est lisible sur les histogrammes en figure 11.



4.3.3. Animation et permanence

En ce qui concerne l'influence de la variable animation sur les temps de réflexion ; On peut remarquer dans les histogrammes en figure 12 que le temps de réflexion réel n'est pas très différent entre les conditions statiques et dynamique. En permanence comme en non-permanence, les participants semblent parler durant un temps relativement identique. Les différences de temps de l'animation sont dues au raccourcissement de la durée des commentaires en condition statique. Les blancs ont en effet été retirés. Toutefois, ces temps ne sont ici qu'à titre de comparaison et n'entrent pas dans le calcul du temps de réflexion.

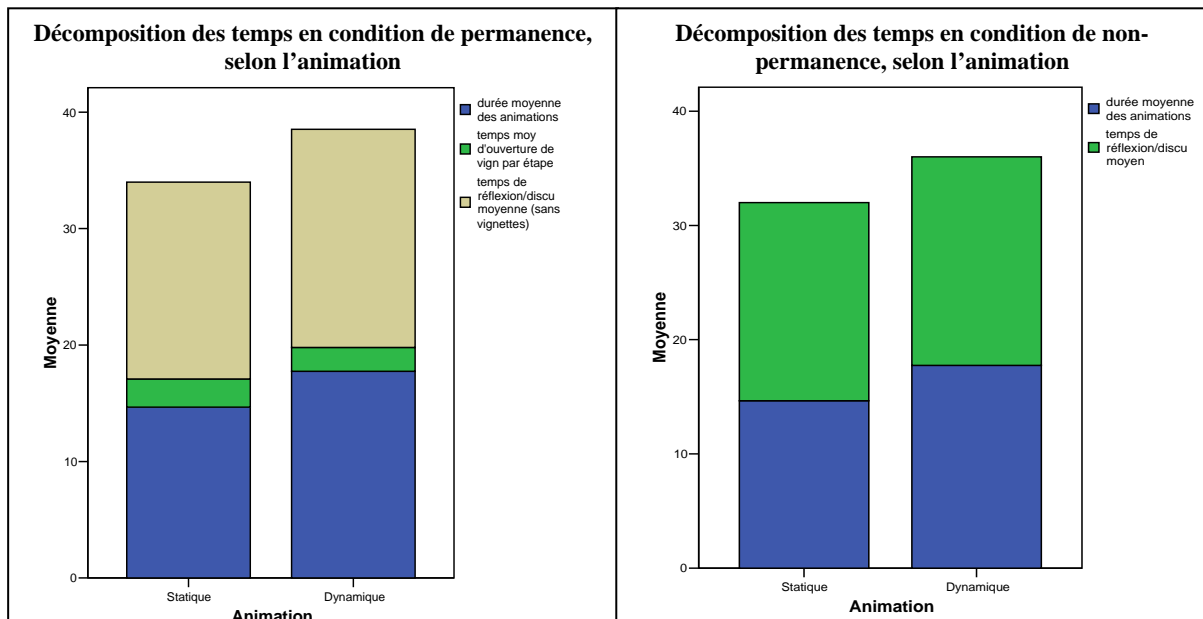


Figure 12 : Répartitions des différents temps passés entre les présentations, selon l'animation.

La différence avérée de temps entre permanence et non-permanence semble due au temps d'ouverture de vignettes, un temps (relativement faible) qui s'ajoute au temps de discussion. Une Anova (annexe N) confirme cet état de fait : pour la condition permanence, le temps de réflexion/discussion (temps d'ouverture de vignettes compris) est significativement différent ($F_{(1;142)}=5.25 ; p<.05$). Le temps passé en condition permanence étant plus long. Par contre, en soustrayant le temps d'ouverture des vignettes du temps de réflexion/discussion, on ne trouve plus de différence de temps ($F_{(1;142)}=1.45 ; p>.05$). La différence de temps passé à s'expliquer les étapes précédentes est donc bien plus grande en condition permanence qu'en condition non-permanence, toutefois cette différence est due au temps d'ouverture des vignettes. La condition permanence prend plus de temps tout simplement car on consulte les vignettes. Cependant, il est bien clair que pendant qu'une vignette est ouverte, il est toujours possible de réfléchir et de discuter. On peut donc dire qu'en condition permanence, les participants

discutent et réfléchissent plus longtemps mais que cela est induit par les vignettes elles-mêmes.

4.3.4. Matériel et temps de réflexion

Des différences dues au matériel sont vérifiées sur la variable du temps de discussion. Les interactions entre le matériel et la variable animation, ainsi que la variable collaboration, montrent des résultats significatifs (annexe K).

Tout d'abord, l'animation a un effet inverse sur les deux matériels pour ce qui est du temps de réflexion ($F_{(1;152)}=9.047$; $p<.01$). Les participants en condition dynamique passent significativement plus de temps à réfléchir dans le matériel Géo que dans le matériel Astro. Par contre, les participants en condition statique passent quant à eux plus de temps à discuter en condition Astro qu'en condition Géo. La plus grande différence se trouve dans la condition Géo (voire figure 13).

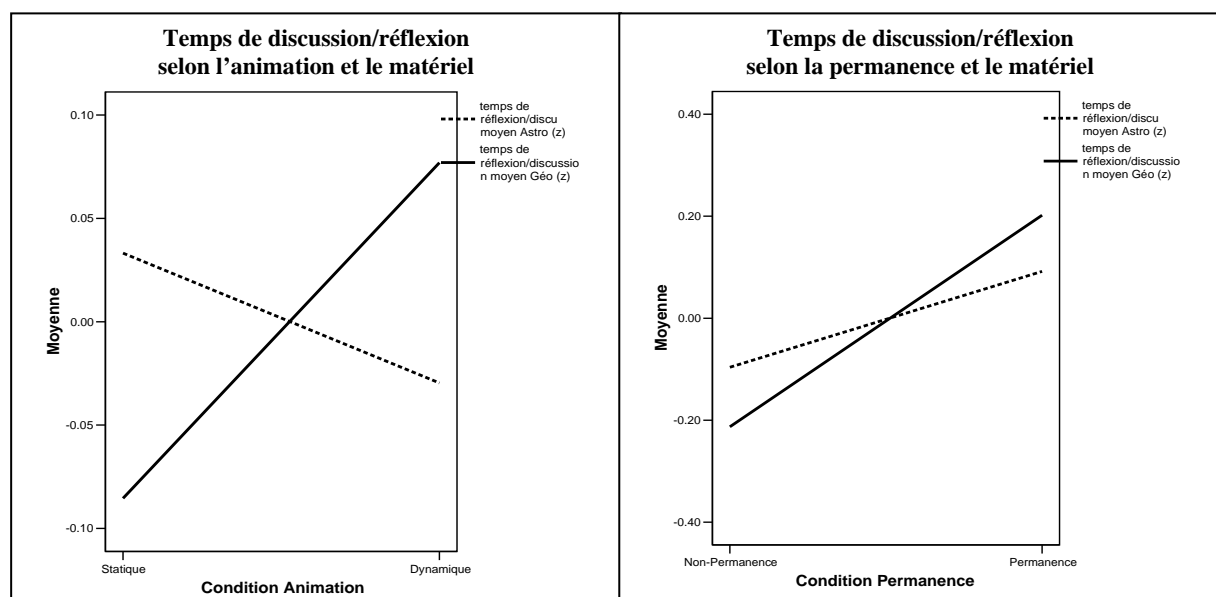
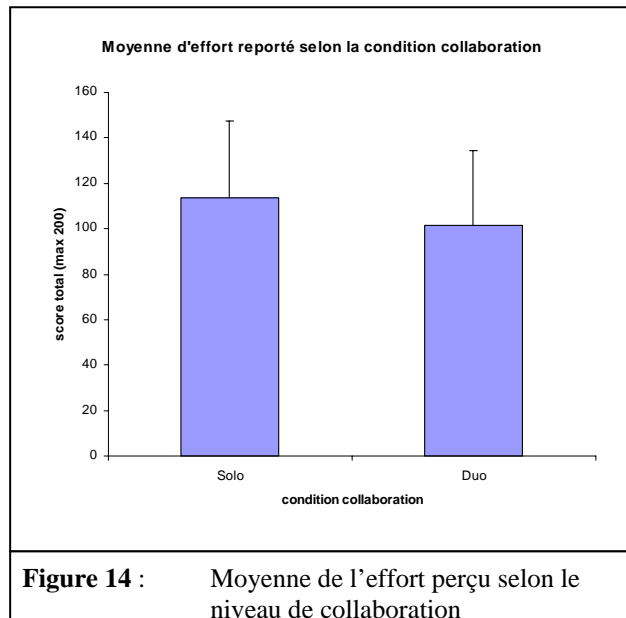


Figure 13 : Courbes des interactions entre le matériel et l'animation ainsi que la permanence sur les temps de discussion et de réflexion

En ce qui concerne l'interaction entre le matériel et la condition de permanence, les participants en condition de permanence passent toujours plus de temps que les autres, comme nous avons pu le voir auparavant. Au niveau de l'interaction ($F_{(1;152)}= 8.811$; $p<.01$), on voit que cet effet est polarisé sur le matériel géologique. Lorsqu'ils sont en condition de non-permanence, les participants passent encore moins de temps à réfléchir/discuter sur le matériel géologique que sur le matériel astrologique. Par contre, en condition de permanence, ils passent encore plus de temps sur le second matériel que sur le premier. Ces différences de

temps pourraient aider à expliquer les différences de performance de rétention observées pour cette même interaction.

4.4. Charge perçue



Les indices dérivés du Nasa-tlx ne montrent pas de grandes différences de charge perçue par les participants entre les différentes conditions. Le seul résultat significatif est la variable Collaboration qui a un effet sur l'effort perçu ($F_{(1;152)}=5.126; p<.05$). Les participants reportent moins d'effort lorsqu'ils travaillent à deux que lorsqu'ils sont en solo (voire la figure 14 et l'annexe O).

Les scores de demande mentale, de demande temporelle, de performance perçue et de frustration ; s'ils vont toujours dans le sens de nos hypothèses, ne sont jamais significatifs.

4.5. Niveau de certitude

Le niveau de certitude déclaré n'est jamais significativement différent entre nos différentes conditions, les détails de l'analyse de variance effectuée figurent en annexe P.

4.6. Les participants en condition SOLO

Nous allons maintenant nous fixer sur les participants en condition solo et présenter à nouveau une série de tests statistiques. Une anova simple ne donnant aucun résultat (annexe Q), nous commencerons par montrer l'importance des capacités visuo-spatiales. Celles-ci n'ayant été mesurées uniquement sur les participants de cette condition. Nous reviendrons alors à une analyse de variance des variables principales en covariant les capacités de rotation mentale (annexe R).

4.6.1. Les capacités visuo-spatiales

Le score au paper folding test (PF) est corrélé positivement aux résultats de rétention ($r=.67; p<.01$) comme d'inférence ($r=.68; p<.01$) (voir en annexe S). Nous pensons judicieux de regrouper les participants en deux groupes selon leur niveau de rotation mentale.

Nous commençons par vérifier la bonne distribution des participants forts et faibles au PF dans les modalités des conditions animation et permanence (seuls les participants travaillant en solo ont passé le test). Puis, nous effectuons une Anova en considérant le niveau au paper-folding (faible-fort) comme une variable indépendante. Cette anova (Annexe T) nous révèle un effet de cette nouvelle variable à la fois sur le score de rétention ($F_{(1 ; 72)}=36.13 ; p<.01$) et sur celui d'inférence ($F_{(1 ; 72)}=37.02 ; p<.01$). Les participants bénéficiant d'un haut niveau de capacités visuo-spatiales ont de meilleurs résultats autant en rétention qu'en inférence (voir la figure 15).

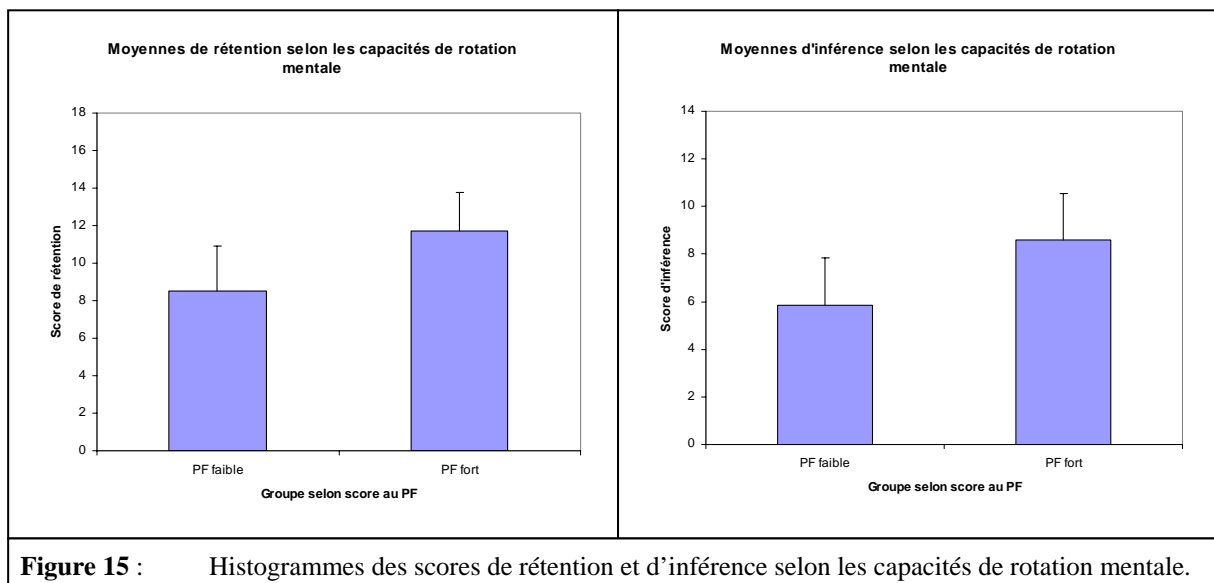


Figure 15 : Histogrammes des scores de rétention et d'inférence selon les capacités de rotation mentale.

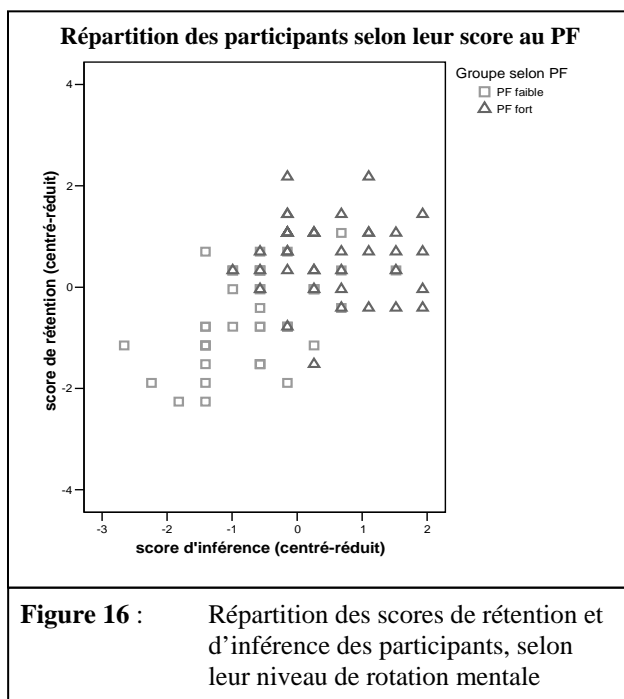


Figure 16 : Répartition des scores de rétention et d'inférence des participants, selon leur niveau de rotation mentale

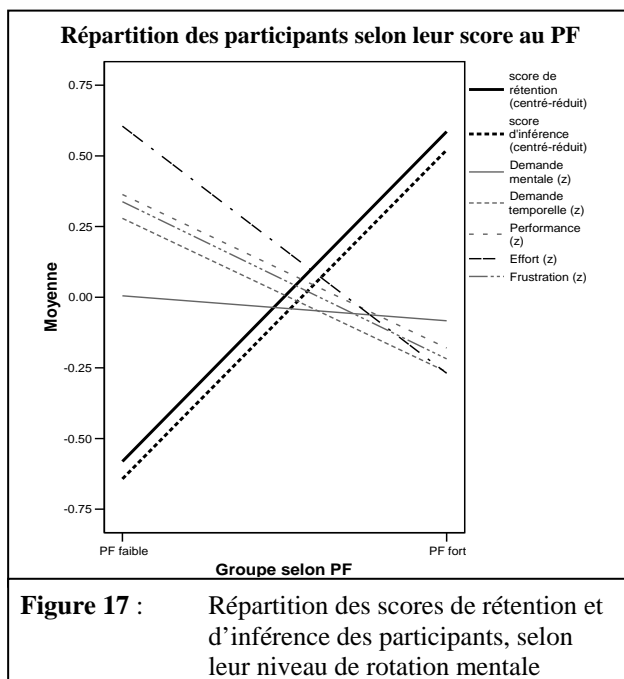
Comme on peut le voir sur cette dernière distribution, (figure 16) il y a une différence nette de performance entre les participants selon le niveau au PF. La différence est visible aussi bien pour le score d'inférence que pour celui de rétention (et les deux résultats sont corrélés).

Pour ce qui est de l'empan visuo-spatial, son niveau est corrélé au PF ($r=.25 ; p<.05$) et aux mêmes indices que celui-ci mais de manière moins prononcée (rétention ($r=.23 ; p<.05$), inférence ($r=.25 ; p<.05$) et effort perçu ($r=.28 ; p<.05$), toutes les

corrélations sont disponibles en annexe S. La distribution plus modeste des valeurs de cet indice et son mode très important (40% des sujets sont sur la médiane) limite l'utilisation de ce score pour discriminer les participants. C'est la raison pour laquelle nous utilisons plus facilement le score au PF.

4.6.2. Capacités visuo-spatiales et charge perçue

Le résultat au PF est également corrélé à la performance perçue ($r=-.27$; $p<.05$) et à l'effort ($r=-.502$; $p<.01$). Un haut score au test de rotation mentale est lié à l'impression de fournir une meilleure performance tout en fournissant moins d'effort. Le niveau d'empan visuo-spatial est également corrélé à l'effort perçu ($r=.28$; $p<.05$) (voir Annexe S pour le tableau de corrélations). Les participants disposant d'un meilleur empan ont l'impression de fournir moins d'effort pour réaliser l'exercice. Une anova (annexe T) en séparant les participants en deux groupes selon leur score au paper-folding, confirme le lien entre cette variable et charge cognitive perçue.



L'effet de la variable PF est significatif sur les scores de demande temporelle ($F_{(1;72)}=6.32$; $p < .05$), d'effort ($F_{(1;72)}=17.64$; $p < .01$), de frustration ($F_{(1;72)}=7.78$; $p < .01$) et de performance ($F_{(1;72)}=5.89$; $p < .05$). A chaque fois, les participants montrant les meilleurs niveaux de rotation mentale sont plus à l'aise : les résultats sont supérieurs et les impressions aux questionnaire de charge cognitive vont dans le sens d'une difficulté perçue plus faible, comme on le voit très bien sur la figure 17.

4.6.3. Animation et permanence en condition solo

Comme nous l'avons signalé, une analyse de la variance que variables animation et permanence ont sur les score de rétention et d'inférence, chez les participants en solo, ne donne aucun résultat significatif (annexe Q). Par contre, étant donné que le score au paper-folding semble être un bon prédicteur de succès, nous avons décidé de covarier ce niveau. L'ancova ainsi obtenue révèle quelques maigres résultats (annexe R).

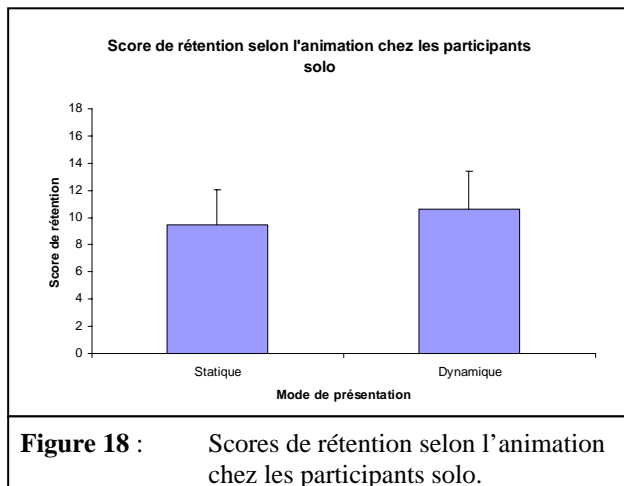


Figure 18 : Scores de rétention selon l'animation chez les participants solo.

Tout d'abord, la variable animation a un effet simple sur le score de rétention ($F_{(1;79)}=4.091 ; p<.05$). Les participants visionnant des animations de souviennent mieux des éléments en jeu que les participants ayant vu des images (figure 18). Ce résultat ne fait que confirmer celui déjà présenté plus haut en considérant également les paires (point 1.1).

Ensuite, un second résultat, non significatif mais très tendancieux peut être intéressant (figure 19). Les performances d'inférence semblent être supérieures en condition de permanence qu'en condition de non-permanence. Ce résultat est marginalement significatif ($F_{(1;79)}=3.91 ; p=.052$). Il était déjà visible dans l'interaction permanence-collaboration présenté plus haut.

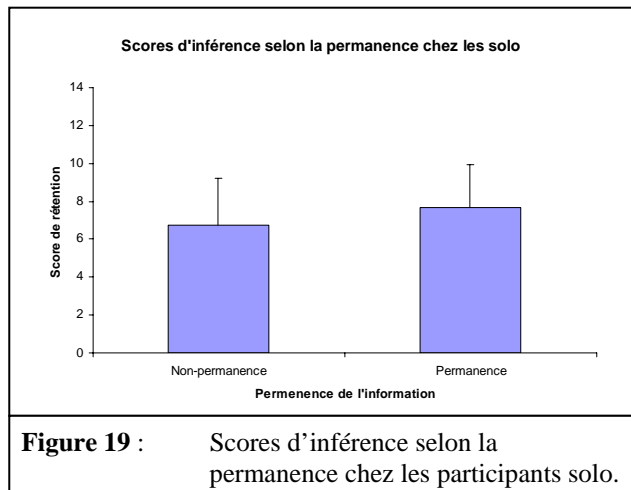


Figure 19 : Scores d'inférence selon la permanence chez les participants solo.

5. Discussion

5.1. *Discussion des résultats*

Nous allons maintenant reprendre nos observations empiriques en les confrontant aux divers modèles. A chaque fois, nous intégrerons des apports des divers modèles pour parvenir à une interprétation exhaustive.

5.1.1. Animation

Nous avons pu constater un effet simple de la condition animation. En effet, les participants sont toujours meilleurs en condition dynamique qu'en condition statique, qu'il s'agisse des scores de rétention ou des scores d'inférence. Toutefois, les bénéfices en inférence ne concernent que les paires. En effet, chez les solos, l'animation n'a pas d'influence significative sur les résultats d'inférence.

Ces résultats sont en grande partie conformes aux modèles de Mayer (2001), de Schnotz & Bannert (2003) et de Narayanan & Hegarty (2002) tels que nous les avons exposés. Le modèle de Sweller et al. (1998) s'en tire également car il permet de proposer des hypothèses antagonistes. D'une manière générale, on peut dire que l'animation a une influence positive. Le plus grand nombre d'éléments qu'elle présente ainsi que la désambiguïsation des mouvements est bel et bien positive pour la rétention.

Le modèle de Narayanan & Hegarty (2002) prédisait un avantage du dynamisme dans toutes les conditions, en raison de la contiguïté temporelle et des rapports de cause à effet plus évidents. Par contre, il prévoyait également un grand avantage pour la formation du modèle mental dynamique. En ce sens, l'absence de résultats au questionnaire d'inférence remet cette partie du modèle en question.

En regard de nos propres hypothèses, les animations amènent bien un avantage pour l'apprentissage. L'apport est clair au niveau de la rétention d'éléments. En ce qui concerne l'inférence par contre, l'effet de l'animation n'est visible que chez les participants en condition duo. Ne pas avoir à recréer le mouvement en même temps qu'un commentaire est donc positif et très clairement pour la rétention. Les très forts résultats de corrélation du paper-folding ajoutent encore à cet argument de nécessaire recréation du mouvement.

Par contre, contrairement à ce que nous pensions, la charge cognitive perçue n'est pas différente selon les facteurs de la condition animation. Aucune des cinq échelles ne sort du lot. Il est possible que cela soit dû à une balance entre, d'une part la charge supplémentaire de la récréation du mouvement en condition statique, et d'autre part la charge supplémentaire conceptuelle liée à la fugacité des animations en condition dynamique. Chaque condition ayant sa difficulté, les charges ne sont pas nettement différentes. Si c'est le cas, on peut remettre en doute la qualité de nos échelles (tirées du nasa-tlx) qui devraient pouvoir différencier plus finement ces effets. Enfin, comme prévu, le temps de réflexion/discussion n'est pas différent entre les conditions statiques et dynamiques.

Nous allons à présent reprendre chacune des variables dépendantes et observer ses effets selon la variable animation. Nous utiliserons les apports théoriques de plusieurs modèles pour commenter les effets observés.

5.1.1.1. Rétention

La contiguïté temporelle de l'animation aide. Les informations provenant du commentaire sont directement intégrées à la représentation qui se forme et des liens inter-modalités peuvent se créer beaucoup plus facilement. De plus, les informations supplémentaires contenues dans les animations peuvent être prises en compte.

En même temps, pourquoi l'animation aiderait la rétention ? Les questions portaient sur des contenus en majorité présents également dans le commentaire. Un modèle mental vraiment abouti n'était pas nécessaire pour y répondre. Si on se base sur le modèle de Schnotz & Bannert (2003), des représentations internalisées pouvaient suffire, pas plus. On peut donc faire l'hypothèse suivante : les participants avaient pour consigne de comprendre le matériel. Ils ont donc travaillé pour créer un modèle mental de la situation. Pour ce faire, en condition statique, ils ont dû utiliser leurs capacités d'animation mentale pour reconstruire l'information manquante, et se représenter les changements décrits par le commentaire durant la présentation. Ces ressources (principalement attentionnelles) étaient réservées pour des tâches de simulation et d'imagerie mentale. L'attention sur les termes utilisés et le déroulement précis des événements présentés était plus relâchée, les scores de rétention en pâtissant donc. Il n'était effectivement pas rare, en condition de collaboration, d'entendre les apprenants s'interloquer : « qu'est ce qu'il a dit ? » en fin de présentation. En condition animation par contre, les ressources d'attention n'étaient plus recrutées par les tâches d'animation mentale et étaient donc plus disponibles pour traiter d'autres types d'information favorisées ensuite au test de rétention.

Nous voici donc en présence d'une hypothèse complètement à l'opposé des constatations habituelles dans les cas de non bénéfice des animations. Toutefois, on peut comprendre les choses de la façon suivante : d'après la différenciation entre charge mnésique (capacités de stockage) et charge conceptuelle (capacités d'intégration des informations), et charge perceptive (capacités à récolter plusieurs informations à la fois) ; l'effet négatif de l'animation parfois observé se fait indistinctement sur les trois aspects. Or, on peut bel et bien distinguer le fait que l'information arrive en trop grande quantité (informations spatiales des images, informations temporelles de l'animation pour la modalité visuelle, plus le commentaire pour la modalité auditive), augmentant la charge perceptive surtout, mais également la charge mnésique. D'un autre côté, la charge conceptuelle (mais également la charge mnésique) est augmentée du fait de l'accumulation des informations au cours du temps, d'une part provenant du commentaire et d'autre part de l'animation (qui, tous deux, ne peuvent être répétés). La charge mnésique supplémentaire en condition d'animation se retrouve également en charge conceptuelle, toute information supplémentaire a son poids.

Toutefois, comme nous l'avons vu, la conception de notre matériel expérimental respectait au maximum les consignes de Mayer (2001), de Narayanan & Hegarty (2002) ainsi que de Sweller et al. (1998). C'est pourquoi, nous pouvons espérer que ces différentes charges fussent baissées un maximum, en particulier pour la condition animation : les pauses entre chaque partie, la contiguïté temporelle des informations du commentaire, les modalités perceptives utilisées, etc. La charge mnésique des conditions animations était déjà considérablement baissée et on peut penser que les participants n'avaient pas vraiment de difficulté à intégrer la globalité des informations. Rappelons que, malgré leur bas niveau de connaissance initiale, les participants étaient tous de niveau universitaire. On peut donc s'attendre en plus à des capacités de traitement de l'information tout à fait honnêtes. Dans cette optique, il se pourrait que la principale difficulté des participants ait été de visualiser les changements décrits par le commentaire à partir des images statiques. Dans ce cas, les participants ayant les meilleures ressources de rotation mentale auraient également les meilleurs résultats en condition statique (ou plutôt, encore plus). Et c'est bien ce que semblent montrer les analyses basées sur les scores de Paper-folding.

Le fait d'être obligé de produire une rotation mentale peut même être positif selon le modèle de Narayanan & Hegarty (2002). La création du modèle dynamique peut être facilitée par cette recreation, qui pourrait être vue comme une réappropriation. Le mouvement, une fois recréé peut être plus facile à intégrer. Mais nos résultats ne vont pas dans ce sens.

5.1.1.2. Inférence

L'élaboration d'un modèle mental dynamique, ou d'une bonne complémentarité entre le modèle mental et la représentation propositionnelle (suivant le modèle que l'on suit), prend plus de temps. Les processus requis sont plus profonds et notre questionnaire d'inférence était là pour les évaluer. Il en ressort que l'animation ne produit pas d'effet sur les scores d'inférence. Ces résultats reflètent le niveau d'élaboration du modèle mental (Narayanan & Hegarty, 2002; Schnotz & Bannert, 2003). L'animation ne semble avoir aucune influence sur la formation du modèle mental. On peut donc penser que le traitement élaboré de l'information n'est pas différent que l'on suive une animation ou un graphique statique. Le modèle mental formé reste le même. Cela peut être dû, comme le dirait Sweller, à une augmentation de la charge cognitive en condition dynamique. Cette augmentation empêchant alors le traitement et l'organisation de certains éléments. Cette explication est souvent avancée lors d'un manque de résultats de la condition dynamique.

Néanmoins, encore une fois, la situation peut être totalement l'inverse. Nous pouvons blâmer notre zèle pour le respect des conseils et lignes de conduite des différents auteurs du domaine. Notre présentation est relativement « state-of-the-art » et présente peu de possibilités de surcharge cognitive. Si c'est le cas, nos résultats sont intéressants pour aller plus loin mais ne s'appliquent qu'à une présentation de ce niveau. Il est bien possible qu'avec des animations de qualité différente, on obtiendrait d'autres effets. Néanmoins nous pouvons nous targuer d'avoir une présentation réaliste de ce que pourrait vraiment être une animation destinée à l'apprentissage.

Il est vrai que notre présentation était plutôt du type « explicative ». Par rapport à certains matériels expérimentaux utilisés, notre matériel était moins complexe (bien que le domaine n'était en rien complexe). Nous avons pris soin de découper les phénomènes en un grand nombre d'étapes. Le temps laissé entre chaque partie pour intégrer les éléments a certainement permis d'obtenir un bon niveau d'apprentissage, même en condition statique. L'animation n'a pas un grand effet sur la formation du modèle mental. Cette étude pêche d'ailleurs par le manque d'un groupe contrôle qui aurait lu les introductions et répondu aux questionnaires sans voir aucun des matériels.

En partant de cette idée, les résultats en inférence sont peu explicites sur les effets simples de nos variables. Les résultats supérieurs en condition animation sont expliqués par les résultats des participants en duo, comme on peut le voir dans l'interaction animation/collaboration.

Pour les deux autres variables par contre (permanence et collaboration), la différence est loin d'être nette. L'effet va dans le sens de nos hypothèses mais il est vraiment très faible et non significatif. Les résultats intéressants pour ces variables proviennent donc des interactions. Tout d'abord les résultats bien plus grands pour les duos en condition dynamique par rapport aux solos sont très intéressants. Deux types d'informations peuvent entrer en ligne de compte : d'une part l'apport des micro-étapes, et d'autre part l'apport, dérivé du premier, de désambiguïsation des phénomènes dynamiques. En effet, comme nous l'avons signalé précédemment, un participant regardant des images statiques doit, pour comprendre le phénomène, se réinventer et recréer le mouvement mentalement. En condition duo, cela peut induire des ambivalences et à des représentations différentes. Des représentations peu claires peuvent mener à des discussions sur ce qui devait être compris et « vu » plutôt que sur la compréhension du phénomène et l'élaboration du modèle mental. En solo par contre, ces ambiguïtés ne sont pas forcément décelées ; le participant se forge une représentation et passe à la suite. A l'opposé, la condition dynamique rend les transformations entre les étapes tout à fait claires pour les deux participants ; ceux-ci peuvent donc se concentrer sur la création de liens entre les étapes et sur la création d'un modèle mental. Pour cette raison, les participants en condition duo sont plus faibles en condition statique qu'en condition dynamique.

Une analyse qualitative des dialogues, pourrait nous permettre de vérifier cette hypothèse. Si celle-ci est vraie, les paires en condition statique devraient plus focaliser leur discours sur une entente mutuelle de « ce qui se passe en fait dynamiquement ». A l'inverse, en condition dynamique, les discours devraient moins porter sur ce qui devait être perçu mais bien sur des liens sémantiques et conceptuels entre les différents éléments vus et possiblement à venir.

Les participants en duo tirent significativement plus de bénéfice de l'animation que les solos. Les informations supplémentaires apportées par la présentation dynamique sont donc plus mises à profit lorsqu'on est deux à les regarder et qu'on en parle que lorsqu'on est seul. Une idée qu'on pourrait qualifier de socioconstructiviste soutient facilement que le fait d'avoir vu le matériel à deux permet, d'une part d'avoir au total accès à plus d'information (chaque participant a retenu des choses différentes et cela débouche pour chacun d'entre-eux à une vue plus complète que celle qu'il aurait eue seul) ; d'autre part la construction du modèle mental en duo, basée sur la discussion et la confrontation des points de vue, peut porter ses fruits.

Ces avantages de l'apprentissage collaboratif ne semblent toutefois pas être essentiels par rapports à nos résultats. En effet, les paires ont des résultats supérieurs uniquement en condition dynamique et pas en condition statique. Si le simple fait de collaborer avait une influence, celle-ci se verrait dans les deux conditions.

Le manque de traitement cognitif lors de présentations animées, mis en avant par Lowe (2004), sous le nom de « underwhelming effect », pourrait être en fait limité. L'obligation de confronter son point de vue deviendrait ainsi un moyen d'obliger l'utilisateur à traiter plus profondément l'information qu'il pense avoir compris.

Nous pouvons également postuler qu'il s'agit d'un effet conjoint de la nécessaire recréation du mouvement en condition statique et des bénéfices de la représentation partagée. En condition dynamique, la présentation était claire et les mouvements des objets évidents. Les participants pouvaient donc se focaliser sur la construction d'un modèle mental en confrontant leurs compréhensions du phénomène. En condition statique par contre, les participants devaient commencer par se mettre d'accord sur le mouvement et transformation des éléments, et être sûr d'être d'accord. Cette tâche supplémentaire, facilement conflictuelle, semble négative pour l'apprentissage collaboratif.

Une autre hypothèse pour le manque de résultats en condition statique-collaboratif serait une focalisation sur des éléments de bas niveau. Les participants devant forger une représentation commune limitent l'apport d'informations, de façon à déséquilibrer celle-ci le moins possible. Ils cherchent bien à comprendre le matériel, mais avant tout à garder cette représentation partagée. Comme la présentation statique donne moins d'informations, les participants ont la possibilité de ne prendre en compte que des éléments globaux. Ils évitent ainsi le conflit et conservent la représentation le plus longtemps possible. Bien entendu, il s'agit d'une hypothèse et nos résultats ne nous donnent pas plus d'indice la concernant.

Bien que ce résultat ne soit pas significatif, les duos discutent moins en condition statique qu'en condition dynamique. Cette différence est également relativement faible (environ 2 secondes par partie, ce qui fait moins d'une minute de différence au total pour les deux matériels). Les paires en condition statique, si elles devaient commencer par se mettre d'accord sur ce qu'elles ont vu, n'ont donc pas continué ensuite à en discuter les implications, ou alors moins que les paires en condition dynamique.

Donc les participants en condition statique peuvent moins bien collaborer, ou bénéficient moins des effets potentiellement positifs de la collaboration du fait qu'il doivent recréer le mouvement. A part une analyse qualitative du contenu des interactions, un moyen de vérifier cette hypothèse serait la suivante : Si on accepte l'idée que les participants qui ont mieux collaboré arrivent à des résultats plus semblables que les participants ayant moins bien collaborés. On peut donc poser l'hypothèse que les paires en condition dynamique auront des résultats plus semblables que des paires en condition statique. En utilisant la différence de résultats entre les membres d'une paire dans l'anova, on ne trouve aucun résultat significatif (annexe U). Néanmoins, la tendance semble aller dans l'autre sens : les participants ont des résultats qui semblent plus semblables en condition statique qu'en condition dynamique (autant pour les différences de rétention que d'inférence). Il ne s'agit bien entendu que de faibles tendances et n'oublions pas que les résultats sont, dans tous les cas, significativement supérieurs en condition dynamique. Toutefois, cette manipulation post-hoc est sujette à caution. Une expérience plus précise devrait être mise sur pied pour vraiment pouvoir vérifier ceci.

5.1.1.3. Permanence

Aucun effet simple de la condition permanence n'est jamais visible. Par contre, une interaction est significative entre la permanence et la collaboration sur le score d'inférence. Les différents modèles prévoyaient plutôt une influence positive de la permanence. A première vue, une explication mettant en scène un effet de redondance ou de split-attention pourrait faire l'affaire ; mais dans ce cas pourquoi la redondance ne s'applique-t-elle qu'à certaines situations ? En effet, la tendance est inversée entre solo et duo. Les participants seuls ont tendance à bénéficier de la permanence alors que l'effet est inversé en duo. La différence est marginale pour ce qui est des solos.

On pourrait avancer l'idée que les participants en solo peuvent bel et bien utiliser la permanence même si celle-ci n'est pas d'une utilité énorme. Les informations supplémentaires fournies par les vignettes sont bel et bien positives pour la formation du modèle mental d'un utilisateur seul. Par contre, les paires ne semblent pas bénéficier du même avantage. On peut penser qu'en condition duo, la construction de la représentation est suffisamment bonne pour ne pas nécessiter l'utilisation de vignettes. Lorsque l'un des deux membres d'une paire a un doute sur une information qu'il pourrait retrouver dans les vignettes, son collègue peut le renseigner. Les vignettes occupent donc l'écran sans être nécessaire et génèrent de l'attention partagée. On pourrait aussi considérer qu'elles nuisent au

principe de cohérence de Mayer (2001). En ajoutant une information inutile sur l'écran. Les participants ne savent pas comment utiliser ces options puisqu'ils n'en ont pas besoin et cela peut les gêner.

Parallèlement, la gestion de l'ouverture ou non des vignettes peut devenir une décision de groupe. Ou encore, un participant ouvrant une vignette à un moment donné force son collègue à le rejoindre sur la discussion d'un point précis alors qu'il pouvait tout à fait vouloir amener autre chose. La formation d'une sorte de « split-interaction » n'est pas à écarter. Les participants devant gérer à la fois une interaction avec leur collègue et avec le dispositif ne sont pas gagnants. D'ailleurs l'expérience de Schnotz et al. (1999) qui montre des effets plus faibles pour les duos que pour les solos propose un matériel plus interactif. Encore une fois, il s'agit d'une hypothèse et une expérience mettant en œuvre une interaction plus forte avec le dispositif, en condition de collaboration, pourrait nous éclairer sur l'existence d'un tel effet.

5.2. Matériel

L'interaction du matériel sur la permanence, pour les scores de rétention, est incontestable. On peut comprendre cet état de fait si on s'intéresse de plus près à nos deux animations. Le matériel astronomique était composé essentiellement d'éléments qui se déplaçaient dans le temps. Le mouvement à comprendre était essentiellement composé de translations. Par contre le matériel géologique était fait de transformations. En effet, des éléments bougeaient les uns par rapport aux autres mais surtout, avaient une influence les uns sur les autres, ils se transformaient. Pour reprendre les distinctions faites par Lowe (2003), on peut dire que le premier matériel était essentiellement composé de translations et le second de transformations.

Ces différences posées, nous pouvons nous demander ce qui fait que les participants ne retiennent pas autant d'informations dans les deux matériels selon qu'ils disposent de vignettes ou pas. Une explication plausible serait que les vignettes sont utiles lorsque les différentes étapes changent vraiment. Ainsi le matériel géologique voit ses éléments se transformer et une information qui est disponible à une étape ne l'est plus forcément à l'étape suivante. Dans le cas du matériel astronomique par contre, les éléments restent les mêmes du début à la fin. Des éléments viennent s'ajouter à la présentation mais une information présente dans une étape l'est également dans les étapes suivantes, il n'y a donc nul besoin d'aller revoir les images des étapes précédentes. Cela va même plus loin, car avoir des vignettes dans le premier matériel semble négatif ; autant négatif que de ne pas en avoir dans le second. Par contre, il est autant positif de disposer de vignettes dans le second matériel que de ne pas en

avoir dans le premier. Notre argument de la composition des matériels (au-delà même de l'animation ou non), explique bien une partie de l'interaction. Nous pouvons proposer une surcharge cognitive due à un effet d'attention partagée en cas de permanence dans le matériel astronomique. Ce matériel et les éléments, dynamiques ou non, qui le composent, ne nécessitent pas un complément d'information. On rejoint encore une fois le principe de cohérence formulé par Mayer (2001).

Bien entendu, d'éventuelles différences liées à une difficulté particulière du matériel restent envisageables. On peut ainsi penser que les scores comparables en non-permanence dans le matériel astro et en permanence dans le matériel géo sont dûs, en fait, à une difficulté plus grande du second matériel. En effet, les participants ont régulièrement reporté une impression de charge plus importante pour cette présentation. Le vocabulaire était plus spécifique et son utilisation plus intensive. Des difficultés (égales dans toutes les conditions) peuvent donc être attendues, surtout pour ce qui est de la rétention. Si les matériels avaient été de difficulté semblable, on peut s'attendre à ce que les scores du matériel géo soient tous deux supérieurs. Ainsi, le second matériel aurait vu un avantage certain de la permanence et le score en non-permanence n'aurait pas été si bas (pas aussi bas qu'en condition redondante astronomique avec permanence).

Si notre premier argument (composition des animations) semble convainquant, on peut se demander pourquoi cet effet d'interaction n'est visible que pour les questions de rétention. Pour le niveau inférentiel, l'effet n'est pas significatif, la tendance (minime) va même dans le sens opposé. La permanence pourrait donc n'avoir tout simplement pas d'influence sur l'inférence. D'autres résultats (interaction entre permanence et collaboration) nous font penser autrement. Toutefois, ces différences restent toujours faibles.

5.3. Les temps de réflexion et de discussion

5.3.1. Collaboration

Comme nous nous y attendions, la passation par paire est plus longue. Nous avons d'ailleurs pu vérifier qu'il s'agissait bien du temps de discussion qui est plus élevé. Comme une interaction verbale est nécessaire, la verbalisation des concepts par chaque participant et tous les processus discussionnels de régulation et d'écoute, prennent du temps. Ces temps nettement différents entre condition solo et duo sont quelque peu ennuyeux pour notre interaction permanence-collaboration sur l'inférence. D'autant plus que l'animation a un effet simple significatif chez les duos.

En effet, à un niveau cognitif, notre expérience ne permet pas de décider si les performances plus grandes chez les duos sont dues au fait d'être en duo (de collaborer), au fait de verbaliser ses idées ou au fait d'avoir vu et réfléchi aux matériels pendant un temps plus long. Toutefois, au vu de l'effet de la variable animation (ou une interaction avec celle-ci), on sait qu'il ne s'agit pas uniquement de la condition duo et de tout ce qu'elle implique. En effet, si la verbalisation, la collaboration ou le temps d'étude seuls étaient des variables explicatives, on aurait un effet simple de la condition de collaboration. Or, nos résultats montrent bien que c'est uniquement en condition dynamique que les participants en duo uniquement voient leurs performances d'inférence augmenter.

Notre explication est que la somme des infos contenue dans la présentation animée ne peut être totalement exploitée par un participant seul. Par contre en condition duo, le potentiel de la présentation dynamique peut enfin s'exprimer pleinement. Cela se traduit par une compréhension plus profonde du modèle et donc des résultats d'inférence supérieurs. La difficulté reste pour comprendre si, au niveau cognitif, c'est la verbalisation, la collaboration ou les temps qui ont le plus d'impact. Néanmoins dans une perspective d'application, notre expérience montre qu'un participant seul est incapable de tirer bénéfice des animations, alors qu'une paire le peut.

5.3.2. Permanence

Les vignettes ajoutent du temps à la réflexion et à la discussion. Nous avons vu que cette différence correspondait au temps d'ouverture des vignettes. Tout se passe comme si les participants discutaient un certain temps, toujours le même ; et que s'ils disposaient de vignettes, ils passaient encore un peu de temps dessus. Bien entendu, les vignettes sont consultées à tout moment, mais le temps total sans vignettes ouvertes n'est pas différent entre les conditions.

Les participants bénéficiant de vignettes ont bel et bien été en contact avec plus d'information et ils ont pris du temps supplémentaire à leur temps normal de discussion (en duo) ou de réflexion (en solo) pour les consulter. L'absence d'effet des vignettes et de corrélation entre les temps d'ouverture et les résultats aux questionnaires laissent quant à eux penser que cette prise d'information ne servait à rien. Les participants n'ont-ils pas su utiliser les vignettes ? Comme nous le suggérons plus haut, utiliser une vignette à bon escient reviendrait à sélectionner uniquement les informations très spécifiques pendant la présentation. Puis, lors des pauses, de profiter des informations relativement générales (et non commentées), présentées dans les vignettes pour rétablir un contexte. Des novices (à la fois dans le domaine

présenté et dans l'utilisation des vignettes) n'ont que peu de chances de mettre cette stratégie en œuvre de manière effective. De plus, les informations conceptuelles principales provenaient du commentaire audio, ces informations ne sont pas disponibles dans les images, et encore moins dans les vignettes. Et pourtant, un résultat marginal met en avant l'effet positif de la permanence sur la compréhension des participants seuls.

D'autre part l'utilisation très pauvre des vignettes fait penser que les participants ne les utilisaient pour ainsi dire pas. N'ont-ils pas vu leur utilité ou n'ont-ils pas voulu s'investir dans une stratégie qu'ils pouvaient ne pas maîtriser ? Nous ne le saurons pas. Ce qui est sûr c'est que l'utilisation des vignettes restait rare et qu'elle se faisait en plus des réflexions. Nous pensons donc que les vignettes n'ont pas rempli le rôle que nous voulions leur donner. C'est pour cela qu'aucun effet n'apparaît. Une vision basée sur les utilisateurs nous fait ajouter que si les participants n'utilisaient pas les vignettes c'est qu'ils n'en avaient pas besoin, ou qu'ils n'en voyaient pas l'utilité.

5.4. Capacités visuo-spatiales

Les effets très importants de ces variables individuelles sont en concordance avec les travaux de Hegarty (Hegarty, 1992, 2004; Hegarty & Just, 1993; Hegarty & Kozhevnikov, 1999; Hegarty et al., 2003; Hegarty & Sims, 1994). L'importance des capacités de rotation mentale est très forte pour s'approprier un modèle mental dynamique. Cette importance est double, elle est autant valable pour les conditions dynamiques que pour les conditions statiques. En effet, en condition statique, le participant doit nécessairement recréer le mouvement mentalement pour être capable de l'appréhender. Comme ce mouvement n'est que suggéré sur le graphique, il doit utiliser ses capacités visuo-spatiales pour obtenir un résultat fidèle. Sweller et al. (1998) parleraient d'effet d'imagination, mais celui-ci semble également important pour les novices. En condition dynamique, le participant ne doit pas recréer le mouvement. Par contre, l'animation, fugace, nécessite plus de ressources pour être traitée. Un participant disposant de bonnes capacités visuo-spatiales a plus de facilité à traiter les informations spatiales. On peut également imaginer que moins de pertes d'information surviennent pendant la présentation. Il en résulte de meilleurs résultats. Comme le score de paper-folding est fortement corrélé à l'empan visuo-spatial, on peut considérer qu'habituellement les participants aux bonnes capacités de rotation mentale seront capables de gérer plus d'informations de ce type.

Pour ce qui est de la charge perçue, quatre valeurs d'échelles sur cinq sont significativement plus basses chez les participants au score de paper-folding fort par rapport à ceux ayant un

paper-folding faible. Ces participants sont donc meilleurs, et ils le savent. Comme les capacités visuo-spatiales sont des capacités invoquées du participant, on peut penser que des personnes à l'aise avec les tâches de rotation mentale le savent. En tout cas il semblent se sentir plus à l'aise dans notre expérience. Notre présentation les a fait utiliser une stratégie qu'ils connaissaient déjà bien, des capacités qu'ils ont l'habitude d'utiliser, c'est pourquoi ils se sentaient plus à l'aise. Le fait que les participants aux fortes capacités de rotation mentale déclarent moins de charge montre bien que la charge existe, qu'il y a un niveau de difficulté perçu par les participants. D'autre part, le fait que les capacités visuo-spatiales soient utilisées est confirmé mais au vu des effets énormes sur les variables de rétention et d'inférence, il n'est guère possible de dire autre chose.

Il est toutefois intéressant de remarquer que même si un grand nombre des informations conceptuelles provenaient du commentaire, et étaient donc d'ordre verbales ; les capacités visuo-spatiales ont une influence énorme sur les performances. Ces résultats mis en parallèle avec les conclusions tirées pour la permanence, on peut penser que les capacités de rotation mentale ne servent pas uniquement à traiter et à organiser l'information. Leur utilisation va plus loin et pourrait être liée à la création du modèle mental dynamique.

5.5. Critiques et propositions

Sur la base des discussions formulées ici, nous pouvons formuler diverses critiques à notre paradigme expérimental ainsi qu'une série de propositions d'amélioration ou d'expériences complémentaires. Nous commencerons par décrire des propriétés du matériel et des parties des résultats qui restent flous sur le plan cognitif. Ensuite, nous parlerons du niveau verbal, autant de verbalisation que du commentaire. Enfin, nous traiterons plus spécifiquement de l'utilisation des vignettes en condition de permanence.

5.5.1. Matériel

Premièrement, tout semble indiquer que le matériel était trop facile. Les participants atteignaient un bon niveau de compréhension relativement facilement. Ceci pourrait expliquer les faibles différences parfois observées entre les conditions et surtout l'absence de besoin d'aides internes à l'animation, comme les vignettes. Il est difficile de déterminer à quel niveau le domaine choisi était intrinsèquement simple à comprendre ou si le fait d'avoir respecté un maximum de guidelines facilitait vraiment l'apprentissage. Notre découpage des éléments d'apprentissage était effectivement très progressif et peut être que le matériel était, du coup, facile à appréhender dans toutes les conditions. Toutefois, notre objectif était de proposer une animation que nous considérons comme réaliste pour une présentation à des étudiants. En ce

sens, nous pensons être proches de ce qui pourrait se faire. Néanmoins, nous sommes loin d'avoir une situation réellement écologique. Il aurait fallu développer un cours complet, et travailler réellement sur la durée. Notre paradigme reste un compromis avec la recherche expérimentale de laboratoire. Nos choix méthodologiques nous ont toutefois guidés vers des choix « réaliste » au détriment des phénomènes cognitifs mis en œuvre. Un bon exemple est la grande différence qui subsiste entre les participants solo et duo, des effets de verbalisation, d'asymétrie du groupe ou de représentation partagée ne sont pas distinguées entre ces conditions. La différence, significative, reste donc difficile à expliquer.

Deuxièmement, nos deux matériels n'étaient pas égaux au niveau de la composition des animations. Translation, transformations et transitions n'étaient pas également représentées entre les matériels. C'était effectivement un choix mais, au vu des différences, et des effets parfois inverses de nos variables selon les matériels, on peut se demander si notre volonté de les regrouper n'est pas exagérée. De plus, il est regrettable que nous n'ayons pas également un matériel composé essentiellement de transitions.

Troisièmement, notre décomposition pédagogique nous a mené à modifier peu de choses à la fois sur l'écran. L'effet de fond-forme dynamique décrit par Lowe (2004) est sous représenté. Nos animations n'en contiennent pour ainsi dire pas (surtout comparativement à celles utilisées par Lowe). Peu de choses bougeaient en même temps dans nos présentations, les participants n'étaient donc pas troublés par une pléthore d'informations à récupérer, leur charge perceptive était donc relativement libérée. Peu d'éléments devaient être traités entre chaque pause (forcée), la charge conceptuelle était donc bien libérée. De plus, un avantage pouvait même se retrouver en condition statique. En effet, comme chaque partie des matériels contenait relativement peu de déplacements d'éléments, le travail d'animation mentale n'était pas forcément énorme. Toutefois, remarquons qu'en condition statique comme en condition dynamique, les capacités de rotation mentale ont une influence forte. La « simplicité » que nous avons décrite reste relative. Les traitements cognitifs restaient d'un niveau suffisant pour engendrer des différences selon les capacités visuo-spatiales des participants. Une piste intéressante pourrait être de découper notre matériel différemment, selon une structure causale ou temporelle, et non plus en séparant un maximum les éléments pour un apport progressif (mais néanmoins temporel).

5.5.2. Le niveau verbal

D'autres effets, moins liés au matériel peuvent encore être discutés. Commençons par l'effet de verbalisation. Comme nous l'avons cité plus haut, nous n'avons aucun moyen de savoir si les différences entre solo et duo sont bien dues à la collaboration et à une représentation partagée. En effet, il pourrait tout aussi bien s'agir de la simple verbalisation des concepts par les deux apprenants séparément, en dehors même de toute interaction. Cette hypothèse semble peu probable en raison de la différence de résultats des duos uniquement en condition dynamique, et pas en statique. Ceci semble écarter un effet simple de la verbalisation mais elle n'écarte en aucune manière la possibilité d'une interaction entre les deux variables. Encore une fois, nos conditions que nous avons voulues « réalistes », nous ont éloignés d'une approche cognitive de laboratoire. Une expérience subséquente devrait mieux décortiquer les différences de traitement entre solo et duo et les comparer séparément. Un bon début serait de demander à des participants solo de verbaliser, à haute voix, les explications qu'ils se donnent entre les parties du matériel.

Une autre question qui subsiste est celle de la fugacité du commentaire. L'animation est toujours décrite comme source d'une information riche mais fugace dans le temps. L'information qui n'est pas perçue au vol est perdue car elle disparaît. Pourtant, notre commentaire présente les mêmes caractéristiques. Nous avons choisi d'utiliser un commentaire audio en référence à plusieurs recherches et surtout aux travaux de Mayer (effet multimédia). L'importance d'utiliser deux modalités sensorielles nous semble toujours évident et logique. Par contre, notre condition de permanence n'était pas complète. En effet, l'information présente dans le commentaire était loin d'être facultative. Elle était autant importante que les informations visuelles. Pour remédier à la fugacité des animations, nous avons pensé utiliser des vignettes permanentes, mais la fugacité du commentaire n'était pas du tout adoucie. Une information verbale qui n'avait pas été perçue était bel et bien perdue, avec tout ce qui s'en suivait pour les prises d'informations suivantes et la création du modèle mental. De ce point de vue, la pression temporelle était augmentée, mais elle l'était de façon égale dans toutes les conditions. Par contre, il est possible que la pression temporelle du canal verbal soit moins grave que celle du canal visuel. Il ne se passait effectivement qu'une chose à la fois dans le commentaire, l'attention ne devait pas être distribuée comme sur une animation. De plus, c'est là un traitement tout à fait normal pour des informations verbales, la mémoire échoïque et la boucle phonologique de la mémoire de travail ont d'ailleurs de plus grandes capacités que leurs homologues visuo-spatiales.

5.5.3. Permanence

En ce qui concerne les vignettes de la condition permanence, nous avons signalé que leur utilisation se prêtait d'avantage à une utilisation top-down que bottom-up. En effet, l'information permanente, là pour être consultée à nouveau, est plus utile dans un second temps. Lorsque le participant a quelque peu formé son modèle mental et se pose quelques questions, il peut retourner voir les vignettes et vérifier ses représentations. Le problème est que les informations récupérables sur les vignettes sont uniquement les informations globales et générales. Les informations dynamiques n'y figurent pas, le commentaire est absent. Les informations manquent pour vraiment servir cette stratégie. Un participant en pleine élaboration de son modèle mental ne peut qu'être frustré du manque d'informations qu'il trouvera dans nos vignettes. Néanmoins, pour la condition solo, la permanence a un effet marginal mais positif sur la compréhension. Les vignettes ont bien une certaine utilité mais elle ne contiennent pas la totalité de l'information désirable.

Nos vignettes étaient peu utilisées par les participants qui en bénéficiaient, leur nécessité est donc mise en cause. Nous avons vu que les informations qu'elle proposent peuvent être utiles dans un second temps de la création du modèle mental, pour des stratégies top-down. En ce sens, la permanence est très défendable. Par contre nos participants étaient novices, leurs stratégies préférentielles, au début, sont donc bottom-up. Il est normal qu'ils aient eu peu de choses à vérifier dans les vignettes. Dans un second temps, lorsque leur modèle mental s'élaborait, ils auraient pu développer des stratégies de vérification. Toutefois, l'utilisation efficace des vignettes pouvait peut-être nécessiter un apprentissage ou au moins une pratique. Le fait qu'il s'agisse uniquement d'une expérience retenait peut-être les participants de s'impliquer dans un processus de développement de stratégie d'utilisation des vignettes, qui, soyons réalistes, ne leur aurait pas servi longtemps.

6. Conclusion

Notre matériel a été construit en respectant un maximum les principes formulés par les chercheurs du domaine. Il en résulte de bons niveaux d'apprentissage et une bonne compréhension par les participants. Nos résultats ont permis de montrer que les présentations animées conduisent parfois bien à des résultats d'apprentissage supérieurs. La rétention du phénomène observé, en particulier, est très positive dans cette condition. La mise en évidence d'un grand bénéfice de la compréhension de l'animation lorsqu'elle est apprise en collaboration est également intéressante. L'animation a donc bel et bien le potentiel qu'on lui promet. La réelle difficulté semble plutôt se situer au niveau de l'exploitation de ce potentiel.

En effet, une animation peut faire mieux qu'un graphique statique, mais de loin pas dans tous les cas.

Les principes formulés par divers auteurs nous renseignent souvent sur l'utilisation des matériels multimédia en général. Aucun ne traite spécifiquement de l'utilisation des animations en elles-mêmes. Les animations semblent avoir un potentiel pédagogique mais celui-ci doit être exploité pour éclore. On peut donc se demander dans quelles conditions, pour quels domaines et pour quel type de personne les animations remplissent leurs promesses.

Notre expérience apporte une première pierre à l'édifice en montrant que l'animation seule peine à améliorer l'apprentissage. Une aide externe telle qu'un travail collaboratif et la construction d'une représentation partagée semble être une première piste à suivre. D'autres aides, plus internes à la présentation, comme la permanence de l'information semble pouvoir apporter des améliorations. Toutefois, des idées plus précises sur le contenu à rendre accessible en tout temps restent attendues.

Notre expérience regroupe un grand nombre de variables. Ceci nous a permis de mettre à jour de premières hypothèses de travail. Pourtant, un travail plus précis doit être réalisé pour comprendre les processus en jeu dans l'utilisation des animations. Notre expérience laisse plusieurs flous sur des aspects cognitifs en œuvre. De futurs éclairages devraient nous permettre de mieux comprendre ce qui entre en jeu dans nos conditions, et nous permettre de poursuivre notre tâche. Nous intéresser à la verbalisation des participants, au contenu des informations en permanence ou aux moyens de soutenir les participants au faible niveau visuo-spatial sont de premières pistes.

L'animation a un potentiel pour l'apprentissage, mais il ne se montre pas de lui-même. Le pédagogue doit savoir l'apprivoiser.

7. Bibliographie

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & S. J. T. (Eds.), *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory* (Vol. 2, pp. 89-195). New-York: Academy Press.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D. (1998). *Your memory: a user's guide*. London: Prion.
- Bétrancourt, M., Bauer-Morrison, J., & Tversky, B. (2001). Les animations sont-elles vraiment plus efficaces? *Revue d'intelligence artificielle*, 14(1-2), 149-166.
- Bétrancourt, M., Dillenbourg, P., & Clavier, L. (2003, 26-30 August 2003). *Reducing cognitive load by delivery features in learning from computer animation*. Paper presented at the 10th EARLI biennial conference, Padova (Italia).
- Bétrancourt, M., & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on user's performance: a review. *Le travail humain*, 63(4), 311-330.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 151-170.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Clark, H. H., & Brennan, S. A. (1991). Grounding in communication. In L. B. Resnick, J. M. Levine & S. Teasley (Eds.), *Perspectives on socially shared cognition*. Washington: APA Books.
- Clavier, L. (2003). *Etude expérimentale de l'influence des formats de présentation sur leur traitement cognitif des animations multimédia*. Unpublished Master, université de Genève, Genève.
- Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 68-82.
- de Groot, A. (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague: Mouton.
- Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning ? In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative-learning: cognitive and conceptual approaches* (pp. 1-19). Oxford: Elsevier.
- Ekstorm, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). *Manual for kit factor-referenced cognitive tests* (Educational testing services ed.). Princeton, New Jersey.
- Ellis, W. D. (Ed.). (1939). *A source book of Gestalt theory*. New-York: Harcourt Brace.

- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, *102*, 211-245.
- Gonzales, C. (1996). *Does animation in user interfaces improve decision making?* Paper presented at the Conference in computer human interaction CHI'96, New-York.
- Hegarty, M. (1992). Mental animation: inferring motion from static displays of mechanical systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(5), 1084-1102.
- Hegarty, M. (2004). Dynamic visualisation and learning: getting to the difficult question. *Learning and Instruction*, *14*, 343-351.
- Hegarty, M., & Just, M. A. (1993). Constructing mental model of machines from text and diagrams. *Journal of memory and language*, *32*, 717-742.
- Hegarty, M., & Kozhevnikov, M. (1999). Spatial ability, working memory and mechanical reasoning. In J. S. Gero & B. Tversky (Eds.), *Visual and spatial reasoning in design* (pp. 221-240). Sydney, Australia: University of Sydney.
- 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., & Freitas, P. (2002). Understanding machines from multimedia and hypermedia presentations. In J. Otero, G. A. C & J. Leon (Eds.), *The psychology of science text comprehension* (pp. 357-384). Mahawah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hegarty, M., & Sims, V. K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory and cognition*, *22*(4), 411-430.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, *13*, 351-371.
- Le Bohec, O., & Jamet, E. (2003). *Effets de redondance et prise de notes*. Paper presented at the Environnement informatique pour l'Apprentissage humain, Strasbourg.
- Lecerf, T. (1998). *Mémoire de travail visuo-spatiale: présentation simultanée et présentation séquentielle*. Unpublished PhD, Université de Genève, Genève.
- Levin, J. R., & Mayer, R. E. (1993). Understandig illustrations in text. In B. K. Britton, A. Woodward & M. Binkley (Eds.), *Learning from textbooks: Theory and practice* (pp. 95-113). Hillsdale: Erlbaum.
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European journal of psychology of education*, *14*, 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 visualisation during learning. *Learning and Instruction, 14*, 257-274.
- Lowe, R. K., & Schnotz, W. (sous presse). *Reasons for using animation*. Unpublished manuscript.
- Mandl, H., & Levin, R. (1989). *Knowledge acquisition from text and pictures*. Amsterdam: Noth holland.
- Mayer, E. R. (1989). Models for understanding. *Review of Educational Research, 59*(1), 43-64.
- Mayer, E. R. (1999). *The promise of educational psychology* (Vol. 58). Amsterdam: Noth Holland.
- Mayer, E. R. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, E. R. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction, 13*, 125-139.
- Mayer, E. R., & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 83*, 484-490.
- Mayer, E. R., & Chandler, P. (2001). When Learning is just a click away: does simple interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Educational Psychology, 93*(2), 390-397.
- Mayer, E. R., Heiser, J., & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: when presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology, 93*(1), 187-198.
- Mayer, E. R., & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 86*(3), 389-401.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits of our capacity for processing information. *Psychological Review, 63*, 81-97.
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin, 27*, 272-277.
- Moore, J. L., & Rocklin, T. R. (1998). The distribution of distributed cognition: multiple interpretations and uses. *Educational Psychology Review, 10*(1), 97-113.

- Narayanan, N., & Hegarty, M. (1998). Intelligible multimedia. *Journal of Educational Psychology, 84*, 444-452.
- Narayanan, N. H., & Hegarty, M. (2002). Multimedia design for communication of dynamic information. *International journal of human-computer studies, 57*, 279-315.
- Palmiter, S., & Elkerton, J. (1991). Animated demonstrations vs written instructions for learning procedural tasks: a preliminary investigation. *International journal of man-machine studies, 34*, 187-701.
- Palmiter, S., & Elkerton, J. (1993). Animated demonstrations for learning procedural computer-based tasks. *Human Computer Interaction, 8*, 193-216.
- Pane, J. F., Corbett, A. T., & John, B. E. (1996, 13-18 April). *Assessing dynamics in computer-based instructions*. Paper presented at the CHI.
- Pavio, A. (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Piaget, J. (1936). *The origins of intelligence in children*. New-York: Norton & Company, inc.
- Rieber, L. P. (1990). Animation in computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development, 38*, 77-86.
- Rieber, L. P., Boyce, M., & Assad, C. (1990). The effects of computer animation on adult learning and retrieval tasks. *Journal of Computer Based Instruction, 17*, 46-52.
- Roschelle, J., & Teasley, S. (1995). The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In C. E. O'Malley (Ed.), *Computer supported collaborative learning* (pp. 69-97). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Salomon, G. (1994). *Interaction of media, cognition, and learning*. Hillsdale: Erlbaum.
- Schnotz, W. (2001). Sign systems, technologies and the acquisition of knowledge. In J. F. Rouet, J. J. Levonen & A. Biardeau (Eds.), *Multimedia learning: cognitive and instructional issues* (pp. 9-29). Amsterdam: Elsevier.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction, 13*, 141-156.
- Schnotz, W., Böckheler, J., & Grzondziel, H. (1999). Individual and co-operative learning with animated pictures. *European journal of psychology of education, 14*(2), 245-265.
- Schwartz, D. L., & Hegarty, M. (1996). *Coordinating multiple representations for reasoning about mechanical devices*. Paper presented at the Spring symposium on cognitive and computational models of spatial representations, Stanford.
- Sperling, G. (1963). A model for some kinds of visual memory tasks. *Human factors, 5*, 19-31.

- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 43, pp. 215-266). New-York: Academic Press.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12(185-233).
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, J., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 176-192.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tassini, S. (2004). *Le contrôle sur le déroulement de l'animation influence-t-il le niveau d'efficacité cognitive de l'animation?* Unpublished Master Thesis, Genève.
- Tindall-Ford, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1997). When two sensory modes are better than one. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3, 257-287.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological processes* (Vol. XI). Cambridge: Harvard University Press.
- Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre der Gestalt, II. *Psychologische Forschung*, 4, 301-350.

8. Remerciements

Merci à Mireille Bétrancourt pour tous ses conseils, ses réflexions, pour avoir lu si vite mes morceaux de draft et pour être toujours disponible. Merci à Mirweis Sangin pour son boulot, pour ses prises de boules et pour ses questions qui tuent. Merci à Pierre Dillenbourg pour les conseils et réflexions, pour les décisions et pour faire passer cette énergie.

Merci aussi à mes potes, Stephane, Stephane, Luis et Olivier, au bureau, qui sont toujours d'accord pour me dire de bosser. Merci à mes potes Philippe, Vincent, Bertrand et Claude pour avoir sacrifié certaines parties de rôle à ce mémoire. Et à tous les autres qui me connaissent et qui ont pu me soutenir (nico, fab, salvat et les autres). Merci à tous les participants.

Merci surtout à Annelore qui sait être toujours là.

9. Annexes

- A. Analyse de variance sur les résultats des prétests.
- B. Images et commentaire du matériel astronomique.
- C. Images et commentaire du matériel géologique.
- D. Contrat de consentement des participants en solo.
- E. Contrat de consentement des participants en duo.
- F. Photographies d'écran des deux introductions.
- G. Ecran de présentation du nasa-tlx.
- H. Questionnaires post-test astro et géo.
- I. Version papier du test de Corsi.
- J. Paper-folding test.
- K. Manova principale sur la rétention et l'inférence.
- L. Anovas sur les sous-groupes solo et duo (rétention et inférence).
- M. Anovas sur les sous-groupes permanence et non-permanence (rétention et inférence).
- N. Anova du temps de réflexion / discussion.
- O. Anova portant sur la charge perçue.
- P. Anova des niveaux de certitude.
- Q. Anova en condition solo (sans covariance).
- R. Anova en condition solo (avec covariance au groupe du paper-folding).
- S. Corrélations des variables de paper-folding et d'empan visuo-spatial avec diverses variables.
- T. Anova en utilisant le groupe du paper-folding test comme variable indépendante.
- U. Analyse de variance des différences entre paires.

A. Analyse de variance sur les résultats des prétests.

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition	0	Statique	76
Animation	1		
Condition	0	Non-Permanence	78
	1		
Permanence	0		
	1		
Condition	0	Solo	80
Collaboration	1		
		Duo	80

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: Nombre de justes aux prétests

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	7.847(a)	7	1.121	.570	.780
Constante	253.831	1	253.831	128.983	.000
Animation	.101	1	.101	.051	.821
Permanence	.001	1	.001	.001	.980
Collaboration	5.859	1	5.859	2.977	.086
Animation * Permanence	.078	1	.078	.039	.843
Animation * Collaboration	1.526	1	1.526	.775	.380
Permanence * Collaboration	.093	1	.093	.047	.828
Animation * Permanence * Collaboration	.429	1	.429	.218	.641
Erreur	299.128	152	1.968		
Total	562.000	160			
Total corrigé	306.975	159			

a R deux = .026 (R deux ajusté = -.019)

B. Images et commentaire du matériel astronomique.

Étape 1 : la révolution de Vénus et de la terre



La terre fait le tour du soleil en 365 jours terrestres, Venus fait le tour du soleil en 225 jours. La taille de tous les astres est exagérée ici.

Étape 2 : alignement de vénus-terre-soleil



Pour que nous puissions voir Venus passer devant le soleil, il faut que Venus se trouve entre la terre et le soleil. Comme ceci.

Étape 3 : différence entre les vitesses de rotation



Comme les deux planètes tournent à des vitesses différentes, les conjonctions ne sont pas fréquentes. Dans le cas présenté, on aurait un alignement tous les 543 jours terrestres. Pourtant les transits de Venus sont beaucoup moins fréquents, Il faut attendre entre 8 et 120 ans entre chaque passage !

Étape 4 : différence entre les plans d'orbite



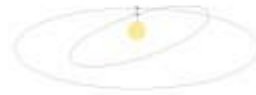
En fait l'orbite des deux planètes n'est pas sur le même plan. Il y a un angle de 3.4° entre les deux trajectoires. Cet angle est exagéré ici.

Étape 5 : plan d'orbite (bis)



Ce qui fait que Venus est parfois au dessous et parfois au dessus de la Terre par rapport au Soleil.

Étape 6 : Les nœuds + nœud descendant



L'alignement n'est donc possible qu'aux deux endroits où les planètes sont à la même hauteur. On appelle ces endroits des « nœuds ». Ce sont les 2 endroits où l'orbite de Venus croise le plan de rotation de la Terre.

La Terre passe au nœud descendant de Venus dans la première moitié du mois de juin.

Étape 7 : nœud ascendant



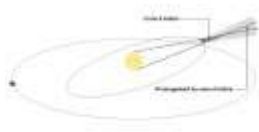
La Terre passe au nœud ascendant de Venus dans la première moitié du mois de décembre

Étape 8 : croisement approximatif



Il faut donc que les deux planètes se trouvent sur le même nœud en même temps pour que le transit puisse s'observer, ce qui est rare. Toutefois, un transit peut quand même s'observer si les deux planètes ne sont pas parfaitement alignées sur un nœud.

Étape 9 : cône de pénombre



Un transit s'observe en fait lorsque la Terre se trouve dans une zone bien précise derrière Venus. Cette zone se matérialise par deux choses D'abord un cône de pénombre qui se définit ainsi.

Étape 10 : cône d'ombre



La seconde partie est le cône d'ombre que l'on définit ainsi Un observateur situé dans cette zone précise ne verrait plus du tout le soleil, il vivrait donc une éclipse. Pour comprendre le transit de Venus nous allons prolonger ce cône d'ombre.

Étape 11 :



La Terre et Venus peuvent donc se croiser de plusieurs manière. Tout d'abord la Terre peut passer juste dans l'axe du cône d'ombre, comme ceci...
Approchons-nous
Et voyons ce que cela donne vu de la Terre.
On appelle cela un transit central.

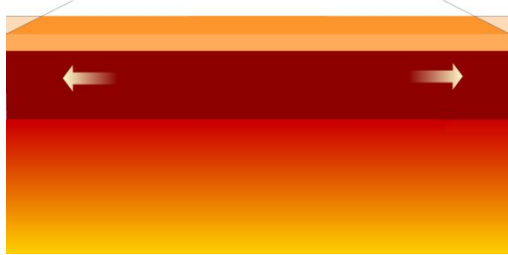
Étape 12 :



Ensuite la Terre peut passer dans le cône de pénombre, sans être parfaitement alignée on appelle cela un transit périphérique.

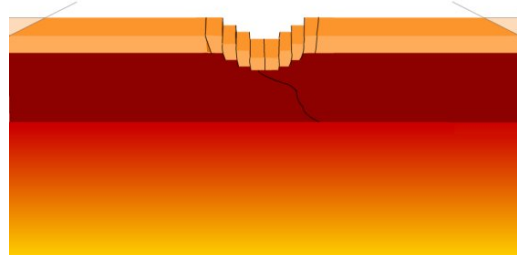
C. Images et commentaire du matériel géologique.

Étape 1 : les 3 couches



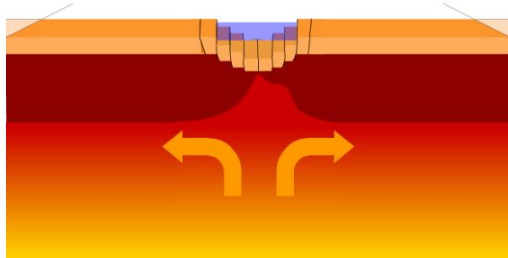
La coupe de la terre présentée ici est caractérisée par trois zones distinctes, la croûte continentale, la lithosphère et l'asthénosphère. Plusieurs contraintes peuvent être exercées sur une plaque continentale. Les plus importantes sont des contraintes divergentes dues à des zones de subduction de part et d'autre de la plaque.

Étape 2 : les contraintes exercées sur la lithosphère



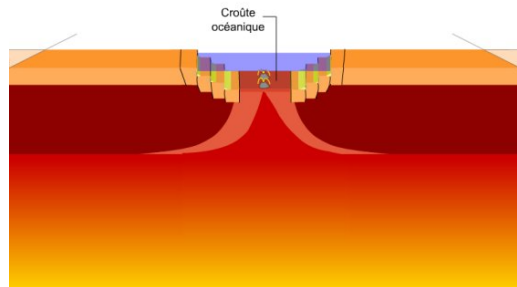
Ces diverses contraintes exercent des forces sur le manteau lithosphérique qui se fracture sous la tension. Les contraintes divergentes exercées sur les deux morceaux de la plaque lithosphérique, continuent et vont induire un effondrement en escalier de la croûte continentale en un fossé qu'on appelle rift.

Étape 3 : effondrement du rift



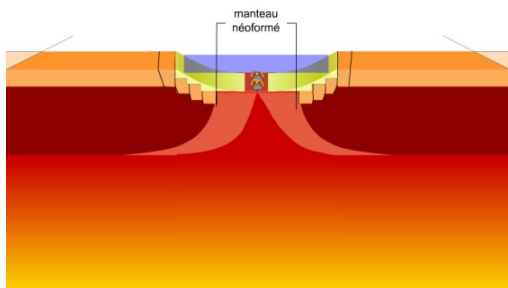
Avec la poursuite de l'étirement, le rift s'enfonce sous le niveau de la mer l'espace libéré par l'effondrement va permettre à de la matière asthénosphérique de remonter vers la surface. La remontée de l'asthénosphère va provoquer des mouvements de matière en boucle qu'on appelle les cellules de convection.

Étape 4 : remontée de l'asthénosphère + dorsale



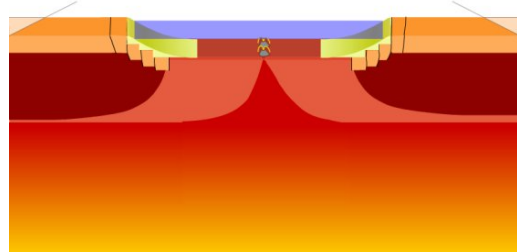
Les deux morceaux de lithosphère continentale se séparent et s'éloignent progressivement l'un de l'autre. Le volcanisme sous-marin forme le plancher océanique basaltique, ou croûte océanique, de part et d'autre d'une dorsale embryonnaire.

Étape 5 : croûte océanique néoformée



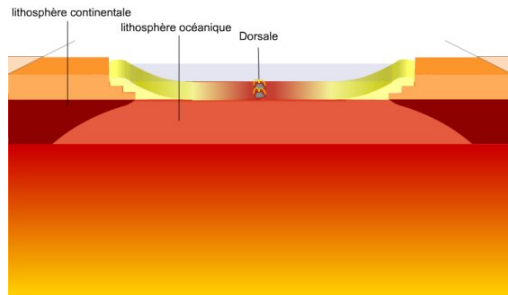
De plus, l'asthénosphère en refroidissant va permettre la formation d'une lithosphère océanique néo-formée.

Étape 6 : formation de l'océan



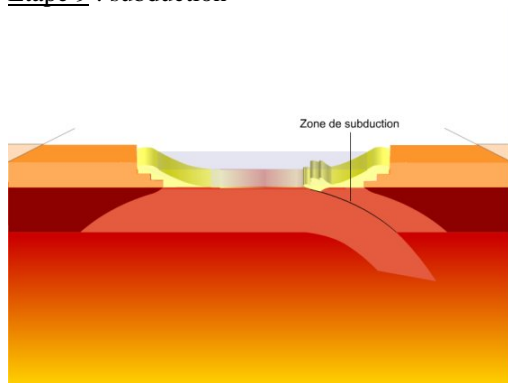
Il va y avoir une accumulation de sédiments provenant des marches continentales de part et d'autre. L'élargissement du plancher océanique, à la manière d'un tapis roulant, conduit à la formation d'un océan de type atlantique.

Étape 7 : récapitulation



Nous venons de voir que le plancher océanique se crée par extension de part et d'autre d'une dorsale centrale, un peu à la manière d'un tapis roulant.

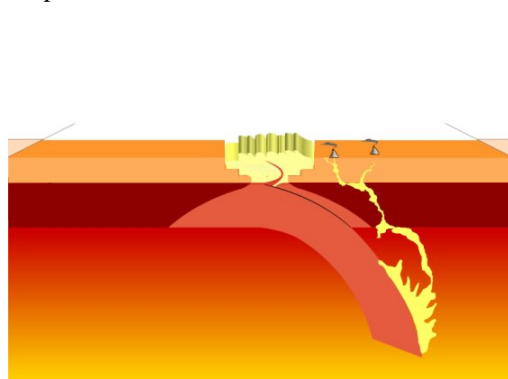
Étape 9 : subduction



Il arrive que la densité de la lithosphère océanique, aux frontières avec la lithosphère continentale, devienne plus grande que celle de l'asthénosphère la lithosphère océanique se fracture et s'enfonce sous son propre poids. La plaque océanique entame un glissement sous la plaque continentale, on dit qu'elle subducte et le phénomène en lui-même est appelé subduction.

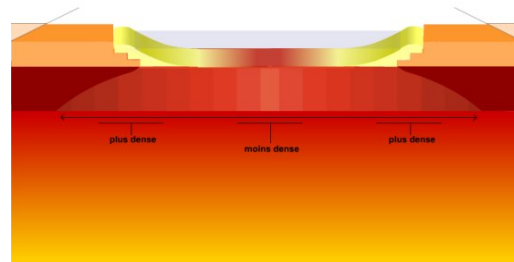
On appelle la frontière où l'une des plaques glisse sous l'autre, la zone de subduction.

Étape 11 : volcanisme de subduction



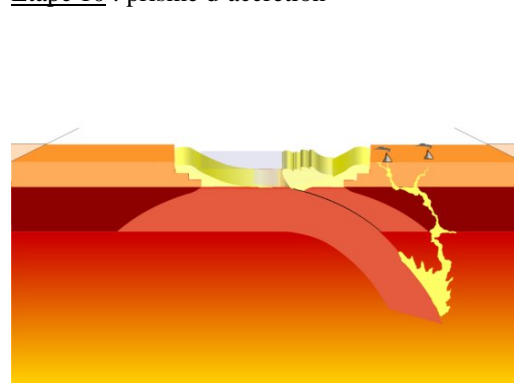
Au fur et à mesure du rapprochement des deux plaques, le prisme d'accrétion croît de plus en plus en concentrant le matériel sédimentaire dans un espace de plus en plus restreint. L'accumulation de la matière sédimentaire se poursuit jusqu'à ce que les deux plaques continentales se touchent. La subduction s'arrête à ce moment car la densité de la lithosphère est trop faible par rapport à celle de l'asténosphère pour permettre la subduction de la plaque continentale plus avant

Étape 8 : densité de la lithosphère océanique



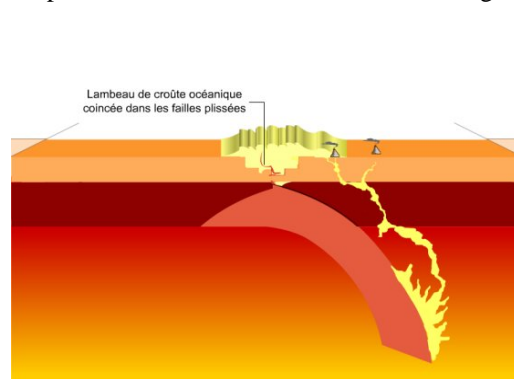
Ainsi, les frontières de la croûte océanique les plus éloignées par rapport à la dorsale, sont les plus vieilles. Plus une zone de la croûte est loin de la dorsale, plus elle est froide et plus sa densité est élevée.

Étape 10 : prisme d'accrétion



Au niveau de cette zone, le glissement des deux plaques concentre le matériel qui se trouve dans les fonds marins constitué de sédiments divers en formant ce qu'on appelle un prisme d'accrétion. La croûte lithosphérique subduquée est lentement digérée et se transforme en asthénosphère par fusion. Cela produit en général une activité volcanique au niveau de la plaque continentale chevauchante.

Étape 12 : formation d'une chaîne de montagne



Le matériel sédimentaire des fonds marins, plus abondant aux abords des continents est comprimé et éjecté vers l'extérieur, formant ce qu'on appelle une chaîne de montagnes matures. Cette dernière est composée de roches plissées et faillées, elle peut aussi contenir des lambeaux de croûte océanique coincés dans les failles

D. Contrat de consentement des participants en solo.

contrat de consentement

J'ai pleine conscience du fait que...

Introduction :

- Je suis pleinement informé(e) de participer volontairement à une expérience portant sur l'apprentissage à partir de contenus multimédias.

Description :

- Dans le cadre de cette expérience, je vais apprendre des concepts théoriques à l'aide d'un logiciel comportant des contenus multimédias (images, animations, commentaire oral, texte..).
- Je participerai seul(e) à l'expérience et n'utiliserai aucune aide extérieure, une personne reste cependant à ma disposition en cas de problème.
- Je serais soumis(e) à un questionnaire portant sur le contenu que j'ai appris durant l'expérience.
- Je serai également soumis(e) à 2 tests cognitifs dont les résultats seront strictement anonymes et utilisés uniquement dans le cadre de l'expérience.

Participation :

- Il ne tient qu'à moi de quitter l'expérience à tout moment sans qu'aucune rigueur ne m'en soit tenue.
- J'ai droit à une rémunération de 20 francs à la condition que je mène l'expérience à son terme.

Anonymat :

- Cette expérience est anonyme et même si je divulgue une quelconque information, je sais qu'il ne sera fait aucun usage de cette information.

Consentement :

- En signant ci-dessous, je certifie avoir pleinement pris connaissance des termes ci-dessus et je suis d'accord avec tout.

E. Contrat de consentement des participants en duo.

contrat de consentement

J'ai pleine conscience du fait que...

Introduction :

- Je suis pleinement informé(e) de participer volontairement à une expérience portant sur l'apprentissage à partir de contenus multimédias.

Description :

- Dans le cadre de cette expérience, je vais apprendre des concepts théoriques à l'aide d'un logiciel comportant des contenus multimédias (images, animations, commentaire oral, texte..).
- Je serais en présence d'un autre participant(e) avec qui je vais collaborer dans ma tâche d'apprentissage.
- Je serais soumis(e) à un questionnaire portant sur le contenu que j'ai appris durant l'expérience.
- Mon(ma) camarade d'apprentissage et moi-même serons filmé(e)s par une caméra vidéo durant nos interactions pour les besoins de l'expérience et uniquement pour cela. Je sais qu'il ne sera fait aucun usage extérieur à cette expérience de ces enregistrements.

Participation :

- Il ne tient qu'à moi de quitter l'expérience à tout moment sans qu'aucune rigueur ne m'en soit tenue.
- J'ai droit à une rémunération de 20 francs que si et seulement si je mène à terme l'expérience.

Anonymat :

- Cette expérience est anonyme et même si je divulgue une quelconque information, je sais qu'il ne sera fait aucun usage de cette information.

Consentement :

- En signant ci-dessous, je certifie avoir pleinement pris connaissance des termes ci-dessus et je suis d'accord avec tout.

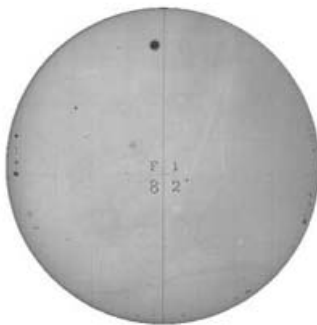
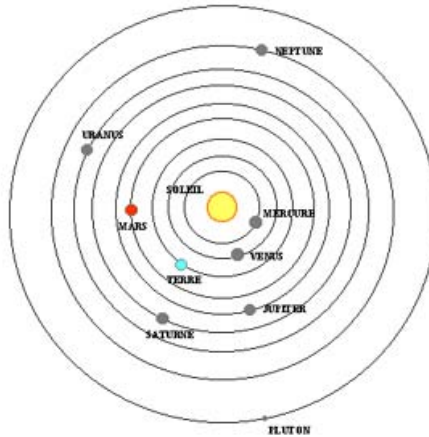
F. Photographies d'écran des deux introductions.

Astro :

Le système solaire

Le système solaire est constitué d'un ensemble de planètes qui tournent autour du Soleil, dans le même sens, sensiblement sur le même plan, mais à des distances très diverses. Les planètes du système solaire sont connues pour la plupart depuis la plus haute antiquité et sont citées dans l'ordre suivant : La Terre, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Neptune, Uranus et Pluton.

Comme on peut le voir sur l'illustration ci-contre, la Terre est la troisième planète la plus proche du soleil, après Mercure et Venus.



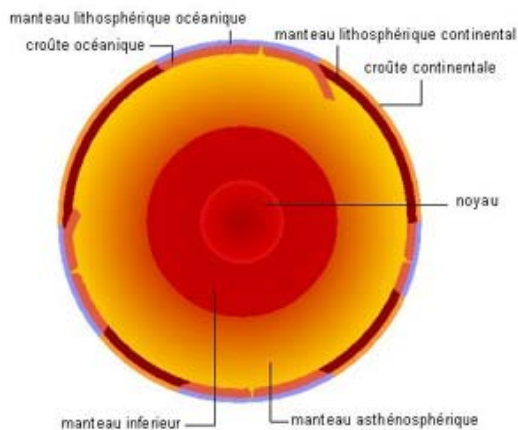
Qu'est-ce qu'un transit de Vénus?

Tout simplement, c'est le phénomène céleste du passage du disque sombre de la planète Vénus devant le disque brillant du Soleil. C'est en fait une éclipse partielle de Soleil, très partielle puisque la planète Vénus n'occultera qu'une toute petite partie du disque solaire mais qui sera très facilement observable pour un public averti du phénomène.

L'illustration ci-contre provient d'une "photographie" du dernier transit de Vénus en date : en 1882. Le prochain aura lieu le 8 juin 2004.

Continuer

Geo :



coupe de la Terre.

La surface de la Terre est composée d'un certain nombre de plaques qu'on appelle **plaques tectoniques** et qui forment la partie rigide de l'écorce terrestre. Cette partie rigide est appelée la **lithosphère**. Elle est large d'une centaine de kilomètres.

Ces plaques dérivent à la surface du globe terrestre, au-dessus de la partie visqueuse du manteau supérieur qu'on appelle l'**asthénosphère**. Elles se meuvent à une vitesse de quelques centimètres par année (l'équivalent de la vitesse de croissance de nos ongles).

Continuer

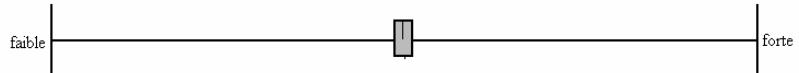
G. Ecran de présentation du nasa-tlx.

Pendant l'apprentissage que vous venez de réaliser, différentes choses on pu prendre de l'importance.

Pour chacun des aspects décrits ci-dessous, placez le curseur de façon à expliciter son importance et la place qu'il a pris dans ce que vous venez de faire.

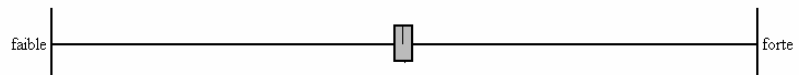
Demande mentale

Des activités telles que penser, décider, calculer, se souvenir, observer, chercher, etc. ont eu une place :



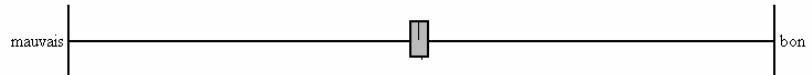
Demande temporelle

Le rythme de l'apprentissage était-il plutôt lent et reposant ou plutôt rapide et éffiréné ?



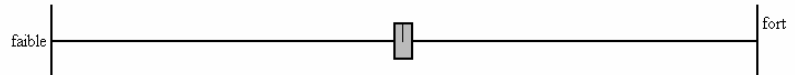
Performance

A quel niveau êtes vous satisfait de votre apprentissage ? Pensez-vous avoir bien compris et appris la matière ou non ?



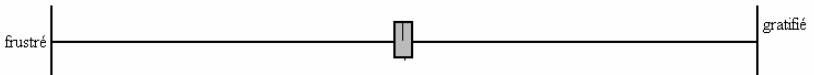
Effort

L'effort à fournir pour apprendre la matière présentée était-il faible ou fort ? le travail fournir était-il facile ou difficile ?



Niveau de frustration

Au cours de l'apprentissage, vous êtes-vous senti plutôt frustré (découragé, irrité et ennuyé) ou contrairement, gratifié, relaxé et aidé ?

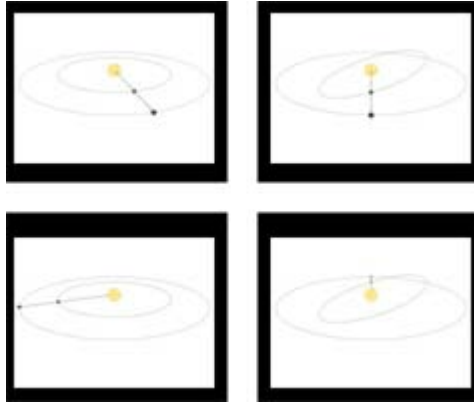


terminé

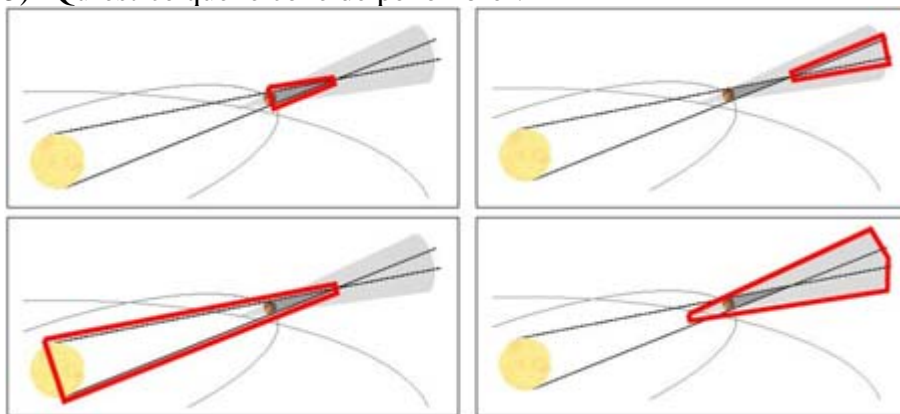
H. Questionnaires post-test astro et géo.

Questionnaire Astro

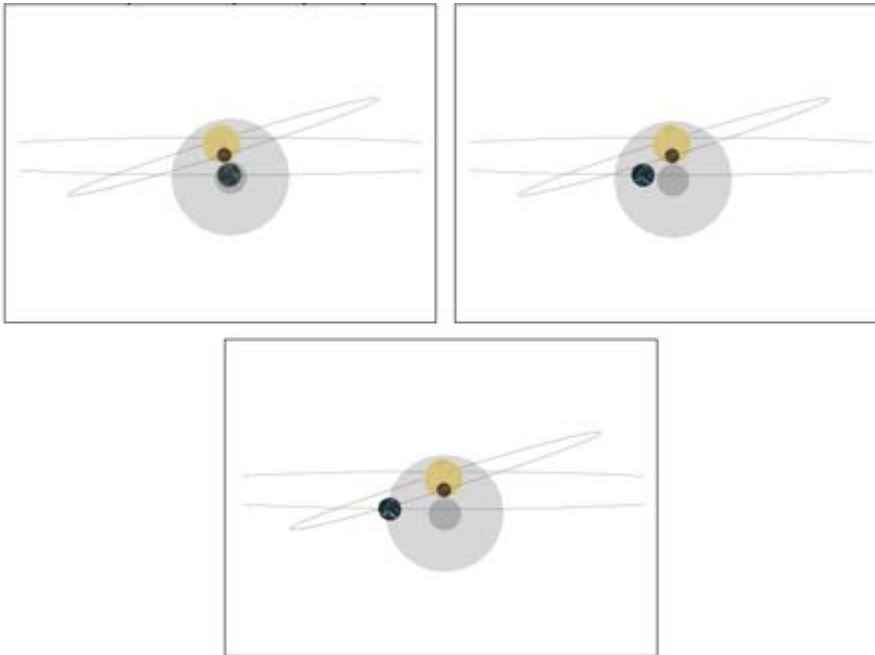
- 1) Expliquez rapidement le phénomène des transits de Vénus
- 2) La révolution de vénus autour du soleil se fait en :
 - a) 212 jours terrestres
 - b) 225 jours terrestres
 - c) 280 jours terrestres
 - d) 365 jours terrestres
- 3) Où se situe le nœud ascendant ?



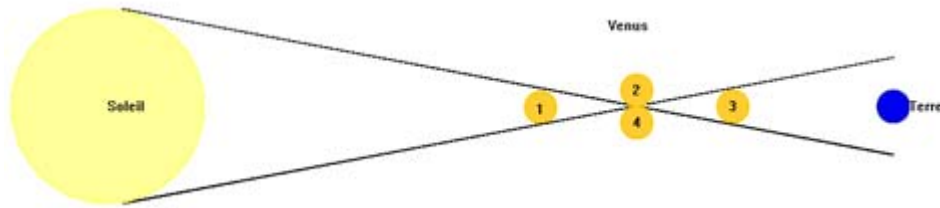
- 4) La terre passe au nœud ascendant dans la première moitié du mois de :
 - a) Juin
 - b) Juillet
 - c) Septembre
 - d) Décembre
- 5) Qu'est-ce que le cône de pénombre ?



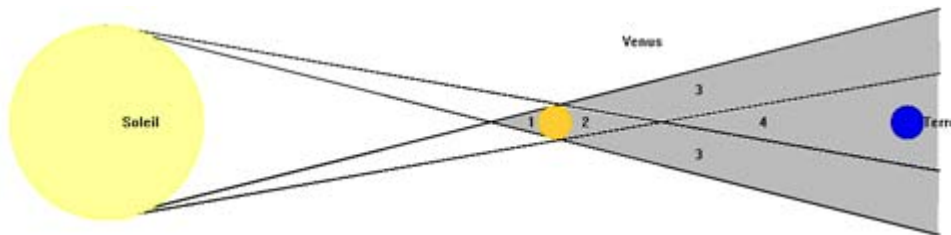
- 6) Où se trouve la Terre si on observe Vénus ne pénétrant pas totalement le disque solaire (transit partiel)



- 7) Peut-on observer un transit de Vénus lorsque la Terre n'est pas proche d'un nœud ?
- a) Non, c'est totalement impossible
 - b) Non, à moins que la taille du cône de pénombre soit exceptionnellement large cette année-là.
 - c) Oui, périodiquement avec un intervalle variant entre 8 et 120 ans
 - d) Oui, tous les 543 jours environ
 - e) Oui, tous les 225 jours environ
- 8) Qu'est ce qu'un transit périphérique ?
- a) Lorsqu'on peut voir Vénus passer sur le bord du disque solaire
 - b) Lorsqu'on peut voir Vénus passer au centre du disque solaire
 - c) Lorsqu'on peut voir Vénus mordre le disque solaire, sans y pénétrer complètement
 - d) Lorsque le transit n'est pas visible
- 9) Lorsque Vénus est « au dessus de la Terre par rapport au soleil », entre les nœuds, un transit est...
- a) Possible si nous sommes au début juin
 - b) Possible si nous sommes au début décembre
 - c) Possible au début juin et au début décembre
 - d) Possible à une fréquence allant entre 8 et 120 ans
 - e) Impossible
- 10) Cliquez sur la bonne position de Vénus pour que les lignes de construction correspondent au cône d'ombre et à son prolongement



11) Dans quelle zone devrait-on se trouver pour observer une éclipse totale de Soleil due à Vénus ?



12) Les transits de Mercure (tous types confondus) sont observables 13-14 fois par siècle, comment se fait-il qu'ils soient beaucoup plus fréquents que les transits de Vénus ?

- a) Mercure fait le tour du soleil en moins de temps que Vénus
- b) Les cônes d'ombre et de pénombre sont plus larges au niveau de la Terre
- c) Mercure et la Terre ont 4 nœuds contre 2 seulement pour Vénus
- d) A et B
- e) B et C
- f) A, B et C
- g) A et C

13) La date de passage de la Terre aux nœuds est relativement fixe (6 juin et 6 décembre). Y a-t-il un rapport entre ces dates et le type de transit (central, périphérique, partiel) ?

- a) Il n'y en a pas. N'importe quel type de transit peut survenir à n'importe quel moment.
- b) Plus la Terre est proche d'un nœud, plus le transit est périphérique, le transit est donc partiel.
- c) C'est l'inverse du précédent, plus le transit survient près de ces dates, plus il est central.
- d) Il n'y a pas de rapport, sinon on aurait des transits tous les 6 mois, ce qui n'est pas le cas.

14) Pourquoi les transits ne surviennent pas forcément à des dates précises mais parfois à quelques jours d'intervalle ?

- a) Parce que la Terre passe aux nœuds à des dates différentes chaque année, ce qui peut faire jusqu'à 15 jours de différence

- b) Car pour qu'il y ait transit, il faut que la Terre soit dans le cône de pénombre, cela peut survenir alors que la Terre n'est pas exactement sur un nœud
- c) Car Vénus passe plus souvent aux nœuds que la Terre (Vénus tourne autour du soleil en moins de jours), donc les transits peuvent survenir à d'autres moments.

15) En se trouvant sur la Lune, pourrait-on observer des « transits de la Terre » ?

- a) Non, on ne peut observer des transits qu'en se trouvant sur la Terre.
- b) Non, la Terre est beaucoup trop grosse et proche par rapport à la Lune.
- c) Non, la Lune ne tourne pas directement autour du Soleil.
- d) Oui, la Terre forme un cône d'ombre pour la Lune
- e) Oui, si la Lune passe dans un nœud en juin ou en décembre

16) Le phénomène du transit de Vénus a-t-il un rapport avec les éclipses de Soleil (depuis la Terre) ?

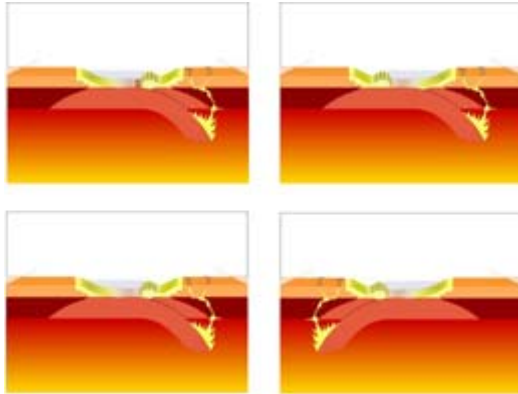
- a) Non, les éclipses de Soleil ont lieu beaucoup plus souvent qu'entre 8 et 120 ans
- b) Non, la Lune tourne autour de la Terre et Vénus tourne autour du Soleil, ça n'a rien à voir
- c) Oui, la Terre passe dans le cône d'ombre de la Lune
- d) Oui, la Lune joue le même rôle que Vénus, mais comme elle tourne autour de la Terre, on ne peut pas parler de cône d'ombre.

17) Que se passe-t-il si un observateur (sur la Terre) se trouve dans le cône de pénombre projeté par la Lune ?

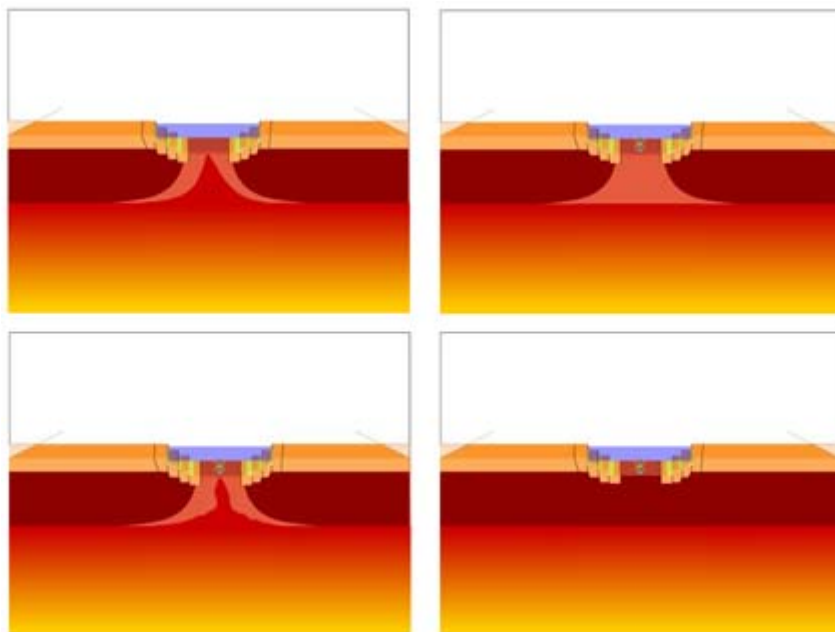
- a) Il est impossible de se trouver dans un cône de pénombre projeté par la Lune
- b) L'observateur vivrait une éclipse de soleil totale
- c) L'observateur vivrait une éclipse de soleil partielle
- d) L'observateur ne remarquerait rien de particulier
- e) L'observateur ne verrait rien, il se trouverait forcément sur la face de la Terre qui n'est pas exposée au Soleil : c'est la nuit

Questionnaire Géo

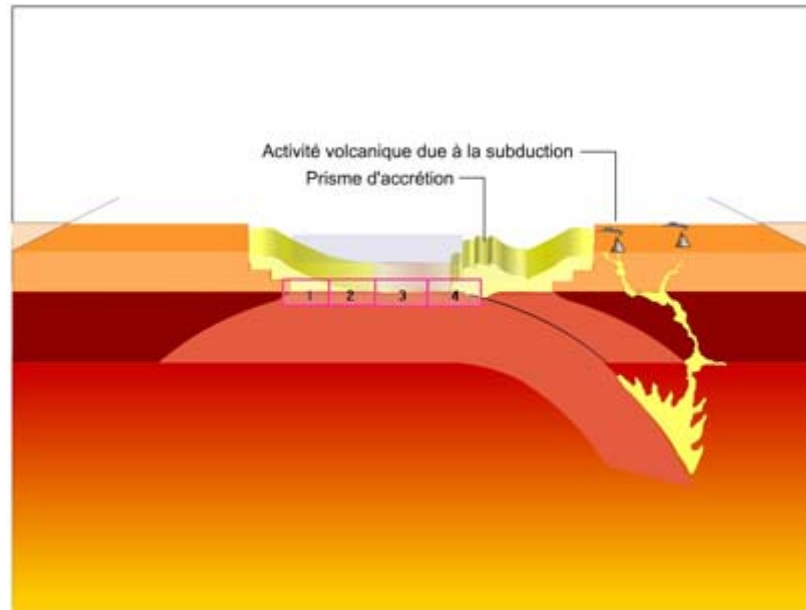
- 1) Expliquez en quelques mots les phénomènes des formations des montagnes et des océans
- 2) Quel phénomène est responsable de la formation du plancher océanique
 - a. Le volcanisme sous-marin
 - b. Les sédiments provenant des bornes continentales
 - c. Les refroidissements de l'asthénosphère
 - d. Les sédiments provenant des fonds marins
- 3) Laquelle de ces situations est incorrecte ?



- 4) Comment se forme un prisme ?
 - a. Par accumulation de sédiments provenant des marges continentales
 - b. Par raclement de 2 plaques l'une sous l'autre
 - c. Par accumulation de matière contenue dans les fonds marins
 - d. Par compression de la matière contenue dans les fonds marins
- 5) Laquelle de ces situations est-elle correcte ?

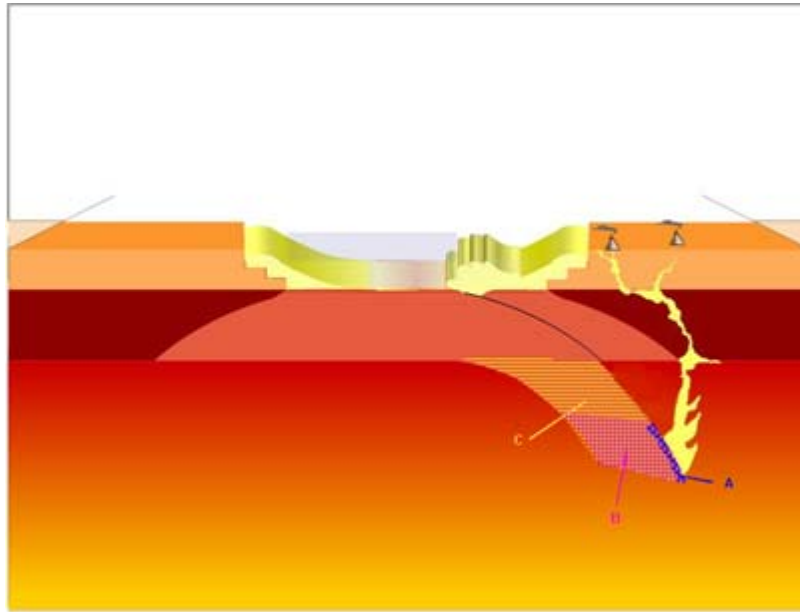


- 6) Cliquez le plus précisément possible sur la partie de la croûte océanique la plus vieille.



- 7) Comment se forme la lithosphère néoformée ?
- Par refroidissement de l'asthénosphère
 - Grâce au volcanisme sous-marin
 - Par accumulation des sédiments des fonds marins
 - Par remontée de l'asthénosphère à la surface
- 8) Quel phénomène engendre du volcanisme continental ?
- Des boucles de matière dans l'asthénosphère
 - La remontée d'asthénosphère à la surface
 - L'enfoncement du rift sous le niveau de la mer
 - La digestion de la plaque subduquée
- 9) De quoi est composée une chaîne de montagne mature ?
- De matière asthénosphérique refroidie
 - De lambeaux de lithosphère
 - De sédiments comprimés et de croûte océanique
 - Uniquement de résidus de croûte océanique
- 10) Que sont les cellules de convection ?
- Des boucles de matière en mouvement provenant du noyau
 - Des contraintes divergentes exercées sur la lithosphère continentale
 - Des contraintes convergentes exercées sur la lithosphère océanique
 - Des mouvements de matière dans le manteau asthénosphérique

11) De quelle zone de cette image provient la matière qui forme le volcanisme continental, cliquez sur la zone précise :



12) Selon vous, pourquoi l'écroulement du rift s'opère sous la forme d'un escalier ?

- Car les fissures dans la croûte continentale ont tendance à suivre un tracé parallèle entre elles, perpendiculairement aux forces de tension
- Car les fissures se créent de manière perpendiculaire entre elles, parallèlement aux forces de tension.
- Car l'effondrement est rapide et soudain
- Car l'effondrement se fait de manière progressive et prend beaucoup de temps

13) L'archipel des îles indonésiennes est en vérité un prisme d'accrétion en pleine croissance entre 2 plaques tectoniques convergentes. Selon vous, comment peut-on savoir laquelle des 2 plaques subducte ?

- En regardant la composition de la roche
- En regardant le côté où l'on trouve du volcanisme
- En regardant les versants des reliefs ; le côté de la subduction est le côté où le versant est plus raide
- En analysant les roches de part et d'autre

14) Selon vous, pourquoi les cellules de convection forment un boucle ?

- Car les courants ascendants suivent un chemin légèrement diagonal
- Car les courants chauds buttent contre la lithosphère
- Car les courants descendants ne peuvent pas reprendre le même chemin que les courants ascendants

15) Selon vous, peut-il y avoir des plaques lithosphériques néoformées ?

- Oui, par refroidissement de l'asthénosphère au niveau du continent

- b. Non, seule des plaques lithosphériques océaniques peuvent être néoformées
- c. Oui, au niveau du volcanisme continental
- d. Non, car la densité des plaques continentales est trop élevée par rapport à la densité de l'asthénosphère

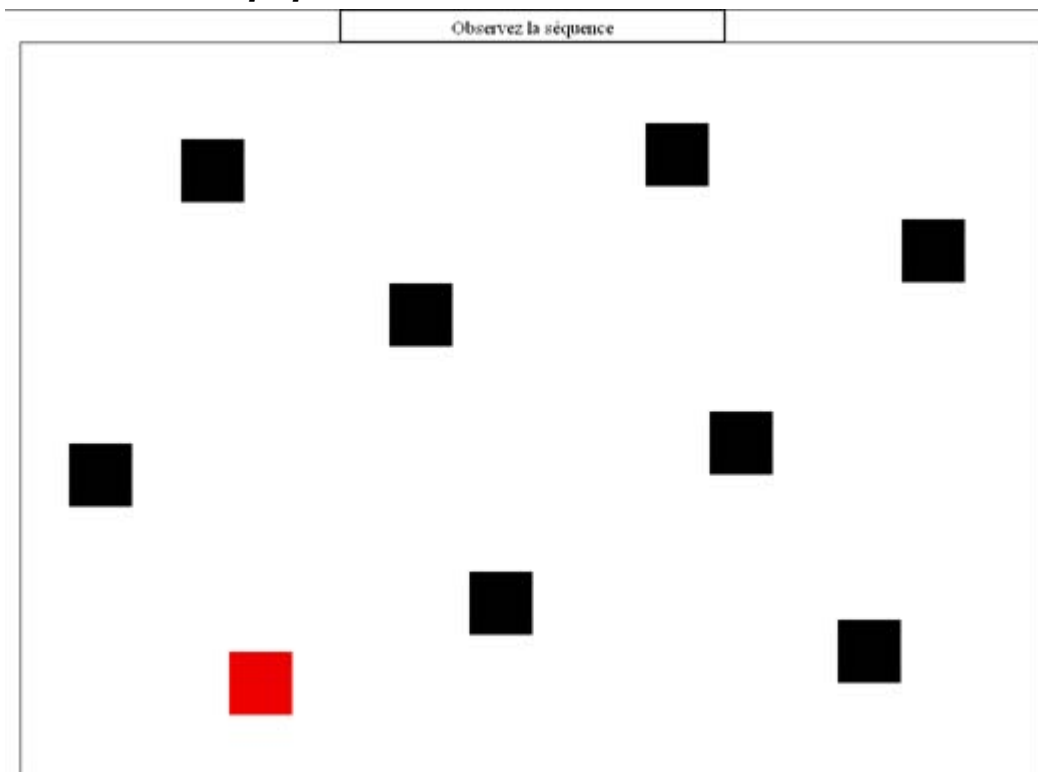
16) Y a-t-il toujours une dorsale formée de volcans dans les océans ?

- a. Non, seulement si l'océan est en train de se former
- b. Non, seulement si l'océan est en train de se refermer
- c. Oui, seulement si l'océan ne s'est pas refermé à plus de la moitié
- d. Oui, mais à condition que l'océan ait atteint une certaine taille, comme l'atlantique.

17) Selon vous, quel est l'âge de la croûte océanique aux abords des continents ?

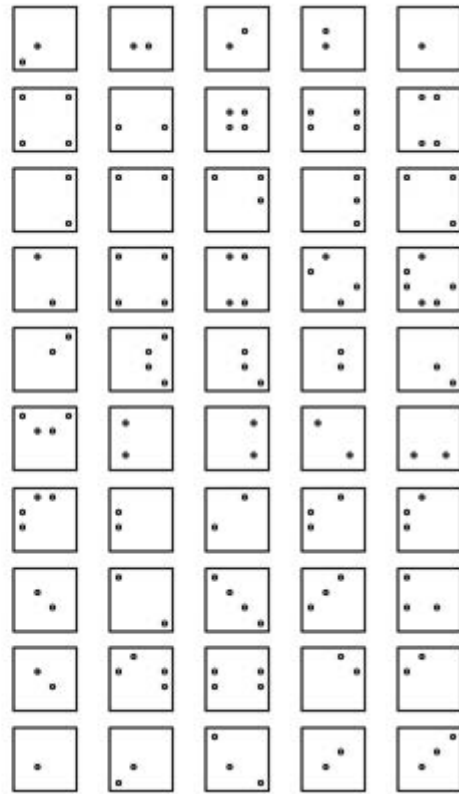
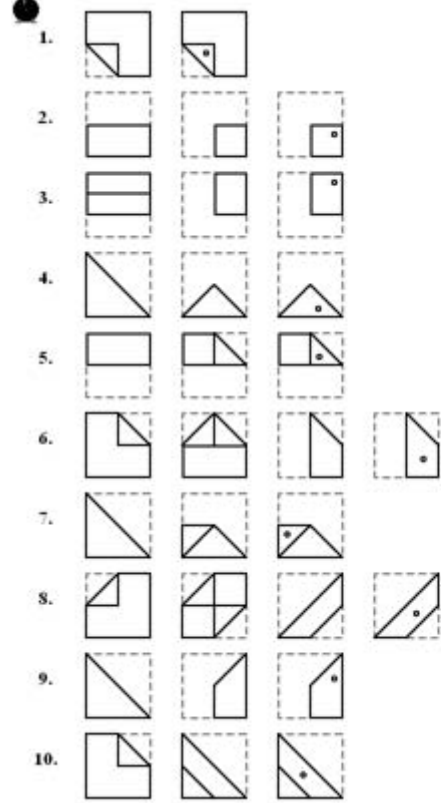
- a. Le même âge que les sédiments déposés au abords des continents
- b. Le même âge que le rift qui a donné l'océan
- c. Le même âge que la croûte continentale à cet endroit
- d. Le même âge que les continents

I. Version papier du test de Corsi.

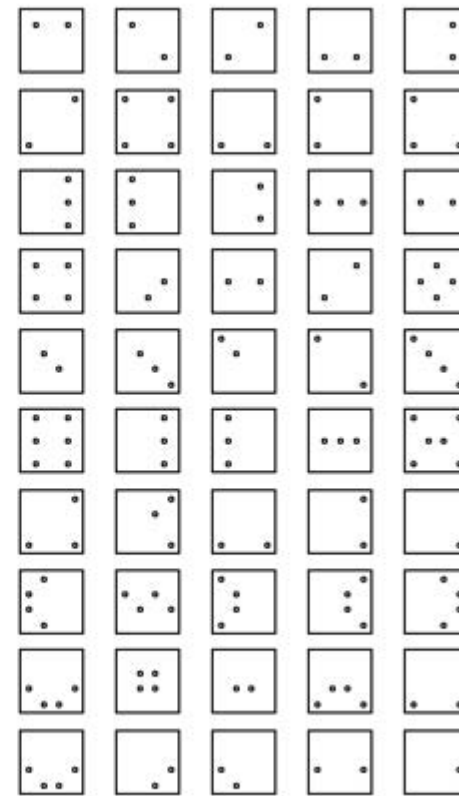
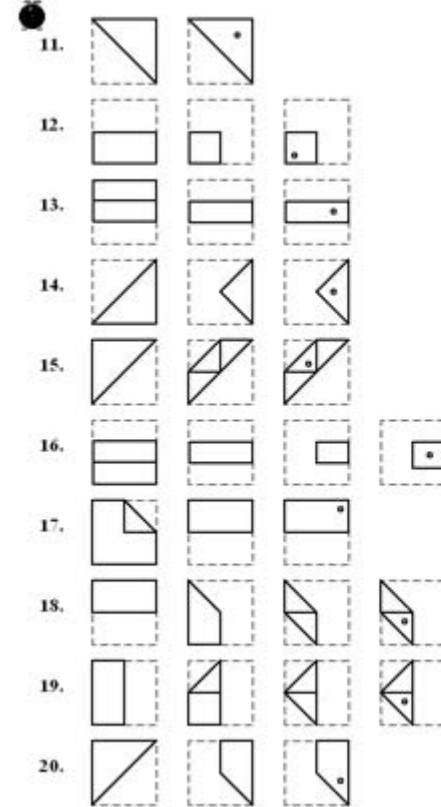


J. Paper-folding test.

Page 1



Page 2



Continuer

K. Manova principale sur la rétention et l'inférence.

Facteurs intra-sujets

Mesure	matériel	Variable dépendante
rétentio	1	Ret_A_z
	2	Ret_G_z
inférenc	1	Inf_A_z
	2	Inf_G_z
t_reflex	1	refl_A_z
	2	refl_G_z

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition	0	Statique	76
Animation	1		
		Dynamique	84
Condition	0		
Permanence	1	Non-Permanence	78
		Permanence	82
Condition	0		
Collaboration	1	Solo	80
		Duo	80

Tests multivariés(b)

Effet			Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Significatio n
Inter-sujets	Constante	Trace de Pillai	.000	.010(a)	3.000	150.000	.999
		Lambda de Wilks	1.000	.010(a)	3.000	150.000	.999
		Trace de Hotelling	.000	.010(a)	3.000	150.000	.999
		Plus grande racine de Roy	.000	.010(a)	3.000	150.000	.999
	Animation	Trace de Pillai	.062	3.279(a)	3.000	150.000	.023
		Lambda de Wilks	.938	3.279(a)	3.000	150.000	.023
		Trace de Hotelling	.066	3.279(a)	3.000	150.000	.023
		Plus grande racine de Roy	.066	3.279(a)	3.000	150.000	.023
	Permanence	Trace de Pillai	.033	1.695(a)	3.000	150.000	.170
		Lambda de Wilks	.967	1.695(a)	3.000	150.000	.170
		Trace de Hotelling	.034	1.695(a)	3.000	150.000	.170
		Plus grande racine de Roy	.034	1.695(a)	3.000	150.000	.170
	Collaboration	Trace de Pillai	.396	32.716(a)	3.000	150.000	.000
		Lambda de Wilks	.604	32.716(a)	3.000	150.000	.000
		Trace de Hotelling	.654	32.716(a)	3.000	150.000	.000
		Plus grande racine de Roy	.654	32.716(a)	3.000	150.000	.000

Intra-sujets	Animation * Permanence	Trace de Pillai	.011	.538(a)	3.000	150.000	.657
		Lambda de Wilks	.989	.538(a)	3.000	150.000	.657
		Trace de Hotelling	.011	.538(a)	3.000	150.000	.657
		Plus grande racine de Roy	.011	.538(a)	3.000	150.000	.657
	Animation * Collaboration	Trace de Pillai	.063	3.347(a)	3.000	150.000	.021
		Lambda de Wilks	.937	3.347(a)	3.000	150.000	.021
		Trace de Hotelling	.067	3.347(a)	3.000	150.000	.021
		Plus grande racine de Roy	.067	3.347(a)	3.000	150.000	.021
	Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.062	3.311(a)	3.000	150.000	.022
		Lambda de Wilks	.938	3.311(a)	3.000	150.000	.022
		Trace de Hotelling	.066	3.311(a)	3.000	150.000	.022
		Plus grande racine de Roy	.066	3.311(a)	3.000	150.000	.022
	Animation * Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.012	.603(a)	3.000	150.000	.614
		Lambda de Wilks	.988	.603(a)	3.000	150.000	.614
		Trace de Hotelling	.012	.603(a)	3.000	150.000	.614
		Plus grande racine de Roy	.012	.603(a)	3.000	150.000	.614
	matériel	Trace de Pillai	.001	.029(a)	3.000	150.000	.993
		Lambda de Wilks	.999	.029(a)	3.000	150.000	.993
		Trace de Hotelling	.001	.029(a)	3.000	150.000	.993
		Plus grande racine de Roy	.001	.029(a)	3.000	150.000	.993
	matériel * Animation	Trace de Pillai	.063	3.382(a)	3.000	150.000	.020
		Lambda de Wilks	.937	3.382(a)	3.000	150.000	.020
		Trace de Hotelling	.068	3.382(a)	3.000	150.000	.020
		Plus grande racine de Roy	.068	3.382(a)	3.000	150.000	.020
	matériel * Permanence	Trace de Pillai	.115	6.494(a)	3.000	150.000	.000
		Lambda de Wilks	.885	6.494(a)	3.000	150.000	.000
		Trace de Hotelling	.130	6.494(a)	3.000	150.000	.000
		Plus grande racine de Roy	.130	6.494(a)	3.000	150.000	.000
	matériel * Collaboration	Trace de Pillai	.002	.105(a)	3.000	150.000	.957
		Lambda de Wilks	.998	.105(a)	3.000	150.000	.957
		Trace de Hotelling	.002	.105(a)	3.000	150.000	.957
		Plus grande racine de Roy	.002	.105(a)	3.000	150.000	.957
matériel * Animation	Trace de Pillai	.062	3.294(a)	3.000	150.000	.022	

*								
Permanence								
	Lambda de Wilks	.938	3.294(a)	3.000	150.000			.022
	Trace de Hotelling	.066	3.294(a)	3.000	150.000			.022
	Plus grande racine de Roy	.066	3.294(a)	3.000	150.000			.022
matériel *	Trace de Pillai							
Animation *		.100	5.534(a)	3.000	150.000			.001
Collaboration								
	Lambda de Wilks	.900	5.534(a)	3.000	150.000			.001
	Trace de Hotelling	.111	5.534(a)	3.000	150.000			.001
	Plus grande racine de Roy	.111	5.534(a)	3.000	150.000			.001
matériel *	Trace de Pillai							
Permanence *		.038	1.991(a)	3.000	150.000			.118
Collaboration								
	Lambda de Wilks	.962	1.991(a)	3.000	150.000			.118
	Trace de Hotelling	.040	1.991(a)	3.000	150.000			.118
	Plus grande racine de Roy	.040	1.991(a)	3.000	150.000			.118
matériel *	Trace de Pillai							
Animation *								
Permanence *		.026	1.338(a)	3.000	150.000			.264
Collaboration								
	Lambda de Wilks	.974	1.338(a)	3.000	150.000			.264
	Trace de Hotelling	.027	1.338(a)	3.000	150.000			.264
	Plus grande racine de Roy	.027	1.338(a)	3.000	150.000			.264

a Statistique exacte

b Plan : Intercept+Animation+Permanence+Collaboration+Animation * Permanence+Animation *

Collaboration+Permanence * Collaboration+Animation * Permanence * Collaboration Plan intra-sujets : matériel

Test de sphéricité de Mauchly(b)

Effet intra-sujets	Mesure	W de Mauchly	Khi-deux approché	ddl	Signification	Epsilon(a)		
						Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Borne inférieure
matériel	rérentio	1.000	.000	0	.	1.000	1.000	1.000
	inférenc	1.000	.000	0	.	1.000	1.000	1.000
	t_reflex	1.000	.000	0	.	1.000	1.000	1.000

Teste l'hypothèse nulle selon laquelle la matrice de covariance des erreurs des variables dépendantes orthonormées est proportionnelle à la matrice identité.

a May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.

b Plan : Intercept+Animation+Permanence+Collaboration+Animation * Permanence+Animation *

Collaboration+Permanence * Collaboration+Animation * Permanence * Collaboration Plan intra-sujets : matériel

Tests des effets intra-sujets
Multivarié(b,c)

Effet intra-sujets		Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Signification
matériel	Trace de Pillai	.001	.029(a)	3.000	150.000	.993
	Lambda de Wilks	.999	.029(a)	3.000	150.000	.993
	Trace de Hotelling	.001	.029(a)	3.000	150.000	.993
	Plus grande racine de Roy	.001	.029(a)	3.000	150.000	.993
matériel * Animation	Trace de Pillai	.063	3.382(a)	3.000	150.000	.020
	Lambda de Wilks	.937	3.382(a)	3.000	150.000	.020
	Trace de Hotelling	.068	3.382(a)	3.000	150.000	.020
	Plus grande racine de Roy	.068	3.382(a)	3.000	150.000	.020
matériel * Permanence	Trace de Pillai	.115	6.494(a)	3.000	150.000	.000
	Lambda de Wilks	.885	6.494(a)	3.000	150.000	.000
	Trace de Hotelling	.130	6.494(a)	3.000	150.000	.000
	Plus grande racine de Roy	.130	6.494(a)	3.000	150.000	.000
matériel * Collaboration	Trace de Pillai	.002	.105(a)	3.000	150.000	.957
	Lambda de Wilks	.998	.105(a)	3.000	150.000	.957
	Trace de Hotelling	.002	.105(a)	3.000	150.000	.957
	Plus grande racine de Roy	.002	.105(a)	3.000	150.000	.957
matériel * Animation * Permanence	Trace de Pillai	.062	3.294(a)	3.000	150.000	.022
	Lambda de Wilks	.938	3.294(a)	3.000	150.000	.022
	Trace de Hotelling	.066	3.294(a)	3.000	150.000	.022
	Plus grande racine de Roy	.066	3.294(a)	3.000	150.000	.022
matériel * Animation * Collaboration	Trace de Pillai	.100	5.534(a)	3.000	150.000	.001
	Lambda de Wilks	.900	5.534(a)	3.000	150.000	.001
	Trace de Hotelling	.111	5.534(a)	3.000	150.000	.001
	Plus grande racine de Roy	.111	5.534(a)	3.000	150.000	.001
matériel * Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.038	1.991(a)	3.000	150.000	.118
	Lambda de Wilks	.962	1.991(a)	3.000	150.000	.118
	Trace de Hotelling	.040	1.991(a)	3.000	150.000	.118
	Plus grande racine de Roy	.040	1.991(a)	3.000	150.000	.118
matériel * Animation * Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.026	1.338(a)	3.000	150.000	.264
	Lambda de Wilks	.974	1.338(a)	3.000	150.000	.264
	Trace de Hotelling	.027	1.338(a)	3.000	150.000	.264
	Plus grande racine de Roy	.027	1.338(a)	3.000	150.000	.264

a Statistique exacte

b Plan : Intercept+Animation+Permanence+Collaboration+Animation * Permanence+Animation *

Collaboration+Permanence * Collaboration+Animation * Permanence * Collaboration Plan intra-sujets : matériel

c Les tests sont basés sur la moyenne des variables.

Tests univariés

Source	Mesure		Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Significatio n
matériel	rétentio	Sphéricité supposée	.001	1	.001	.001	.973
		Greenhouse-Geisser	.001	1.000	.001	.001	.973
		Huynh-Feldt	.001	1.000	.001	.001	.973
		Borne inférieure	.001	1.000	.001	.001	.973
	inférenc	Sphéricité supposée	7.421E-05	1	7.421E-05	.000	.992
		Greenhouse-Geisser	7.421E-05	1.000	7.421E-05	.000	.992
		Huynh-Feldt	7.421E-05	1.000	7.421E-05	.000	.992
		Borne inférieure	7.421E-05	1.000	7.421E-05	.000	.992
	t_reflex	Sphéricité supposée	.009	1	.009	.086	.770
		Greenhouse-Geisser	.009	1.000	.009	.086	.770
		Huynh-Feldt	.009	1.000	.009	.086	.770
		Borne inférieure	.009	1.000	.009	.086	.770
matériel * Animation	rétentio	Sphéricité supposée	.994	1	.994	1.409	.237
		Greenhouse-Geisser	.994	1.000	.994	1.409	.237
		Huynh-Feldt	.994	1.000	.994	1.409	.237
		Borne inférieure	.994	1.000	.994	1.409	.237
	inférenc	Sphéricité supposée	.072	1	.072	.107	.744
		Greenhouse-Geisser	.072	1.000	.072	.107	.744
		Huynh-Feldt	.072	1.000	.072	.107	.744
		Borne inférieure	.072	1.000	.072	.107	.744
	t_reflex	Sphéricité supposée	.971	1	.971	9.047	.003
		Greenhouse-Geisser	.971	1.000	.971	9.047	.003
		Huynh-Feldt	.971	1.000	.971	9.047	.003
		Borne inférieure	.971	1.000	.971	9.047	.003
matériel * Permanence	rétentio	Sphéricité supposée	6.898	1	6.898	9.776	.002
		Greenhouse-Geisser	6.898	1.000	6.898	9.776	.002
		Huynh-Feldt	6.898	1.000	6.898	9.776	.002
		Borne inférieure	6.898	1.000	6.898	9.776	.002
	inférenc	Sphéricité supposée	.082	1	.082	.123	.727
		Greenhouse-Geisser	.082	1.000	.082	.123	.727
		Huynh-Feldt	.082	1.000	.082	.123	.727
		Borne inférieure	.082	1.000	.082	.123	.727
	t_reflex	Sphéricité supposée	.945	1	.945	8.811	.003
		Greenhouse-Geisser	.945	1.000	.945	8.811	.003
		Huynh-Feldt	.945	1.000	.945	8.811	.003
		Borne inférieure	.945	1.000	.945	8.811	.003
matériel * Collaboration	rétentio	Sphéricité supposée	.056	1	.056	.079	.779

		Greenhouse-Geisser	.056	1.000	.056	.079	.779
		Huynh-Feldt	.056	1.000	.056	.079	.779
		Borne inférieure	.056	1.000	.056	.079	.779
	inférenc	Sphéricité supposée	.015	1	.015	.022	.882
		Greenhouse-Geisser	.015	1.000	.015	.022	.882
		Huynh-Feldt	.015	1.000	.015	.022	.882
		Borne inférieure	.015	1.000	.015	.022	.882
	t_reflex	Sphéricité supposée	.020	1	.020	.191	.663
		Greenhouse-Geisser	.020	1.000	.020	.191	.663
		Huynh-Feldt	.020	1.000	.020	.191	.663
		Borne inférieure	.020	1.000	.020	.191	.663
matériel *	rétentio	Sphéricité supposée	2.486	1	2.486	3.523	.062
Animation *		Greenhouse-Geisser	2.486	1.000	2.486	3.523	.062
Permanence		Huynh-Feldt	2.486	1.000	2.486	3.523	.062
		Borne inférieure	2.486	1.000	2.486	3.523	.062
	inférenc	Sphéricité supposée	.612	1	.612	.916	.340
		Greenhouse-Geisser	.612	1.000	.612	.916	.340
		Huynh-Feldt	.612	1.000	.612	.916	.340
		Borne inférieure	.612	1.000	.612	.916	.340
	t_reflex	Sphéricité supposée	.597	1	.597	5.563	.020
		Greenhouse-Geisser	.597	1.000	.597	5.563	.020
		Huynh-Feldt	.597	1.000	.597	5.563	.020
		Borne inférieure	.597	1.000	.597	5.563	.020
matériel *	rétentio	Sphéricité supposée	.008	1	.008	.012	.913
Animation *		Greenhouse-Geisser	.008	1.000	.008	.012	.913
Collaboration		Huynh-Feldt	.008	1.000	.008	.012	.913
		Borne inférieure	.008	1.000	.008	.012	.913
	inférenc	Sphéricité supposée	.001	1	.001	.002	.964
		Greenhouse-Geisser	.001	1.000	.001	.002	.964
		Huynh-Feldt	.001	1.000	.001	.002	.964
		Borne inférieure	.001	1.000	.001	.002	.964
	t_reflex	Sphéricité supposée	1.794	1	1.794	16.718	.000
		Greenhouse-Geisser	1.794	1.000	1.794	16.718	.000
		Huynh-Feldt	1.794	1.000	1.794	16.718	.000
		Borne inférieure	1.794	1.000	1.794	16.718	.000
matériel *	rétentio	Sphéricité supposée	.264	1	.264	.374	.542
Permanence *		Greenhouse-Geisser	.264	1.000	.264	.374	.542
Collaboration		Huynh-Feldt	.264	1.000	.264	.374	.542
		Borne inférieure	.264	1.000	.264	.374	.542

matériel * Animation * Permanence * Collaboration	inférenc	Sphéricité supposée	.037	1	.037	.055	.814
		Greenhouse- Geisser	.037	1.000	.037	.055	.814
		Huynh-Feldt	.037	1.000	.037	.055	.814
		Borne inférieure	.037	1.000	.037	.055	.814
	t_reflex	Sphéricité supposée	.576	1	.576	5.364	.022
		Greenhouse- Geisser	.576	1.000	.576	5.364	.022
		Huynh-Feldt	.576	1.000	.576	5.364	.022
		Borne inférieure	.576	1.000	.576	5.364	.022
	rétentio	Sphéricité supposée	1.386	1	1.386	1.965	.163
		Greenhouse- Geisser	1.386	1.000	1.386	1.965	.163
		Huynh-Feldt	1.386	1.000	1.386	1.965	.163
		Borne inférieure	1.386	1.000	1.386	1.965	.163
	inférenc	Sphéricité supposée	1.448	1	1.448	2.166	.143
		Greenhouse- Geisser	1.448	1.000	1.448	2.166	.143
		Huynh-Feldt	1.448	1.000	1.448	2.166	.143
		Borne inférieure	1.448	1.000	1.448	2.166	.143
t_reflex	Sphéricité supposée	.008	1	.008	.078	.781	
	Greenhouse- Geisser	.008	1.000	.008	.078	.781	
	Huynh-Feldt	.008	1.000	.008	.078	.781	
	Borne inférieure	.008	1.000	.008	.078	.781	
Erreur(matériel)	rétentio	Sphéricité supposée	107.244	152	.706		
		Greenhouse- Geisser	107.244	152.000	.706		
		Huynh-Feldt	107.244	152.000	.706		
		Borne inférieure	107.244	152.000	.706		
	inférenc	Sphéricité supposée	101.575	152	.668		
		Greenhouse- Geisser	101.575	152.000	.668		
		Huynh-Feldt	101.575	152.000	.668		
		Borne inférieure	101.575	152.000	.668		
	t_reflex	Sphéricité supposée	16.310	152	.107		
		Greenhouse- Geisser	16.310	152.000	.107		
		Huynh-Feldt	16.310	152.000	.107		
		Borne inférieure	16.310	152.000	.107		

Tests des contrastes intra-sujets

Source	Mesure	matériel	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
matériel	rétentio	Linéaire	.001	1	.001	.001	.973
	inférenc	Linéaire	7.421E-05	1	7.421E-05	.000	.992
	t_reflex	Linéaire	.009	1	.009	.086	.770
matériel * Animation	rétentio	Linéaire	.994	1	.994	1.409	.237
	inférenc	Linéaire	.072	1	.072	.107	.744
	t_reflex	Linéaire	.971	1	.971	9.047	.003
matériel * Permanence	rétentio	Linéaire	6.898	1	6.898	9.776	.002
	inférenc	Linéaire	.082	1	.082	.123	.727
	t_reflex	Linéaire	.945	1	.945	8.811	.003
matériel * Collaboration	rétentio	Linéaire	.056	1	.056	.079	.779
	inférenc	Linéaire	.015	1	.015	.022	.882
	t_reflex	Linéaire	.020	1	.020	.191	.663
matériel * Animation * Permanence	rétentio	Linéaire	2.486	1	2.486	3.523	.062
	inférenc	Linéaire	.612	1	.612	.916	.340
	t_reflex	Linéaire	.597	1	.597	5.563	.020
matériel * Animation * Collaboration	rétentio	Linéaire	.008	1	.008	.012	.913
	inférenc	Linéaire	.001	1	.001	.002	.964
	t_reflex	Linéaire	1.794	1	1.794	16.718	.000
matériel * Permanence * Collaboration	rétentio	Linéaire	.264	1	.264	.374	.542
	inférenc	Linéaire	.037	1	.037	.055	.814
	t_reflex	Linéaire	.576	1	.576	5.364	.022
matériel * Animation * Permanence * Collaboration	rétentio	Linéaire	1.386	1	1.386	1.965	.163
	inférenc	Linéaire	1.448	1	1.448	2.166	.143
	t_reflex	Linéaire	.008	1	.008	.078	.781
Erreur(matériel)	rétentio	Linéaire	107.244	152	.706		
	inférenc	Linéaire	101.575	152	.668		
	t_reflex	Linéaire	16.310	152	.107		

Tests des effets inter-sujets

Variable transformée: Moyenne

Source	Mesure	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Constante	rétentio	.027	1	.027	.022	.881
	inférenc	.010	1	.010	.008	.929
	t_reflex	.011	1	.011	.009	.923
Animation	rétentio	10.721	1	10.721	8.809	.003
	inférenc	7.716	1	7.716	6.324	.013
	t_reflex	.198	1	.198	.173	.678
Permanence	rétentio	.009	1	.009	.007	.931
	inférenc	.007	1	.007	.005	.942
	t_reflex	5.826	1	5.826	5.084	.026
Collaboration	rétentio	.031	1	.031	.026	.873
	inférenc	1.037	1	1.037	.850	.358
	t_reflex	113.044	1	113.044	98.637	.000
Animation * Permanence	rétentio	1.117	1	1.117	.918	.340
	inférenc	1.694	1	1.694	1.388	.241
	t_reflex	.062	1	.062	.054	.816
Animation * Collaboration	rétentio	.041	1	.041	.034	.854
	inférenc	9.337	1	9.337	7.652	.006
	t_reflex	.006	1	.006	.005	.944
Permanence * Collaboration	rétentio	.008	1	.008	.007	.935
	inférenc	8.207	1	8.207	6.726	.010
	t_reflex	.710	1	.710	.619	.433
Animation * Permanence * Collaboration	rétentio	2.090	1	2.090	1.718	.192
	inférenc	1.083	1	1.083	.888	.348
	t_reflex	.012	1	.012	.010	.920
Erreur	rétentio	184.993	152	1.217		
	inférenc	185.472	152	1.220		
	t_reflex	174.201	152	1.146		

L. Anovas sur les sous-groupes solo et duo (rétention et inférence).

Solo, rétention

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition Animation	0	Statique	38
	1	Dynamique	42
Condition Permanence	0	Non-Permanence	40
	1	Permanence	40

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: score de rétention (centré-réduit)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	6.382(a)	3	2.127	2.159	.100
Constante	.043	1	.043	.044	.834
Animation	3.903	1	3.903	3.962	.050
Permanence	.008	1	.008	.008	.930
Animation * Permanence	2.451	1	2.451	2.488	.119
Erreur	74.875	76	.985		
Total	81.269	80			
Total corrigé	81.257	79			

a R deux = .079 (R deux ajusté = .042)

Solo, inférence

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition Animation	0	Statique	38
	1	Dynamique	42
Condition Permanence	0	Non-Permanence	40
	1	Permanence	40

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: score d'inférence (centré-réduit)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	5.085(a)	3	1.695	1.722	.170
Constante	.443	1	.443	.450	.504
Animation	.032	1	.032	.033	.857
Permanence	3.211	1	3.211	3.262	.075
Animation * Permanence	2.089	1	2.089	2.122	.149
Erreur	74.813	76	.984		
Total	80.354	80			
Total corrigé	79.898	79			

a R deux = .064 (R deux ajusté = .027)

Duo, rétention

Facteurs inter-sujets

	Etiquette de valeur	N
Condition 0	Statique	38
Animation 1	Dynamique	42
Condition 0	Non-Permanence	38
1	Permanence	42

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: score de rétention (centré-réduit)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	5.262(a)	3	1.754	1.855	.144
Constante	6.713E-06	1	6.713E-06	.000	.998
Animation	4.991	1	4.991	5.277	.024
Permanence	.058	1	.058	.062	.804
Animation * Permanence	.126	1	.126	.133	.717
Erreur	71.879	76	.946		
Total	77.151	80			
Total corrigé	77.141	79			

a R deux = .068 (R deux ajusté = .031)

Duo, inférence

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition	0	Statique	38
Animation	1		
		Dynamique	42
Condition	0	Non-Permanence	38
Permanence	1		
		Permanence	42

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: score d'inférence (centré-réduit)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	15.411(a)	3	5.137	6.199	.001
Constante	.342	1	.342	.413	.523
Animation	12.544	1	12.544	15.138	.000
Permanence	2.806	1	2.806	3.386	.070
Animation * Permanence	.008	1	.008	.010	.921
Erreur	62.980	76	.829		
Total	78.853	80			
Total corrigé	78.391	79			

a R deux = .197 (R deux ajusté = .165)

M. Anovas sur les sous-groupes permanence et non-permanence (rétention et inférence).

Permanence, rétention

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition	0	Statique	39
Animation	1		
Condition	0	Dynamique	43
Collaboration	1		
Condition	0	Solo	40
Collaboration	1	Duo	42

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: score de rétention (centré-réduit)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	3.617(a)	3	1.206	1.323	.273
Constante	.075	1	.075	.082	.776
Animation	2.308	1	2.308	2.532	.116
Collaboration	.001	1	.001	.001	.979
Animation * Collaboration	1.219	1	1.219	1.337	.251
Erreur	71.104	78	.912		
Total	74.760	82			
Total corrigé	74.721	81			

a R deux = .048 (R deux ajusté = .012)

Permanence, inférence

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition	0	Statique	39
Animation	1		
Condition	0	Dynamique	43
Collaboration	1		
Condition	0	Solo	40
Collaboration	1	Duo	42

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: score d'inférence (centré-réduit)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	8.586(a)	3	2.862	3.170	.029
Constante	.000	1	.000	.000	.985
Animation	.859	1	.859	.951	.332
Collaboration	1.260	1	1.260	1.396	.241
Animation * Collaboration	6.607	1	6.607	7.319	.008
Erreur	70.419	78	.903		
Total	79.007	82			
Total corrigé	79.006	81			

a R deux = .109 (R deux ajusté = .074)

Non-permanence, rétention

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition	0	Statique	37
Animation	1		
		Dynamique	41
Condition	0		
Collaboration	1	Solo	40
		Duo	38

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: score de rétention (centré-réduit)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	7.972(a)	3	2.657	2.599	.059
Constante	.003	1	.003	.003	.954
Animation	7.164	1	7.164	7.008	.010
Collaboration	.032	1	.032	.031	.861
Animation * Collaboration	.670	1	.670	.656	.421
Erreur	75.651	74	1.022		
Total	83.660	78			
Total corrigé	83.623	77			

a R deux = .095 (R deux ajusté = .059)

Non-permanence, inférence

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition	0	Statique	37
Animation	1		
		Dynamique	41
Condition	0		
Collaboration	1	Solo	40
		Duo	38

Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante: score d'inférence (centré-réduit)

Source	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	12.825(a)	3	4.275	4.696	.005
Constante	.009	1	.009	.010	.920
Animation	5.857	1	5.857	6.433	.013
Collaboration	5.426	1	5.426	5.960	.017
Animation * Collaboration	1.369	1	1.369	1.504	.224
Erreur	67.374	74	.910		
Total	80.200	78			
Total corrigé	80.199	77			

a R deux = .160 (R deux ajusté = .126)

N. Anova du temps de réflexion / discussion.

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Animation	0	Statique	71
	1	Dynamique	79
Permanence	0	Non-permanence	68
	1	Permanence	82
Collaboration	0	Solo	70
	1	Duo	80

Tests multivariés(b)

Effet		Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Signification
Constante	Trace de Pillai	.718	179.248(a)	2.000	141.000	.000
	Lambda de Wilks	.282	179.248(a)	2.000	141.000	.000
	Trace de Hotelling	2.543	179.248(a)	2.000	141.000	.000
	Plus grande racine de Roy	2.543	179.248(a)	2.000	141.000	.000
Animation	Trace de Pillai	.004	.296(a)	2.000	141.000	.744
	Lambda de Wilks	.996	.296(a)	2.000	141.000	.744
	Trace de Hotelling	.004	.296(a)	2.000	141.000	.744
	Plus grande racine de Roy	.004	.296(a)	2.000	141.000	.744
Permanence	Trace de Pillai	.174	14.880(a)	2.000	141.000	.000
	Lambda de Wilks	.826	14.880(a)	2.000	141.000	.000
	Trace de Hotelling	.211	14.880(a)	2.000	141.000	.000
	Plus grande racine de Roy	.211	14.880(a)	2.000	141.000	.000
Collaboration	Trace de Pillai	.411	49.223(a)	2.000	141.000	.000
	Lambda de Wilks	.589	49.223(a)	2.000	141.000	.000
	Trace de Hotelling	.698	49.223(a)	2.000	141.000	.000
	Plus grande racine de Roy	.698	49.223(a)	2.000	141.000	.000
Animation * Permanence	Trace de Pillai	.005	.351(a)	2.000	141.000	.705
	Lambda de Wilks	.995	.351(a)	2.000	141.000	.705
	Trace de Hotelling	.005	.351(a)	2.000	141.000	.705
	Plus grande racine de Roy	.005	.351(a)	2.000	141.000	.705
Animation * Collaboration	Trace de Pillai	.002	.121(a)	2.000	141.000	.886
	Lambda de Wilks	.998	.121(a)	2.000	141.000	.886
	Trace de Hotelling	.002	.121(a)	2.000	141.000	.886
	Plus grande racine de Roy	.002	.121(a)	2.000	141.000	.886

Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.011	.807(a)	2.000	141.000	.448
	Lambda de Wilks	.989	.807(a)	2.000	141.000	.448
	Trace de Hotelling	.011	.807(a)	2.000	141.000	.448
	Plus grande racine de Roy	.011	.807(a)	2.000	141.000	.448
Animation * Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.000	.029(a)	2.000	141.000	.972
	Lambda de Wilks	1.000	.029(a)	2.000	141.000	.972
	Trace de Hotelling	.000	.029(a)	2.000	141.000	.972
	Plus grande racine de Roy	.000	.029(a)	2.000	141.000	.972

a Statistique exacte

b Plan : Intercept+Animation+Permanence+Collaboration+Animation * Permanence+Animation * Collaboration+Permanence * Collaboration+Animation * Permanence * Collaboration

Tests des effets inter-sujets

Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Significatio n
Modèle corrigé	temps de réflexion/discu moyen	12570.602(a)	7	1795.800	13.741	.000
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	11405.564(b)	7	1629.366	14.582	.000
	temps moy d'ouverture de vign par étape	208.384(c)	7	29.769	4.916	.000
Constante	temps de réflexion/discu moyen	45857.270	1	45857.270	350.887	.000
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	40270.995	1	40270.995	360.413	.000
	temps moy d'ouverture de vign par étape	181.354	1	181.354	29.947	.000
Animation	temps de réflexion/discu moyen	16.205	1	16.205	.124	.725
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	26.566	1	26.566	.238	.627
	temps moy d'ouverture de vign par étape	1.274	1	1.274	.210	.647
Permanence	temps de réflexion/discu moyen	686.697	1	686.697	5.254	.023
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	162.260	1	162.260	1.452	.230
	temps moy d'ouverture de vign par étape	181.354	1	181.354	29.947	.000
Collaboration	temps de réflexion/discu moyen	11566.647	1	11566.647	88.505	.000
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	10909.403	1	10909.403	97.636	.000
	temps moy d'ouverture de vign par étape	9.612	1	9.612	1.587	.210

Animation * Permanence	temps de réflexion/discu moyen	23.882	1	23.882	.183	.670
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	36.187	1	36.187	.324	.570
	temps moy d'ouverture de vign par étape	1.274	1	1.274	.210	.647
Animation * Collaboration	temps de réflexion/discu moyen	14.634	1	14.634	.112	.738
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	18.148	1	18.148	.162	.688
	temps moy d'ouverture de vign par étape	.189	1	.189	.031	.860
Permanence * Collaboration	temps de réflexion/discu moyen	70.579	1	70.579	.540	.464
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	28.099	1	28.099	.251	.617
	temps moy d'ouverture de vign par étape	9.612	1	9.612	1.587	.210
Animation * Permanence * Collaboration	temps de réflexion/discu moyen	6.570	1	6.570	.050	.823
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	4.531	1	4.531	.041	.841
	temps moy d'ouverture de vign par étape	.189	1	.189	.031	.860
Erreur	temps de réflexion/discu moyen	18557.905	142	130.689		
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	15866.460	142	111.736		
	temps moy d'ouverture de vign par étape	859.917	142	6.056		
Total	temps de réflexion/discu moyen	82141.231	150			
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	71779.218	150			
	temps moy d'ouverture de vign par étape	1290.093	150			
Total corrigé	temps de réflexion/discu moyen	31128.507	149			
	temps de réflexion/discu moyenne (sans vignettes)	27272.024	149			
	temps moy d'ouverture de vign par étape	1068.301	149			

a R deux = .404 (R deux ajusté = .374)

b R deux = .418 (R deux ajusté = .390)

c R deux = .195 (R deux ajusté = .155)

O. Anova portant sur la charge perçue.

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition Animation	0	Statique	76
	1	Dynamique	84
Condition Permanence	0	Non-Permanence	78
	1	Permanence	82
Condition Collaboration	0	Solo	80
	1	Duo	80

Tests multivariés(b)

Effet		Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Signification
Constante	Trace de Pillai	.000	.002(a)	5.000	148.000	1.000
	Lambda de Wilks	1.000	.002(a)	5.000	148.000	1.000
	Trace de Hotelling	.000	.002(a)	5.000	148.000	1.000
	Plus grande racine de Roy	.000	.002(a)	5.000	148.000	1.000
Animation	Trace de Pillai	.024	.739(a)	5.000	148.000	.595
	Lambda de Wilks	.976	.739(a)	5.000	148.000	.595
	Trace de Hotelling	.025	.739(a)	5.000	148.000	.595
	Plus grande racine de Roy	.025	.739(a)	5.000	148.000	.595
Permanence	Trace de Pillai	.015	.458(a)	5.000	148.000	.807
	Lambda de Wilks	.985	.458(a)	5.000	148.000	.807
	Trace de Hotelling	.015	.458(a)	5.000	148.000	.807
	Plus grande racine de Roy	.015	.458(a)	5.000	148.000	.807
Collaboration	Trace de Pillai	.046	1.426(a)	5.000	148.000	.218
	Lambda de Wilks	.954	1.426(a)	5.000	148.000	.218
	Trace de Hotelling	.048	1.426(a)	5.000	148.000	.218
	Plus grande racine de Roy	.048	1.426(a)	5.000	148.000	.218
Animation * Permanence	Trace de Pillai	.071	2.268(a)	5.000	148.000	.051
	Lambda de Wilks	.929	2.268(a)	5.000	148.000	.051
	Trace de Hotelling	.077	2.268(a)	5.000	148.000	.051
	Plus grande racine de Roy	.077	2.268(a)	5.000	148.000	.051
Animation * Collaboration	Trace de Pillai	.023	.702(a)	5.000	148.000	.623
	Lambda de Wilks	.977	.702(a)	5.000	148.000	.623
	Trace de Hotelling	.024	.702(a)	5.000	148.000	.623
	Plus grande racine de Roy	.024	.702(a)	5.000	148.000	.623

Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.015	.463(a)	5.000	148.000	.803
	Lambda de Wilks	.985	.463(a)	5.000	148.000	.803
	Trace de Hotelling	.016	.463(a)	5.000	148.000	.803
	Plus grande racine de Roy	.016	.463(a)	5.000	148.000	.803
Animation * Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.034	1.045(a)	5.000	148.000	.394
	Lambda de Wilks	.966	1.045(a)	5.000	148.000	.394
	Trace de Hotelling	.035	1.045(a)	5.000	148.000	.394
	Plus grande racine de Roy	.035	1.045(a)	5.000	148.000	.394

a Statistique exacte

b Plan : Intercept+Animation+Permanence+Collaboration+Animation * Permanence+Animation * Collaboration+Permanence * Collaboration+Animation * Permanence * Collaboration

Tests des effets inter-sujets

Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	Demande mentale (z)	4.986(a)	7	.712	.702	.670
	Demande temporelle (z)	6.910(b)	7	.987	.987	.443
	Performance (z)	5.305(c)	7	.758	.749	.631
	Effort (z)	6.637(d)	7	.948	.945	.474
	Frustration (z)	7.096(e)	7	1.014	1.014	.423
Constante	Demande mentale (z)	.004	1	.004	.004	.952
	Demande temporelle (z)	.000	1	.000	.000	.984
	Performance (z)	.000	1	.000	.000	.984
	Effort (z)	2.717E-05	1	2.717E-05	.000	.996
	Frustration (z)	.005	1	.005	.005	.942
Animation	Demande mentale (z)	2.593	1	2.593	2.557	.112
	Demande temporelle (z)	.490	1	.490	.490	.485
	Performance (z)	.932	1	.932	.921	.339
	Effort (z)	.389	1	.389	.388	.535
	Frustration (z)	.847	1	.847	.847	.359
Permanence	Demande mentale (z)	.168	1	.168	.166	.684
	Demande temporelle (z)	.114	1	.114	.114	.736
	Performance (z)	.200	1	.200	.198	.657
	Effort (z)	.075	1	.075	.075	.785
	Frustration (z)	.634	1	.634	.634	.427
Collaboration	Demande mentale (z)	.200	1	.200	.197	.658
	Demande temporelle (z)	.055	1	.055	.055	.815
	Performance (z)	1.461	1	1.461	1.445	.231
	Effort (z)	5.141	1	5.141	5.126	.025
	Frustration (z)	.622	1	.622	.622	.432

Animation * Permanence	Demande mentale (z)	1.673	1	1.673	1.650	.201
	Demande temporelle (z)	3.260	1	3.260	3.259	.073
	Performance (z)	.279	1	.279	.276	.600
	Effort (z)	.695	1	.695	.693	.407
	Frustration (z)	3.100	1	3.100	3.102	.080
Animation * Collaboration	Demande mentale (z)	.094	1	.094	.093	.761
	Demande temporelle (z)	.749	1	.749	.749	.388
	Performance (z)	1.483	1	1.483	1.467	.228
	Effort (z)	.095	1	.095	.094	.759
	Frustration (z)	.263	1	.263	.263	.609
Permanence * Collaboration	Demande mentale (z)	.132	1	.132	.130	.719
	Demande temporelle (z)	.965	1	.965	.965	.327
	Performance (z)	.324	1	.324	.321	.572
	Effort (z)	.202	1	.202	.201	.655
	Frustration (z)	.261	1	.261	.261	.610
Animation * Permanence * Collaboration	Demande mentale (z)	.101	1	.101	.100	.752
	Demande temporelle (z)	1.207	1	1.207	1.207	.274
	Performance (z)	.593	1	.593	.587	.445
	Effort (z)	.044	1	.044	.044	.834
	Frustration (z)	.878	1	.878	.878	.350
Erreur	Demande mentale (z)	154.139	152	1.014		
	Demande temporelle (z)	152.034	152	1.000		
	Performance (z)	153.741	152	1.011		
	Effort (z)	152.449	152	1.003		
	Frustration (z)	151.905	152	.999		
Total	Demande mentale (z)	159.125	160			
	Demande temporelle (z)	158.944	160			
	Performance (z)	159.046	160			
	Effort (z)	159.086	160			
	Frustration (z)	159.001	160			
Total corrigé	Demande mentale (z)	159.125	159			
	Demande temporelle (z)	158.944	159			
	Performance (z)	159.046	159			
	Effort (z)	159.086	159			
	Frustration (z)	159.001	159			

a R deux = .031 (R deux ajusté = -.013)

b R deux = .043 (R deux ajusté = -.001)

c R deux = .033 (R deux ajusté = -.011)

d R deux = .042 (R deux ajusté = -.002)

e R deux = .045 (R deux ajusté = .001)

P. Anova des niveaux de certitude.

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition Animation	0	Statique	76
	1	Dynamique	84
Condition Permanence	0	Non-Permanence	78
	1	Permanence	82
Condition Collaboration	0	Solo	80
	1	Duo	80

Tests multivariés(c)

Effet		Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Signification	Eta au carré partiel	Paramètre non centré	Puissance observée(a)
Constante	Trace de Pillai	.968	1110.658(b)	4.000	149.000	.000	.968	4442.633	1.000
	Lambda de Wilks	.032	1110.658(b)	4.000	149.000	.000	.968	4442.633	1.000
	Trace de Hotelling	29.816	1110.658(b)	4.000	149.000	.000	.968	4442.633	1.000
	Plus grande racine de Roy	29.816	1110.658(b)	4.000	149.000	.000	.968	4442.633	1.000
Animation	Trace de Pillai	.076	3.067(b)	4.000	149.000	.018	.076	12.269	.798
	Lambda de Wilks	.924	3.067(b)	4.000	149.000	.018	.076	12.269	.798
	Trace de Hotelling	.082	3.067(b)	4.000	149.000	.018	.076	12.269	.798
	Plus grande racine de Roy	.082	3.067(b)	4.000	149.000	.018	.076	12.269	.798
Permanence	Trace de Pillai	.029	1.131(b)	4.000	149.000	.344	.029	4.523	.349
	Lambda de Wilks	.971	1.131(b)	4.000	149.000	.344	.029	4.523	.349
	Trace de Hotelling	.030	1.131(b)	4.000	149.000	.344	.029	4.523	.349
	Plus grande racine de Roy	.030	1.131(b)	4.000	149.000	.344	.029	4.523	.349
Collaboration	Trace de Pillai	.027	1.051(b)	4.000	149.000	.383	.027	4.204	.326
	Lambda de Wilks	.973	1.051(b)	4.000	149.000	.383	.027	4.204	.326
	Trace de Hotelling	.028	1.051(b)	4.000	149.000	.383	.027	4.204	.326
	Plus grande racine de Roy	.028	1.051(b)	4.000	149.000	.383	.027	4.204	.326

Animation * Permanence	Trace de Pillai	.024	.930(b)	4.000	149.000	.448	.024	3.721	.290
	Lambda de Wilks	.976	.930(b)	4.000	149.000	.448	.024	3.721	.290
	Trace de Hotelling	.025	.930(b)	4.000	149.000	.448	.024	3.721	.290
	Plus grande racine de Roy	.025	.930(b)	4.000	149.000	.448	.024	3.721	.290
Animation * Collaboration	Trace de Pillai	.020	.765(b)	4.000	149.000	.549	.020	3.062	.242
	Lambda de Wilks	.980	.765(b)	4.000	149.000	.549	.020	3.062	.242
	Trace de Hotelling	.021	.765(b)	4.000	149.000	.549	.020	3.062	.242
	Plus grande racine de Roy	.021	.765(b)	4.000	149.000	.549	.020	3.062	.242
Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.023	.878(b)	4.000	149.000	.479	.023	3.513	.275
	Lambda de Wilks	.977	.878(b)	4.000	149.000	.479	.023	3.513	.275
	Trace de Hotelling	.024	.878(b)	4.000	149.000	.479	.023	3.513	.275
	Plus grande racine de Roy	.024	.878(b)	4.000	149.000	.479	.023	3.513	.275
Animation * Permanence * Collaboration	Trace de Pillai	.054	2.133(b)	4.000	149.000	.080	.054	8.531	.621
	Lambda de Wilks	.946	2.133(b)	4.000	149.000	.080	.054	8.531	.621
	Trace de Hotelling	.057	2.133(b)	4.000	149.000	.080	.054	8.531	.621
	Plus grande racine de Roy	.057	2.133(b)	4.000	149.000	.080	.054	8.531	.621

a Calculé à partir d'alpha = .05

b Statistique exacte

c Plan : Intercept+Animation+Permanence+Collaboration+Animation * Permanence+Animation * Collaboration+Permanence * Collaboration+Animation * Permanence * Collaboration

Tests des effets inter-sujets

Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification	Eta au carré partiel	Paramètre non centré	Puissance observée(a)
Modèle corrigé	Total des niveaux de certitude	124506 1.629(b)	7	177865. 947	.855	.544	.038	5.986	.360
	Certitude de rétention	472270 .392(c)	7	67467.1 99	1.185	.315	.052	8.294	.497
	Certitude d'inférence	240621 .905(d)	7	34374.5 58	.581	.771	.026	4.064	.245
	Total pondéré par le niveau de certitude	161662 9.734(e)	7	230947. 105	2.236	.034	.093	15.655	.819
	Rétention pondéré par certitude	137568 5.084(f)	7	196526. 441	2.683	.012	.110	18.784	.893
	Inférence pondéré par certitude	85145. 579(g)	7	12163.6 54	.990	.441	.044	6.929	.417

Constante	Total des niveaux de certitude	571776 065.00 5	1	571776 065.005	2748. 894	.000	.948	2748.89 4	1.000
	Certitude de rétention	218157 181.72 6	1	218157 181.726	3831. 043	.000	.962	3831.04 3	1.000
	Certitude d'inférence	835705 78.069	1	835705 78.069	1411. 391	.000	.903	1411.39 1	1.000
	Total pondéré par le niveau de certitude	823198 88.595	1	823198 88.595	797.1 87	.000	.840	797.187	1.000
	Rétention pondéré par certitude	132176 07.685	1	132176 07.685	180.4 78	.000	.543	180.478	1.000
	Inférence pondéré par certitude	295656 23.725	1	295656 23.725	2406. 019	.000	.941	2406.01 9	1.000
	Animation	Total des niveaux de certitude	221013 .932	1	221013. 932	1.063	.304	.007	1.063
Certitude de rétention		91626. 038	1	91626.0 38	1.609	.207	.010	1.609	.243
Certitude d'inférence		28030. 547	1	28030.5 47	.473	.492	.003	.473	.105
Total pondéré par le niveau de certitude		105886 9.694	1	105886 9.694	10.25 4	.002	.063	10.254	.889
Rétention pondéré par certitude		864464 .996	1	864464. 996	11.80 4	.001	.072	11.804	.927
Inférence pondéré par certitude		9850.1 35	1	9850.13 5	.802	.372	.005	.802	.144
Permanence		Total des niveaux de certitude	131271 .302	1	131271. 302	.631	.428	.004	.631
	Certitude de rétention	42804. 010	1	42804.0 10	.752	.387	.005	.752	.138
	Certitude d'inférence	24156. 159	1	24156.1 59	.408	.524	.003	.408	.097
	Total pondéré par le niveau de certitude	311601 .160	1	311601. 160	3.018	.084	.019	3.018	.408
	Rétention pondéré par certitude	268331 .320	1	268331. 320	3.664	.057	.024	3.664	.477
	Inférence pondéré par certitude	1616.4 74	1	1616.47 4	.132	.717	.001	.132	.065
	Collaboration	Total des niveaux de certitude	98621. 413	1	98621.4 13	.474	.492	.003	.474
Certitude de rétention		50885. 051	1	50885.0 51	.894	.346	.006	.894	.156
Certitude d'inférence		7825.7 58	1	7825.75 8	.132	.717	.001	.132	.065
Total pondéré par le niveau de certitude		55674. 842	1	55674.8 42	.539	.464	.004	.539	.113
Rétention pondéré par certitude		11892. 996	1	11892.9 96	.162	.688	.001	.162	.069
Inférence pondéré par certitude		16103. 650	1	16103.6 50	1.310	.254	.009	1.310	.206

Animation * Permanence	Total des niveaux de certitude	300999.485	1	300999.485	1.447	.231	.009	1.447	.223
	Certitude de rétention	35914.722	1	35914.722	.631	.428	.004	.631	.124
	Certitude d'inférence	128968.899	1	128968.899	2.178	.142	.014	2.178	.311
	Total pondéré par le niveau de certitude	52878.550	1	52878.550	.512	.475	.003	.512	.110
	Rétention pondéré par certitude	2011.903	1	2011.903	.027	.869	.000	.027	.053
	Inférence pondéré par certitude	34261.686	1	34261.686	2.788	.097	.018	2.788	.382
	Animation * Collaboration	Total des niveaux de certitude	118832.234	1	118832.234	.571	.451	.004	.571
Certitude de rétention		34228.093	1	34228.093	.601	.439	.004	.601	.120
Certitude d'inférence		25507.973	1	25507.973	.431	.513	.003	.431	.100
Total pondéré par le niveau de certitude		74575.398	1	74575.398	.722	.397	.005	.722	.135
Rétention pondéré par certitude		118315.117	1	118315.117	1.616	.206	.011	1.616	.244
Inférence pondéré par certitude		5024.638	1	5024.638	.409	.523	.003	.409	.097
Permanence * Collaboration		Total des niveaux de certitude	123922.959	1	123922.959	.596	.441	.004	.596
	Certitude de rétention	48690.716	1	48690.716	.855	.357	.006	.855	.151
	Certitude d'inférence	17257.341	1	17257.341	.291	.590	.002	.291	.084
	Total pondéré par le niveau de certitude	381.707	1	381.707	.004	.952	.000	.004	.050
	Rétention pondéré par certitude	20885.161	1	20885.161	.285	.594	.002	.285	.083
	Inférence pondéré par certitude	15619.918	1	15619.918	1.271	.261	.008	1.271	.202
	Animation * Permanence * Collaboration	Total des niveaux de certitude	278115.574	1	278115.574	1.337	.249	.009	1.337
Certitude de rétention		182816.684	1	182816.684	3.210	.075	.021	3.210	.429
Certitude d'inférence		9959.235	1	9959.235	.168	.682	.001	.168	.069
Total pondéré par le niveau de certitude		58386.712	1	58386.712	.565	.453	.004	.565	.116
Rétention pondéré par certitude		87466.502	1	87466.502	1.194	.276	.008	1.194	.192
Inférence pondéré par certitude		2928.318	1	2928.318	.238	.626	.002	.238	.077

Erreur	Total des niveaux de certitude	316163 33.482	15 2	208002. 194					
	Certitude de rétention	865557 7.425	15 2	56944.5 88					
	Certitude d'inférence	900014 5.286	15 2	59211.4 82					
	Total pondéré par le niveau de certitude	156959 64.917	15 2	103262. 927					
	Rétention pondéré par certitude	111319 54.256	15 2	73236.5 41					
	Inférence pondéré par certitude	186780 5.537	15 2	12288.1 94					
	Total	Total des niveaux de certitude	607914 441.28 5	16 0					
		Certitude de rétention	228568 536.96 4	16 0					
		Certitude d'inférence	932697 62.363	16 0					
		Total pondéré par le niveau de certitude	100618 961.93 8	16 0					
Rétention pondéré par certitude		259945 01.595	16 0						
Inférence pondéré par certitude		317076 39.487	16 0						
Total corrigé	Total des niveaux de certitude	328613 95.111	15 9						
	Certitude de rétention	912784 7.816	15 9						
	Certitude d'inférence	924076 7.191	15 9						
	Total pondéré par le niveau de certitude	173125 94.651	15 9						
	Rétention pondéré par certitude	125076 39.340	15 9						
	Inférence pondéré par certitude	195295 1.116	15 9						

a Calculé à partir d'alpha = .05

b R deux = .038 (R deux ajusté = -.006)

c R deux = .052 (R deux ajusté = .008)

d R deux = .026 (R deux ajusté = -.019)

e R deux = .093 (R deux ajusté = .052)

f R deux = .110 (R deux ajusté = .069)

g R deux = .044 (R deux ajusté = .000)

Q. Anova en condition solo (sans covariance).

Nous présentons une version résumée (car aucun résultat significatif, voire l'annexe R pour une version covariée au Paper-folding, plus utilisable).

Facteurs intra-sujets

Mesure	matériel	Variable dépendante
inférenc	1	Inf_A_z
	2	Inf_G_z
rétentio	1	Ret_A_z
	2	Ret_G_z
t_reflex	1	A_Moy_Discu
	2	refl_G_z

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition Animation	0	Statique	38
	1	Dynamique	42
Condition Permanence	0	Non-Permanence	40
	1	Permanence	40

Tests des contrastes intra-sujets

Source	Mesure	matériel	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
matériel	inférenc	Linéaire	.008	1	.008	.011	.917
	rétentio	Linéaire	.035	1	.035	.051	.822
	t_reflex	Linéaire	4189.266	1	4189.266	307.336	.000
matériel * Animation	inférenc	Linéaire	.027	1	.027	.035	.853
	rétentio	Linéaire	.410	1	.410	.602	.440
	t_reflex	Linéaire	11.034	1	11.034	.809	.371
matériel * Permanence	inférenc	Linéaire	.004	1	.004	.006	.940
	rétentio	Linéaire	2.234	1	2.234	3.276	.074
	t_reflex	Linéaire	32.577	1	32.577	2.390	.126
matériel * Animation * Permanence	inférenc	Linéaire	.089	1	.089	.115	.736
	rétentio	Linéaire	.080	1	.080	.117	.733
	t_reflex	Linéaire	3.491	1	3.491	.256	.614
Erreur(matériel)	inférenc	Linéaire	58.740	76	.773		
	rétentio	Linéaire	51.821	76	.682		
	t_reflex	Linéaire	1035.947	76	13.631		

Tests des effets inter-sujets

Variable transformée: Moyenne

Source	Mesure	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Constante	inférenc	.624	1	.624	.468	.496
	rétentio	.059	1	.059	.048	.828
	t_reflex	3244.357	1	3244.357	200.015	.000
Animation	inférenc	.039	1	.039	.029	.865
	rétentio	4.723	1	4.723	3.847	.054
	t_reflex	11.106	1	11.106	.685	.411
Permanence	inférenc	4.345	1	4.345	3.261	.075
	rétentio	1.474E-05	1	1.474E-05	.000	.997
	t_reflex	48.588	1	48.588	2.995	.088
Animation * Permanence	inférenc	2.747	1	2.747	2.062	.155
	rétentio	3.136	1	3.136	2.554	.114
	t_reflex	1.286	1	1.286	.079	.779
Erreur	inférenc	101.256	76	1.332		
	rétentio	93.312	76	1.228		
	t_reflex	1232.766	76	16.221		

R. Anova en condition solo (avec covariance au groupe du paper-folding).

Facteurs intra-sujets

Mesure	matériel	Variable dépendante
inférenc	1	Inf_A_z
	2	Inf_G_z
rétentio	1	Ret_A_z
	2	Ret_G_z
t_reflex	1	A_Moy_Discu
	2	refl_G_z

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition Animation	0	Statique	38
	1		
Condition Permanence	0	Non-Permanence	40
	1		
		Permanence	40

Tests multivariés(b)

Effet			Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Significatio n
Inter-sujets	Constante	Trace de Pillai	.652	45.517(a)	3.000	73.000	.000
		Lambda de Wilks	.348	45.517(a)			
		Trace de Hotelling	1.871	45.517(a)			
		Plus grande racine de Roy	1.871	45.517(a)			
	PF_groupe	Trace de Pillai	.438	18.995(a)	3.000	73.000	.000
		Lambda de Wilks	.562	18.995(a)			
		Trace de Hotelling	.781	18.995(a)			
		Plus grande racine de Roy	.781	18.995(a)			
	Animation	Trace de Pillai	.079	2.076(a)	3.000	73.000	.111
		Lambda de Wilks	.921	2.076(a)			
		Trace de Hotelling	.085	2.076(a)			
		Plus grande racine de Roy	.085	2.076(a)			
Permanence	Trace de Pillai	.088	2.339(a)	3.000	73.000	.080	
	Lambda de Wilks	.912	2.339(a)				
	Trace de Hotelling	.096	2.339(a)				
	Plus grande racine de Roy	.096	2.339(a)				

Intra-sujets	Animation * Permanence	Trace de Pillai	.012	.289(a)	3.000	73.000	.833
		Lambda de Wilks	.988	.289(a)	3.000	73.000	.833
		Trace de Hotelling	.012	.289(a)	3.000	73.000	.833
		Plus grande racine de Roy	.012	.289(a)	3.000	73.000	.833
	matériel	Trace de Pillai	.667	48.728(a)	3.000	73.000	.000
		Lambda de Wilks	.333	48.728(a)	3.000	73.000	.000
		Trace de Hotelling	2.003	48.728(a)	3.000	73.000	.000
		Plus grande racine de Roy	2.003	48.728(a)	3.000	73.000	.000
	matériel * PF_groupe	Trace de Pillai	.020	.507(a)	3.000	73.000	.679
		Lambda de Wilks	.980	.507(a)	3.000	73.000	.679
		Trace de Hotelling	.021	.507(a)	3.000	73.000	.679
		Plus grande racine de Roy	.021	.507(a)	3.000	73.000	.679
	matériel * Animation	Trace de Pillai	.021	.510(a)	3.000	73.000	.677
		Lambda de Wilks	.979	.510(a)	3.000	73.000	.677
		Trace de Hotelling	.021	.510(a)	3.000	73.000	.677
		Plus grande racine de Roy	.021	.510(a)	3.000	73.000	.677
	matériel * Permanence	Trace de Pillai	.072	1.875(a)	3.000	73.000	.141
		Lambda de Wilks	.928	1.875(a)	3.000	73.000	.141
		Trace de Hotelling	.077	1.875(a)	3.000	73.000	.141
		Plus grande racine de Roy	.077	1.875(a)	3.000	73.000	.141
	matériel * Animation * Permanence	Trace de Pillai	.004	.096(a)	3.000	73.000	.962
		Lambda de Wilks	.996	.096(a)	3.000	73.000	.962
		Trace de Hotelling	.004	.096(a)	3.000	73.000	.962
		Plus grande racine de Roy	.004	.096(a)	3.000	73.000	.962

a Statistique exacte

b Plan : Intercept+PF_groupe+Animation+Permanence+Animation * Permanence Plan intra-sujets : matériel

Test de sphéricité de Mauchly(b)

Effet intra-sujets	Mesure	W de Mauchly	Khi-deux approché	ddl	Significatio n	Epsilon(a)		
						Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Borne inférieure
matériel	inférenc	1.000	.000	0	.	1.000	1.000	1.000
	rérentio	1.000	.000	0	.	1.000	1.000	1.000
	t_reflex	1.000	.000	0	.	1.000	1.000	1.000

Teste l'hypothèse nulle selon laquelle la matrice de covariance des erreurs des variables dépendantes orthonormées est proportionnelle à la matrice identité.

a May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.

b Plan : Intercept+PF_groupe+Animation+Permanence+Animation * Permanence Plan intra-sujets : matériel

Tests des effets intra-sujets

Multivarié(b,c)

Effet intra-sujets		Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Signification
matériel	Trace de Pillai	.667	48.728(a)	3.000	73.000	.000
	Lambda de Wilks	.333	48.728(a)	3.000	73.000	.000
	Trace de Hotelling	2.003	48.728(a)	3.000	73.000	.000
	Plus grande racine de Roy	2.003	48.728(a)	3.000	73.000	.000
matériel * PF_groupe	Trace de Pillai	.020	.507(a)	3.000	73.000	.679
	Lambda de Wilks	.980	.507(a)	3.000	73.000	.679
	Trace de Hotelling	.021	.507(a)	3.000	73.000	.679
	Plus grande racine de Roy	.021	.507(a)	3.000	73.000	.679
matériel * Animation	Trace de Pillai	.021	.510(a)	3.000	73.000	.677
	Lambda de Wilks	.979	.510(a)	3.000	73.000	.677
	Trace de Hotelling	.021	.510(a)	3.000	73.000	.677
	Plus grande racine de Roy	.021	.510(a)	3.000	73.000	.677
matériel * Permanence	Trace de Pillai	.072	1.875(a)	3.000	73.000	.141
	Lambda de Wilks	.928	1.875(a)	3.000	73.000	.141
	Trace de Hotelling	.077	1.875(a)	3.000	73.000	.141
	Plus grande racine de Roy	.077	1.875(a)	3.000	73.000	.141
matériel * Animation * Permanence	Trace de Pillai	.004	.096(a)	3.000	73.000	.962
	Lambda de Wilks	.996	.096(a)	3.000	73.000	.962
	Trace de Hotelling	.004	.096(a)	3.000	73.000	.962
	Plus grande racine de Roy	.004	.096(a)	3.000	73.000	.962

a Statistique exacte

b Plan : Intercept+PF_groupe+Animation+Permanence+Animation * Permanence Plan intra-sujets : matériel

c Les tests sont basés sur la moyenne des variables.

Tests univariés

Source	Mesure		Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
matériel	inférenc	Sphéricité supposée	.531	1	.531	.688	.409
		Greenhouse-Geisser	.531	1.000	.531	.688	.409
		Huynh-Feldt	.531	1.000	.531	.688	.409
		Borne inférieure	.531	1.000	.531	.688	.409
	rétentio	Sphéricité supposée	.091	1	.091	.131	.718
		Greenhouse-Geisser	.091	1.000	.091	.131	.718
		Huynh-Feldt	.091	1.000	.091	.131	.718
		Borne inférieure	.091	1.000	.091	.131	.718
	t_reflex	Sphéricité supposée	2017.782	1	2017.782	146.429	.000
		Greenhouse-Geisser	2017.782	1.000	2017.782	146.429	.000
		Huynh-Feldt	2017.782	1.000	2017.782	146.429	.000
		Borne inférieure	2017.782	1.000	2017.782	146.429	.000

matériel * PF_groupe	inférenc	Sphéricité supposée	.890	1	.890	1.153	.286
		Greenhouse-Geisser	.890	1.000	.890	1.153	.286
		Huynh-Feldt	.890	1.000	.890	1.153	.286
		Borne inférieure	.890	1.000	.890	1.153	.286
	rétentio	Sphéricité supposée	.057	1	.057	.083	.774
		Greenhouse-Geisser	.057	1.000	.057	.083	.774
		Huynh-Feldt	.057	1.000	.057	.083	.774
		Borne inférieure	.057	1.000	.057	.083	.774
	t_reflex	Sphéricité supposée	2.450	1	2.450	.178	.674
		Greenhouse-Geisser	2.450	1.000	2.450	.178	.674
		Huynh-Feldt	2.450	1.000	2.450	.178	.674
		Borne inférieure	2.450	1.000	2.450	.178	.674
matériel * Animation	inférenc	Sphéricité supposée	.036	1	.036	.046	.830
		Greenhouse-Geisser	.036	1.000	.036	.046	.830
		Huynh-Feldt	.036	1.000	.036	.046	.830
		Borne inférieure	.036	1.000	.036	.046	.830
	rétentio	Sphéricité supposée	.418	1	.418	.606	.439
		Greenhouse-Geisser	.418	1.000	.418	.606	.439
		Huynh-Feldt	.418	1.000	.418	.606	.439
		Borne inférieure	.418	1.000	.418	.606	.439
	t_reflex	Sphéricité supposée	10.750	1	10.750	.780	.380
		Greenhouse-Geisser	10.750	1.000	10.750	.780	.380
		Huynh-Feldt	10.750	1.000	10.750	.780	.380
		Borne inférieure	10.750	1.000	10.750	.780	.380
matériel * Permanence	inférenc	Sphéricité supposée	.001	1	.001	.001	.969
		Greenhouse-Geisser	.001	1.000	.001	.001	.969
		Huynh-Feldt	.001	1.000	.001	.001	.969
		Borne inférieure	.001	1.000	.001	.001	.969
	rétentio	Sphéricité supposée	2.207	1	2.207	3.197	.078
		Greenhouse-Geisser	2.207	1.000	2.207	3.197	.078
		Huynh-Feldt	2.207	1.000	2.207	3.197	.078
		Borne inférieure	2.207	1.000	2.207	3.197	.078
	t_reflex	Sphéricité supposée	31.928	1	31.928	2.317	.132
		Greenhouse-Geisser	31.928	1.000	31.928	2.317	.132
		Huynh-Feldt	31.928	1.000	31.928	2.317	.132
		Borne inférieure	31.928	1.000	31.928	2.317	.132

matériel * Animation * Permanence	inférenc	Sphéricité supposée	.016	1	.016	.021	.886	
		Greenhouse- Geisser	.016	1.000	.016	.021	.886	
		Huynh-Feldt	.016	1.000	.016	.021	.886	
		Borne inférieure	.016	1.000	.016	.021	.886	
	rétentio	Sphéricité supposée	.056	1	.056	.080	.777	
		Greenhouse- Geisser	.056	1.000	.056	.080	.777	
		Huynh-Feldt	.056	1.000	.056	.080	.777	
		Borne inférieure	.056	1.000	.056	.080	.777	
	t_reflex	Sphéricité supposée	2.442	1	2.442	.177	.675	
		Greenhouse- Geisser	2.442	1.000	2.442	.177	.675	
		Huynh-Feldt	2.442	1.000	2.442	.177	.675	
		Borne inférieure	2.442	1.000	2.442	.177	.675	
	Erreur(matériel)	inférenc	Sphéricité supposée	57.850	75	.771		
			Greenhouse- Geisser	57.850	75.000	.771		
			Huynh-Feldt	57.850	75.000	.771		
			Borne inférieure	57.850	75.000	.771		
rétentio		Sphéricité supposée	51.763	75	.690			
		Greenhouse- Geisser	51.763	75.000	.690			
		Huynh-Feldt	51.763	75.000	.690			
		Borne inférieure	51.763	75.000	.690			
t_reflex		Sphéricité supposée	1033.497	75	13.780			
		Greenhouse- Geisser	1033.497	75.000	13.780			
		Huynh-Feldt	1033.497	75.000	13.780			
		Borne inférieure	1033.497	75.000	13.780			

Tests des contrastes intra-sujets

Source	Mesure	matériel	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
matériel	inférenc	Linéaire	.531	1	.531	.688	.409
	rétentio	Linéaire	.091	1	.091	.131	.718
	t_reflex	Linéaire	2017.782	1	2017.782	146.429	.000
matériel * PF_groupe	inférenc	Linéaire	.890	1	.890	1.153	.286
	rétentio	Linéaire	.057	1	.057	.083	.774
	t_reflex	Linéaire	2.450	1	2.450	.178	.674
matériel * Animation	inférenc	Linéaire	.036	1	.036	.046	.830
	rétentio	Linéaire	.418	1	.418	.606	.439
	t_reflex	Linéaire	10.750	1	10.750	.780	.380
matériel * Permanence	inférenc	Linéaire	.001	1	.001	.001	.969
	rétentio	Linéaire	2.207	1	2.207	3.197	.078
	t_reflex	Linéaire	31.928	1	31.928	2.317	.132
matériel * Animation * Permanence	inférenc	Linéaire	.016	1	.016	.021	.886
	rétentio	Linéaire	.056	1	.056	.080	.777
	t_reflex	Linéaire	2.442	1	2.442	.177	.675
Erreur(matériel)	inférenc	Linéaire	57.850	75	.771		
	rétentio	Linéaire	51.763	75	.690		
	t_reflex	Linéaire	1033.497	75	13.780		

Tests des effets inter-sujets

Variable transformée: Moyenne

Source	Mesure	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Constante	inférenc	21.169	1	21.169	23.260	.000
	rétentio	16.904	1	16.904	20.473	.000
	t_reflex	1533.826	1	1533.826	93.590	.000
PF_groupe	inférenc	32.998	1	32.998	36.256	.000
	rétentio	31.385	1	31.385	38.011	.000
	t_reflex	3.605	1	3.605	.220	.640
Animation	inférenc	.122	1	.122	.135	.715
	rétentio	4.091	1	4.091	4.955	.029
	t_reflex	10.763	1	10.763	.657	.420
Permanence	inférenc	3.557	1	3.557	3.908	.052
	rétentio	.039	1	.039	.047	.830
	t_reflex	47.627	1	47.627	2.906	.092
Animation * Permanence	inférenc	.380	1	.380	.418	.520
	rétentio	.568	1	.568	.687	.410
	t_reflex	.610	1	.610	.037	.848
Erreur	inférenc	68.259	75	.910		
	rétentio	61.926	75	.826		
	t_reflex	1229.161	75	16.389		

S. Corrélations des variables de paper-folding et d'empan visuo-spatial avec diverses variables.

Corrélations

		Score de Rétention	Score d'Inférence	Empan visuo-spatial	Nombre de justes au Paper-folding	Demande mentale (z)	Demande temporelle (z)	Performance (z)	Effort (z)	Frustration (z)
Score de Rétention	Corrélation de Pearson	1	.553(**)	.233(*)	.670(**)	-.134	-.144	-.249(**)	-.309(**)	-.163(*)
	Sig. (bilatérale)		.000	.037	.000	.091	.069	.002	.000	.039
	N	160	160	80	80	160	160	160	160	160
Score d'Inférence	Corrélation de Pearson	.553(**)	1	.248(*)	.676(**)	-.049	-.283(**)	-.278(**)	-.413(**)	-.291(**)
	Sig. (bilatérale)	.000		.027	.000	.536	.000	.000	.000	.000
	N	160	160	80	80	160	160	160	160	160
Empan visuo-spatial	Corrélation de Pearson	.233(*)	.248(*)	1	.254(*)	-.019	.126	-.009	-.279(*)	.045
	Sig. (bilatérale)	.037	.027		.023	.864	.264	.935	.012	.694
	N	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Nombre de justes au Paper-folding	Corrélation de Pearson	.670(**)	.676(**)	.254(*)	1	-.008	-.197	-.272(*)	-.502(**)	-.207
	Sig. (bilatérale)	.000	.000	.023		.947	.080	.015	.000	.065
	N	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Demande mentale (z)	Corrélation de Pearson	-.134	-.049	-.019	-.008	1	.353(**)	.036	.372(**)	.021
	Sig. (bilatérale)	.091	.536	.864	.947		.000	.648	.000	.794
	N	160	160	80	80	160	160	160	160	160
Demande temporelle (z)	Corrélation de Pearson	-.144	-.283(**)	.126	-.197	.353(**)	1	.381(**)	.339(**)	.291(**)
	Sig. (bilatérale)	.069	.000	.264	.080	.000		.000	.000	.000
	N	160	160	80	80	160	160	160	160	160
Performance (z)	Corrélation de Pearson	-.249(**)	-.278(**)	-.009	-.272(*)	.036	.381(**)	1	.361(**)	.550(**)
	Sig. (bilatérale)	.002	.000	.935	.015	.648	.000		.000	.000
	N	160	160	80	80	160	160	160	160	160
Effort (z)	Corrélation de Pearson	-.309(**)	-.413(**)	-.279(*)	-.502(**)	.372(**)	.339(**)	.361(**)	1	.294(**)
	Sig. (bilatérale)	.000	.000	.012	.000	.000	.000	.000		.000
	N	160	160	80	80	160	160	160	160	160
Frustration (z)	Corrélation de Pearson	-.163(*)	-.291(**)	.045	-.207	.021	.291(**)	.550(**)	.294(**)	1
	Sig. (bilatérale)	.039	.000	.694	.065	.794	.000	.000	.000	
	N	160	160	80	80	160	160	160	160	160

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

* La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

T. Anova en utilisant le groupe du paper-folding test comme variable indépendante.

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition Animation	0	Statique	38
	1		
Condition Permanence	0	Non-Permanence	40
	0	PF faible	41

Tests multivariés(b)

Effet		Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Signification
Constante	Trace de Pillai	.774	27.759(a)	8.000	65.000	.000
	Lambda de Wilks	.226	27.759(a)	8.000	65.000	.000
	Trace de Hotelling	3.416	27.759(a)	8.000	65.000	.000
	Plus grande racine de Roy	3.416	27.759(a)	8.000	65.000	.000
Animation	Trace de Pillai	.113	1.040(a)	8.000	65.000	.416
	Lambda de Wilks	.887	1.040(a)	8.000	65.000	.416
	Trace de Hotelling	.128	1.040(a)	8.000	65.000	.416
	Plus grande racine de Roy	.128	1.040(a)	8.000	65.000	.416
Permanence	Trace de Pillai	.109	.995(a)	8.000	65.000	.449
	Lambda de Wilks	.891	.995(a)	8.000	65.000	.449
	Trace de Hotelling	.122	.995(a)	8.000	65.000	.449
	Plus grande racine de Roy	.122	.995(a)	8.000	65.000	.449
PF_groupe	Trace de Pillai	.494	7.937(a)	8.000	65.000	.000
	Lambda de Wilks	.506	7.937(a)	8.000	65.000	.000
	Trace de Hotelling	.977	7.937(a)	8.000	65.000	.000
	Plus grande racine de Roy	.977	7.937(a)	8.000	65.000	.000
Animation * Permanence	Trace de Pillai	.062	.534(a)	8.000	65.000	.827
	Lambda de Wilks	.938	.534(a)	8.000	65.000	.827
	Trace de Hotelling	.066	.534(a)	8.000	65.000	.827
	Plus grande racine de Roy	.066	.534(a)	8.000	65.000	.827
Animation * PF_groupe	Trace de Pillai	.133	1.248(a)	8.000	65.000	.286
	Lambda de Wilks	.867	1.248(a)	8.000	65.000	.286
	Trace de Hotelling	.154	1.248(a)	8.000	65.000	.286
	Plus grande racine de Roy	.154	1.248(a)	8.000	65.000	.286

Permanence *	Trace de Pillai	.144	1.367(a)	8.000	65.000	.228
PF_groupe	Lambda de Wilks	.856	1.367(a)	8.000	65.000	.228
	Trace de Hotelling	.168	1.367(a)	8.000	65.000	.228
	Plus grande racine de Roy	.168	1.367(a)	8.000	65.000	.228
Animation *	Trace de Pillai	.050	.429(a)	8.000	65.000	.900
Permanence *	Lambda de Wilks	.950	.429(a)	8.000	65.000	.900
PF_groupe	Trace de Hotelling	.053	.429(a)	8.000	65.000	.900
	Plus grande racine de Roy	.053	.429(a)	8.000	65.000	.900

a Statistique exacte

b Plan : Intercept+Animation+Permanence+PF_groupe+Animation * Permanence+Animation *

PF_groupe+Permanence * PF_groupe+Animation * Permanence * PF_groupe

Tests des effets inter-sujets

Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	score de rétention (centré-réduit)	32.331(a)	7	4.619	6.797	.000
	score d'inférence (centré-réduit)	30.720(b)	7	4.389	6.425	.000
	Temps de discu/réflexion moyen	233.509(c)	7	33.358	1.173	.329
	Demande mentale (z)	8.004(d)	7	1.143	1.021	.424
	Demande temporelle (z)	8.810(e)	7	1.259	1.419	.211
	Performance (z)	8.710(f)	7	1.244	1.240	.292
	Effort (z)	16.948(g)	7	2.421	2.821	.012
	Frustration (z)	9.652(h)	7	1.379	1.676	.129
Constante	score de rétention (centré-réduit)	.009	1	.009	.013	.910
	score d'inférence (centré-réduit)	.188	1	.188	.275	.602
	Temps de discu/réflexion moyen	6255.878	1	6255.878	219.899	.000
	Demande mentale (z)	.053	1	.053	.048	.828
	Demande temporelle (z)	.013	1	.013	.014	.905
	Performance (z)	.761	1	.761	.759	.387
	Effort (z)	2.357	1	2.357	2.746	.102
	Frustration (z)	.588	1	.588	.714	.401
Animation	score de rétention (centré-réduit)	2.958	1	2.958	4.352	.041
	score d'inférence (centré-réduit)	.096	1	.096	.140	.709
	Temps de discu/réflexion moyen	4.245	1	4.245	.149	.700
	Demande mentale (z)	2.531	1	2.531	2.260	.137
	Demande temporelle (z)	.768	1	.768	.866	.355
	Performance (z)	.000	1	.000	.000	.984
	Effort (z)	.022	1	.022	.026	.873
	Frustration (z)	.124	1	.124	.151	.699
Permanence	score de rétention (centré-réduit)	.046	1	.046	.068	.795

	score d'inférence (centré-réduit)	2.130	1	2.130	3.119	.082
	Temps de discu/réflexion moyen	102.594	1	102.594	3.606	.062
	Demande mentale (z)	.057	1	.057	.051	.821
	Demande temporelle (z)	.510	1	.510	.575	.451
	Performance (z)	.033	1	.033	.033	.857
	Effort (z)	.039	1	.039	.046	.831
	Frustration (z)	.111	1	.111	.135	.714
PF_groupe	score de rétention (centré-réduit)	24.550	1	24.550	36.128	.000
	score d'inférence (centré-réduit)	25.287	1	25.287	37.022	.000
	Temps de discu/réflexion moyen	13.420	1	13.420	.472	.494
	Demande mentale (z)	.055	1	.055	.049	.826
	Demande temporelle (z)	5.600	1	5.600	6.315	.014
	Performance (z)	5.906	1	5.906	5.887	.018
	Effort (z)	15.139	1	15.139	17.638	.000
	Frustration (z)	6.400	1	6.400	7.778	.007
Animation * Permanence	score de rétention (centré-réduit)	.411	1	.411	.606	.439
	score d'inférence (centré-réduit)	.251	1	.251	.367	.546
	Temps de discu/réflexion moyen	16.802	1	16.802	.591	.445
	Demande mentale (z)	1.166	1	1.166	1.041	.311
	Demande temporelle (z)	.001	1	.001	.002	.968
	Performance (z)	.284	1	.284	.283	.596
	Effort (z)	.000	1	.000	.000	.985
	Frustration (z)	.894	1	.894	1.086	.301
Animation * PF_groupe	score de rétention (centré-réduit)	.170	1	.170	.250	.619
	score d'inférence (centré-réduit)	.493	1	.493	.722	.398
	Temps de discu/réflexion moyen	57.019	1	57.019	2.004	.161
	Demande mentale (z)	1.948	1	1.948	1.740	.191
	Demande temporelle (z)	.378	1	.378	.426	.516
	Performance (z)	.633	1	.633	.631	.430
	Effort (z)	1.378	1	1.378	1.606	.209
	Frustration (z)	1.047	1	1.047	1.273	.263
Permanence * PF_groupe	score de rétention (centré-réduit)	.157	1	.157	.231	.633
	score d'inférence (centré-réduit)	.031	1	.031	.046	.831
	Temps de discu/réflexion moyen	.050	1	.050	.002	.967
	Demande mentale (z)	2.820	1	2.820	2.518	.117
	Demande temporelle (z)	.641	1	.641	.723	.398
	Performance (z)	1.774	1	1.774	1.768	.188
	Effort (z)	.070	1	.070	.082	.776
	Frustration (z)	.164	1	.164	.199	.657

Animation * Permanence * PF_groupe	score de rétention (centré-réduit)	.878	1	.878	1.292	.259
	score d'inférence (centré-réduit)	.184	1	.184	.270	.605
	Temps de discu/réflexion moyen	5.859	1	5.859	.206	.651
	Demande mentale (z)	.017	1	.017	.016	.901
	Demande temporelle (z)	.055	1	.055	.063	.803
	Performance (z)	.008	1	.008	.008	.929
	Effort (z)	.204	1	.204	.238	.627
	Frustration (z)	1.203	1	1.203	1.462	.231
Erreur	score de rétention (centré-réduit)	48.926	72	.680		
	score d'inférence (centré-réduit)	49.178	72	.683		
	Temps de discu/réflexion moyen	2048.320	72	28.449		
	Demande mentale (z)	80.616	72	1.120		
	Demande temporelle (z)	63.845	72	.887		
	Performance (z)	72.225	72	1.003		
	Effort (z)	61.798	72	.858		
	Frustration (z)	59.241	72	.823		
Total	score de rétention (centré-réduit)	81.269	80			
	score d'inférence (centré-réduit)	80.354	80			
	Temps de discu/réflexion moyen	8682.573	80			
	Demande mentale (z)	88.737	80			
	Demande temporelle (z)	72.671	80			
	Performance (z)	81.709	80			
	Effort (z)	81.302	80			
	Frustration (z)	69.248	80			
Total corrigé	score de rétention (centré-réduit)	81.257	79			
	score d'inférence (centré-réduit)	79.898	79			
	Temps de discu/réflexion moyen	2281.829	79			
	Demande mentale (z)	88.620	79			
	Demande temporelle (z)	72.655	79			
	Performance (z)	80.935	79			
	Effort (z)	78.746	79			
	Frustration (z)	68.893	79			

a R deux = .398 (R deux ajusté = .339)

b R deux = .384 (R deux ajusté = .325)

c R deux = .102 (R deux ajusté = .015)

d R deux = .090 (R deux ajusté = .002)

e R deux = .121 (R deux ajusté = .036)

f R deux = .108 (R deux ajusté = .021)

g R deux = .215 (R deux ajusté = .139)

h R deux = .140 (R deux ajusté = .057)

U. Analyse de variance des différences entre paires.

Facteurs inter-sujets

	Etiquette de valeur	N	
Animation	0	Statique	15
	1	Dynamique	16
Permanence	0	Non-permanence	15
	1	Permanence	16

Tests multivariés(b)

Effet		Valeur	F	ddl de l'hypothèse	Erreur ddl	Signification
Constante	Trace de Pillai	.973	55.877(a)	11.000	17.000	.000
	Lambda de Wilks	.027	55.877(a)	11.000	17.000	.000
	Trace de Hotelling	36.156	55.877(a)	11.000	17.000	.000
	Plus grande racine de Roy	36.156	55.877(a)	11.000	17.000	.000
Animation	Trace de Pillai	.257	.534(a)	11.000	17.000	.854
	Lambda de Wilks	.743	.534(a)	11.000	17.000	.854
	Trace de Hotelling	.345	.534(a)	11.000	17.000	.854
	Plus grande racine de Roy	.345	.534(a)	11.000	17.000	.854
Permanence	Trace de Pillai	.212	.417(a)	11.000	17.000	.928
	Lambda de Wilks	.788	.417(a)	11.000	17.000	.928
	Trace de Hotelling	.270	.417(a)	11.000	17.000	.928
	Plus grande racine de Roy	.270	.417(a)	11.000	17.000	.928
Animation * Permanence	Trace de Pillai	.649	2.862(a)	11.000	17.000	.025
	Lambda de Wilks	.351	2.862(a)	11.000	17.000	.025
	Trace de Hotelling	1.852	2.862(a)	11.000	17.000	.025
	Plus grande racine de Roy	1.852	2.862(a)	11.000	17.000	.025

a Statistique exacte

b Plan : Intercept+Animation+Permanence+Animation * Permanence

Tests des effets inter-sujets

Source	Variable dépendante	Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Modèle corrigé	diff_connaissance	101.968(a)	3	33.989	.372	.774
	diff_rtention	2.902(b)	3	.967	2.632	.070
	diff_inférence	.356(c)	3	.119	.246	.863
	diff_DM	.322(d)	3	.107	.098	.960
	diff_DT	.679(e)	3	.226	.288	.834
	diff_PE	3.617(f)	3	1.206	3.334	.034
	diff_EF	1.984(g)	3	.661	.811	.499
	diff_FR	1.486(h)	3	.495	1.026	.397
	diff_certit_T	2.004(i)	3	.668	1.154	.346
	diff_cert_ret	.548(j)	3	.183	.404	.751
	diff_cert_inf	5.050(k)	3	1.683	3.295	.036
	Constante	diff_connaissance	1539.934	1	1539.934	16.855

	diff_rlention	24.036	1	24.036	65.389	.000
	diff_inférence	28.877	1	28.877	59.925	.000
	diff_DM	31.178	1	31.178	28.468	.000
	diff_DT	33.208	1	33.208	42.230	.000
	diff_PE	31.752	1	31.752	87.797	.000
	diff_EF	38.465	1	38.465	47.177	.000
	diff_FR	52.460	1	52.460	108.686	.000
	diff_certit_T	25.453	1	25.453	43.964	.000
	diff_cert_ret	26.837	1	26.837	59.345	.000
	diff_cert_inf	29.513	1	29.513	57.774	.000
Animation	diff_connaissance	2.465	1	2.465	.027	.871
	diff_rlention	1.042	1	1.042	2.836	.104
	diff_inférence	.324	1	.324	.673	.419
	diff_DM	.001	1	.001	.001	.981
	diff_DT	.002	1	.002	.003	.959
	diff_PE	.602	1	.602	1.663	.208
	diff_EF	.146	1	.146	.180	.675
	diff_FR	.258	1	.258	.535	.471
	diff_certit_T	.477	1	.477	.823	.372
	diff_cert_ret	.421	1	.421	.932	.343
	diff_cert_inf	.572	1	.572	1.120	.299
Permanence	diff_connaissance	2.487	1	2.487	.027	.870
	diff_rlention	1.365	1	1.365	3.712	.065
	diff_inférence	.000	1	.000	.000	.988
	diff_DM	.103	1	.103	.094	.761
	diff_DT	.113	1	.113	.144	.708
	diff_PE	.233	1	.233	.645	.429
	diff_EF	.009	1	.009	.010	.919
	diff_FR	.046	1	.046	.095	.760
	diff_certit_T	.358	1	.358	.618	.439
	diff_cert_ret	.083	1	.083	.183	.672
	diff_cert_inf	.436	1	.436	.853	.364
Animation * Permanence	diff_connaissance	96.621	1	96.621	1.058	.313
	diff_rlention	.403	1	.403	1.096	.304
	diff_inférence	.024	1	.024	.050	.825
	diff_DM	.208	1	.208	.190	.666
	diff_DT	.545	1	.545	.693	.413
	diff_PE	2.943	1	2.943	8.138	.008
	diff_EF	1.785	1	1.785	2.189	.151
	diff_FR	1.239	1	1.239	2.567	.121
	diff_certit_T	1.143	1	1.143	1.975	.171
	diff_cert_ret	.035	1	.035	.077	.783
	diff_cert_inf	4.010	1	4.010	7.850	.009

Erreur	diff_connaissance	2466.788	27	91.363	
	diff_rlention	9.925	27	.368	
	diff_inférence	13.011	27	.482	
	diff_DM	29.570	27	1.095	
	diff_DT	21.232	27	.786	
	diff_PE	9.765	27	.362	
	diff_EF	22.014	27	.815	
	diff_FR	13.032	27	.483	
	diff_certit_T	15.632	27	.579	
	diff_cert_ret	12.210	27	.452	
	diff_cert_inf	13.793	27	.511	
Total	diff_connaissance	4138.934	31		
	diff_rlention	37.098	31		
	diff_inférence	42.482	31		
	diff_DM	61.232	31		
	diff_DT	55.363	31		
	diff_PE	44.165	31		
	diff_EF	62.247	31		
	diff_FR	66.297	31		
	diff_certit_T	43.554	31		
	diff_cert_ret	39.870	31		
	diff_cert_inf	49.198	31		
Total corrigé	diff_connaissance	2568.756	30		
	diff_rlention	12.827	30		
	diff_inférence	13.367	30		
	diff_DM	29.892	30		
	diff_DT	21.911	30		
	diff_PE	13.382	30		
	diff_EF	23.998	30		
	diff_FR	14.518	30		
	diff_certit_T	17.635	30		
	diff_cert_ret	12.758	30		
	diff_cert_inf	18.843	30		

a R deux = .040 (R deux ajusté = -.067)

b R deux = .226 (R deux ajusté = .140)

c R deux = .027 (R deux ajusté = -.082)

d R deux = .011 (R deux ajusté = -.099)

e R deux = .031 (R deux ajusté = -.077)

f R deux = .270 (R deux ajusté = .189)

g R deux = .083 (R deux ajusté = -.019)

h R deux = .102 (R deux ajusté = .003)

i R deux = .114 (R deux ajusté = .015)

j R deux = .043 (R deux ajusté = -.063)

k R deux = .268 (R deux ajusté = .187)

(si vous avez tout lu jusqu'ici, bravo)