



UNIVERSITÉ DE GENÈVE

**Analyse de l'apprentissage individuel et collaboratif à partir
de contenus multimédias animés.**

Mirweis SANGIN

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

Professeur, TECFA-UNiG

Directrice

Pierre Dillenbourg

Professeur, CRAFT-EPFL

Examinateur

Christian Depover

Professeur, UTE-UMH

Examinateur

Remerciements

Mes remerciements très particuliers à Pierre Dillenbourg et Mireille Bétrancourt pour m'avoir donné la chance de participer à ce passionnant projet CLEAP et pour leur encadrement.

Je remercie également Cyril Rebetz pour sa collaboration sur le projet CLEAP, sa motivation, son flegmatisme inconditionnel face à mes états d'âme et mes questions, et son esprit rock'n'roll.

Merci à ma famille, Mohammad-Khan, Torpekay, Zmarak, Yama, Muska pour leur amour

Merci également à mes collègues et amis, Nicolas-Séverin-Marie Nova (mon gourou sage du blog), Fabien « chip » Girardin, Mauro « Maurice » Cherubini, Renald « Tux » Borer, qui m'ont toujours soutenu durant cette année éprouvante

Merci à Sébastien «Bob» Bruchez et Yann pour leur précieuse aide sur le contenu géologique.

Un merci tout particulier à Florence Colomb pour sa précieuse aide dans la tâche si rébarbative de transcription et relecture, ainsi qu'à Ivana et Olivier pour la relecture.

Merci à mes amis, Cyril, Omar, Jean-Paul, Fred, Adrien, Debbie, Solange, Trisha, Liviu, Greg, Laurent, Fanny, Bogdan, Christophe et tout ceux que j'oublie, pour leur soutien au quotidien et leur amitié inconditionnelle.

Pour finir, merci à mes amis du STAF, Stek, Luis, Miriano, Anne, JJ, Kaspar, Vivian, pour leur bonne humeur et leur esprit de collaboration.

Je dédie ce mémoire à mes grands parents pour leur courage, leur sagesse et leur humanité.

RESUMÉ

Les technologies multimédias modernes permettent désormais d'avoir des moyens considérables comme des films et des animations, qui sont de plus en plus intégrés dans des contenus multimédias dédiés à l'apprentissage et la formation. Pourtant la recherche en la matière n'a pas à ce jour réussi à amener des évidences d'une plus-value des animations sur les images statiques. Dans le présent travail, nous avons voulu mettre en lumière quelques qualités et défauts intrinsèques aux animations et tenter d'explorer des voies permettant d'améliorer l'efficacité pédagogique de ses dernières. Une des particularités des animations réside dans leur aspect fugace. Nous avons dans un premier temps voulu savoir si le fait de rendre une partie pertinente de l'information permanente, avait une influence sur l'apprentissage à partir d'animation. Dans un 2^{ème} temps, nous avons voulu explorer l'apprentissage à partir des animations dans une perspective collaborative et mettre en évidence l'importance des interactions dans le processus d'apprentissage collaboratif. L'expérience consistait en 2 matériels différents expliquant pour le premier le phénomène du transit de Vénus et pour le deuxième les phénomènes géologiques de la formation des montagnes et des océans. Les expériences se sont portées sur 160 participants novices, dont 80 sujets travaillaient seuls et 80 par paires. Ces dernières montrent un effet positif de l'animation sur la rétention. La permanence présente quelques effets positifs mais uniquement chez les participants en solo. Pour ce qui est des apprenants travaillant en paire, ils semblent largement bénéficier des animations tant au niveau de la rétention que de la compréhension. Notre analyse quantitative de l'influence des interactions verbales et gestuelles ne donne quant à elle pas de résultats. Nous pensons que les animations présentent un grand potentiel pour l'apprentissage de systèmes dynamiques, lorsqu'elles sont couplées avec un contexte collaboratif d'apprentissage et construites selon des guidelines pertinentes.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
<u>1. INTRODUCTION</u>	<u>8</u>
1.1. LA PRÉSENTATION DYNAMIQUE	8
1.2. A QUOI SERVENT LES ANIMATIONS ?	8
<u>2. LES ANIMATIONS FAVORISENT-ELLES L'APPRENTIS-SAGE ?</u>	<u>10</u>
2.1. LA NATURE FUGACE DE L'ANIMATION	11
2.2. L'ANIMATION PORTE UN PLUS GRAND FARDEAU	12
2.2.1. THÉORIE COGNITIVE DE L'APPRENTISSAGE MULTIMÉDIA (LE MODÈLE DE MAYER)	13
2.3 L'INTÉGRATION DE LA COMPRÉHENSION DU TEXTE ET DE L'IMAGE (SCHNOTZ)	15
2.4. LE MODÈLE DE NARAYANAN ET HEGARTY DE LA COMPRÉHENSION DES SYSTÈMES DYNAMIQUES	17
2.5. THÉORIE DE LA CHARGE COGNITIVE	19
2.6. EFFET DE DISSOCIATION DE L'ATTENTION (SPLIT-ATTENTION)	20
2.7. EFFET DE REDONDANCE	20
2.8. FACTEURS POUVANT ÊTRE LIÉS À L'EFFICACITÉ DES ANIMATIONS	21
2.8.1. PERMANENCE DE L'INFORMATION	21
2.8.2. COLLABORATION	22
<u>3. APPRENTISSAGE COLLABORATIF</u>	<u>23</u>
3.1. INTRODUCTION	23
3.2. QU'EST-CE QU'IL FAUT COMPRENDRE PAR « APPRENTISSAGE COLLABORATIF » ?	24
3.2.1. APPRENDRE C'EST CONSTRUIRE UNE CONNAISSANCE ENSEMBLE.	26
3.2.2. L'APPRENTISSAGE COLLABORATIF DANS LA PRATIQUE ÉDUCATIONNELLE	27
3.2.3. LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE DE L'APPRENTISSAGE COLLABORATIF	28
3.3. LE RÔLE DES OBJETS, L'ARTÉFACT, LA COGNITION DISTRIBUÉE	32
3.4. LA COMMUNICATION AU CENTRE DE L'APPRENTISSAGE COLLABORATIF	37
3.4.1. LA COMMUNICATION VERBALE	37
3.4.2. LA THÉORIE DU GROUNDING	38
3.4.3. ET LES GESTES DANS TOUT ÇA ?	42

3.5. INTÉGRATION DES PERSPECTIVES INDIVIDUELLES ET DES PERSPECTIVES DE GROUPE 48

4. QUESTION DE RECHERCHE 50

4.1. HYPOTHÈSES THÉORIQUES 53

4.1.1. ANIMATION 53

4.1.2. PERMANENCE 53

4.1.3. COMPARAISON SOLO-DUO 54

4.1.4. DIVERSES HYPOTHÈSES EXPLORATOIRES 55

4.2. HYPOTHÈSES OPÉRATIONNELLES 55

4.2.1. MODE « D'APPRENTISSAGE INDIVIDUEL » (SOLO) 55

4.2.2. MODE « D'APPRENTISSAGE PAR PAIRE » (DUO) 56

5. MÉTHODE 58

5.1. POPULATION 58

5.2. MATÉRIEL 59

5.2.1. CONTENU PÉDAGOGIQUE 59

5.2.2. MATÉRIEL « ASTRO » 60

5.2.3. MATÉRIEL « GÉO » 60

5.2.4. MATÉRIEL DE SAISI ET TRAITEMENT DES DONNÉES DANS LA CONDITION DUO. 60

5.2.5. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL 61

5.3. PROCÉDURE 62

5.3.1. LES PRÉ-TESTS 63

5.3.2. INTRODUCTIONS 63

5.3.3. LES MATÉRIELS 64

5.3.4. LES QUESTIONNAIRES DE CHARGE COGNITIVE (NASA-TLX) 64

5.3.5. LES POST-TESTS 65

5.3.6. TESTS SUPPLÉMENTAIRES 65

5.4. PLAN EXPÉRIMENTAL 65

5.4.1. VARIABLES INDÉPENDANTES 66

5.4.2. VARIABLES DÉPENDANTES 67

6. RESULTATS : 67

6.1. LES EFFETS SIMPLES DES VARIABLES PRINCIPALES DES 2 MODES 68

6.1.1. LES INTERACTIONS ENTRE LES VARIABLES 69

6.2. LES DIVERS RÉSULTATS EN CONDITION « COLLABORATION » :	70
6.2.1. LES EFFETS SIMPLES DES VARIABLES PRINCIPALES	71
6.2.2. LES INTERACTIONS ENTRE LES VARIABLES PRINCIPALES	72
6.3. LES VARIABLES SECONDAIRES POUR LA CONDITION COLLABORATION	72
6.3.1. L'EFFET DES VARIABLES PRINCIPALES SUR LES VARIABLES SECONDAIRES D'INTERACTION	74
6.3.2. CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES PRINCIPALES ET SECONDAIRES	74
7. DISCUSSION :	74
7.1. LES EFFETS SIMPLES DES VARIABLES PRINCIPALES DES 2 MODES	75
7.1.1. L'EFFET SIMPLE DE L'ANIMATION	75
7.1.2. L'EFFET SIMPLE DE LA PERMANENCE	76
7.2. LES RÉSULTATS DU MODE DUO	77
7.2.1. L'EFFET SIMPLE DE L'ANIMATION	77
7.2.2. L'EFFET SIMPLE DE LA PERMANENCE	81
7.3. LES VARIABLES SECONDAIRES POUR LA CONDITION COLLABORATION	83
7.3.1. L'EFFET DES VARIABLES PRINCIPALES SUR LES VARIABLES SECONDAIRES D'INTERACTION	83
8. CONCLUSIONS	87
9. REFERENCES	91
10. ANNEXES	101
10.1. ANALYSE DE VARIANCE SUR LES RÉSULTATS DES PRÉTESTS.	101
10.2. IMAGES ET COMMENTAIRE DU MATÉRIEL ASTRONOMIQUE.	103
10.3. IMAGES ET COMMENTAIRE DU MATÉRIEL GÉOLOGIQUE.	105
10.4. CONTRAT DE CONSENTEMENT DES PARTICIPANTS EN SOLO.	107
10.5. CONTRAT DE CONSENTEMENT DES PARTICIPANTS EN DUO.	108
10.6. PHOTOGRAPHIES D'ÉCRAN DES DEUX INTRODUCTIONS.	109
10.7. ÉCRAN DE PRÉSENTATION DU NASA-TLX.	110
10.8. QUESTIONNAIRES POST-TEST ASTRO ET GÉO.	111

1. INTRODUCTION

1.1. 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 différents niveaux et contextes d'utilisation sont justement au cœur des débats actuels. En effet, l'utilisation des contenus multimédias animés, spécialement pour la formation est aujourd'hui très répandue. Toutefois, les recherches empiriques effectuées dans ce domaine n'ont abouti à aucun consensus sur l'avantage des contenus animés par rapport aux présentations statiques.

1.2. 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*) l'animation est souvent basée sur l'interactivité à partir du moment où l'animation 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, suggère 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, sont autant de facteurs de réussite d'un bon design pédagogique utilisant les animations. Ainsi différentes utilisations des animations peuvent avoir des implications différentes sur le plan cognitif et les bénéfices de l'animation dépendent de sa composition mais aussi et surtout, de son contexte d'utilisation.

Les animations sont à l'organisation temporelle ce que les graphiques sont à l'organisation spatiale. Un graphique peut illustrer très efficacement des relations qu'un texte ne peut que décrire. De la même manière, une animation peut rendre un processus dynamique d'une manière qu'un graphique ou qu'un texte ne pourront jamais que suggérer. Ainsi une description d'un processus dynamique peut être faite avec la seule aide d'une animation alors qu'il faudrait coupler une représentation statique seule avec une description écrite (ou orale) de l'évolution temporelle pour que cette dernière soit pertinente. Lowe (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.

Il faut ajouter à cela des changements inhérents aux animations comme les changements de point de vue de l'observateur.

Lowe et 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 de fonction de supplantation. 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.

2. LES ANIMATIONS FAVORISENT-ELLES L'APPRENTISSAGE ?

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 textuelles 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. Certaines études ont pu démontrer un effet bénéfique des animations pour

l'apprentissage par rapport au texte et à l'image (Palmiter & Elkerton, 1991, 1993) tandis d'autres n'ont démontré aucun avantage de l'animation sur l'image et le texte (Pane, Corbett, & John, 1996 ; Rieber, 1990)

Selon Lowe (1999, 2004), 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. De même, les apprenants novices semblent extraire préférentiellement les informations provenant de changements de position que de changements de formes (Lowe, 2004).

2.1. La nature fugace de l'animation

Le grand avantage mais aussi inconvénient de l'animation tient au fait que 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 globale (Bétrancourt & Tversky, 2000). Le défilement des images à la base du dynamisme dans une animation, ajoute 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 donc survenir très facilement, ce qui est bien entendu négatif pour la compréhension. De même, l'information peut être traitée avec une profondeur insuffisante.

Les processus représentés à l'aide d'animations contiennent bien souvent plus d'un élément en mouvement, en transformation ou en transition. Toutefois, la multiplicité des transitions augmente encore plus la difficulté de traitement pour l'apprenant. **Les informations sont à la fois fugaces, multiples et concurrentes.**

De plus, là où dans le cas d'une image statique, l'apprenant peut prendre son temps pour observer les différentes parties du graphique et y revenir autant de fois qu'il veut, dans le cas d'une animation, l'aspect changeant et évolutif des informations le temps ne le lui permet pas.

2.2. L'animation porte un plus grand fardeau

Le fait que l'apprenant n'est pas en mesure de traiter toutes les informations est appelé **surcharge cognitive**. Les animations peuvent amener plusieurs formes de surcharge :

- **une charge perceptive** : lorsque plusieurs mouvements surviennent en même temps, le système perceptif doit tout récupérer.
- **une charge mnésique** : 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) .
- **une charge conceptuelle** : lorsque le sujet n'a pas le temps de traiter l'information et de se construire un modèle mental de la connaissance (Clavien, 2003).

Plusieurs modèles théoriques ont été développés pour permettre la compréhension des phénomènes cognitifs liés au traitement d'informations dynamiques. Nous présenterons ici les quatre modèles les plus répandus dans la littérature sur l'apprentissage de contenus multimédia.

2.2.1. Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Le modèle de Mayer)

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

La capacité limitée de la mémoire de travail (MdT) découle des travaux de Baddeley, (1986, 1998). Il s'agit simplement du constat que nos capacités de traitement sont limitées. La MdT ne pouvant traiter qu'une quantité réduite d'information à la fois. Le modèle de Mayer s'inspire également de la structure tripartite de la mémoire, englobant le concept de MdT. Ce modèle distingue la **mémoire sensorielle** qui est composée de la mémoire iconique (visuelle) et échoïque (auditive) et capacité limitée en temps, la **mémoire à court terme** et la **mémoire à long terme** (Atkinson & Shiffrin, 1968).

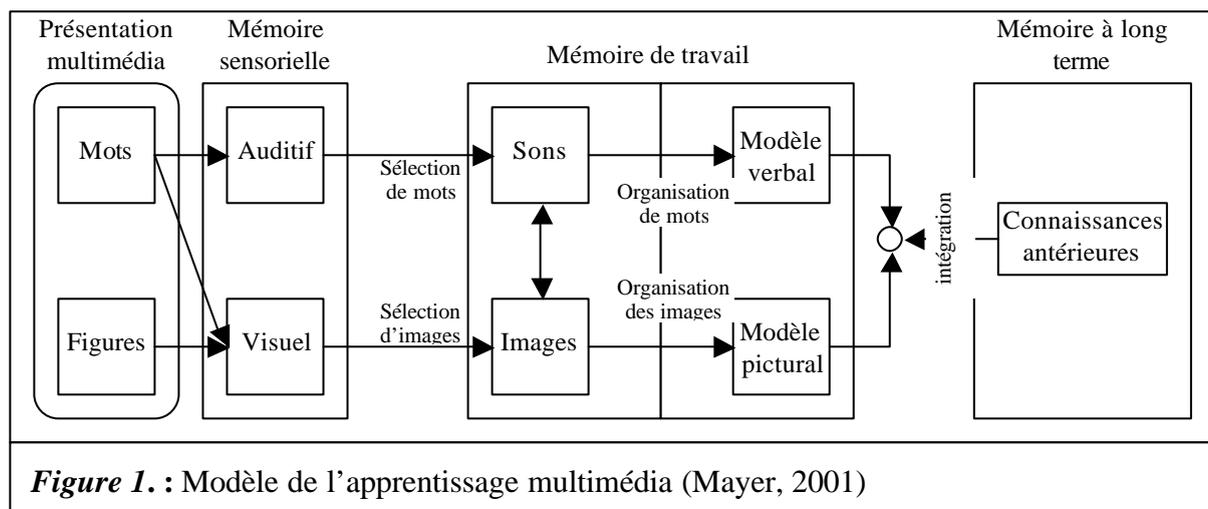
Comme pour la mémoire à court terme, les parties de la mémoire de travail ont des capacités intrinsèquement limitées. Ainsi il est impossible de conserver plus de 7 ± 2 éléments dans la boucle phonologique, ni plus de 5 ± 2 dans le calepin visuo-spatial.

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 connexions référentielles en mémoire de travail (visualiser un mot ou mettre un nom sur une image).

Le principe du traitement actif de l'information stipule qu'un apprentissage est plus efficace s'il est accompagné d'une activité cognitive consciente (notamment au

niveau attentionnel) de la part de l'apprenant à travers une organisation et une meilleure intégration aux connaissances antérieures. Cela conduit à une meilleure élaboration du modèle mental et une meilleure capacité à réutiliser le contenu de l'apprentissage dans d'autres situations (transfert).

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.**



Sélection : La présentation d'un matériel, aussi bien visuel qu'auditif, est tout d'abord traitée par le système perceptif qui relaie 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 (lecture, compréhension du schéma...).

Organisation : L'information pertinente (auditive ou visuelle) est récupérée par la mémoire de travail où elle peut y être maintenue et manipulée et devenir accessible à la conscience. Des mise en relations (causales, temporelles, logiques, etc.) améliore selon Mayer la création d'un modèle mental sur la base des informations visuelles (*pictorial model*) et verbales (*verbal model*).

L'intégration : Les informations picturales et verbales qui ont été organisées séparément dans la MdT sont intégrées et liées à des connaissances antérieures (dans la MLT) pour ne former qu'un seul modèle mental stocké dans la MLT. On peut alors considérer que les informations ont été apprises.

(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, fait 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.

2.3 L'intégration de la compréhension du texte et de l'image (Schnotz)

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

Une représentation *descriptive* est constituée de symboles qui sont des signes associés selon une convention comme un texte ou une représentation verbale.

Une représentation *décriptive* est quant à elle constituée de signes visuels concrets ou abstraits où le sens est tiré de leur association dans l'espace comme les images et les diagrammes. 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* permettant d'utiliser moins de conventions de représentation et de rendre le matériel plus accessible. Mais elles peuvent aussi présenter plus d'éléments qui peuvent être inutiles à l'apprentissage. Pour Les graphiques cette correspondance est plus abstraite et on parle d'*analogie* et les l'effet est ici inversé.

Cette première catégorisation distingue donc le type de média qui parvient à l'apprenant. Un message verbal est une représentation descriptive et un message visuel, comme un graphique, est une représentation dépicative.

Une seconde distinction est faite entre représentation externe et représentation interne. L'idée est que l'information externe est perçue et traitée pour devenir une représentation interne. L'acquisition d'information se fait au moyen de fonctions de sélection et d'organisation de l'information et est guidée par des processus organisationnels perceptifs (bottom-up) ou les connaissances antérieures (top-down). Au fur et à mesure des traitements, ces informations s'internalisent encore plus pour former des modèles mentaux.

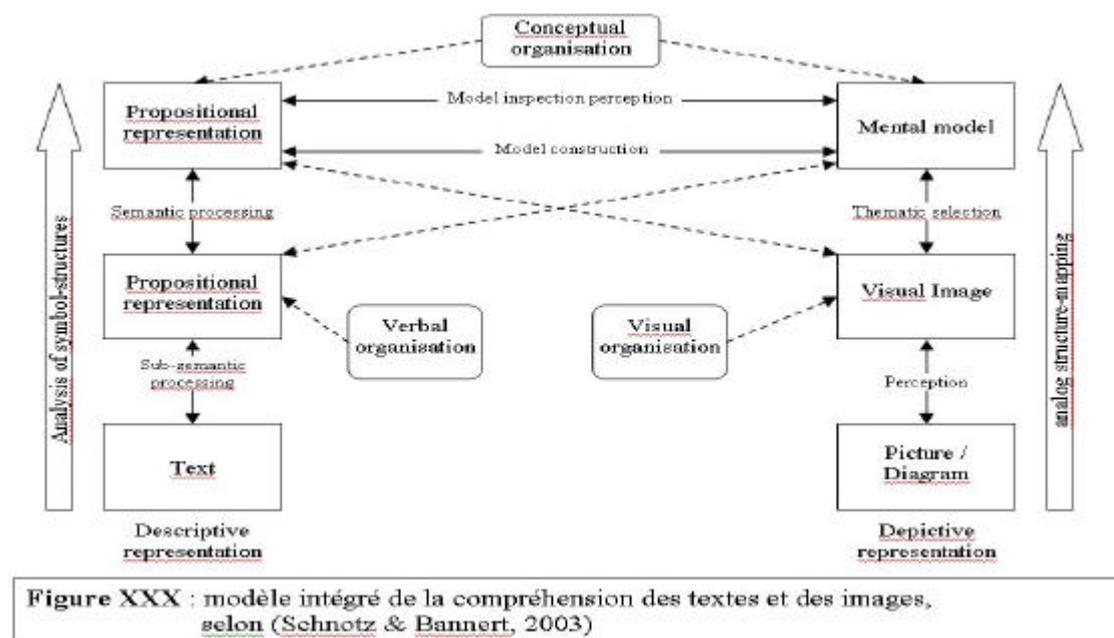


Figure XXX : modèle intégré de la compréhension des textes et des images, selon (Schnitz & Bannert, 2003)

Figure 2.

Les représentations propositionnelles et les modèles mentaux sont de nature différente mais leur utilisation est totalement complémentaire. Les deux représentations restent séparées et différentes tout en étant liées et complémentaires. Les représentations descriptives et dépicatives ont des capacités plus égalitaires chez Schnitz. 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'informations supplémentaires, 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 à travers une organisation sémantique où les éléments graphiques deviennent des structures mentales et les relations spatiales des relations sémantiques intégrées au modèle mental. Encore une fois les processus de construction peuvent se faire dans deux directions, dirigés par les schémas et connaissances antérieures.

2.4. Le modèle de Narayanan et Hegarty de la compréhension des systèmes dynamiques

Chez Narayanan & Hegarty (1998; 2002), l'apprentissage est vu comme l'intégration de nouveaux éléments dans un modèle mental existant. La construction d'une représentation dynamique se fait en cinq étapes.

1. Décomposition :

Tous les éléments perçus sont décomposés en unités d'information en plusieurs éléments plus ou moins schématisés et organisés spatialement. Chaque élément doit être identifié et compris avec l'aide des connaissances antérieures sur le domaine (influence top-down) et la qualité visuelle des éléments représentés (influence bottom-up). Un bon dispositif d'apprentissage (textuel ou imagé) devrait donc permettre à l'apprenant de séparer et d'identifier aisément les différentes unités d'informations graphiques et symboliques.

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

Les unités identifiées durant l'étape précédente sont organisées, les éléments sont reliés entre eux à l'aide d'identification des interactions physiques, ou logiques et des liens sont créés avec les connaissances préalables de l'apprenant.

3. Liens référentiels :

Les éléments visuels et verbaux, surtout ceux représentant la même entité, sont regroupés et intégrés dans un même modèle. Il faut donc que les informations verbales et visuelles à relier se trouvent ensemble dans la mémoire de travail (principe de contiguïté spatiale et temporelle).

4. Rapports de cause à effet :

Les chaînes d'évènements (causaux ou logiques) doivent intégrer selon le bon modèle. 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. Pour aider les novices particulièrement sujets à erreur dans cette étape. Narayanan & Hegarty suggèrent des techniques d'explicitation et de visualisation des relations logiques et des relations causales, des relations spatiales et temporelles.

5. Construction d'un modèle mental dynamique :

Enfin, pour refléter le fonctionnement de l'ensemble du système, un modèle mental dynamique doit être construit par l'inférence du comportement dynamique de chaque élément, cherchant comment d'autres éléments peuvent influencer cet élément (causalement ou logiquement) et 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.

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).

2.5. Théorie de la charge cognitive

Cette théorie présentée par (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 un peu simpliste et peu approfondi permet de donner une explication lors de l'absence d'effets de certaines conditions et distingue 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 que 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.

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

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. On appelle cet effet l'effet de dissociation de l'attention et à lieu quand les sources d'informations ne sont pas compréhensibles de façon isolée. Si les informations se recourent, on peut avoir à faire à un effet de redondance.

2.7. Effet de redondance

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 considérées 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 de la même. Un traitement multimodal est même positif pour l'apprentissage (Principe multimédia de (Mayer, 2001) et théorie du double codage de (Pavio, 1986)).

2.8. 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. 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 utiliser des paradigmes collaboratifs pour améliorer l'apprentissage.

2.8.1. Permanence de l'information

C'est en tenant compte de l'hypothèse que les animations augmentent la charge cognitive qu'est née l'idée de remédier à la nature fugace 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).

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 car ils ne disposent pas encore des schémas mentaux qui leurs permettraient de structurer l'information et de palier aux limitations de la mémoire de travail (Sweller et al., 1998). La surcharge due aux flux continu de l'information dans les animations pourrait donc être réduit si l'information reste accessible ensuite et que le participant le sait. Des auteurs (Bétrancourt, Dillenbourg, Clavien, 2003 ; Clavien 2003) ont créé un résumé de l'animation au moyen de vignettes affichées sur l'écran. Grâce à celle-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.

2.8.2. Collaboration

Apprendre à plusieurs a-t-il une influence sur l'apprentissage ? Schnotz et Bannert (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 scores de rétention des détails plus hauts en dynamique qu'en statique, la simulation n'a pas eu d'effets significativement différents. 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 Bannert 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 fugace provenant de l'animation.

Nous pensons qu'un approfondissement théorique et empirique de ces résultats, à la lumière des champs d'études du domaine de l'apprentissage collaboratif médiatisé

par l'ordinateur s'impose. C'est ce que nous allons entreprendre dans la section qui suit où nous parlerons en premier lieu de l'éclaircissement que pourraient apporter ces derniers et de la manière de les intégrer dans une conception plus globale entrelaçant les modèles cognitivistes de l'apprentissage et les modèles collaboratifs de l'apprentissage.

3. APPRENTISSAGE COLLABORATIF

3.1. Introduction

Les avancées de la recherche en psychologie de l'éducation durant ces dernières années ont entre autre eu pour effet de faire émerger tout un courant portant sur l'apprentissage en groupe et le travail de groupe, par opposition aux courants de recherche sur l'apprentissage et le travail individuel. Ces nouveaux courants combinent deux arguments principaux provenant de 2 écoles de pensée : En premier lieu, l'argument de Piaget (1936) selon laquelle la connaissance est **construite activement par l'apprenant** à l'aide de ses interactions avec l'environnement ; en deuxième lieu, l'argument provenant de l'école socioculturelle russe qui stipule que **la construction de toute connaissance est socialement médiatisée** (Vygotsky, 1978).

L'étude de l'apprentissage dans un contexte collaboratif s'éloigne des courants portant sur l'apprentissage individuel sur plusieurs aspects. Premièrement, la différence principale est qu'on se focalise ici sur des activités de groupe ; à savoir **la manière dont une connaissance au finale individuelle se construit en groupe à travers des échanges, interactions, et collaborations entre les divers protagonistes**. Il faut ainsi souligner que toute construction collaborative de la connaissance comporte nécessairement en elle, une dimension individuelle à l'intérieur du groupe (Stahl, 2002).

La deuxième différence importante à souligner entre un paradigme d'apprentissage collaboratif et individuel est reliée de près à la première. Elle relève **l'importance**

des artéfacts qui composent le monde comme les objets, les discours oraux, écrits, médiatisés par l'ordinateur etc. L'importance de ces 2 arguments a été mise en évidence par le paradigme « micro-éthnologique » (Garfinkel, 1967) d'étude des interactions rendue récemment possible grâce à l'enregistrement audio et vidéo. Ainsi des exemples pris sur le vif et soigneusement capturé de **construction collaborative de connaissance** peuvent être rigoureusement analysés pour mettre en évidence **les activités d'apprentissage collaboratives** en œuvre et ce, en tenant compte des apports couplés des aspects individuels et l'apport des outils et **artéfacts** divers comme l'ordinateur.

3.2. Qu'est-ce qu'il faut comprendre par « apprentissage collaboratif » ?

Partant du constat d'un usage non-consensuel de la terminologie « apprentissage collaboratif » (collaborative learning) se rapportant à des situations et domaines très variés, Dillenbourg (1999) soulève l'importance de désambiguïser la signification de cette dernière pour permettre de concilier les apports des divers champs de recherche et une meilleure intégration de ses derniers dans le champ multidisciplinaire qu'est l'apprentissage collaboratif médiatisé par ordinateur (CSCL).

Selon l'auteur, la définition la plus large mais néanmoins insatisfaisante de « l'apprentissage collaboratif » peut se résumer comme ceci : *situation* dans laquelle *deux personnes ou plus apprennent* ou tentent d'apprendre *ensemble* quelque chose. Ce qui nous amène à envisager les différentes situations d'apprentissage collaboratif selon les dimensions suivantes :

- D'abord, la taille du groupe peut varier d'une paire de sujet à un petit groupe (3-5 sujets), une classe (20-30 sujets), une communauté (quelques cent à mille personnes) ou même à la société (plusieurs milliers ou millions de personnes)

- En second lieu, le terme « apprentissage » peut se référer entre autres à suivre un cours, à étudier le matériel de cours, ou à s'adonner à des activités d'apprentissage comme la résolution de problème.
- Troisièmement, « apprendre ensemble » peut induire différentes formes d'interaction en terme de modalités, à savoir si l'apprentissage a lieu en situations face à face ou à distance, si les activités sont effectuées de manière synchrone (simultanée) ou asynchrones (différée), et pour finir si les activités sont réellement effectuées en commun ou si elles impliquent une division systématiques de la tâche en tranche effectuée séparément.
- Pour finir, les activités de l'apprentissage collaboratif peuvent durer de quelques heures à plusieurs années.

Dillenbourg (1999) identifie trois éléments qui caractérisent une situation collaborative. Premièrement, les paires qui collaborent ont plus ou moins le même niveau de connaissances, compétences et de possibilités d'agir durant la situation collaborative. Ce qui implique un certain **degré de symétrie** dans l'interaction élaborée par les divers participants de l'activité collaborative.

Deuxièmement, **les participants partagent des objectifs et des intérêts communs** qui sont à l'origine de l'interaction, à savoir, la réalisation de la tâche. Selon l'auteur, il faut aussi tenir compte des buts personnels des individus qui sont leurs motivations personnelles etc.

Troisièmement, il y a une division des tâches entre les participants. Selon Dillenbourg (1999), pour désambiguïser notre compréhension de ce qu'est une activité collaborative, il est essentiel de la distinguer de ce qui serait une activité coopérative. Ainsi une des définitions du travail collaboratif pourrait être déduite de cette distinction que l'on en fait par rapport aux activités que l'auteur définit comme coopératives, en prenant comme critère de différenciation, le degré de subdivision du travail. Pour Dillenbourg, la coopération implique une subdivision de la tâche en sous-tâches effectuées séparément par les divers participants. Mais les situations

sont considérées comme collaboratives lorsque les « collaborateurs » travaillent ensemble tout en adoptant des rôles précis durant l'activité de collaboration. L'un des apprenants s'occupe par exemple des tâches mécaniques en rapport à la gestion de l'interface tandis que l'autre s'occupe des aspects plus stratégiques. L'auteur appelle ce genre de découpage de la tâche « horizontale » par opposition à un découpage « verticale » où la tâche est découpée en sous-tâches effectuées séparément et indépendamment par les participants.

Ainsi une des grandes caractéristiques de la collaboration réside dans la grande flexibilité au niveau de la division du travail entre les divers participants. Ces derniers peuvent à tout moment réorganiser la distribution des rôles.

Une situation de collaboration est aussi caractérisée par **une symétrie au niveau des actions** (c'est à dire que tout les apprenants ont accès au même éventail d'actions) et **des connaissances** (c'est à dire que tout les étudiants ont un niveau plus ou moins équivalent de connaissances du domaine), ainsi l'existence d'un but commun, partagé par les participants. Rajoutons à cela une symétrie au niveau de la participation qui consiste en une équivalence entre la participation et la contribution des divers acteurs durant l'activité de collaboration, ainsi que la présence de buts communs qui différencie une situation collaborative d'une tâche compétitive.

3.2.1. Apprendre c'est construire une connaissance ensemble.

Pour Stahl (2002), la notion de « construction de connaissance » est plus concrète et descriptive qu' « apprentissage » quand on se place dans un cadre collaboratif, par opposition à une approche épistémologique individuelle. Cette idée découle de l'argument de Piaget (1936) selon laquelle la connaissance est **construite activement par l'apprenant** grâce à l'appréhension et l'intégration des diverses interactions avec son environnement direct.

Dans une étude ethnologique de la recherche scientifique et les communautés scientifique actuelles, Latour et Woolgar (1979) ont mis en évidence que les théories sont progressivement développées par un discours professionnel impliquant l'examen et la critique par des pairs de papiers publiés dans les journaux spécialisés.

Ainsi une communauté de recherche scientifique en apprend plus sur ses thèmes de recherche en *construisant* sa connaissance de manière *collaborative* et ce, sous forme de document qui définit petit à petit un chemin vers l'élaboration d'une théorie qui sera sujette à des approfondissements ultérieurs. Une perspective théorique conflictuelle ainsi que les rôles de certains participants spécifiques sont essentiels pour le processus. Les activités discursives telles que, questionner, proposer, argumenter, critiquer, clarifier, négocier, accuser, réparer, acquiescer, jouent un rôle central, au même titre que les objets (artéfacts) sur lesquelles (objets de recherches), avec lesquelles (outils de recherche) ou à propos desquelles elles prennent place.

Le concept de « construction de connaissance » (*knowledge building*) a été repris de Latour et Woolgar par Scardamalia et Bereiter (1991) qui ont longtemps préconisé la restructuration des salles de classe en des communautés de *knowledge building* et ont lancé le développement de l'appui des ordinateurs pour ces communautés (Scardamalia et Bereiter, 1996, cité par Stahl, 2002).

Le champ d'étude collaboratif de l'apprentissage permet de souligner la construction et le développement futur d'un objet de connaissance partagé par le groupe d'apprenant. L'on ne se focalise ainsi pas sur l'apprentissage individuel des participants qui vont évidemment retenir une partie de ce que le groupe a découvert, approfondir leur compétence en matière de collaboration et profiter d'une expérience positive d'engagement intellectuel.

3.2.2. L'apprentissage collaboratif dans la pratique éducationnelle

Beaucoup de pratiques pédagogiques et curriculaires, ont intégré de manière efficace la notion de « construction collaborative de la connaissance » avec un certain succès. L'on peut citer en guise de courant précurseur d'apprentissage par étude de cas (*case studies*) (Collins et Stevens, 1983). Nous pouvons aussi citer l'apprentissage par projet (*project based learning*) (Blumenfeld et al., 1991) qui hérite ses propriétés de l'apprentissage par étude de cas et qui consiste en un apprentissage où des groupes d'individus apprennent en collaborant sur un projet commun.

L'apprentissage par problème (APP, *problem based learning, PBL*) est un cas particulier de l'apprentissage par projet, entré depuis un certain moment dans l'enseignement médical, et qui propose une approche systématique où des groupes d'apprenants s'adonnent activement à une tâche de co-construction collaborative de connaissances (Borrows, 1994). Ce dernier permet aux apprenants, en plus des cours traditionnels de construire leur connaissance en groupe à travers une série d'activités soigneusement conçues de résolution de problèmes. Il est important de préciser ici que contrairement à certaines formes d'apprentissage par projet, l'APP ne se contente pas d'une division du projet en sous-tâches effectuées indépendamment par les divers participants, tel qu'envisager dans une perspective coopérative. Dans ce cas de figure, bien qu'ils puissent partager leurs connaissances individuelles (Brown & Campione, 1994), la construction de la connaissance de base se fait en dehors des interactions de groupe. L'APP exige des apprenants de devenir des investigateurs indépendants et le professeur ou précepteur joue ici un rôle de catalyseur d'apprentissage.

Nous ne nous attarderons pas plus dans cet exposé sur les divers courants pédagogiques basé sur l'apprentissage collaboratif pour nous focaliser sur l'aspect qui nous intéresse, à savoir la recherche en matière d'apprentissage collaboratif.

3.2.3. La recherche dans le domaine de l'apprentissage collaboratif

Après plus de millénaire et demi de discours et de réflexions sur la connaissance et sa construction par les apprenants, les idées - en effet les première trace de réflexion sur la signification du concept de connaissance, remontant au moins jusqu'au forum d'Athènes - l'on trouve toujours le concept de connaissance paradoxal et obscur. Cependant selon Stahl (2002), 2 éléments semblent être clairs :

- Le sens que l'on puisse trouver à des symboles, des représentations ou des artefacts (objets réels ou de connaissance), n'est valable que dans des esprits individuels. Il y a nécessairement une interprétation qui s'opère chez et par les individus qui dépend étroitement de leurs perspectives et visées personnelles (Gadamer, 1960/1988).

- Isolés de toute interaction sociale, artefacts physiques, culturelles ou historiques, les cerveaux humains seraient des penseurs pauvres et ne se seraient pas développés de manière aussi puissante (Donald, 1991). Selon Vygotsky (1930/1978), les esprits modernes sont en fait simplement une collection d'artefacts cognitifs internalisés à partir d'interactions interpersonnelles. Tout processus mental n'est ainsi à la base qu'un phénomène social de groupe.

Ainsi, toute théorie de la construction de connaissance doit tenir compte de l'importance conjuguée des groupes collaboratifs et de leurs membres individuels. Nous reviendrons plus amplement sur cette cohabitation d'aspects individuels et sociaux de l'apprentissage, dans la suite de cet exposé.

Les considérations sur l'importance de l'aspect social dans l'apprentissage, où plus précisément dans la construction de connaissance se retrouve déjà dans les traditions philosophiques du 18^{ème} et 19^{ème} siècles stipulant **que la connaissance est profondément enracinée dans une base sociale**. Toute signification se construit dans un contexte historique et social. Nous sommes dès le début situés dans un monde partagé et riche de sens dans lequel nous sommes nés et dans lequel nous sommes engagés (Heidegger, 1927/1996, cité par Stahl, 2002a). Selon Heidegger, l'individu est essentiellement engagé dans un monde partagé et ainsi, le réseau des significations personnelles est historiquement, culturellement et socialement défini. Depuis les premiers soupçons de l'enfant en ce qui concerne l'intentionnalité des gestes de la mère (Vygotsky, 1930/1978) jusqu'à la reconnaissance humaine mutuelle (Hegel, 1807/1967 ; Mead, 1934/1962), **la signification jaillit de l'interaction interpersonnelle**.

Dans une tradition plus sociologique et ethnométhodologique, (Garfinkel, 1967), stipule que la signification d'un contexte communicatif est établie de manière interactive et est réalisée par les participants qui créent un ordre social à la volée. Entendons par là que la signification de différentes expressions individuelles n'est pas donnée par quelques idées préconçues et exprimées avec des symboles verbaux. La signification des expressions produites est plutôt négociée par les

émetteurs et les récepteurs. **Toute production d'expression et leur interprétation s'ancre dans un contexte communicatif interactionnel. La signification d'une expression spécifique peut être définie et affectée par des expressions, réponses, gestes, pauses, etc.** (Sacks, 1992). En d'autres mots, la signification des faits des individus est construite ou réalisée dans le discours du groupe et forme le champ interprétatif dans lequel la connaissance est partagée durant l'interaction.

La recherche scientifique plus récente en matière de collaboration a été appréhendée à travers des paradigmes différents par les différentes disciplines impliquées. Dillenbourg, Baker O'malley et Baye (1996, cité par Jermann, 2004) propose une synthèse des différents champs d'étude en distinguant trois paradigmes :

- le paradigme des effets (**effects paradigm**) qui étudie les différences d'apprentissage entre l'apprentissage individuel et en groupe (voir Salvin, 1980, 1995).
- le paradigme des conditions (**conditions paradigm**) qui s'occupe principalement de mettre en évidence les conditions selon lesquels l'apprentissage collaboratif porte ses fruits en étudiant principalement la taille des groupes, l'hétérogénéité des membres du groupe, et les propriétés de la tâche à effectuer. (pour une méta-analyse voir Salvin, 1995, Johnson, Johnson & Stanne, 2000).
- le paradigme d'interaction (**interaction paradigm**) étudie les interactions comme étant à la base de l'effet d'apprentissage découlant d'une situation collaborative. Selon Jermann (2004), 3 facteurs caractérisent cette approche : **les conditions initiales, l'interaction et les produits des activités**. Les **conditions initiales** ont un effet sur les caractéristiques de l'**interaction** (quantité d'interaction, symétrie de la participation, complexité de l'argumentation produite, qualité de la connaissance partagée) l'interaction elle-même et la production d'activité. Les caractéristiques d'**interaction** ont un effet sur la performance et l'apprentissage.

Pour entrer un peu plus en détail en ce qui concerne ce 3^{ème} paradigme d'étude qui nous concerne plus spécifiquement dans cette étude, il nous faut examiner d'un peu plus près les implications pratiques dans les études expérimentales. Un premier champ d'étude utilise l'interaction comme variable dépendante pour étudier l'influence des caractéristiques d'une situation d'apprentissage collaborative. On y observe par exemple une correspondance entre le niveau de *structuration* de l'interaction et le degré de demande cognitive d'une tâche. Les activités qui impliquent un niveau de réflexion bas demande par exemple une structuration plus élevée des interactions et vice versa.

D'autre part, une manière d'améliorer la qualité des interactions consiste à la soumettre à une *régulation* en donnant par exemple des feedbacks pertinents par rapport à la tâche aux participants (Cohen, 1994).

De plus comme nous l'avant vu plus haut, les caractéristiques de l'interaction sont susceptible d'affecter les performances en matière d'apprentissage en condition collaborative. Une analyse et compréhension plus profonde des interactions (dans le sens large) et des phénomènes sous-jacents à l'apprentissage en mode collaboratif peuvent s'avérer parfois cruciale. Pour Dillenbourg (1999), l'apprentissage collaboratif n'est pas un mécanisme d'apprentissage en soi et le fait de mettre des apprenants en groupe plutôt que seul n'est en rien suffisant pour qu'émerge de meilleures performances d'apprentissage. L'apprentissage découle avant tout des activités qu'implique un travail de groupe comme lire, expliquer, résumer, désambiguïser, réparer et qui portent en elles des mécanismes d'apprentissage comme l'induction, la déduction, la compilation, etc. (Jermann 2004). L'apprentissage dans un contexte collaboratif est en quelques sortes « un effet de bord » des efforts entrepris par les divers participants d'un groupe pour instaurer et préserver une compréhension commune de la tâche (Dillenbourg, 1999, Roschelle &Teasley, 1995).

Donner des explications est un phénomène présent à la fois dans une condition de groupe ou une condition individuelle. L'effet d'auto-explication (*self-explanation*

effect) (Chi et al., 1989) fait référence au fait que la construction des explications amène les apprenants à mettre en procédure leurs connaissances déclaratives et rend explicite leur stratégie de résolution de problème (Jermann, 2004). Cet effet joue un grand rôle de régulation de la compréhension en permettant aux apprenants de diagnostiquer leur propre compréhension. Au niveau social, la construction d'explication se fait en vue des autres et non de soi-même et est à un des processus de base pour la co-construction de connaissance (Webb, 1989).

3.3. Le rôle des objets, l'artéfact, la cognition distribuée

Beaucoup de courants de recherche des années 90 ont mis l'accent sur le rôle du contexte social ainsi que des outils (instruments, artéfacts) dans le domaine de la cognition et de l'apprentissage. Il en a émergé un certain nombre de concept : **la cognition distribuée (*distributed cognition*)** (Flor & Hutchins, 1991 ; Dillenbourg & Self, 1992 ; Salomon, 1993) ; **la cognition située (*situated cognition*)** (Brown, Collins & Duguid, 1989), **la cognition partagée (*shared cognition*)** (Roschelle & Teasley, 1995). Toutes ces approches prônent l'importance du milieu direct composé d'artéfacts dans le processus d'apprentissage dans un cadre collaboratif. Comme le précise Moore et Rocklin (1998), toutes ces approches parlent en somme d'un même phénomène que nous allons décrire ici.

La construction d'une connaissance par un apprenant est médiatisée par un artéfact. De la même manière, les interactions et l'entrelacement des perspectives personnelles et groupales sont médiatisés par des artéfacts. Selon Stahl (2002), la construction collaborative de la connaissance se fait sur la base d'artéfacts déjà en main. Ces derniers peuvent être langagiers, cognitifs, physiques, et ou numériques. Elle implique aussi la construction de nouveaux artéfacts permettant la formulation, la préservation et la communication d'une nouvelle connaissance.

En anthropologie, le concept d'artéfact est très familier et se rapporte aux objets antiques découverts et qui permettent aux chercheurs de démontrer leurs fonctions ou importance symbolique. Hegel (1807/1967) parle des artéfacts comme des objets auxquels une signification a été imposée et pour lui, l'acte primordial de création

d'artéfact se situe dans l'interaction interpersonnelle ou les gens se reconnaissent entre eux et eux-mêmes comme étant des acteurs pensants. Pour lui, les artéfacts maintiennent la subjectivité sous une forme physique externalisée (Hegel, 1807/1967, cité par Stahl, 2002).

Vygotsky (1930/1978) quant à lui a proposé une psychologie de la cognition médiatisée (en envisageant l'approche individuel comme entrelacé avec l'approche groupale). Il contribua à étendre la notion d'artéfact physique (outil) avec la notion d'artéfact linguistique. Ainsi pour Vygotsky, l'activité individuelle est médiatisée à la fois par les deux sortes d'artéfacts. L'habileté de l'être humain à créer et utiliser les artéfacts physiques et linguistique a été un développement culturel qui a permis à l'humanité d'évoluer bien au delà de sa base biologique.

Vygotsky propose par l'expérimentation empirique que les significations des artéfacts et notre compréhension de ces significations émergent d'abord dans des contextes interpersonnels, tel qu'entre une mère et un enfant, un étudiant et son professeur, et qu'elles sont par la suite internalisées par l'individu. De plus, nous pouvons considérer tout produit d'internalisation découlant d'une construction collaborative de connaissance comme étant un artéfact cognitif. La représentation mentale interne est alors un artéfact cognitif qui résulte du processus collaboratif de construction de connaissance en groupe et qui permet de médiatiser la construction de connaissances à venir, par l'individu ou le groupe. Dans cette analyse, la représentation mentale ne se manifeste pas au niveau subjectif chez les individus pour s'exprimer ensuite à l'extérieur, mais découle des activités de collaboration.

Pour caricaturer, on pourrait décrire l'approche de Vygotsky comme dépeignant l'esprit humain comme n'étant rien de plus qu'un ensemble croissant d'artéfacts cognitifs, internalisés par chacun de nous durant notre développement personnel et à travers nos interactions avec les autres et encré dans notre monde culturel. Vygotsky et d'autres qui ont étudié le développement infantile et ont mis en évidence la manière dont les concepts les plus fondamentaux comme l'intentionnalité, l'intersubjectivité peuvent surgir dans l'interaction interpersonnelle.

Pour résumer la pensée de Vigotsky, l'univers d'évolution de l'être humain se compose de toutes sortes d'artéfacts qui jouent un grand rôle dans la **médiation** de l'interaction et ainsi l'apprentissage peut-être appréhendé comme étant une **internalisation** de ces artéfacts qui sont eux-mêmes des artéfacts cognitifs (Vygotsky, 1978).

Ces idées sont largement développées dans le champ d'étude conceptuelle qui prône l'existence d'une **cognition distribuée**.

L'idée de base de la théorie de la **cognition distribuée** est que la cognition est distribuée entre les individus et les objets (outils, ordinateurs, logiciels, graphiques) et les autres individus qui composent leur cadre physique d'apprentissage. On appelle ces éléments de l'entourage autre que l'apprenant lui même **un artéfact**. Les artéfacts jouent un grand rôle dans la **médiation** de l'interaction et l'apprentissage peut-être appréhendé comme étant une **internalisation** des outils (Vygotsky, 1978).

Le concept de **médiation** signifie ici que quelques choses se produit au moyen de, à l'aide d'un objet de médiation. Par exemple quand un étudiant emploie un terme technique pour construire une connaissance ou quand une classe d'étudiants utilisent un logiciel de collaboration pour discuter un thème, ce terme ou ce système médiatisent l'activité : Entendons par là qu'il fournit un médium par lequel les étudiants interagissent avec leurs idées. La forme spécifique de la médiation affecte en général profondément la nature de l'activité, et souvent la nature de la tâche elle même. Ainsi, le choix du medium peut s'avérer être le but aussi bien que les moyens possibles d'y accéder.

Selon la vision Vygotskienne de la médiation par les artéfacts, toute construction de connaissances nouvelles peut être conceptualisée en terme de construction d'artéfacts de connaissance impliquant des artéfacts physiques et symboliques en tant que point de départ, à la fois comme médium et comme produit. Selon cette théorie socio-culturelle, le développement s'explique avant tout par **une internalisation** de mécanismes précis. Les fonctions mentales humaines apparaissent d'abord sur un plan inter-individuel avant le plan intra-individuel. Ce

processus a lieu de manière collaboratif et intersubjectif et se situe dans un contexte socioculturel et historique précis. L'artéfact de connaissance finalisée peut être internalisée par un ou plusieurs participants. De plus selon Vygotsky (1978) toute internalisation d'un outil se fait sur la base de fondations internes préexistantes et que si l'outil est dans la zone proximale de développement de l'apprenant.

Pour Vygotsky (1978), l'internalisation se réfère à la transformation de la régulation externe ou mutuelle en autorégulation. La pensée elle-même serait ainsi une forme de dialogue avec soi-même. En dehors des autres membres du groupe dans une situation d'apprentissage, les objets peuvent aussi servir d'aide extérieure à un étudiant.

La tâche de l'éducation selon cette approche est de raviver les significations mises et préservées dans les artéfacts. C'est la problématique de la transmission culturelle. Toute culture peut être conceptualisée comme un ensemble d'artéfacts cognitifs et autres. Dans les cultures disposant d'un système littéraire et numérique, instruire revient en grande partie à aider les jeunes étudiants à internaliser le vaste répertoire de significations qui sont associés à ces artéfacts. Même si parfois il est possible pour certains individus ayant développé certaines compétences (artéfacts cognitifs) de développer des artéfacts de connaissance reliés de manière autonome, il est d'autres fois utile de recréer des conditions intersubjectives de création de connaissance et de collaboration de manière structurée, à l'aide d'artéfacts soigneusement construits pour soutenir un apprentissage à venir.

La théorie de cognition distribuée est un champ d'étude heuristique pour conceptualiser, et comprendre les situations collaboratives d'apprentissage et relever les questions théoriques et empiriques pertinentes sur la cognition (Pea, 1993, cité par Jermann 2004). Les systèmes distribués y sont décrits comme étant composés d'individus et d'artéfacts ou la cognition est « *stretched over* » (Salomon, 1993). Ainsi les concepts découlant des sciences cognitives peuvent être étendus et utilisé pour décrire et analyser des systèmes et situations d'apprentissage et de collaboration diverses.

Pour Flor et Hutchins (1991) la cognition distribuée est,

« [...] *a new branch of cognitive science devoted to the study of: the representation of knowledge both inside the heads of individuals and in the world ...; the propagation of knowledge between different individuals and artifacts ...; and the transformations external structures undergo when operated on by individuals and artifacts ..*” (p. 51).

La théorie de la cognition distribuée se pose la question de savoir comment l'information est représentée dans le système cognitif et comment les processus s'opèrent dans ses représentations. Elle étudie comment l'information est transmise sous différentes formes de représentations : langages, artefacts...

Une des questions essentielles de la théorie de la cognition distribuée est de savoir où, dans le système distribué réside la cognition. Selon l'approche post vygotkienne (Leont'ev, 1981, in Kaptelinin, 1996) le système composé de l'apprenant et de son entourage physique et sociale peut être considéré comme une entité cognitive distincte appelée **organe fonctionnel (*functional organ*)**. Les organes fonctionnels sont des configurations de ressources internes et externes intégrées fonctionnellement et orientées vers un but. Ils sont perçus comme faisant partie intégrante du système physique et cognitif.

Pea (1993) propose une explication opposée à la première en disant que les apprenants sont plus des « inventeurs d'un outil intellectuel distribué » que les tenants d'une « substance intellectuelle ». Ainsi l'apprentissage réside plus dans la transformation de l'environnement d'activité que dans les structures cognitives des individus.

Perkins (1993) quant à lui tente de concilier les 2 approches précédentes en proposant une **équivalence dans l'accès à la connaissance**. Pour lui la cognition est une forme de flot d'information (*information flow*) Pour lui il n'est pas important de savoir où réside la connaissance mais plutôt si elle est directement accessible et si le système remplit la fonction cognitive requise. Salomon (1993) rajoute à cela que la connaissance ne peut être attribuée qu'à l'environnement ni à l'individu seulement

mais est répartie (*stretched over*) sur tout le système. Un modèle d'interaction des individus et des cognitions distribuées se rapporte selon lui à une forme de spirale se déplaçant entre la cognition individu et la cognition distribuée.

L'aspect le plus intéressant dans un cadre éducatif est sans doute la distribution des fonctions exécutives stipulant que le monitoring et le contrôle d'une activité individuelle peut être prise en charge par un autre individu (de même compétence ou d'un niveau plus élevé). Jermann (2004) propose d'étendre cette idée au domaine de recherche en CSCL en stipulant que le rôle de régulation joué par le pair peut aussi au moins partiellement être pris en charge par l'ordinateur.

3.4. La communication au centre de l'apprentissage collaboratif

3.4.1. La communication verbale

Nous avons largement soulevé le fait que la connaissance se construit en groupe à travers des échanges, interactions, et collaborations entre les divers protagonistes et est médiatisée par des artefacts physiques, sociaux et cognitifs composant l'environnement directement disponible durant le processus d'apprentissage. Selon Stahl (2002), là où l'étude de l'apprentissage internalisé chez les individus peut s'avérer problématique, la compréhension partagée durant une expérience de construction collaborative de connaissance peut être reconstruite à travers diverses traces laissées sous forme d'artefacts divers comme des enregistrements vidéos, des retranscriptions de dialogues etc. Ainsi des exemples de construction collaboratif de connaissance soigneusement capturés - par exemple des enregistrements vidéo d'interaction dans une tâche d'apprentissage collaboratif - peuvent être rigoureusement analysés pour mettre en évidence les activités de construction de connaissance en oeuvre et ce, en tenant compte des apports entrelacés des aspects individuels et de l'apport des artefacts. Nous discuterons ici plus en détail des caractéristiques des interactions, la manière dont elles médiatisent la construction de connaissance et la manière dont elles peuvent être utilisées pour une meilleure compréhension des processus d'apprentissage.

Lorsque 2 individus tentent de comprendre et apprendre ensemble un phénomène, ils doivent faire en sorte d'arriver à une compréhension partagée de la situation (Roschelle & Teasley, 1995). Pour se faire, ils doivent se lancer dans la construction d'un **terrain commun** (*common ground*) ou base commune composée d'une certaine quantité d'information (attentes, hypothèses, connaissance, croyances, compréhensions) partagée par les divers collaborateurs durant la tâche collaborative. Pour arriver à efficacement mener à bout cette dernière, les apprenants doivent constamment contribuer à cette base commune (Clark & Brennan, 1991). On dénomme cette tentative constante de la part des apprenants de tenir à jour leur terrain commun, le **grounding** (Clark & Schaefer, 1989).

3.4.2. La théorie du grounding

Pour Clark et Brennan (1991), lors d'un dialogue, les 2 protagonistes tentent constamment de s'assurer d'une bonne compréhension mutuelle. Le grounding est selon ces derniers le processus collectif (techniques de grounding) par lequel les individus engagés dans une conversation s'assurent de leur compréhension mutuelle. Par exemple un émetteur peut adresser un signal au récepteur pour s'assurer qu'il a bien compris et attendre un signal de confirmation de sa bonne compréhension. Le récepteur quant à lui peut émettre à son tour un signal confirmant (ou non) ainsi sa bonne compréhension (ou mauvaise compréhension) sous une forme verbale (par exemple « ok ») ou gestuelle (acquiescement de la tête).

Ainsi tout au long d'une conversation, les deux interlocuteurs fournissent un effort collaboratif pour améliorer l'efficacité de la communication. Les auteurs parlent ainsi d'un "moindre effort collaboratif" les stratégies permettant aux sujets de minimiser cet effort (par exemple fournir un non complet peut s'avérer plus économique et tout aussi efficace qu'un énoncé parfait demandant un effort plus accru).

Il existe des types différents de grounding selon le contexte, la situation et l'objet de la conversation. Par exemple dans une conversation référentielle (faisant référence à un objet précis), la présence ou l'absence de l'objet de référence peut influencer de manière considérable le type de grounding mis en place par les différents protagonistes. Dans une telle situation, les collaborateurs doivent avant tout s'assurer

qu'ils font référence au même objet. Pour Clark et Brennan la notion d' « *identité référentielle* » consiste en le fait que les 2 participants ont accédé à un accord de faire référence au même objet. Cet accord peut être atteint par plusieurs techniques de grounding comme : formuler une dénomination directe de l'objet, formuler une description verbale de l'objet ou y faire référence par un geste de pointage (***indicative gesture***). Ainsi les techniques de grounding changent en fonction du médium de communication employé (il est par exemple relativement difficile de faire un pointage référentiel gestuel au téléphone).

Ce qui amène Clark et Brennan à définir ainsi des contraintes associées aux techniques de grounding :

- **La coprésence** : les interlocuteurs A et B sont présent dans le même environnement physique.
- **La visibilité** : les interlocuteurs A et B peuvent se voir.
- **L'audibilité** : les interlocuteurs A et B peuvent se parler et s'entendre.
- **La cotemporalité** : le récepteur B reçoit le message de manière synchrone, au moment où l'émetteur A l'a formulé.
- **La simultanéité** : les interlocuteurs A et B peuvent émettre et recevoir de manière simultanée.
- **La séquentialité** : il y a succession des tours de parole.
- La « **reconsultabilité** » : les sujets peuvent possibilité de consulter les messages précédents de leur interlocuteur.
- **La révisabilité** : possibilité de modifier un message avant de l'envoyer.

Le grounding a des coûts que Clark et Brennan résumant de la façon suivante :

- Coût de formulation
- Coût de production
- Coût de réception
- Coût de compréhension
- Coût de mise en route d'une conversation
- Coût de retardement d'un message

- Coût d'absence de synchronisation
- Coût de changement d'émetteur
- Coût d'affichage
- Coût d'erreur
- Coût de réparation

Ainsi chaque contexte et medium pour la communication impliquent son propre type de coûts. Compte tenu de la règle du moindre effort collaboratif, la manière dont le "*grounding*" va s'effectuer avec un medium et dans un contexte précis sera celle ayant le moindre coût. En outre, il est aussi évident que les techniques de *grounding* plébiscitées dans une interaction dépendent du niveau « référentialité » - comprenons par là, la possibilité dont disposent les acteurs de faire référence à l'objet de la discussion - de la situation. Il est par exemple plus aisé et moins coûteux de faire une référence gestuelle déictique à un objet visuellement accessible pour attirer l'attention de l'interlocuteur dessus qu'une description verbale complète. En ce qui concerne les références par gestes, le *grounding* dépend aussi du degré de connaissance des acteurs quant à l'objet de référence ; en effet une description gestuelle peut être métaphorique ou déictique peut être favoriser par l'émetteur s'il ne dispose pas de bagage linguistique nécessaire pour élaborer un *deixis* (référence déictique, pointage) verbal pertinent.

Ainsi comme nous l'avons suffisamment clamé dans les sections qui précèdent, c'est dans la processus de communication en général et dans les interactions conversationnelles qu'émergent toutes ou une partie des cognitions et représentation (Trognon, 1993). Ces reflets conversationnels des processus cognitifs peuvent à la fois servir de base d'apprentissage pour les divers collaborateurs d'une situation d'apprentissage, et aux scientifiques du domaine CSCL pour mieux comprendre les dynamiques conversationnelles cruciales en œuvre dans la co-élaboration de connaissance scientifique (Baker et al, 2002). Nous nous intéresserons ici de plus prêt à l'analyse conversationnelle comme paradigme d'étude de la co-élaboration de notion scientifique.

Nombre d'étude dans un champ de recherche à lisière de la tradition cognitive piagétienne et celle de la psychologie sociale expérimentale ont mis en évidence les bénéfices cognitifs qui peuvent être retirés des interactions entre pairs (Mugny, 1985, Perret-Clermont & Nicolet, 1988). Les recherches actuelles ont permis de mettre en évidence les types d'interactions permettant un développement cognitif où les cognitions sont vues comme une activité distribuée et une construction conjointe dérivant des activités d'interaction (Trognon, Saint-Dizier-De Almeida & Grossen, 1999).

En ce qui concerne la problématique de l'élaboration des discours scientifiques, Baker et al. (2002) relèvent l'importance de comprendre les caractéristiques des situations qui favorisent la mobilisation et la coélaboration des notions sous-jacentes à la problématique à résoudre chez les apprenants. Selon les auteurs, il faut pour cela se livrer à une analyse fine des processus cognitifs et discursifs comme la négociation du sens, la différenciation conceptuelle, l'étayage langagier et la reformulation, mises en œuvre dans les interactions argumentatives entre les divers acteurs.

Baker et al. partent de l'idée de Golder (1996) au sujet du discours argumentatif qui stipule que «[...] *on ne peut pas argumenter sur n'importe quoi, n'importe comment, avec n'importe qui et dans n'importe quelle situation* ». Les auteurs proposent de caractériser les interactions selon 4 **espaces** distincts :

- *Espace référentiel* : Cette espace consiste en la nature du thème de référence lui-même ainsi que la représentation que le locuteur s'en fait. Certains thèmes se prêtent plus facilement au débat et à l'explication (les questions axiologiques impliquant des avis personnels et pouvant être vu selon plusieurs points de vue) que d'autres (les questions factuelles ne souffrant que d'une seule réponse possible).
- *Espace intersubjectif* : Cet espace représente l'ensemble des décalages aux niveaux des représentations subjectives des apprenants individuels au sein d'un groupe.

- *Espace social* : Cet espace est constitué de la nature des relations interpersonnelles (amicales, conflictuelles etc...) et des contraintes socio-institutionnelles en relation avec les positions sociales des divers acteurs (prof, élève)
- *Espace physique* : Cet espace se constitue des objets et des artéfacts (physiques) directement disponible dans le contexte physique ou les processus de co-élaboration de connaissance prennent place.

Pour Baker et al. (2002), tous ces espaces influencent à leur manière les interactions produites par les apprenants, imposant des contraintes qui dépendent de plusieurs facteurs. Toutes interactions épistémiques, entendons par la « [...] *les interactions communicatives produites dans des situations de résolution coopérante de problèmes et mobilisant des notions sous-jacentes à ces tâches.* » (ibid.), requièrent de prendre en compte des facteurs relevant des différences sur plusieurs niveaux. En premier lieu, il faut prendre en compte les facteurs intrinsèques relevant du domaine de référence. Les différences intersubjectives au niveau des représentations des apprenants impliquent généralement une mise en discussion de points de vue conceptuels divergents qui facilite l'apprentissage (Doise & Mugny, 1981 ; Forman, 1992). Le travail cognitif nécessaire pour se comprendre mutuellement et présenter son point de vue est hautement bénéfique à l'apprentissage chez les sujets (Baker, Hanson, Joiner & Traum, 1999). De plus Baker et al. (2002) soulèvent l'importance des connaissances antérieures pour la bonne marche d'un dispositif d'apprentissage collaboratif. En effet pour espérer une co-élaboration efficiente d'une connaissance, les objets d'apprentissage doivent se situer dans la *zone proximale de développement* (Vygotsky, 1978) des apprenants, donc être « [...] *suffisamment 'proches' des connaissances antérieures des apprenants afin qu'ils puissent en discuter, mais suffisamment 'éloignées' afin qu'il y ait un enjeu d'apprentissage* » (Baker et al., 2002).

3.4.3. Et les gestes dans tout ça ?

Les mots et les gestes sont des éléments cruciaux de la connaissance. Des recherches en anthropologie linguistique ont permis de mettre en évidence des interdépendances entre différentes capacités cognitives, des fonctions déictiques, des gestes et l'orientation spatiale (Haviland, 1993 ; Levinson, 1997 ; Widlok, 1997).

Ici le terme «geste» est utilisé pour parler de n'importe quelle action corporelle distincte qui soit directement impliquée dans le processus de communication (Kendon, 1985). Les gestes sont profondément encrés dans les systèmes de référenciation directionnelle qui sont essentielles pour la compréhension des backgrounds cognitifs dans lesquels les actions prennent leur signification. Selon Levinson (1997), la parole et les gestes ne sont pas de simple aspect du langage mais des aspects d'un système communicatif plus large.

Les approches pragmatiques semblent se mettre d'accord sur le fait que les fonctions déictiques (*deixis*) - comme formalisation grammaticale des actions gestuelles, reliées aux situations et se rapportant à des objets physiques (Matras, 1998) - sont la façon la plus évidente de relier le langage et le contexte (Levinson, 1983). Dans leur fonction première, les fonctions déictiques consistent en des gestes imagés et de pointage référentiel dans l'espace réel. Dans la pratique, nous employons à la fois des indices verbaux (*deixis*, expressions indexicales) et les gestes pour construire notre contribution aux discours. Cependant les possibilités d'expression de la langue parlée et celles des gestes sont différentes. Dans le langage parlé, les divers éléments (typologiques) sont enchaînés dans un ordre *séquentialisé* qui lui-même est structuré par des règles de syntaxe précises. Ces règles imposent des contraintes à la fois sur la forme de ses éléments et sur leur place dans le discours. Ainsi les expressions verbales parlées ne sont qu'indirectement reliées à n'importe quel des aspects de la structure à laquelle elles réfèrent. Par contre beaucoup de gestes ont un caractère topologique de sorte à exprimer des ordres (rapports temporels) d'actions, des rapports spatiaux et des métaphores.

La parole et les gestes sont presque toujours simultanément présent durant les actes communicatifs (McNeill, 1992), particulièrement durant des activités scientifiques (Crowder, 1996, Roth, 1999). Bien que les premières recherches suggéraient que les gestes et la parole étaient des composantes distinctes de la communication (Kendon, 1983), les travaux actuels penchent plutôt pour une approche intégrative de ses 2 aspects comme étant des composants d'un même système (Goodwin, 1996).

Les gestes ont été classifiés en différentes catégories selon leur nature incluant les gestes déictiques (de pointage), iconiques, métaphoriques ou symboliques (Freedman, 1977 ; Kendon, 1985 ; McNeil, 1992). Les gestes déictiques permettent de mettre en évidence un aspect pertinent pour le discours le rendant saillant par rapport aux autres aspects qui passent de ce fait en fond. Les gestes iconiques et les entités auxquelles ils font référence sont caractérisés par des relations de façon à ce que les 2 soient compris selon les mêmes termes topologiques (conceptuels). Par exemple, un apprenant peut décrire la trajectoire d'une planète en le suivant du doigt l'ellipse de façon à mettre en évidence la courbure du tracée. Il existe alors une correspondance directe entre la notion de trajectoire et le geste symbolisant la trajectoire. De la même manière les gestes métaphoriques fournissent une expression visuelle d'une métaphore. Pour finir, les gestes symboliques fonctionnent comme des signes indépendants et prennent sens dans un système partagé de conventions sociales (par exemple lever le pouce vers le haut en guise de signe d'acquiescement).

Les gestes déictiques sont généralement effectués pour rendre saillant un certain objet qui est l'objet de référence dans le discours de l'émetteur. Les gestes iconiques dépeignent plus ou moins d'une manière transparente des objets et des événements (ou certains de leurs aspects) d'une manière qui ne pourraient être exprimée par des mots. Les gestes sont particulièrement efficaces pour rendre compte, dans un espace quadridimensionnel, les actions, formes, espaces, et positions qui sont difficilement descriptibles dans le langage parlé (qui ne sont pas codé dans le langage). ils peuvent aussi être efficaces pour dépeindre des actions, mouvement dévoilé dans l'espace et le temps, d'une manière qui surpasse les limites de la séquentialité de la parole (Haviland, 1993). Pour ainsi dire, le corps demeure un lieu de signification, même à travers des actions assez triviales. Le corps humain permet de mettre en place des ressources interprétatives dont nous avons besoin pour la création et le maintien d'une compréhension mutuelle et partagée durant une situation sociale (Goodwin, 1986).

Les études développementales de la communication ont mis en évidence une évolution dans l'importance et l'articulation des gestes et de la parole et la place

qu'ils prennent dans le discours (Freedman, 1977). Aux alentours des 4 ans, les mouvements représentationnels se produisent avant les réponses verbales. A 10 ans, les gestes s'articulent avec les débuts des réponses verbales. Pour finir à 14 ans et plus, les gestes sont en général subordonnés à la parole. Ils ne précèdent plus la parole et ne se produisent plus de manière systématique durant le processus d'expression. Chez les adultes, les gestes et les unités sémantiques verbales sont coordonnés de manière précise (Kendon, 1983). Les études de synchronisation entre les gestes et les paroles ont démontré qu'il n'y a pratiquement plus aucun retard entre les gestes et la parole (McNeill et Levy, 1982).

Les données portant sur l'évolution des relations entre gestes et la parole se produisant naturellement durant le développement de l'enfant et son apprentissage de la langue maternelles peuvent selon Roth (2000) sans doute être étendues à des situations d'apprentissage d'une nouvelle langue chez l'adulte, ainsi que l'acquisition de formes de discours encore inédites.

Les sciences et le langage scientifique sont généralement réputés pour leur indépendance du contexte. Ainsi, il semble n'y avoir aucune place pour les phénomènes déictiques en sciences. Pourtant, un nombre considérable d'études ethnographiques portant sur les laboratoires scientifiques mettent en évidence la dépendance du discours de laboratoire et du contexte ; En absence de représentation physique (dessins, photographie, graphiques, modèles) auxquels les scientifiques pourraient faire référence, les interactions sont interrompues (Amann & Knorr-Cetina, 1990, Henderson 1991). Les interactions reprennent aussi tôt que les représentations physiques sont à nouveau disponibles et sont associées à un grand nombre de gestes et de pointages. Si aucune représentation ne peut être trouvée ou dessinée sous forme de fac-similé de l'objet de discussion, les scientifiques recourent souvent aux gestes pour se représenter un fac-similé éphémère de la situation de référence, et ce, particulièrement si les collaborateurs se connaissent bien. Ainsi, l'on pourrait émettre l'hypothèse que dans un discours scientifique hautement indexical, nous observons en présence de l'objet de la discussion, un grand nombre de gestes (Suchman et Trigg, 1993).

Nous pouvons dire que le discours scientifique porte à la fois *sur* et s'effectue *par rapport* aux représentations (Roth, 2000), car ces dernières sont en général les sujets de conversation en place. Le discours se porte également sur les représentations car ces dernières servent de background où s'encre le discours et où les gestes deviennent significatifs. La présence des objets de référence (dans le sens de Clark et Brennan, 1991) fournit aux scientifiques des ressources importantes pour les interactions des scientifiques dans le cadre de leur travail en laboratoire. Ochs et al. (1996) ont noté par exemple que les physiciens peuvent arriver à une compréhension et interprétation de leur sujet d'étude, en partie à travers des « réinterprétation » sensori-moteurs et symboliques des événements. En outre, le fait de pouvoir utiliser les gestes comme médium d'expression fournit des ressources pour des processus « *thinking-through* » collaboratifs.

Les recherches récentes en sciences de l'éducation portant sur les discours et les cognitions suggèrent que les gestes sont un phénomène commun pouvant jouer un rôle de médium expressif (Crowder, 1996 ; Crowder et Newman, 1993, Roth, 1999). Chez Crowder, les gestes sont décrits comme jouant un rôle auxiliaire dans le développement des discours. Lorsque les gestes sont employés dans des discours scientifiques, ils sont particulièrement synchrones avec la parole et fournissent ainsi des informations redondantes. Les gestes employés dans la construction d'explications à la volée précèdent fréquemment les contenus verbaux qui leur sont reliés et font office de stratégie de médiation aux imperfections de ces derniers. Roth (2000) soulève l'idée que les gestes sont profondément intégrés aux processus cognitifs et jouent un rôle important dans la genèse de discours scientifiques chez les jeunes étudiants. En outre selon l'auteur, les gestes peuvent servir à identifier les idées des apprenants avant même que ces derniers soient en mesure de les exprimer selon une modalité verbale (Cassel et al. 1999 ; Goldin-Meadow et al., 1992). Comme nous l'avons soulevé plus haut, cette idée peut aussi facilement être étendue à un public adulte néophyte ne disposant pas d'un vocabulaire suffisamment fourni pour l'acquisition d'un concept scientifique.

Roth a conduit durant une décennie des recherches portant sur l'émergence du discours scientifique chez des enfants allant de 4 ans jusqu'aux étudiants

universitaires en utilisant des enregistrements vidéos d'interactions entre des apprenants en petit groupe ou des classes entières. Il arrive aux trois conclusions suivantes :

1. En premier lieu, les interactions dans un cadre de laboratoire sont fortement elliptiques et indexicales et sont très différentes du langage écrit.
2. Deuxièmement, ces interactions sont largement accompagnées et ainsi rendues compréhensibles par un large répertoire de gestes qui pointent vers, ou relèvent une relation iconique à des représentations et des phénomènes en place.
3. le discours scientifique évolue parfois lentement et parfois rapidement d'une forme de bégayement confus vers un langage scientifique approprié.

L'idée de base de Roth (2000) est que les gestes jouent un grand rôle dans l'appropriation du langage scientifique.

Hanks (1992) propose l'idée de terrain indexical (*indexical ground*) en faisant une distinction entre la figure de référence et le champ dans lequel cette dernière s'inscrit. Les références déictiques en général et plus particulièrement les gestes déictiques permettent d'organiser le champ des interactions en un *foreground* pertinent et un *background* plus diffus qui n'est représenté ni dans la gestuelle et ni dans le discours. L'aspect unique, individualisé, défini et singulier d'une référenciation déictique est particulièrement pertinent pour mettre en évidence l'objet de référence par rapport à un fond caractérisé par une diffusion et une variabilité plus marquée.

Les gestes peuvent être perçus comme des clés de coordination (Clark et Brennan, 1991) permettant à l'émetteur de signaler à l'interlocuteur qu'il a bien compris l'assertion. Selon Clark et Brennan, nous communiquons car nous sommes intérieurement poussé à faire des choses ensembles dans un contexte social donné. Pour cela, nous mettons en place des stratégies de coordination comme la

communication langagière et la communication à travers les gestes. Les gestes sont donc des outils puissants pour la coordination et le grounding.

3.5. Intégration des perspectives individuelles et des perspectives de groupe

Comme nous l'avons déjà souligné, la particularité de notre recherche est qu'elle s'encre dans 2 champs théoriques distincts ; à savoir une perspective de psychologie cognitive à travers les modèles mentaux d'acquisition de connaissance et une perspective de l'apprentissage collaboratif médiatisé par l'ordinateur (CSCL). A l'instar de Stahl (2002), nous pensons qu'une théorie de la construction collaborative (ou co-élaboration) de connaissance doit tenir compte de l'importance conjuguée des dynamiques de groupe et l'importance des caractéristiques cognitives individuelles des membres qui composent le groupe.

Lors d'une interaction entre 2 personnes, chaque mot d'un discours peut être de manière simplifiée être attribué à un orateur seul. Cependant la signification de ce mot est définie par sa position dans le contexte physique, temporel, social, et conceptuel du discours. Ainsi chaque mot produit trouve sa signification chez les orateurs et les auditeurs à travers ses rapports aux autres mots (et cela que ça soit ceux produits par l'orateur lui même ou ceux produits par d'autres individus).

Ainsi si nous prenons l'exemple concret d'une phrase produite par 2 des sujets de notre expérience disant « ça, ça coule en-dessous », nous remarquerons que sorti de son contexte, cette phrase n'offre que peu de signification *per se*. Mais en analysant cette phrase dans son contexte réel de formulation, à savoir un étudiant faisant référence à une plaque tectonique qui subducte sous une autre, nous pouvons aisément en déduire que l'étudiant, bien que ne disposant pas encore d'un vocabulaire adapté pour exprimer correctement son idée, est tout de même à même d'avoir saisi le concept de subduction. « ça coule en-dessous » tient ici lieu d'une déclaration elliptique qui prend un grand sens pour les collaborateurs disposant d'un background discursif, référentiel et langagier et commun suffisant. L'étudiant auteur de cette phrase se base donc sur sa connaissance préalable (artéfact linguistique déjà acquis) du concept « couler » pour exprimer en ses propres mots un concept

fraîchement observé qu'est celui de la subduction. L'on peut aussi supposer qu'il fait une inférence au sujet des connaissances préalables de son interlocuteur, en supposant que ce dernier dispose déjà le concept de « couler », pour verbaliser et exprimer sa compréhension du phénomène observé. Il tente ainsi de situer le débat dans la zone proximale de développement de son interlocuteur de façon à s'assurer une bonne compréhension partagée de la situation (Roschelle & Teasley, 1995). Ainsi le verbe « couler » sert de métaphore aux apprenants et médiatise la construction d'une connaissance et leur permet de formuler une théorie, partager leur compréhension de la situation et résoudre un défi proposé par l'expérience.

Dans la phrase que nous avons pris comme exemple, le premier mot « ça » peut être considéré ici comme une déclaration indexicale. Il s'agit donc d'une formulation déictique verbale. Si l'on considère le contexte discursif précis, le sujet a accompagné cette dernière d'un geste de pointage (geste déictique) sur écran de la plaque qui « subductait ». Ainsi l'auteur synchronise une formulation déictique verbale d'un geste déictique de manière à mettre en évidence de manière économique l'objet auquel il fait référence. Une analyse précise du système de communication générale (gestuel et verbal) nous permet de mettre en évidence la manière métaphorique dont l'apprenant opérationnalise l'idée qu'il veut faire passer. Ainsi à la conception pré-acquise (le verbe « couler ») s'ajoute la référenciation à un objet visuel directement perceptible dans l'environnement (la représentation graphique de la plaque subduquée) qui permettra aux apprenants de construire par la suite un objet de connaissance nouveau s'ajoutant à leur patrimoine de connaissance commune du concept de subduction. En d'autres mots l'émetteur (auteur de la phrase) utilise un artéfact cognitif et verbal déjà présent dans son champ de connaissance préalable (le verbe couler), y ajoute un référence déictique à un artéfact physique de son environnement direct (l'objet graphique représentant la plaque de subduction) pour formuler une explication rudimentaire qui servira de base pour la création d'un artéfact cognitif à venir (le concept de subduction) qui au final sera internalisé par les apprenants.

Cet exemple résume bien l'entrelacement des perspectives individuelles et la dynamique de groupe qui sont en œuvre de manière générale dans une tentative de co-construction de connaissance médiatisé par l'ordinateur, chez 2 apprenants. Elle

nous permet aussi de mettre en évidence la manière dont nous pouvons analyser un tel processus d'apprentissage : l'analyse d'interaction permet de voir de plus près et évaluer les activités de constructions de connaissance en situation sociale. Elle permet de mettre en évidence certains aspects des processus cognitifs individuels en œuvre dans de telles activités, et la manière dont ces dernières s'entremêlent aux processus de groupe, le tout médiatisé par des artefacts physiques qui servent de supports directs. Ainsi les outils modernes comme les enregistrements audio et vidéo peuvent servir d'artefacts pertinent dans l'étude et l'analyse des processus de co-élaboration de notion scientifique chez les étudiants, tel que nous l'avons entrepris dans la présente étude. Ces outils peuvent entre autre nous permettre d'analyser à posteriori les dynamiques d'interaction verbale et gestuelle qui sont d'une grande importance dans le cadre de l'apprentissage collaboratif médiatisé par l'ordinateur (Stahl, 2002).

4. QUESTION DE RECHERCHE

Notre recherche a pour objectif de mettre en évidence l'influence, de la **continuité du flux** (dans une présentation animée du contenu versus une présentation en images statiques), de la **permanence des états antérieurs** (présence ou absence d'aide-mémoire sous forme de snapshots pertinents), Ainsi que de la collaboration sur l'apprentissage de contenus scientifiques présentés sous forme multimédia (commentaire oral, animations, images).

Une attention particulière sera portée à l'apprentissage en mode collaboratif pour mettre en évidence l'influence de la richesse des interactions (communications verbales et gestuelles) sur la construction d'une connaissance théorique à deux. Pour ce faire, nous nous efforcerons d'intégrer au mieux les perspectives théoriques découlant de 2 champs de recherche distinctes ; à savoir les modèles mentaux découlant d'un champ de recherche en psychologie cognitive, et le champ de recherche en matière d'apprentissage collaboratif médiatisé par l'ordinateur (CSCL).

De manière générale, nous postulons qu'une animation facilite la compréhension du fonctionnement d'un système dynamique, car elle permet de visualiser les transitions

entre étapes et ce, tant en mode d'apprentissage solo que duo. Or, ces transitions entre étapes peuvent parfois être difficiles à se représenter. Dans le cas des 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 a donc été porté au choix des matériaux expérimentaux pour que l'aspect dynamique soit une caractéristique importante.

D'autre part, dans une animation, l'utilisateur n'a plus de référent, puisqu'une étape du fonctionnement (*frame*) supplante la précédente et ainsi de suite. L'aspect fugace des animations pourrait ainsi porter préjudice aux apprenants dans leur tentative d'élaboration d'un modèle mentale dynamique. Une situation de présentation animée sans un support historique permanent ne permettrait pas à l'apprenant de comparer les étapes entre elles ; Ce qui semble être une stratégie utile, si ce n'est nécessaire, à la construction d'un modèle mental (Mayer, 2001 ; Narayanan & Hegarty, 1998) et, *a fortiori*, à la compréhension d'un système causal.

De plus dans un mode d'apprentissage collaboratif, le caractère fugace de l'animation ne permettraient pas aux apprenant de se servir efficacement du support visuel que ce dernier offre, comme un support efficient dans leur tentative de construction d'une représentation et compréhension partagée du contenu. De plus, la présence conjuguée d'une surcharge due à l'animation et celle due à la gestion de l'interaction pourrait être particulièrement néfaste aux apprenants travaillant en collaboration.

La surcharge cognitive constituerait donc une explication des mauvaises performances des utilisateurs des conditions « animation » vs. « graphiques statiques », mais elle n'a toutefois jamais été réellement mise en évidence. Une mesure de la charge cognitive perçue par le participant pendant son apprentissage pourrait nous aider à définir son influence exacte. Nous pensons que la supplantation des images (*frames*) antérieures par les images subséquentes dans les animations

joue un rôle très important dans le traitement cognitif de l'information, en sollicitant 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 lors 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 (Mayer, 2001).

Dans le cadre de l'apprentissage collaboratif, la présence d'une information permanente permettrait d'offrir une base visuelle de référence stable dans le temps et l'espace. Cette dernière pourrait ainsi servir de système de référence de manière efficiente aux collaborateurs pour les aider dans leur interaction en vue de construire de manière collaborative, une connaissance commune et partagée. En effet l'on peut partir de l'idée qu'un espace commun riche en éléments (artéfacts) peut servir de support pour désambiguïser les interactions lors des interactions.

Pour répondre à ces questions, nous avons mis sur pied un dispositif permettant de conserver les états antérieurs d'une animation. Le système fonctionne un peu comme si plusieurs arrêts sur image étaient faits durant le déroulement d'un film et restaient présents dans un coin de l'écran pendant toute la durée du film. La possibilité de garder affichées à l'écran les images reflétant les grandes étapes du modèle conceptuel - autrement dit **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 des éléments d'informations.

Pour ce qui est de l'apprentissage en mode collaboratif, nous stipulant qu'offrir un environnement visuel riche en artéfacts cognitifs pouvant servir de support à l'interaction améliorerait quantitativement et qualitativement cette dernière entre les pairs, et par extension permettrait un meilleur apprentissage. En effet plus

l'environnement est riche en éléments visuels pouvant servir d'objet de référence direct lors des interactions, plus ces derniers seraient riches et évolués (en terme de production verbales et gestuelles), facilitant ainsi la construction collaborative de connaissance chez les pairs.

4.1. Hypothèses théoriques

4.1.1. Animation

Une présentation animée contient plus d'informations qu'une présentation statique. Nous postulons donc que les participants en condition dynamique obtiendront de meilleurs résultats que les participants en condition statique, autant en inférence qu'en rétention.

En contre partie, l'aspect fugace des animations, ainsi que la surcharge cognitive qu'elles impliquent pourraient porter préjudice à l'apprentissage, par rapport à un mode de présentation composée d'image statique (impliquant moins de charge) ; et ce d'autant plus en mode collaboratif ou à cette surcharge s'ajoute celle due à la gestion de l'interaction. De plus dans ce cas de figure, la richesse informationnelle des animations pourrait induire une certaine passivité chez les pairs, due à une illusion d'avoir compris (Lowe, 1999, 2004). Cette passivité pourrait ainsi diminuer et appauvrir les échanges et les interactions constructives, qui à leur tour pourraient porter préjudice à la construction d'une connaissance collaborative aboutie.

4.1.2. Permanence

La permanence des états antérieurs déleste la charge mnésique de l'utilisateur. La présence de permanence améliore donc les résultats de rétention et d'inférence par rapport à une absence de permanence.

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

En condition collaborative, la présence de supports visuels stables (tel qu'offert par la condition avec permanence) dans le temps et l'espace offrirait de meilleurs

possibilités de grounding, et améliorerait de ce fait la construction commune de connaissance.

De même, la charge cognitive étant plus grande lors d'une interaction avec un partenaire, l'effet de la permanence sera plus important en condition duo qu'en condition solo. On s'attend donc à d'excellents résultats en présentation dynamique+duo+permanence.

4.1.3. Comparaison solo-duo

Travailler en collaboration sur un matériel donné permet aux deux partenaires de construire leur représentation de façon plus poussée à travers des dynamiques d'interaction, de négociation, d'argumentation et des tentatives de désambiguïser la situation qui sont particulièrement bénéfiques à l'apprentissage (Dillenbourg, 1999). Nous pouvons ainsi s'attendre à de meilleures performances d'apprentissage chez les participants en condition duo qu'en condition solo à la fois dans les conditions statiques que dynamique.

Pour ce qui est du mode collaboratif+animation, comme le souligne Schnotz, Böckheler, & Grzondziel (1999), il se pourrait que la surcharge due à la gestion des interactions en mode collaboratif s'additionne à celle due à l'animation pour porter préjudice à l'apprentissage. Une hypothèse alternative serait donc de s'attendre à des résultats plus faibles en condition animée pour les sujets en duo par rapport à ceux en solo.

Dans ce cas de figure, nous postulons que l'apport de la permanence comme moyen de diminuer la charge cognitive devrait encore plus bénéficier aux paires. Nous nous attendons donc à un meilleur apprentissage dans la modalité collaboration+animation+permanence des états antérieurs. En effet nous pensons que la permanence visuelle de l'information pertinente est susceptible d'induire des interactions (sous forme de communication indexicale iconique et gestuelle) quantitativement et qualitativement supérieures portant bénéfice à l'apprentissage collaboratif.

4.1.4. Diverses hypothèses exploratoires

Outre les hypothèses fortes formulées ci-dessus, nous nous permettons de faire quelques inférences sur des corrélations diverses portant sur les mesures interactionnelles effectués en mode « duo ». Sur la base des théories en place dans le domaine du CSCL, la qualité et quantité d'interactions (tant entre les sujets qu'entre ces derniers et leur environnement direct) médiatisent fortement l'apprentissage collaboratif. Ainsi nous pouvons nous attendre que des paires qui font montre d'une grande richesse interactionnelle et utilisent leur environnement de manière pertinente (notamment par des références déictiques riches à des artefacts pertinents) auront de meilleurs résultats aux tests d'apprentissage que les sujets faisant preuve d'une richesse moindre.

4.2. Hypothèses opérationnelles

4.2.1. Mode « d'apprentissage individuel » (solo)

Statique –versus– dynamique :

- L'effet positif de l'animation est valable autant pour la création du modèle mental que pour la rétention d'éléments. Les scores d'inférence ainsi que les scores de rétention seront plus élevés en condition dynamique qu'en condition statique.

Permanence –versus – non-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, même si la rétention devrait être aussi influencée.

Interaction entre la variable « type de présentation » et « permanence » :

- L'influence de la permanence sera d'autant plus grande si les participants sont en condition de présentation dynamique. Nous nous attendons donc à des scores plus élevés (rétention et inférence) dans la condition dynamique+permanence et des scores très faibles dans la condition statique+non-permanence

4.2.2. Mode « d'apprentissage par paire » (duo)

Statique –versus– dynamique :

- A l'instar de la condition solo, nous pouvons dans un premier temps nous attendre à un effet positif de l'animation sur l'apprentissage en mode collaboratif. Les scores d'inférence ainsi que les scores de rétention seront plus élevés en condition dynamique qu'en condition statique.
- Mais si nous suivons l'hypothèse de Schnotz, Böckheler & Grondziel (1999), qui stipule une accumulation des surcharges cognitives due à la collaboration et celle due à l'animation, nous pouvons émettre une hypothèse alternative qu'en condition dynamique, les sujets duo devraient avoir des performances moins bonne que ceux de la condition statique et ce tant dans les scores d'inférence que les scores de rétention.

Permanence –versus – non-permanence :

- Compte tenu du fait que la modalité « permanence » est plus riche en artéfact visuels permettant d'améliorer le grounding, la référenciation et les interactions, les participants du mode duo avec permanence auront de meilleurs résultats aux tests que les participants en condition sans permanence. Nous pensons que cet effet touche particulièrement les scores d'inférence mais devrait aussi dans une moindre mesure toucher les scores de rétention.

Interaction entre la variable « animation » et « permanence » :

- A l'instar du mode solo, l'influence de la permanence sera d'autant plus grande si les participants sont en condition de présentation dynamique. Nous nous attendons donc à des scores plus élevés (rétention et inférence) dans la condition dynamique+permanence et des scores très faibles dans la condition statique+non-permanence.
- Si l'on tient compte de l'hypothèse de Schnotz, Böckheler & Grondziel (1999) et dans la mesure où la permanence diminue la charge cognitive, nous pouvons alternativement nous attendre un effet fort de la permanence en condition dynamique chez les participants en mode duo.

Diverses hypothèses exploratoires :

Partant de la supposition que plus les paires interagissent entre elles et avec leur environnement (ordinateur, table etc.), plus leur niveau de grounding (Clark et Brennan, 1991) est important et meilleur en sera leur compréhension commune de la tâche et du contenu, nous émettons les hypothèses opérationnelles exploratoires suivantes :

- nous nous attendons à une corrélation positive et significative entre le nombre total de mots produits par les paires et leurs performances aux tests d'inférence et de rétention.
- nous prévoyons une corrélation positive et significative entre le nombre total de gestes produits par les paires et leur performance aux tests d'**inférence** et de **rétention**.
- Partant de la supposition que la présence d'objets de référence facilite le grounding référentiel et la production de *deixis* (plus particulièrement les gestes déictiques), et compte tenu du caractère fugace des animations, nous émettons l'hypothèse que les apprenants devraient faire plus de gestes déictiques de pointage sur écran (P) en condition **statique**.

- De la même manière, du fait de la présence d'objets (artéfacts) visuels résumant les étapes antérieures pouvant servir de base au grounding, nous stipulons que les sujets devraient faire significativement plus de gestes déictiques dans les conditions **avec permanence** (versus sans permanence).
- Etant donné que la condition animée est une condition pauvre en objets de référence prégnants et stables dans le temps, nous faisons l'hypothèse que les apprenants vont combler le manque de possibilité de faire des gestes déictiques par une recrudescence de production de gestes métaphoriques (M). De ce fait, nous nous attendons à plus de gestes métaphoriques (M) dans la condition **dynamique**.
- Pour les mêmes raisons que ci-dessus, nous émettons l'hypothèse que les apprenants vont faire plus de gestes métaphoriques (M) dans les conditions sans permanence que dans les conditions avec permanence.
- partons de l'idée générale que plus une idée est exprimée de manière redondante (geste et parole par exemple), plus elle a de chance d'être comprise, et nous pourrions ainsi nous attendre à une corrélation positive entre le nombre de geste symbolisant une trajectoire sur écran (T) et les performances des sujets aux tests d'inférence et de rétention. Cet effet devrait être d'autant plus important dans les conditions à fort coefficient de référenciation (statique et avec permanence).

5. MÉTHODE

5.1. 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 4 réponses justes aux deux prétests (pour un score maximum de 10). Avec une médiane de 1 réponse juste seulement et un maximum à 6. Une analyse de variance montre que le niveau au prétest n'était pas différent entre les groupes expérimentaux.

5.2. Matériel

5.2.1 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. Ou, pour la condition statique, 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 étaient accompagnés d'un commentaire audio de la même durée, synchronisé à la présentation pour que les éléments cités apparaissent au bon 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). 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

animations mettant en scène des changements différents. Des translations sont plus courantes dans le premier matériel alors que le second met en scène des transformations. Les contenus restent toujours intrinsèquement dynamiques.

5.2.2. Matériel « astro »

Le premier matériel expliquait le phénomène du transit de vénus. La série d'animations a été développée à l'aide du langage de modélisation 3D pour le web VRML (Virtual Reality Modelling Language). Les images de la présentation statiques, les images ont été tiré 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 regroupé en annexe XXX. Ce matériel est essentiellement constitué d'éléments se déplaçant dans le temps. C'est la position et le déplacement relatif d'un ensemble de corps qui constitue le modèle mental à intégrer.

5.2.3. Matériel « géo »

Le matériel géologique quant à lui expliquait le 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 également 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 regroupé en annexe XXX. Ce matériel est essentiellement composé d'éléments se déformant dans le temps. 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.

5.2.4. Matériel de saisi et traitement des données dans la condition duo.

En ce qui concerne les données en rapport aux analyses des interactions et des gestes dans la condition duo, elles étaient recueilli à l'aide de caméra vidéo et

stocker sous forme de séquence par paire et par type d'animation au format .AVI. Les interactions et les gestes ont été codés et retranscrits à l'aide d'un logiciel d'annotation vidéo (Transana).

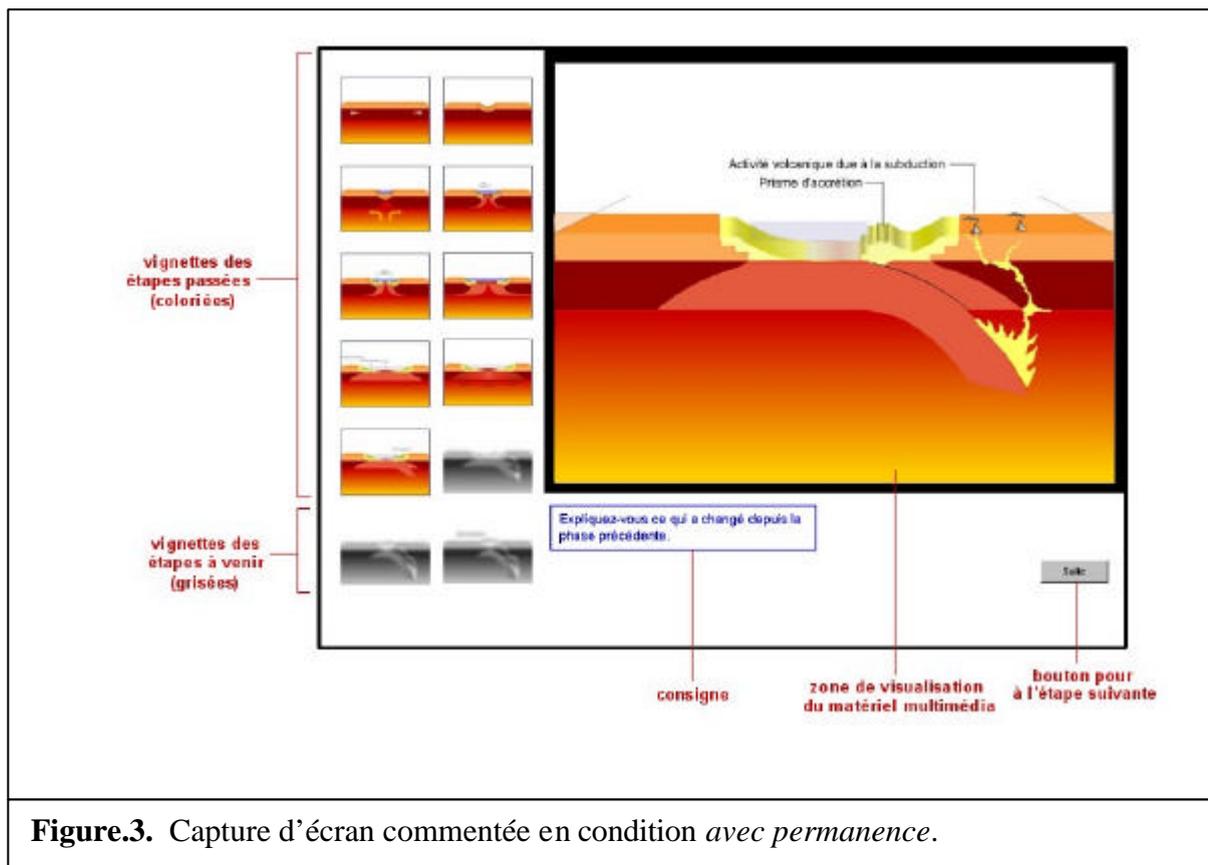
5.2.5. Dispositif expérimental

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, 4 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 et 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).

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 « pondreuse 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.

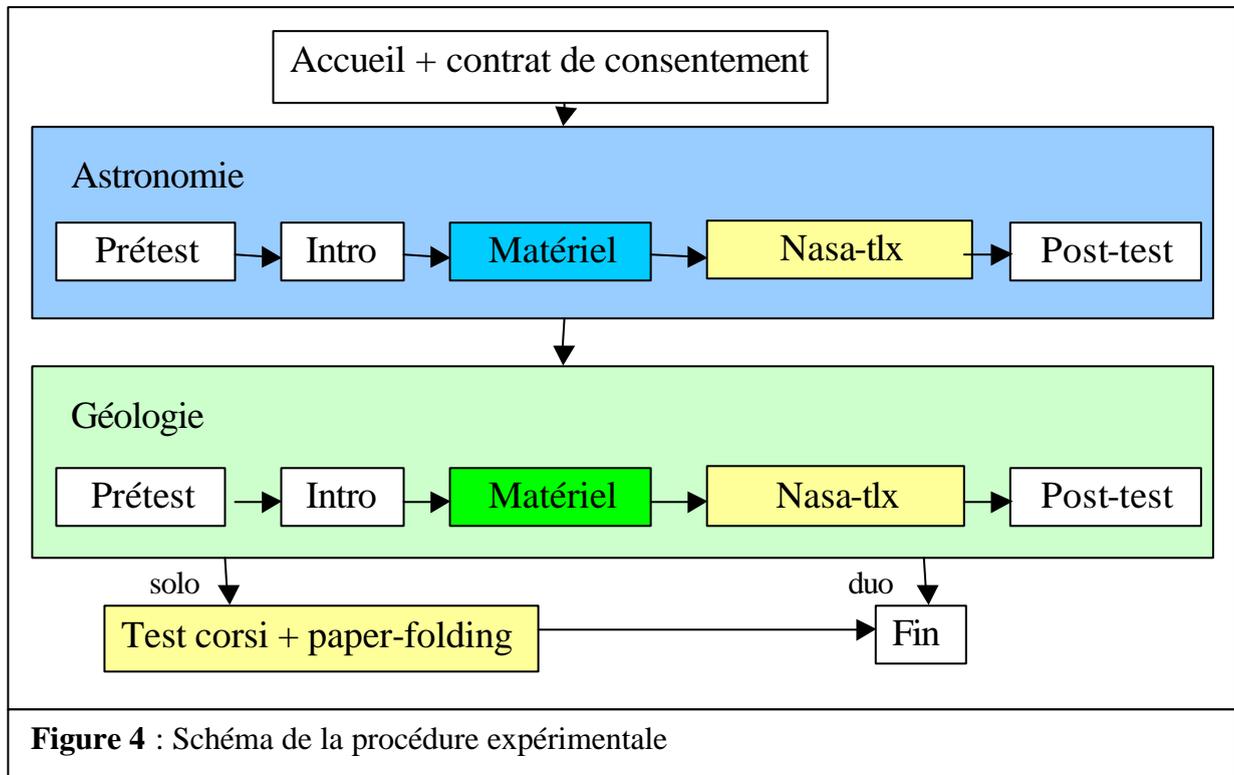


En condition sans permanence, les vignettes étaient absentes. Les images des étapes précédentes n'étaient simplement pas accessibles.

5.3. 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 XX et duo en annexe XX). Un expérimentateur restait dans la salle tout au long de la passation en cas de problème ou de question.



5.3.1. 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 et 3 autres étaient inédites. Comme il n'était pas attendu d'expertise de la part des participants, ils étaient toujours libres de répondre « je ne sais pas ».

5.3.2. Introductions

Comme les participants sont novices, les introductions sont 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.

En condition Duo, après la première introduction, les participants devaient situer, sur une échelle continue, le niveau de connaissance de leur partenaire.

5.3.3. 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 intéressant pas, un éventuel effet nous permet toujours de séparer les observations. Les matériels sont décrits plus en détail plus haut.

5.3.4. Les questionnaires de charge cognitive (Nasa-tlx)

5 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 cosmonautes. 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 XX 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 5 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'a rien à voir avec une réelle activité physique, nous avons voulu éviter de la confusion et des données inutiles en retirant cette question. Ensuite, la version originale contient une comparaison par paires de toutes les

échelles, ce qui nous fait vingt-quatre comparaisons avec les quatre 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.

5.3.5. 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 XXX).

5.3.6. 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 présente des séries de séquences spatiales d'une complexité croissante. Le score est le nombre d'éléments maximal qu'un participant parvient à retenir sans erreur. Le paper folding (Ekstorm et al., 1976) est composé de deux séries de 10 items présentant le pliage d'une feuille de papier et an perforation. La tâche du participant est alors de déplier mentalement le papier et d'indiquer la position des trous parmi cinq possibilités.

5.4. Plan expérimental

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

5.4.1. Variables indépendantes

1. Mode de présentation

- **Statique** : pour chaque partie du matériel, les participants voyaient une image.
- **Dynamique** : l'image était remplacée par une animation.

2. Mode d'apprentissage

- **Solo** : les participants étaient seuls pour suivre le matériel.
- **Duo** : les matériels étaient suivis par paires, les questionnaires étaient remplis seuls.

3. Permanence de l'information

- **Avec** : des vignettes apparaissaient après chaque partie, elles donnaient accès à une image-clé de la partie en question.
- **Sans** : les vignettes et les images clés n'étaient pas disponibles.

20 participants sont répartis dans chacune des 8 conditions expérimentales, les participants en condition «Duo » sont regroupés en paires mais sont évalués individuellement.

	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)

5.4.2. 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 5 échelles de charge cognitive perçue (tirées du Nasa-tlx)
- Temps (sec) et nombre d'utilisation des vignettes en condition de permanence
- Temps de réflexion entre les présentations (sec)
- Score au paper-folding test (***solo uniquement***)
- Score d'empan au test de Corsi (***solo uniquement***)
- Nombre de mots prononcés par les sujets durant les phases d'interaction (***duo uniquement***)
- nombre de gestes effectués durant les phases d'interaction (***duo uniquement***) ; 4 type : (gestes de pointage déictiques sur écran (P); gestes représentant une trajectoire sur écran (T) ; gestes métaphorique hors écran (M) ; gestes phatiques (C).

6. RESULTATS :

Nous développerons dans un premier temps les résultats principaux, à savoir ceux reliés aux 2 variables dépendantes «principales » : le test de rétention et le test d'inférence. Nous analyserons ces premiers à travers les influences qu'ont exercé les 3 variables principales, « type de contenu » (statique/dynamique), « permanence des étapes antérieures »(perm/non-perm) et mode d'apprentissage (solo/duo).

Dans un 2^{ème} temps, nous nous focaliserons plus amplement sur les résultats obtenus dans le mode d'apprentissage « duo » que nous développerons à la lumière de l'influence exercée par les 2 variables indépendante « type de contenu » et « permanence des étapes antérieures » sur les 2 variables dépendantes « test de rétention » et « test d'inférence »

pour finir nous tenterons d'explorer les variables dépendantes «secondaires », à savoir le nombre de mots et de différents types de gestes produits durant les phases d'interactions par les paires dans le mode d'apprentissage « duo ».

6.1. Les effets simples des variables principales des 2 modes

Nous pouvons en premier lieu constater un effet positif simple de l'animation sur les 2 variables dépendantes « rétention » et « inférence ». Les participants des conditions « dynamique » ont des résultats significativement supérieurs à ceux des conditions « statique » dans les 2 scores ($F(1;159)=9.178$; $p<0.01$) pour la rétention et $F(1;159)=6.246$; $p=.014$ pour inférence). cf. figure 5.

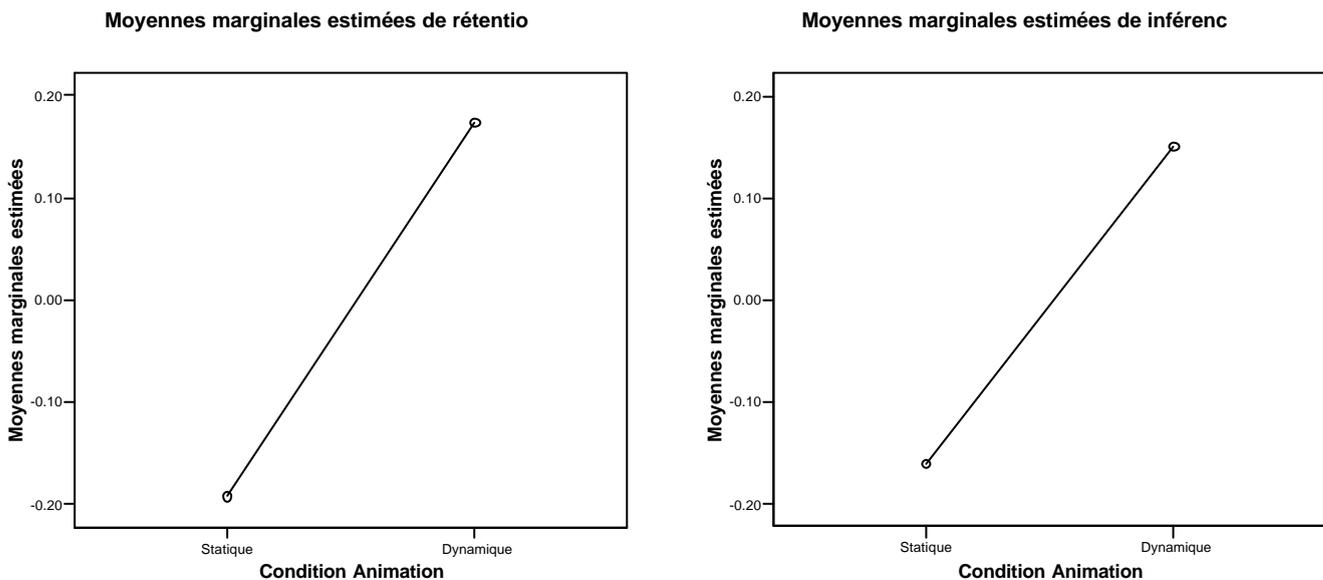


Figure 5 : Les moyennes marginales estimées des scores de rétention et inférence dans la condition animation

Nous n'avons par contre observé aucun effet simple significatif des variables « permanence » et « collaboration » sur les scores d'inférence et de rétention.

6.1.1. Les interactions entre les variables

Nous avons observé une interaction entre la variable « animation » et la variable « collaboration » sur le score aux questions d'inférence. L'on n'observe pas de différence significative au niveau des performances des solos aux 2 scores en condition statique ou dynamique. Par contre les participants du mode « duo » ont des performances nettement plus grandes en « dynamique » qu'en condition statique ($F(1;159)=7.644 ; p<.01$). Nous pouvons même remarquer sur la fig. XX que les apprenants de la condition duo et statique ont une moyenne de score d'inférence plus faible que ceux de la condition solo et statique.

Des ANOVA's séparés entre les modes « solo » et « duo » montre que les apprenants de la condition solo semblent être les seuls à bénéficier de l'effet de l'animation. En effet, seuls les résultats des participants du mode « duo » pour lesquels on observe une différence entre « statique » et « dynamique », sont significatifs ($F(1;79)=15.1 ; p>.01$) alors que ceux du mode « solo » ne le sont pas ($F(1;79)=3.4 ; p>.05$). Ces résultats ne concernent que les scores d'*inférences*. Les résultats des différences sur le score de *réention* ne sont quand à eux pas significatifs ($F(1 ; 159)=.034 ; p>.05$). Pris indépendamment, les différences sont significatives sur la variable animation, autant pour les solos ($F(1;79)=3.96 ; p=.05$) que pour les duos ($F(1;79)=5.28 ; p=.024$). cf. figure 6.

Moyennes marginales estimées de inférenc

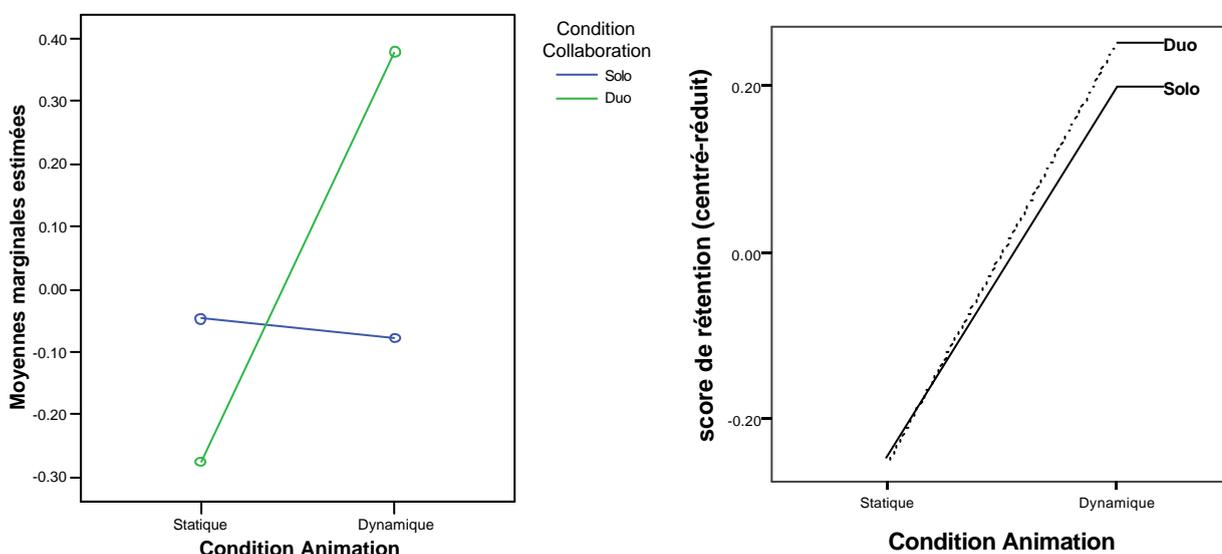


figure 6. moyennes marginales estimées des score d'inférence

L'effet conjoint des variables de **permanence** et de **collaboration** ont également un effet significatif sur le score d'inférence ($F(1 ; 159) = 6.630 ; p = .011$). 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 7).

Moyennes marginales estimées de inférenc

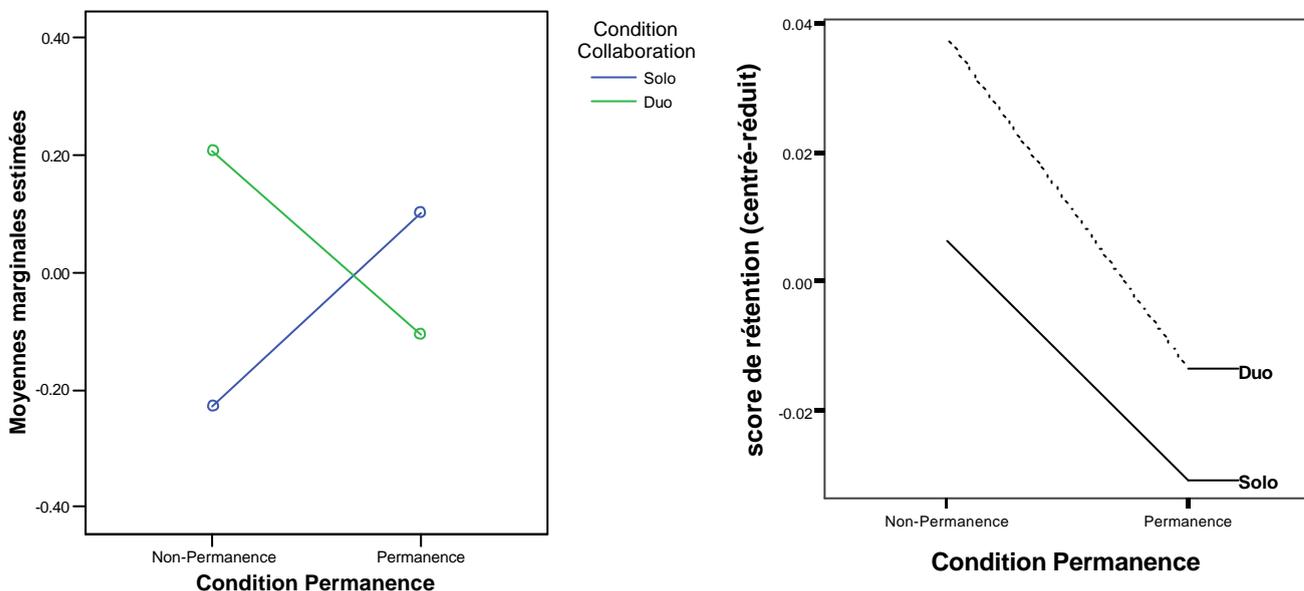


Figure 7 : graphe des effets croisés des variables permanence et collaboration.

6.2. Les divers résultats en condition « collaboration » :

Nous allons nous intéresser ici de plus près aux résultats obtenus par les participants en mode d'apprentissage « DUO » aux 2 scores d'**inférence** et de **rétention**. Nous nous focaliserons plus précisément sur l'influence des 2 variables principales, « continuité du flux » et « la permanence des états antérieurs » sur les scores de **rétention** et d'**inférence**.

6.2.1. Les effets simples des variables principales

Dans le cadre des résultats en mode « duo », le premier effet constaté est un effet simple de la variable **animation** sur le score de **réten**tion. Les participants des conditions « dynamique » ont des résultats significativement supérieurs à ceux des conditions « statique » sur le score de réten

tion ($F(1 ;74)=4.209 ; p=.04$). De plus en ce qui concerne le score d'**inférence**, les participants de condition **dynamique** ont aussi des scores significativement supérieurs à ceux de la condition **statique** ($F(1 ;76)=13.266 ; p<.01$). L'animation améliore ainsi de façon significative les performances des participants aux tests de **réten**tion et d'**inférence** et nous pouvons admettre que la condition « dynamique » améliore les performances d'apprentissage des paires de participants du mode « duo ».cf. figure 8.

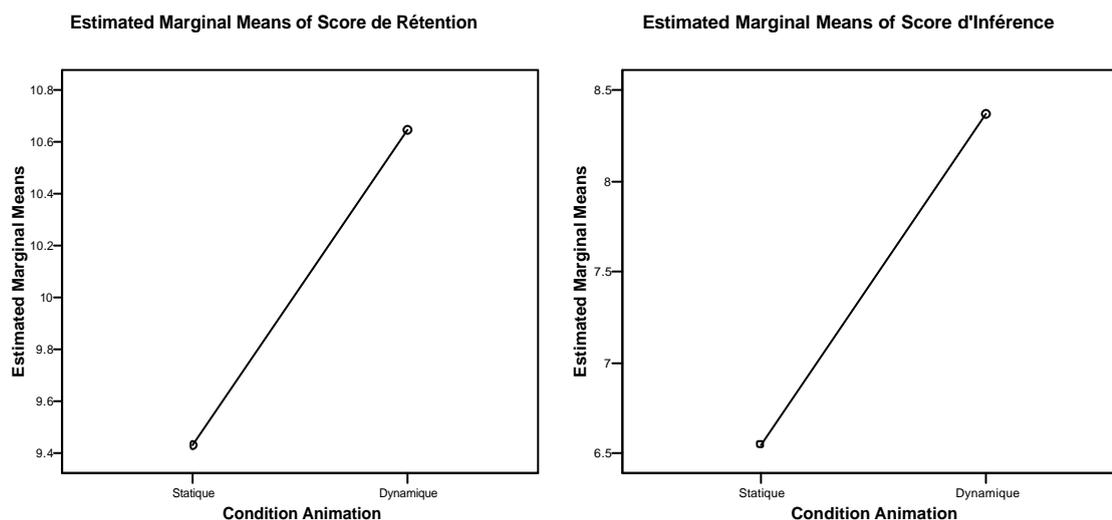


Figure 8. Moyennes marginales estimées des scores de réten

tion et d'inférence en condition animation et en mode « duo ».

Pour ce qui est de l'influence de la variable **permanence** sur les 2 score de réten

tion et d'inférence voici ce que nous obtenons : les ANOVA's univariées nous indiquent un effet simple de la variable **permanence des états antérieurs** sur le score d'**inférence** ($F(1,76)=3.954 ; p=.05$). Les étudiants de la condition **permanence** ont donc des scores d'inférence significativement inférieurs à ceux de la condition « non-permanence ». Pour ce qui est du score de **réten**tion, les participants de la condition **permanence** semblent avoir des scores inférieurs à ceux de la condition **non-**

permanence. Toute fois ce résultat **n'est pas significatif** ($F(1 ;76)=0.265$; $p>0.05$).
cf. figure 9.

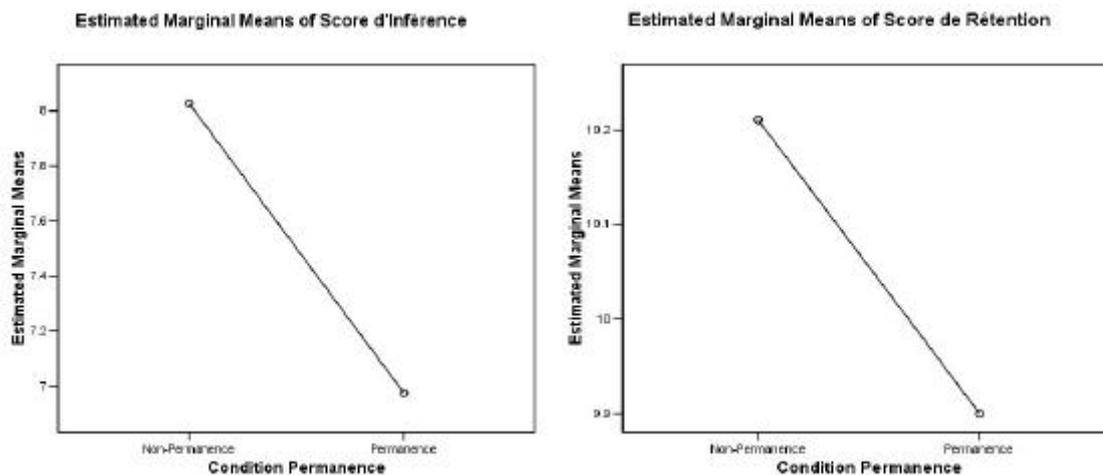


Figure 9. Moyennes marginales estimées des scores d'inférence et de rétention en condition permanence et en mode « duo ».

6.2.2. Les interactions entre les variables principales

Les résultats ne dénotent aucune interaction entre les variables **animation** et **inférence** que ça soit sur le score de **rétention** ($F(1,74)=0.018$; $p=.893$) ou le score d'**inférence** ($F(1,74)=0.092$; $p=.762$).

6.3. Les variables secondaires pour la condition collaboration

Pour explorer de plus près l'importance des interactions dans le processus d'apprentissage en mode « duo » à partir de contenu multimédias statiques ou animés, nous avons effectué un certain nombre de mesures secondaires de la quantité d'interactions produites par les paires durant l'expérience. Nous résumons ici les diverses mesures qui nous ont servies de variables dépendantes secondaires et la manière dont elles ont été récoltées :

- **total mots** : il s'agit ici du nombre totale de mots produits par les participants durant leur interaction avec leur pair, durant l'activité d'apprentissage en mode « duo ». Pour récolter ces données nous avons retranscrits les interactions des 40 paires à l'aide d'un logiciel d'annotation de vidéo (Transana) et compté le nombre de mots produits par les divers participants durant le processus d'apprentissage collaboratif. Ce nombre total a été divisé par le temps d'interaction de la paire.
- **gestes P** : il s'agit de la somme des gestes déictique de pointage sur écran produits par les participants durant leur interaction avec leur pair dans l'activité d'apprentissage en mode « duo ». Pour récolter ces données nous avons compté les gestes de pointage sur écran durant les interactions des 40 paires, sur la base des enregistrements vidéos des interactions. Ce nombre total a été divisé par le temps d'interaction totale de la paire.
- **gestes T** : il s'agit de la somme des gestes iconique sur écran produits représentant une trajectoire, effectués par les participants durant l'interaction. Ces gestes ont été comptés de la même manière que les Gestes_P. Ce nombre total a été divisé par le temps d'interaction total de la paire.
- **gestes M** : il s'agit de la somme des divers gestes métaphoriques effectués par les participants durant l'interaction. Ces gestes ont été comptés de la même manière que les Gestes_P. Ce nombre total a été divisé par le temps d'interaction de la paire.
- **gestes C** : il s'agit de la somme des gestes phatique (des gestes abstraits de support du langage verbal) effectués par les participants durant l'interaction. Ces gestes ont été comptés de la même manière que les Gestes_P.
- **total gestes** : il s'agit de la somme des 4 types de gestes décrits ci-dessus comptabilisée pour chaque participant.

Nous allons explorer ici les divers résultats obtenus en ce qui concerne l'influence des variables indépendantes principales (animation et permanence) sur les variables dépendantes secondaires décrites ci-dessus, à savoir les variables ***total_mots***, ***total_gestes***, ***gestes_P***, ***gestes_T***, ***gestes_M***, et ***gestes_C***.

6.3.1. L'effet des variables principales sur les variables secondaires d'interaction

Nous n'avons obtenus aucun effet significatif de la variable **animation** sur les diverses variables secondaires d'interaction. Il en est de même pour la variable **permanence** qui ne semble pas avoir d'influence significative sur les variables secondaires.

6.3.2. Corrélations entre les variables principales et secondaires

Nous avons aussi effectué des corrélations de Pearson entre les 2 variables dépendantes principales, à savoir les scores de **rétenion** et d'**inférence** et les variables secondaires d'interaction. Les résultats démontrent une corrélation positive intéressante entre le score d'**inférence** et la variable secondaire **gestes T** ($r=.232$, $p=.043$). Les autres corrélations ne donnent par contre pas de résultats notables.

Nous pouvons néanmoins constaté que certaines des variables secondaires sont fortement corrélées entre elles. Ainsi nous pouvons constaté de fortes corrélations positives entre la variable secondaire **total_mots** et les variables **total_gestes** ($r=.484$; $p<.01$), **gestes_P** ($r=.449$; $p<.01$), **gestes_T** ($r=.275$; $p=.016$) et la variable **gestes_M** ($r=.333$; $p<.01$). Ainsi nous pouvons aisément admettre que les participants qui ont produit un grand nombre de mots durant les interactions ont de manière générale aussi produits un grand nombre de gestes.

7. DISCUSSION :

Nous allons discuter plus amplement les résultats obtenus à la lumière des hypothèses que nous avons formulées et des divers modèles qui nous ont servis de support pour les formuler. Nous porterons une attention particulière à mettre nos résultats et nos hypothèses en relation avec les deux champs de recherche distincts qui nous ont servis de ligne directrice – à savoir les modèles cognitivistes de l'apprentissage et les champs de recherche en CSCL - et notre ambition de les

concilier dans une approche intégrative. Nous commencerons par discuter les résultats généraux, mode solo et duo confondu ainsi que leur interaction. Par la suite, nous porterons une attention toute particulière aux résultats obtenus en condition « duo » que nous interprèterons plus amplement.

7.1. Les effets simples des variables principales des deux modes

7.1.1. L'effet simple de l'animation

Regardons de plus près les effets simples de nos variables indépendantes sur les deux variables dépendantes principales : le score de **réention** et le score d'**inférence**. En premier lieu pour ce qui est de la variable indépendante principale **animation**, nous avons formulé l'hypothèse suivante :

« Les scores d'inférence ainsi que les scores de réention seront plus élevés en condition dynamique qu'en condition statique. »

De manière générale, les résultats nous permettent de mettre en évidence un effet simple de l'animation. Les participants obtiennent de manière générale de meilleurs résultats en condition **dynamique** qu'en condition **statique** et ce tant sur le score de **réention** que sur le score d'**inférence**. Il faut préciser que les résultats des participants en mode SOLO ne sont toutefois pas significatifs. **Nous pouvons ainsi dire que notre hypothèse se vérifie** en tenant compte de tous les participants, en particulière les participants de la condition DUO, mais il reste invérifiée pour l'échantillon des participants en mode SOLO.

Nous pouvons ainsi dire que l'animation a un effet positif sur l'apprentissage. Ce résultat semble corroborer les différents modèles de l'apprentissage que nous avons décrit au début de cet exposé (Mayer, 2001 ; Schnotz, 2003 ; Narayanan, 2002 ; Sweller, 1998). L'apport de l'animation au niveau de la réention d'information ne fait pas de doute. On peut expliquer ce résultat de deux manières différentes et toutefois complémentaire. En premier lieu nous pouvons stipuler que l'animation facilite la récolte d'information et son traitement et stockage dans la mémoire ; ceci découle du

fait que les micro-étapes qui composent les animations enrichissent l'apprentissage. Une deuxième explication serait que cette différence découle d'insuffisance de la condition statique. Il se pourrait donc que le manque d'information qu'implique la condition statique en ce qui concerne les évolutions dans le temps des phénomènes étudiés, oblige les étudiants à mobiliser toute leur ressources cognitives (plus particulièrement les ressources attentionnelles) à tenter de recréer le mouvement ; Ce qui porte préjudice au processus de récolte et de rétention d'information.

Toutefois l'hypothèse selon laquelle les animations améliorent la formation d'un modèle mental peut être mise en doute par nos résultats (du moins en partie), égard au fait que les différences au score d'inférence entre la condition statique et dynamique ne sont pas significatives chez les apprenants travaillant en SOLO. En effet, on se serait attendu à des différences significatives au niveau de l'inférence si les animations permettaient la construction d'un modèle mental dynamique autrement plus efficace que les simples images statiques. Les animations n'aident donc en rien le traitement élaboré de l'information apprise. Ce résultat peut découler des propriétés des contenus pédagogiques qui étaient peut-être trop descriptif et pas assez conceptuels. De ce fait, les exigences étaient peut-être trop orientées vers d'acquisition et l'accumulation de connaissances nouvelles plutôt que vers la production d'une réflexion d'ordre conceptuel et logique. Précisons qu'une telle hypothèse est de loin pas réfutée si on considère les résultats en mode DUO. Nous développerons ce résultat plus amplement dans la suite de cette discussion.

En conclusion, pour ce qui est de l'effet de la variable **animation** sur les scores de **rétention** et d'**inférence**, notre hypothèse d'un avantage de l'animation sur l'image et le texte est dans l'ensemble confirmée et infirme ainsi les résultats obtenus par quelques études précédentes (Pane, Corbett, & John, 1996 ; Rieber, 1990). Nous nous avancerons cependant pas trop en stipulant qu'un contenu multimédia animé et développé de manière à éviter les risques majeurs qui y sont reliés (surcharge cognitive, fugacité, etc.), permet un meilleur apprentissage des contenus dynamique.

7.1.2. L'effet simple de la permanence

En ce qui concerne l'effet simple de la permanence sur l'apprentissage et plus précisément sur les scores de **réention** et d'**inférence**, nous avons émis l'hypothèse suivante :

« 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, même si la réention devrait être aussi influencée »

Les résultats ne démontrent aucun effet significatif simple de la variable **permanence** sur les deux scores de **réention** et d'**inférence**. Ainsi notre hypothèse peut être considéré comme rejetée. Apparemment les vignettes n'apportent pas d'avantage pour l'apprentissage. Nos résultats contredisent donc ceux stipulés par les différents modèles cognitivistes. En effet ces derniers stipulaient que la présence d'info de manière permanente diminue quelque peu la charge cognitive induite par les processus cognitifs impliqué dans la perception des médias et dans l'apprentissage, qui sont très demandeurs.

Il faut aussi préciser que les DUO semblent quand à eux être même gênés par la présence des vignettes. Ainsi l'effet s'inverse entre le mode SOLO qui semble bénéficier légèrement de la permanence, et les apprenants du mode DUO qui quand à eux, sont plutôt gênés par cette dernière. Cette interaction entre la variable **permanence** et la variable **collaboration** est des plus curieuses. Elle nous empêche entre autre d'invoquer des effets de « split-attentionnel » ainsi qu'un effet de « redondance » car comment expliquer que les solos bénéficient de la permanence et les duos pas ? Nous développerons plus amplement l'effet de la permanence sur les apprenants du mode DUO dans la suite de cette discussion.

7.2. Les résultats du mode DUO

7.2.1. L'effet simple de l'animation

Pour ce qui est de l'effet simple de la variable **animation** en mode d'apprentissage DUO, nous avons émis deux hypothèses. La première postulait que :

« A l'instar de la condition solo, nous pouvons dans un premier temps nous attendre à un effet positif de l'animation sur l'apprentissage en mode collaboratif. Les scores d'inférence ainsi que les scores de rétention seront plus élevés en condition dynamique qu'en condition statique »

Les résultats obtenus confirment cette hypothèse. En effet les apprenants en mode DUO montrent de meilleures performances d'apprentissage en condition **dynamique** que ceux de la condition **statique** et ce tant sur le score de **rétention** que sur celui d'**inférence**.

En ce qui concerne le score de rétention, nous avons vu que les apprenants en SOLO bénéficient aussi de l'animation. Ainsi ce bénéfice chez les DUO ne peut s'expliquer uniquement par l'effet de la variable **collaboration**. Comme nous l'avons vu plus haut, l'animation semble de manière générale apporter une plus value à l'apprentissage. Cet effet peut s'expliquer par la richesse informationnelle que comporte les contenus animés par rapport aux contenus statiques.

Même si le résultat des apprenants en mode DUO et dynamique semble être légèrement meilleur que celui des apprenants en mode SOLO et dynamique, cette différence n'est toute fois pas significative. Le fait de travailler à deux n'influence en somme que partiellement les bonnes performances des apprenants DUO. Nous pouvons toutefois émettre l'hypothèse que le fait de travailler à deux permet un temps d'interaction qui est bénéfique à la rétention d'information provenant des animations. Cependant, cet argument peut tout aussi bien s'appliquer aux apprenants en mode statique. Il n'y a donc pas d'effet d'interaction évident entre la variable principale **animation** et la variable principale **collaboration**. Cette amélioration des performances des apprenants DUO en condition **dynamique** peut s'expliquer de la même manière que ceux des apprenants SOLO ; on invoquera donc essentiellement des propriétés individuelles pour expliquer l'amélioration de la rétention chez les apprenants DUO en mode **dynamique**.

En ce qui concerne notre hypothèse alternative, voici ce qu'elle prédisait :

« Mais si nous suivons l'hypothèse de Schnotz, Böckheler & Grondziel (1999), qui stipule une accumulation des surcharges cognitives due à la collaboration et celle due à l'animation, nous pouvons émettre une hypothèse alternative qu'en condition dynamique, les sujets duo devraient avoir des performances moins bonnes que ceux de la condition statique et ce tant dans les scores d'inférence que dans les scores de rétention »

Cette hypothèse est évidemment rejetée, en tenant compte de l'amélioration des performances au score de **rétention** qu'implique l'apprentissage collaboratif dans la condition **dynamique**. Les apprenants ne semblent pas souffrir de surcharge du à l'interaction et semblent même en profiter légèrement. Il est toutefois important de préciser que les interactions n'avaient pas lieu durant le visionnage des séquences multimédia mais entre les étapes ; ce qui pourrait expliquer en grande partie ce résultat. Ce résultat s'explique aussi par le fait que les interactions entre les pairs permettent de faire une répétition. L'apprenant peut ainsi accéder à des informations supplémentaires qu'il aurait raté durant le visionnage grâce au pair. L'interaction servirait ainsi de support pour rappeler des informations perçues durant les animations mais non encore intégrées par l'apprenant en mémoire à long terme.

Pour ce qui est du score d'**inférence**, la condition **dynamique** semble n'avoir un effet significatif que chez les apprenants en mode DUO. Les apprenants SOLO ne présentent pas de différences significatives. Nous pouvons ainsi aisément supposer que le gain amené par les animations sur le score d'inférence des apprenants DUO est essentiellement du au mode collaboratif. Notre première hypothèse se confirme ainsi tandis que l'hypothèse alternative est rejetée. Les apprenants bénéficient largement des interactions dans leur tâche de construction d'un modèle mental dynamique. Nous pouvons soulever un certain nombre d'arguments issu de la littérature dans le domaine CSCL pour expliquer ce gain :

Premièrement comme le stipule Jermann (2004), l'apprentissage dans un cadre de collaboration découle avant tout des activités qu'implique le travail de groupe comme expliquer, résumer, désambiguïser et réparer, et qui portent en elles des mécanismes d'apprentissage comme l'induction, la déduction, la compilation, etc. Dans notre situation, la consigne incitant les sujets à s'expliquer entre eux ce qui a changé par rapport à l'étape précédente sert d'amorce à des interactions, échanges, formulations, questionnements, explications, récapitulations etc. qui obligent les « collaborateurs » à faire des efforts de production et d'échange de commentaires sur le contenu et leur sa compréhension. Le fait de devoir se faire comprendre de son interlocuteur demande à l'apprenant un effort de décentration ; il va de ce fait faire des efforts particuliers pour formuler de manière intelligible sa pensée et sa compréhension de la situation et contribuer ainsi à la construction d'un *ground* commun et d'une connaissance commune et partagée (Roschelle, 1996). Ainsi comme le stipule certains auteurs, l'apprentissage dans ce contexte collaboratif est en quelque sorte un « un effet de bord » des efforts entrepris par les divers participants d'un groupe pour instaurer et préserver une compréhension commune de la tâche (Dillenbourg, 1999, Teasley & Roschelle, 1995).

D'autre part, là où les sujets seuls utilisent des stratégies individuelles dépendant essentiellement de facteurs qui leur sont propres (connaissances préalables, motivation, capacités cognitives etc.), comme par exemple *l'effet d'auto-explication* (Chi et al., 1989), la confrontation sociale et le conflit que cela peut engendrer profite aux apprenants DUO. La dyade peut ainsi être considérée comme un système cognitif à part entière où la cognition est étirée « *stretched over* » (Salomon, 1993) entre les divers sous-systèmes qui le composent (les 2 apprenants mais aussi les objets qui leur servent de support pour leur apprentissage). Ainsi lors des interactions collaboratives, chaque apprenant devient catalyseur d'apprentissage pour l'autre à travers les interrogations, les régulations mutuelles et la verbalisation qu'il induit chez l'autre. Ainsi là où l'individu seul doit gérer à la fois sa compréhension et avoir un recul sur sa propre compréhension, l'interlocuteur dans une situation collaborative peut automatiquement jouer le rôle d'agent métacognitif à travers les interactions qu'il suscite et obliger l'apprenant à remettre en cause et procéduraliser sa compréhension du contenu (Jermann 2004). En somme, là où l'animation en

condition SOLO peut apporter une forme de passivité chez l'apprenant en lui donnant l'illusion d'avoir compris et induire ainsi une sous-charge (*underwhelming*) (Lowe, 2004), les interactions permettent de composer cette dernière en offrant des possibilités constantes de remise en cause de leurs connaissances aux apprenants. C'est pourquoi nous pensons que les interactions qu'imbrique une situation d'apprentissage collaboratif apportent des bénéfices non négligeables à la formation des modèles mentaux dynamiques à l'aide de contenus multimédias animés. Ainsi nous parlerons d'une fonction facilitante (*facilitating*) (Lowe et Schnotz, sous presse) de la collaboration sur l'apprentissage à partir d'animation.

7.2.2. L'effet simple de la permanence

En ce qui concerne la permanence en mode collaboratif, nous avons posé les hypothèses suivantes :

« Compte tenu du fait que la modalité « permanence » est plus riche en artefacts visuels permettant d'améliorer le grounding, la référenciation et les interactions, les participants du mode DUO avec permanence auront de meilleurs résultats aux tests que les participants en condition sans permanence. Nous pensons que cet effet touche particulièrement les scores d'inférence mais devrait aussi dans une moindre mesure toucher les scores de rétention. »

Les résultats nous montrent un effet significatif de l'influence de la **permanence** sur le score d'**inférence**, mais pas dans le sens où nous le stipulions dans notre hypothèse. Nous avons en effet prédit que la permanence des états antérieurs aurait un effet positif sur l'apprentissage en DUO. Les résultats démontrent au contraire un effet négatif de la permanence sur le score d'inférence des apprenants en mode DUO. Ainsi le fait d'offrir la possibilité aux apprenants de consulter un résumé des étapes passées sous forme d'une série d'images récapitulatives induit un effet néfaste sur l'apprentissage et la création d'un modèle mental dynamique. De plus, la permanence semble avoir le même effet sur le score de rétention mais le résultat n'est pas significatif. **Nous pouvons donc dire que notre hypothèse et non seulement rejetée mais en grande partie contredite par les résultats.**

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce résultat. Étant donné que la tendance par rapport à l'influence de la permanence sur l'apprentissage s'inverse entre le mode SOLO et le mode DUO (que même si les résultats ne sont pas significatifs, les sujets SOLO semblaient bénéficier dans une moindre mesure de la permanence), nous pouvons émettre l'hypothèse que l'effet néfaste de la permanence se limite uniquement au mode DUO. Cette interaction négative entre la variable **permanence** et la variable **collaboration** est particulièrement contre-intuitive. En accord avec les théories de la cognition distribuée (Hutchins, 1986 ; Salomon, 1993) et le rôle des artéfacts dans l'apprentissage (Stahl, 2002), nous avons stipulé que le fait d'offrir un environnement riche en matière de possibilité de référentiation à toute forme d'étape faciliterait le grounding (Clark et Brennan, 1991) chez les apprenants DUO et de surcroît améliorerait l'apprentissage. Cet effet inverse semble indiquer le contraire. Un environnement visuellement trop riche semble perturber les apprenants en DUO. Il se pourrait que le trop plein d'éléments graphiques court-circuite les processus mentaux des apprenants les empêchant de se focaliser sur la tâche principale de construction d'un modèle mental efficient.

Une explication serait que la charge due à la manipulation et à la consultation des vignettes cumulée à celle induite par les interactions porte préjudice à l'apprentissage. Par exemple, le fait qu'un des apprenants prennent l'initiative de consulter une vignette court-circuiterait les processus cognitif de l'autre apprenant qui serait du coup perturbé. Vu qu'un seul des participants à la fois est en charge de la souris, les manipulations des vignettes et les tentatives de négociation de leur ouverture utiliseraient l'essentiel des ressources mentales communes qui auraient été plus profitable pour des tâches plus pertinente. Ainsi ce résultat négatif découlerait d'une charge induite par la manipulation de l'interface. Pour éviter cet effet, il faut que les deux apprenants se mettent ensemble sur l'ouverture d'une vignette ou non. Cette négociation serait donc trop demandeuse en terme d'énergie et de temps pour être vraiment efficace pour l'apprentissage. Elle empêcherait même la focalisation sur des tâches plus pertinentes comme la discussion et la co-construction de connaissances. Ainsi on pourrait considérer qu'il y a une forme de « split-interactionnel » dû à la gestion simultanée de l'interaction avec l'environnement et de l'interaction entre les apprenants.

En conséquence, notre supposition selon laquelle un environnement enrichi en artéfacts pertinents améliore l'apprentissage n'est pas vérifiée. Il se peut donc que trop d'artéfacts ait un effet inverse sur l'interaction que celui attendu. Les apprenants ne seraient ainsi pas en mesure de les utiliser à bon escient et se retrouverait perdus. Nous pensons néanmoins que cette charge est plus particulièrement due à la manipulation de ces artéfacts plutôt que leur présence. Les apprenants ne seraient pas en mesure de s'approprier une représentation personnelle des artéfacts et les internaliser de manière efficiente. En effet les artéfacts sont utiles lorsqu'ils peuvent servir de supports utiles pour la compréhension. Les artéfacts qui ne présentent pas ou peu d'intérêt pour la compréhension et la gestion de l'interaction ne sont pas susceptible d'être intégrés de manière efficace dans le système cognitif globale composé des «collaborants » et des artéfacts divers sur lequel est distribuée la cognition (Hutchins, 1986 ; Salomon, 1993).

7.3. Les variables secondaires pour la condition collaboration

7.3.1. L'effet des variables principales sur les variables secondaires d'interaction

Partant de l'idée simple que les interactions entre les pairs et leur environnement ont un rôle essentiel dans la construction collaborative d'une connaissance, nous avons voulu explorer l'influence de la quantité d'interactions sur les performances des sujets, afin de permettre d'ouvrir des voies pour de futurs approfondissements dans ce domaine. En nous basant ainsi sur les 2 aspects essentiels de la communication, à savoir la production verbale et la production gestuelle, nous avons voulu appréhender les interactions des apprenants entre eux et avec leur environnement pour en savoir plus sur les relations entre ces dernières et les performances d'apprentissage. Reprenons une par une nos hypothèses exploratoires à la lumière des résultats que nous avons obtenus. Voici les hypothèses exploratoires que nous avons formulées :

« *Nous nous attendons à une corrélation positive et significative entre le nombre total de mots produits par les paires et leur performance aux tests d'**inférence** et de **réention**.* »

« *Nous prévoyons une corrélation positive et significative entre le nombre total de gestes produits par les paires et leur performance aux tests d'**inférence** et de **réention**.* »

En effet partant de l'idée que les conversations et les gestes sont au centre des interactions qui elles-mêmes sont au centre de l'apprentissage collaboratif, nous avons espéré que la quantité de conversation et de gestes produits aurait une influence sur la qualité de l'apprentissage. Malheureusement cette hypothèse n'est pas confirmée. Ainsi la simple verbalisation ne semble pas avoir d'influence directe sur l'apprentissage des apprenants. Ceci nous permet entre autre de vérifier que les meilleures performances des apprenants en mode DUO ne sont pas le simple fait d'une verbalisation et de production de gestes mais bel et bien d'une activité générale de collaboration, et donc que le simple fait de produire beaucoup de mots ne suffit pas à l'apprentissage. Ce qui semble primer c'est avant tout la qualité des échanges et la conversation entre paires. Ceci semble nous pousser encore plus vers l'idée que dans le mode collaboratif, le tout est plus que la somme des parties. Ce n'est pas dans la quantité d'effort produit par les individus seuls que réside l'apprentissage mais il émerge avant tout dans un système complet composé des apprenants et de leur environnement.

Pour ce qui est d'une analyse plus approfondie des gestes, nous avons stipulé ceci :

« [...] nous émettons l'hypothèse que les apprenants devraient faire plus de gestes déictiques de pointage sur écran (P) en condition **statique**. »

« [...] nous stipulons que les sujets devraient faire significativement plus de gestes déictiques dans les conditions **avec permanence** (versus sans permanence). »

« [...] nous nous attendons à plus de gestes métaphoriques (M) dans la condition **dynamique**. »

« [...] nous émettons l'hypothèse que les apprenants vont faire plus de gestes métaphoriques (M) dans les conditions sans permanence que dans les conditions avec permanence. »

Aucune de ces hypothèses ne trouve d'échos positifs dans nos résultats. Ainsi nous pouvons déduire que l'absence ou la présence d'objets de référence ne semblent pas avoir d'influence sur les types de gestes produits. Les apprenants semblent utiliser des gestes métaphoriques ou déictiques autant dans les conditions **dynamiques** que **statiques**, avec **permanence** que **sans permanence**. Nous pensons que ce résultat est essentiellement dû à la richesse inhérente de nos contenus multimédias. En effet notre zèle au niveau de l'élaboration du matériel et le contrôle des variables parasites ont sûrement joué la dessus. Nous avons en effet tenté de respecter la validité écologique de notre matériel et faire en sorte que ce dernier reste le plus proche possible de ceux qu'on peut retrouver dans les contenus multimédias dédiés à l'éducation. Par exemple, entre chaque étape d'une animation, la dernière *frame* reste visible aux apprenants durant les phases d'interaction. Nous pensons que cette dernière image présente un bon support pour le *grounding* et de ce fait, même dans les conditions dynamiques, les artéfacts présents sur l'écran permettent aux apprenants d'avoir suffisamment de support visuels permanents auxquels faire référence durant leurs interaction. De ce fait, les conditions dynamiques restent visuellement assez proches des conditions statiques. Ce qui expliquerait le manque de différence en matière de gestes produites par les apprenants. Ces derniers ont à disposition suffisamment d'éléments dans toutes les conditions leur permettant de faire des gestes du type déictiques. Si l'on tient compte du « principe du moindre effort collaboratif » (Clark et Brennan, 1991), il est moins coûteux pour les apprenants de produire ce genre de gestes que des gestes du type iconique et métaphorique. Cela implique donc une certaine homogénéité des types de gestes produits dans les diverses conditions.

De plus, nos deux types d'animations ne présentent que peu de changement du type transition (changement de point de vue par exemple) ; ainsi, les dernières *frames* présentent une scène assez proche de ce que les apprenants ont pu voir durant les étapes. Elles font office d'une bonne image récapitulative et se rapprochent peut être des images des modalités statiques. Ce qui augmente d'autant plus l'homogénéité entre les 2 types de condition (statique et dynamique).

Nous n'avons noté que peu de gestes effectués sur les vignettes. Ceci expliquerait le manque de différence entre les modalités permanentes et non permanentes. Il se pourrait aussi que les apprenants (et c'est ce que nous avons constaté sur les vidéos) se soient de manière générale limité à une utilisation des images et des dernières *frames* pour le *grounding* et non pas des vignettes. Ce qui expliquerait que la variable **permanence** n'ait aucun effet sur les variables secondaire et plus particulièrement sur les gestes.

La dernière hypothèse que nous avons formulée est celle-ci :

« [...] nous nous attendons à une corrélation positive entre le nombre de geste symbolisant une trajectoire sur écran (T) et les performances des sujets aux tests d'inférence et de rétention. Cet effet devrait être d'autant plus important dans les conditions à fort coefficient de référencement (statique et avec permanence). »

Cette hypothèse était en effet pertinente, compte tenu du fait qu'exprimer un mouvement ou une trajectoire s'avère particulièrement utile pour rendre compte de phénomènes dynamiques. Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par les résultats en ce qui concerne le score d'inférence. Ces derniers démontrent en effet une corrélation positive et significative entre le nombre de gestes symbolisant des trajectoires sur l'écran et les performances des apprenants au test d'inférence. On peut en déduire deux choses :

Premièrement, on peut émettre l'hypothèse que les apprenants ayant le mieux compris le matériel sont susceptibles d'explicitier leurs connaissances de manière efficace à leur partenaire. Ils emploient donc les stratégies appropriées pour

expliciter leur compréhension, notamment en utilisant des gestes iconiques pertinents comme ceux suggérant des mouvements et trajectoires.

On peut également envisager que les apprenants qui produisent le plus ce type de gestes se donnent les moyens de se munir d'un modèle mental solide des processus dynamiques. Il se pourrait donc que la production de gestes métaphoriques pertinents ait une influence sur l'élaboration d'un modèle mental solide. Ainsi il y aurait une correspondance directe entre la capacité d'expression gestuelle typique et les processus mentaux en œuvre dans l'intégration de connaissances conceptuelles précises. Toutefois des recherches, allant plus au fond des choses sont nécessaires pour confirmer cet effet.

8. CONCLUSIONS

Nous avons tenté dans cette recherche de contribuer à une meilleure compréhension de l'apport des images animées par rapport aux images statiques dans le cadre d'un apprentissage individuel et en duo. Les résultats démontrent que les contenus pédagogiques composés d'animations apportent une plus-value à l'apprentissage en terme d'acquisition de connaissance mais aussi dans la construction d'un modèle mental plus élaboré. Les apprenants en mode collaboratif semblent d'autant mieux profiter des animations dans ce dernier cas. Nous pouvons en conclure que l'animation est en effet efficace pour l'appropriation de contenu dynamique mais dans des conditions bien précises. Il est donc important de tenir en compte de certaines guidelines lors de développements de contenus comportant des animations.

Pour ce qui est de l'apport de la collaboration, cette recherche met en évidence un effet bénéfique de l'animation sur l'apprentissage et la construction collaborative de connaissances. Nous avons tenté d'ouvrir quelques perspectives d'études en explorant les interactions entre les paires comme facteur premier d'apprentissage. Les résultats, bien que ne permettant pas de mettre en évidence des relations directes, permettent d'ouvrir quelques voies à explorer.

Nous allons relever ici quelques points faibles de notre dispositif et proposer des améliorations pour le futur. Nous tenterons aussi de mettre en évidence quelques pistes à suivre, ouvertes par la présente recherche.

Les plus importantes remarques que l'on puisse formuler sont au sujet du matériel. Sans vraiment impliquer d'effet de plafond, il semblerait que notre matériel soit tout de même un peu facile. Les apprenants d'une manière générale ont fait de bons résultats. Bien que la normalité de la répartition sur les scores de rétention et inférence soit assurée, il semblerait quand même que la moyenne se situe plutôt dans la moitié supérieur de la répartition. Il se pourrait donc que les scores ne soient pas aussi discriminants qu'il ne faut.

Le zèle dont nous avons fait preuve pour respecter rigoureusement les guidelines proposées par les auteurs du domaine (Mayer, 2001) semble avoir porté ses fruits au-delà de nos espérances, ce qui a sans doute rendu le contenu assez facile à comprendre et intégrer. Ceci est notamment dû à un découpage en un trop grand nombre d'étapes. Nous pensons que ce découpage implique que les apprenants du mode DUO ne restent qu'à un niveau descriptif de l'étape passée et n'entre pas dans des considérations plus conceptuelles et poussées.

De plus, nous avons voulu utiliser deux matériels différents pour éviter un effet de matériel. Ainsi nos deux matériels n'étaient pas égaux au niveau des propriétés inhérentes aux animations. Translation, transformations et transitions n'étaient pas également représentées entre les matériels. Bien que les matériels ne présentent que peu de différences significatives, il se pourrait que mélanger les 2 résultats ait eu une grande influence sur les résultats généraux de la recherche. De plus, il est regrettable que nous n'ayons pas également un matériel composé essentiellement de transitions.

Notre souci étant de rendre le contenu pédagogiquement le plus clair possible, nous nous sommes limité à peu de changements simultanés dans les diverses étapes des animations. Etant donné qu'une des caractéristiques des animations est souvent de

présenter un certain nombre de changements simultanément, induisant une charge cognitive due à l'effet forme-fond dynamique (Lowe, 2004), notre matériel est trop facile car pauvre en information simultanément présentées. Une solution aurait été de le découper différemment et de désynchroniser légèrement le commentaire et les animations. Nous aurions rendu ainsi le matériel plus difficile et plus discriminant.

Pour finir, comme nous l'avons soulevé dans les discussions, le fait que la dernière frame de chaque étape animée reste visible durant les phases d'interactions, contribue selon nous à rendre les matériels particulièrement semblables entre la condition dynamique et statique ; Nous entendons par semblables les similitudes que cela induit sur la base des artéfacts qu'elles offrent pour le grounding ; La dernière frame peut à l'instar de l'image statique, servir de base pour des référentiations et le grounding en général. Ce qui expliquerait comme nous l'avons soulevé plus haut dans la discussion le manque de résultats au niveau des variables secondaires. Pour palier à ce problème, il faudrait dans une future recherche, soit utiliser des contenus animés plus variés (au niveau des transitions) ; soit griser la dernière frame au risque de perdre au niveau de la validité écologique de notre dispositif. Il est évident qu'en absence d'un support direct et persistant pour le grounding tel que la dernière frame, nous sommes convaincus que les stratégies adoptées par les apprenants pour désambiguïser leur compréhension commune seraient très différentes.

Relevons encore un autre détail au niveau du dispositif qui a selon eu une certaine influence sur la qualité des interactions chez les apprenants DUO. Pour catalyser les interaction entre les sujets en DUO et inciter les sujets de la condition SOLO à faire une répétition, nous avons ajouté une consigne générale entre chaque étape qui disait : « expliquez-vous ce qui a changé depuis la phrase précédente ». Nous avons voulu être suffisamment généraux pour ne pas les orienter dans une direction ou une autre. Malheureusement, cette consigne semble avoir été mal interprétée par une grande majorité des apprenants qui se sont limité à des interactions descriptives portant sur les changements visuels entre les étapes, sans vraiment entrer dans des considérations plus conceptuelles. Une analyse qualitative s'impose donc pour mettre en évidence, l'influence du degré d'élaboration des interactions sur

l'apprentissage, et plus précisément sur la qualité du modèle mental développé à l'aide des contenus multimédias.

L'aspect primordial de cette recherche était d'envisager l'apprentissage à partir de contenus animés selon une perspective collaborative. Dans un paradigme d'apprentissage par paire, nos résultats suggèrent largement que les interactions entre les pairs sont au centre de la problématique. C'est en effet par la conversation verbale et par les productions de gestes que les apprenants se construisent une connaissance commune. L'interaction des apprenants entre eux ainsi qu'avec leur environnement direct ouvre de bonnes voies pour appréhender la construction d'un modèle mentale et l'acquisition de nouvelles connaissances à partir de contenus dynamiques. Nous nous sommes limités dans cette étude exploratoire à ouvrir des perspectives en restant à un niveau quantitative. Nous sommes convaincus qu'une analyse plus qualitative ouvrirait de grandes perspectives. En effet nombre d'auteurs (Dillenbourg, 1999 ; Stahl, 2002) mettent l'accent sur l'importance de la qualité des interactions. La prochaine étape serait donc d'appréhender l'étude des interactions selon un paradigme hybride alliant quantité et qualité. Il serait par exemple intéressant d'appréhender la construction collaborative de la connaissance sur la base du niveau d'élaboration des interactions. Il serait alors aisé d'émettre l'hypothèse que des discussions plus élaborées (toutes autres que celles se limitant à une description de la phase courante) induiraient la construction de connaissances plus solides et plus profondes.

Dans tout les cas, l'étude l'apprentissage à partir de contenus multimédias animés selon deux modèles entrelacés, à savoir les modèles découlant de la psychologie cognitive et expérimentale, ainsi que le champ de recherche en CSCL semble promettre un avenir. Les animations apportent en effet une plus-value à l'acquisition de modèles mentaux dynamiques et les apprenants semblent bénéficier pleinement de la collaboration. Nous insisterons pour conclure que cette plus-value n'est garantie que dans des conditions très précise et qu'il y a des règles strictes à respecter pour que l'apport des animations soit efficient.

9. REFERENCES

- Akinson, 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.
- Amann, K. & Knorr-Cetina, K. D., (1990). The fixation of visual evidence. In: Michael Lynch and Steve Woolgar, eds., *Representation in scientific practice*, 85-121. Cambridge, MA: MIT Press.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D. (1998). *Your memory: a user's guide*. London: Prion.
- Baker, M., Brixhe, D. & Quignard, M. (2002). La co-élaboration des notions scientifiques dans les dialogues entre apprenants : le cas des interactions médiatisées par ordinateur. Dans J. Bernicot, A. Trognon, M. Guidetti & M. Musiol (éds), *Pragmatique et psychologie*, Chap. 6. Nancy : PUN. 109–138 [Actes de l'École thématique du CNRS "*Pragmatique : Langage, Communication & Cognition*", Poitiers, 4–8 septembre 2000.]
- Baker, M.J., Hansen, T., Joiner, R. & Traum, D. (1999). The role of grounding in collaborative learning tasks. In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative Learning : Cognitive and Computational Approaches*, pp. 31-63. Amsterdam : Pergamon / Elsevier Science.
- Bétrancourt, M., & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on user's performance: a review. *Le travail humain*, 63(4), 311-330.

- 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).
- Blumenfeld, P., Soloway, E., Marx, R., Krajcik, J., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991) Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning, *Educational Psychologist*, 26 , pp. 369-398.
- Brown, A. & Campione, J. (1994) Guided discovery in a community of learners. In K. McGilly (Ed.) *Classroom Lessons: Integrating Cognitive Theory and Classroom Practice*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 229-270.
- Brown, J., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated Learning and the Culture of Learning, *Educational Researcher*, 18(1), 32-42. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 19-38.
- Cassell, J., McNeill, D., & McCulloch, K. E., (1999). Speech-gesture mismatches: Evidence for one underlying representation of linguistic and nonlinguistic information. *Pragmatics and Cognition* 7: 1-33.
- Chi, M.T.H, Bassok, M., Lewis, M.W, Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Clark, H. H., & Schaefer, E. F. (1989). Contributing to discourse. *Cognitive Science*, 13, 259-294.
- Clark, H.H., & Brennan, S.E. (1991). Grounding in communication. In L. B. Resnick, J. Levine, & S. D. Teasley (Eds.), *Perspectives on socially shared cognition* (pp. 127-149). Washington, DC: APA
- 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.
- Cohen, E.G. (1994). Restructuring the Classroom: Conditions for Productive Small Groups. *Review of Educational Research*, 64(1), 1-35.

- Collins, A. & Stevens, A. R. (1983) Goals and strategies of inquiry teachers. In R. Glaser (Ed.) *Advances in Instructional Psychology*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Crowder, E. M. & Newman, D., 1993. Telling what they know: The role of gestures and language in children's science explanations. *Pragmatics and Cognition* 1 : 339-374.
- Crowder, Elaine M., 1996. Gestures at work in sense-making science talk. *The Journal of the Learning Sciences* 5: 173-208.
- Dillenbourg P. & Self J.A. (1992) A computational approach to socially distributed cognition. *European Journal of Psychology of Education*. vol. 7, n° 4, pp. 353-372
- Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning? In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches* (pp. 1-19). Oxford: Elsevier.
- Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning? In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches* (pp. 1-19). Oxford: Elsevier.
- Dillenbourg, P., Baker, M., Blaye, A., & O'Malley, C. (1996) The evolution of research on collaborative learning. In E. Spada & P. Reiman (Eds.), *Learning in Humans and Machine: Towards an interdisciplinary learning science* (pp. 189-211). Oxford: Elsevier.
- Doise, W. & Mugny, G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*. Paris : InterEditions.
- Donald, M. (1991) *Origins of the Modern Mind: Three Stages in the Evolution of Culture and Cognition*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Ellis, W. D. (Ed.). (1939). *A source book of Gestalt theory*. New-York: Harcourt Brace.
- Flor, N. V., & Hutchins, E. L. (1991). Analyzing distributed cognition in software teams: A case study of team programming during adaptive software maintenance. In R. Baecker (Ed.), *Readings in groupware and computersupported cooperative work*. San Mateo, CA: Morgan-Kaufman, 1993.

- Forman, E. A. (1992). Discourse, Intersubjectivity, and the Development of Peer Collaboration: A Vygotskian Approach. In L. T. Winegar & J. Valsiner (Eds.) *Children's Development within Social Context. Vol 2. metatheoretical, theoretical and methodological issues*, pp. 143-159. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Freedman, N., (1977). Hands, words, and mind: On the structuralization of body movement during discourse and the capacity for verbal presentation. In: Norbert Freedman and Stanley Grand, eds., *Communicative structures and psychic structures*, 109-132. New York: Plenum.
- Gadamer, H.-G. (1960/1988) *Truth and Method*, Crossroads, New York, NY.
- Garfinkel, H. (1967) *Studies in Ethnomethodology*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Golder, C. (1996). *Le développement des discours argumentatifs*. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- Goldin-Meadow, S., Wein, D., & Chang, C., (1992). Assessing knowledge through gesture: Using children's hands to read their minds. *Cognition and Instruction* 9: 201-219.
- Goodwin, Ch., (1996). Transparent vision. In: Elinor Ochs, Emanuel A. Schegloff and Sandra A. Thompson, eds., *Interaction and grammar*, 370~04. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hanks, W. F., (1992). The indexical ground of deictic reference. In: Alessandro Duranti and Charles Goodwin, eds., *Rethinking context: Language as an interactive phenomenon*, 43-76. Cambridge: Cambridge University Press.
- Haviland, J. B., 1993. Anchoring, iconicity, and orientation in Guugu Yimithirr pointing gestures. *Journal of Linguistic Anthropology* 3: 3-45.
- 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., & 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.
- Hegel, G. W. F. (1807/1967) *Phenomenology of Spirit*, (J. B. Baillie, Trans.), Harper & Row, New York, NY.
- Heidegger, M. (1927/1996) *Being and Time: A Translation of Sein und Zeit*, (J. Stambaugh, Trans.), SUNY Press, Albany, NY.
- Hutchins, E. (1996) *Cognition in the Wild*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Johnson, D.W., Johnson, R.T., & Stanne, M.B. (May, 2000) Cooperative Learning Methods: A Meta-Analysis. Retrieved March 5, 2004, from <http://www.clcrc.com/pages/cl-methods.html>.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 351-371.
- Kaptelinin, V. (1996). Activity theory: Implications for human-computer interaction. In B.A. Nardi (Ed.), *Context and consciousness: Activity theory and human-computer interaction* (pp. 103-116). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Kendon, A., (1985). Some uses of gesture. In: Deborah Tannen and Muriel Saville-Troike, eds., *Perspectives on silence*, 215-234. Norwood, NJ: Ablex.
- Latour, B. & Woolgar, S. (1979) *Laboratory Life*, Sage Publications, Thousand Oaks, CA.
- Le Bohec, O., & Jamet, E. (2003). Effets de redondance et prise de notes. Paper presented at the Environnement informatique pour l'Apprentissage humain, Strasbourg.
- Leont'ev, A.N. (1981). The problem of activity in psychology. In J.V. Wertsch (Ed.), *The concept of activity in Soviet psychology* (pp. 37-71). Armonk, NY: Sharpe.
- Levin, J. R., & Mayer, R. E. (1993). Understanding illustrations in text. In B. K. Britton, A. Woodward & M. Binkley (Eds.), *Learning from textbooks: Theory and practice* (pp. 95-113). Hillsdale: Erlbaum.
- Levinson, S. C., (1983). *Pragmatics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Levinson, S. C., 1997. Language and cognition: The cognitive consequences of spatial description in Guugu Yimithirr. *Journal of Linguistic Anthropology* 7:98-131.

- 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.
- Marx, K. (1844/1967) Alienated labor. In L. G. K. Easton (Ed.) *Writings of the Young Marx on Philosophy and Society*, Doubleday, New York, NY, pp. 287-300.
- Marx, K. (1867/1976) *Capital, Volume I*, (B. Fowkes, Trans.), Vintage, New York, NY. Available at: <http://www.karl-marx.org/archive/marx/works/1867-c1/index.htm>.
- Matras, Y., (1998). Deixis and deictic opposition in discourse: Evidence from Romani. *Journal of Pragmatics* 29: 393-428.
- Mayer, E. R. (1989). Models for understanding. *Review of Educational Research*, 59(1), 43-64.
- 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., 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.
- McNeill, D. & Levy E., (1982). Conceptual representation in language activity and gesture. In: Robert J. Jarvella and Wolfgang Klein, eds., *Speech, place, and action: Studies in deixis and related topics*, 271-295. Chichester: Wiley.
- McNeill, D., (1992). *Hand and mind: What gestures reveal about thought*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Mead, G. H. (1934/1962) *Mind, Self and Society*, University of Chicago Press, Chicago, IL.

- 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.
- Minsky, M. (1986) *Society of Mind*, Simon & Shuster, New York, NY.
- Minsky, M. (1986) *Society of Mind*, Simon & Shuster, New York, NY.
- 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. H., & Hegarty, M. (2002). Multimedia design for communication of dynamic information. *International journal of human-computer studies*, 57, 279-315.
- Narayanan, N., & Hegarty, M. (1998). Intelligible multimedia. *Journal of Educational Psychology*, 84, 444-452.
- Norman, D. A. (1993) *Things That Make Us Smart*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA.
- Ochs, E., Gonzales P. & Jacoby S., (1996). When I come down I'm in the domain state: Grammar and graphic representation in the interpretive activity of physicists. In: Elinor Ochs, Emanuel A. Schegloff and Sandra A. Thompson, eds., *Interaction and grammar*, 328-369. Cambridge: Cambridge University Press.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- 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.
- Pea, R. D. (1993). Practices of distributed intelligence and designs for education. In G. Salomon (Ed.) *Distributed cognitions. Psychological and educational considerations* (pp 47-87). Cambridge: University Press.
- Perkins, D. N. (1993). Person-plus: a distributed view of thinking and learning. In G. Salomon (Ed.) *Distributed cognitions. Psychological and educational considerations* (pp. 88-110). Cambridge: University Press.

- Rieber, L. P. (1990). Animation in computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 38, 77-86.
- Roschelle, J. & Teasley S.D. (1995) The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In C.E. O'Malley (Ed), *Computer-Supported Collaborative Learning*. (pp. 69-197). Berlin: Springer-Verlag
- Roschelle, J. (1996) Learning by collaborating: Convergent conceptual change. In T. Koschmann (Ed.) *CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, pp. 209-248.
- Roschelle, J. (1996) Learning by collaborating: Convergent conceptual change. In T. Roth, W. M., 1999. Discourse and agency in school science laboratories. *Discourse Processes* 28: 27~50.
- Roux, & A.Trognon (Eds), *Apprendre dans l'interaction : analyse des médiations sémiotiques*, pp. 121-141. Nancy & Aix-en-Provence :Presses Universitaires de Nancy, Publications de l'Université de Provence.
- Sacks, H. (1992) *Lectures on Conversation*, Blackwell, Oxford, UK.
- Salomon, G. (1993) (Ed.). *Distributed cognitions. Psychological and educational considerations*. Cambridge: University Press.
- Salomon, G. (1994). interaction of media, cognition, and learning. Hillsdale: Erlbaum.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1991) Higher levels of agency in knowledge building: A challenge for the design of new knowledge media, *Journal of the Learning Sciences*, 1 , pp. 37-68.
- Scardamalia, M. & Bereiter, C. (1996) Computer support for knowledge-building communities. In T. Koschmann (Ed.) *CSCL: Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, pp. 249-268
- 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.
- Searle, J. (1969) *Speech Acts: An Essay in the Philosophy of Language*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Slavin, R. E. (1995). *Cooperative learning: theory, research and practice*. 2nd edition. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.
- Slavin, R. E. (1995). *Cooperative learning: theory, research and practice*. 2nd edition. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.
- Slavin, R.E. (1980). Cooperative learning in teams: State of the art. *Educational Psychologist*, 15, 93-111.
- Stahl, G. (2002). Contributions to a Theoretical Framework for CSCL. [Proceedings of the CSCL 2002](#). pp. 62-71.
- Streeck, J. (1983) *Social Order in Child Communication: A Study in Microethnography*, Benjamins, Amsterdam, NL.
- Suchman, L. A. & Trigg R. H, (1993). Artificial intelligence as craftwork. In: Seth Chaiklin and Jean Lave, eds., *Understanding practice: Perspectives on activity and context*, 144-178. Cambridge: Cambridge University Press.
- 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.
- Trognon, A. (1993). La négociation du sens dans l'interaction. In J.F.Halté (Ed.) *Interactions: l'interaction, actualités de la recherche et enjeux didactiques*, pp. 91-120. Metz : Université de Metz.

Trognon, A. Saint-Dizier de Almeida, V. & Grossen, M. (1999). Résolution conjointe d'un problème arithmétique. In M. Gilly, J-P.

Vygotsky, L. (1930/1978) *Mind in Society*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Vygotsky, L. (1934/1986) *Thought and Language*, MIT Press, Cambridge, MA.

Webb, N. (1989). Peer Interaction and Learning in Small Groups. *International Journal of Educational Research*, 13(1), 21-39.

Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre der Gestalt, II. Psychologische Forschung, 4, 301-350.

Widlok, Th., (1997). Orientation in the wild: The shared cognition of Hailom bushpeople. *Journal of the Royal Anthropological Institute* 3:317-332.

10. ANNEXES

10.1. Analyse de variance sur les résultats des prétests.

Facteurs inter-sujets

		Etiquette de valeur	N
Condition	0	Statique	76
Animation	1	Dynamique	84
Condition	0	Non-Permanence	78
Permanence	1	Permanence	82
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 *	.078	1	.078	.039	.843
Permanence					
Animation *					
Collaboration	1.526	1	1.526	.775	.380

Permanence *	.093	1	.093	.047	.828
Collaboration					
Animation *					
Permanence *	.429	1	.429	.218	.641
Collaboration					
Erreur	299.128	152	1.968		
Total	562.000	160			
Total corrigé	306.975	159			

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

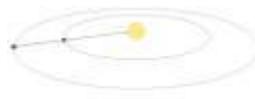
10.2. Images et commentaire du matériel astronomique.

Étape 1 : la révolution de Vénus et de la terre



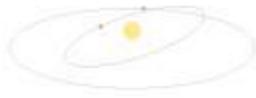
La terre fait le tour du soleil en 365 jours terrestres, Venus fait le tour du soleil en 225 jours. La taille de tous les astres est exagérée ici.

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



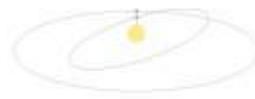
En fait l'orbite des deux planètes n'est pas sur le même plan. Il y a un angle de 3.4° entre les deux trajectoires. Cet angle est exagéré ici.

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

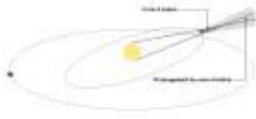


Il faut donc que les deux planètes se trouvent sur le même nœud en même temps pour que le transit puisse

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.

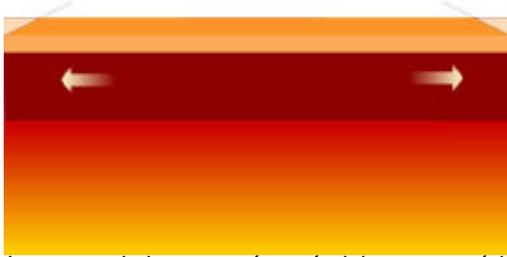
Étape 12 :



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

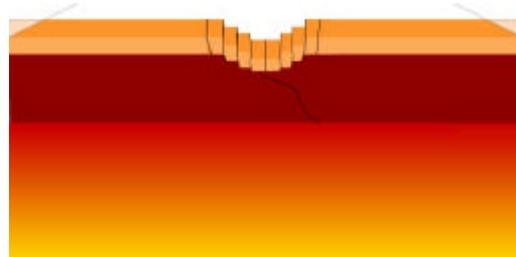
10.3. Images et commentaire du matériel géologique.

Étape 1 : les 3 couches



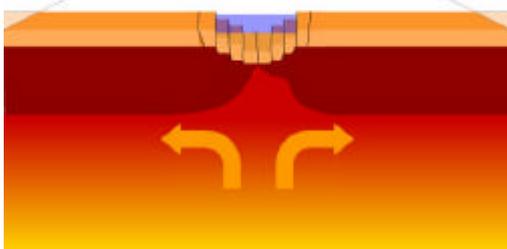
La coupe de la terre présentée ici est caractérisée par trois zones distinctes, la croûte continentale, la lithosphère et l'asthénosphère. Plusieurs contraintes peuvent être exercées sur une plaque continentale. Les plus importantes sont des contraintes divergentes dues à des zones de subduction de part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

Étape 2 : les contraintes exercées sur la lithosphère



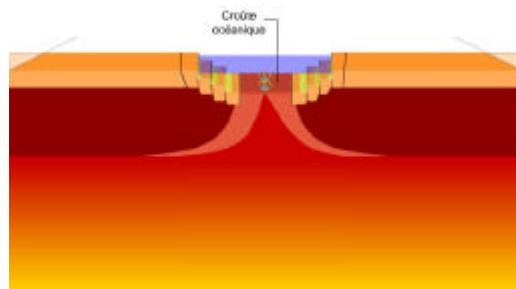
Ces diverses contraintes exercent des forces sur le manteau lithosphérique qui se fracture sous la tension. Les contraintes divergentes exercées sur les deux morceaux de la plaque lithosphérique, continuent et vont induire un effondrement en escalier de la croûte continentale en un fossé qu'on appelle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

Étape 3 : effondrement du rift



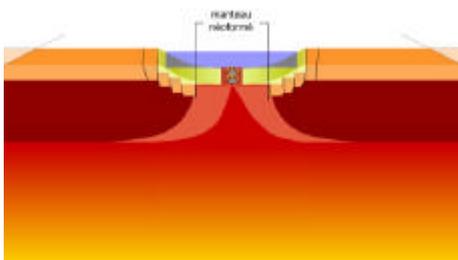
Avec la poursuite de l'étirement, le rift s'enfoncé sous le niveau de la mer l'espace libéré par l'effondrement va permettre à de la matière asthénosphérique de remonter vers la surface. La remontée de l'asthénosphère va provoquer des mouvements de matière en boucle qu'on appelle les cellules de convection.

Étape 4 : remontée de l'asthénosphère + dorsale



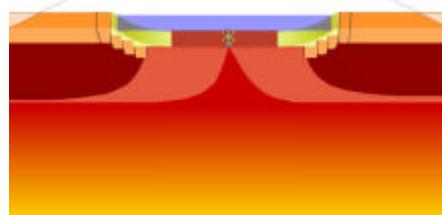
Les deux morceaux de lithosphère continentale se séparent et s'éloignent progressivement l'un de l'autre. Le volcanisme sous-marin forme le plancher océanique basaltique, ou croûte océanique, de part et d'autre d'une dorsale émyonnaire.

Étape 5 : croûte océanique néoformée



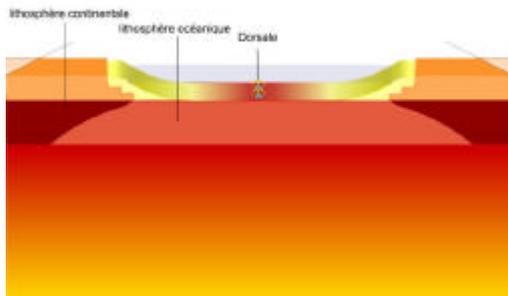
De plus, l'asthénosphère en refroidissant va permettre la formation d'une lithosphère océanique néo-formée.

Étape 6 : formation de l'océan



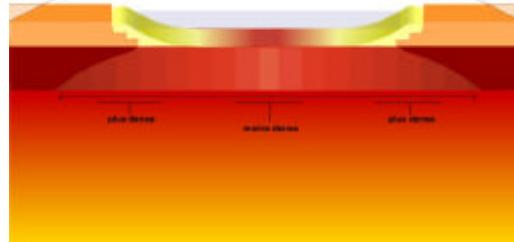
Il va y avoir une accumulation de sédiments provenant des marches continentales de part et d'autre. L'élargissement du plancher océanique, à la manière d'un tapis roulant, conduit à la formation d'un océan de type atlantique.

Étape 7 : récapitulation



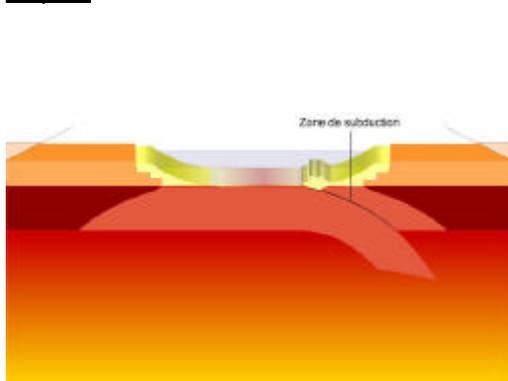
Nous venons de voir que le plancher océanique se crée par extension de part et d'autre d'une dorsale centrale, un peut à la manière d'un tapis roulant.

Étape 8 : densité de la lithosphère océanique



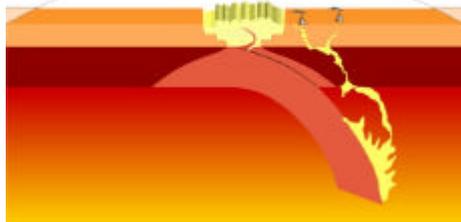
Ainsi, les frontières de la croûte océanique les plus éloignées par rapport à la dorsale, sont les plus vieilles. Plus une zone de la croûte est loin de la dorsale, plus elle est froide et plus sa densité est élevée.

Étape 9 : subduction



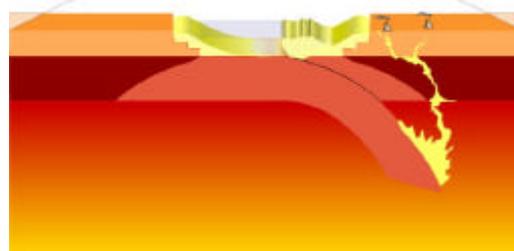
Il arrive que la densité de la lithosphère océanique, aux frontières avec la lithosphère continentale, devienne plus grande que celle de l'asthénosphère la lithosphère océanique se fracture et s'enfonce sous son propre poids. La plaque océanique entame un glissement sous la plaque continentale, on dit 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



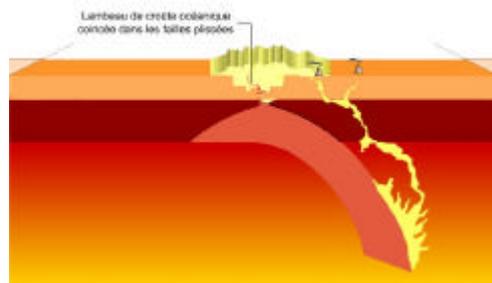
Au fur et à mesure du rapprochement des deux plaques, le prisme d'accrétion croît de plus en plus en concentrant le matériel sédimentaire dans un espace de plus en plus restreint. L'accumulation de la matière sédimentaire se poursuit jusqu'à ce que les deux plaques continentales se touchent. La subduction 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 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.

10.4. 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.

10.5. 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.

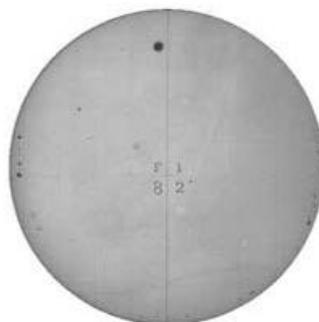
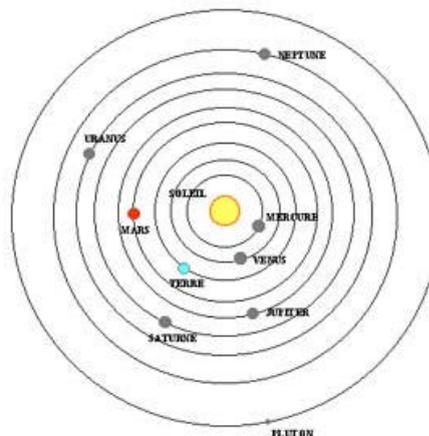
10.6. Photographies d'écran des deux introductions.

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 Vénus.



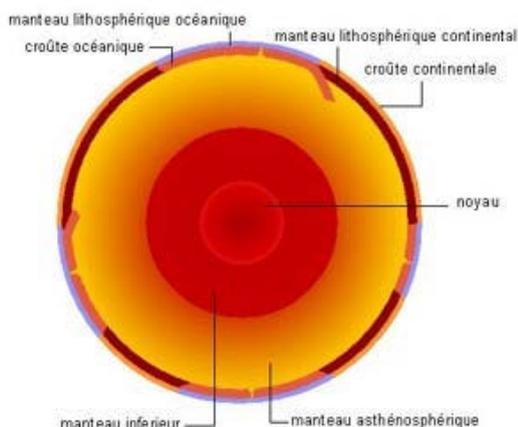
Qu'est-ce qu'un transit de Vénus?

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'occulte 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

10.7. Ecran de présentation du nasa-tlx.

Pendant l'apprentissage que vous venez de réaliser, différentes choses ont 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 :

faible forte

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

faible forte

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

mauvais bon

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

faible fort

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

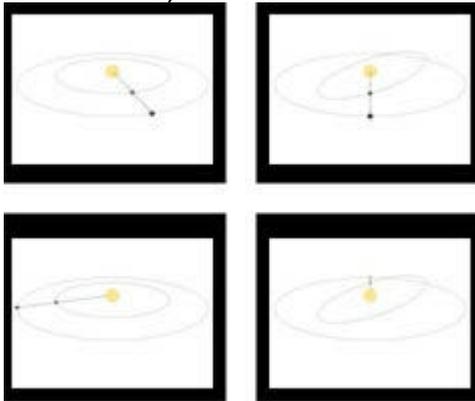
frustré gratifié

terminé

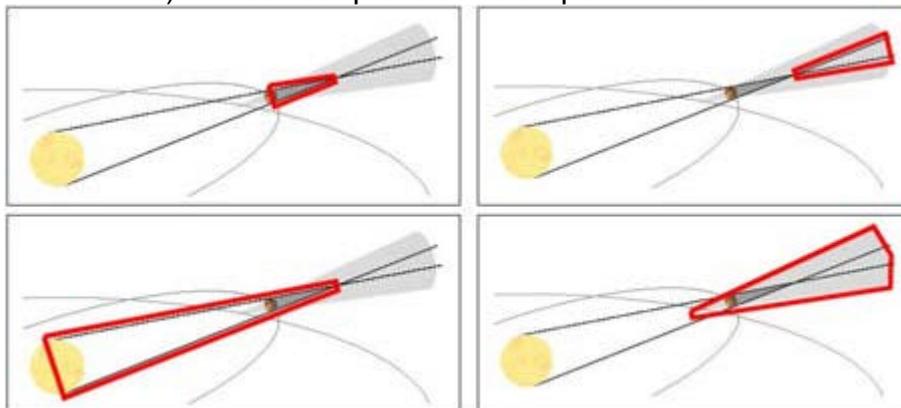
10.8. Questionnaires post-test astro et géo.

Questionnaire Astro

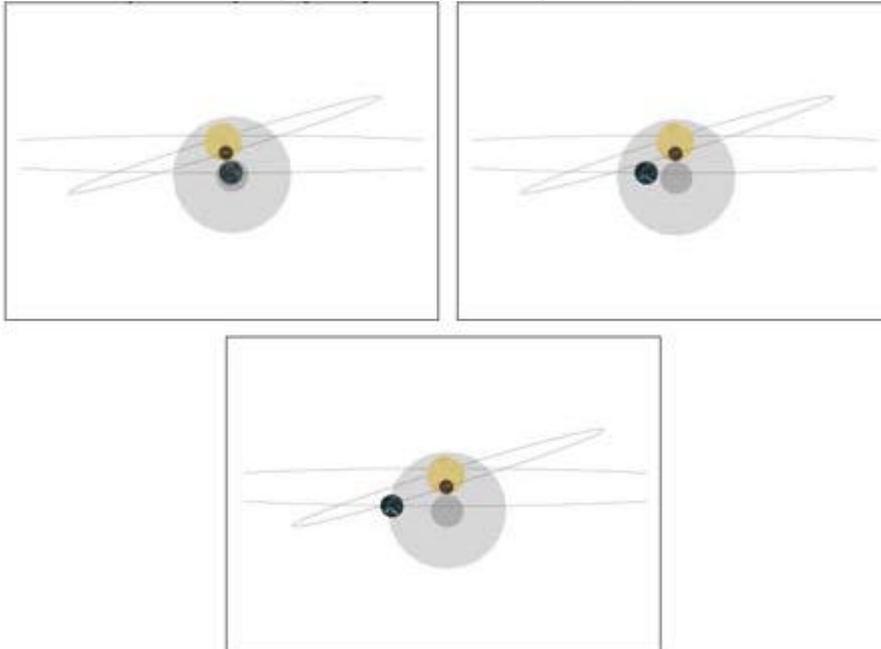
- 1) Expliquez rapidement le phénomène des transits de Vénus
- 2) La révolution de vénus autour du soleil se fait en :
 - a) 212 jours terrestres
 - b) 225 jours terrestres
 - c) 280 jours terrestres
 - d) 365 jours terrestres
- 3) Où se situe le nœud ascendant ?



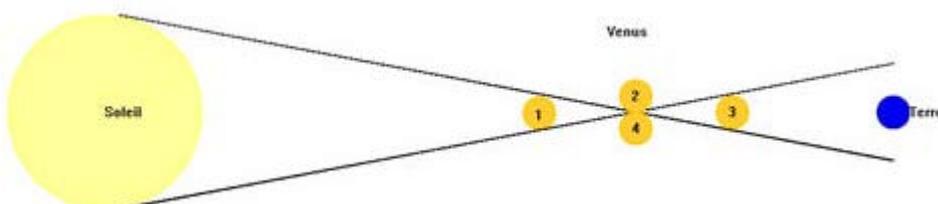
- 4) La terre passe au nœud ascendant dans la première moitié du mois de :
 - a) Juin
 - b) Juillet
 - c) Septembre
 - d) Décembre
- 5) Qu'est-ce que le cône de pénombre ?



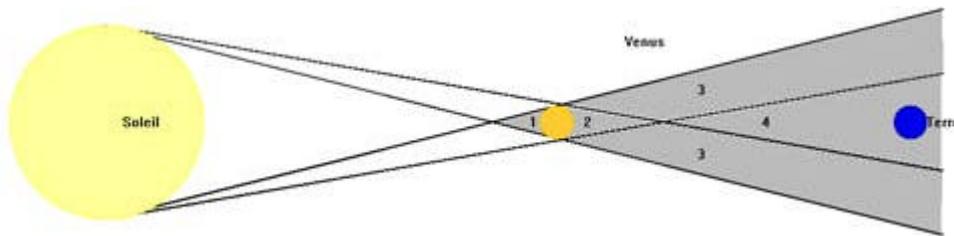
- 6) Où se trouve la Terre si on observe Vénus ne pénétrant pas totalement le disque solaire (transit partiel)



- 7) Peut-on observer un transit de Vénus lorsque la Terre n'est pas proche d'un nœud ?
- Non, c'est totalement impossible
 - Non, à moins que la taille du cône de pénombre soit exceptionnellement large cette année-là.
 - Oui, périodiquement avec un intervalle variant entre 8 et 120 ans
 - Oui, tous les 543 jours environ
 - Oui, tous les 225 jours environ
- 8) Qu'est ce qu'un transit périphérique ?
- Lorsqu'on peut voir Vénus passer sur le bord du disque solaire
 - Lorsqu'on peut voir Vénus passer au centre du disque solaire
 - Lorsqu'on peut voir Vénus mordre le disque solaire, sans y pénétrer complètement
 - 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...
- Possible si nous sommes au début juin
 - Possible si nous sommes au début décembre
 - Possible au début juin et au début décembre
 - Possible à une fréquence allant entre 8 et 120 ans
 - 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.

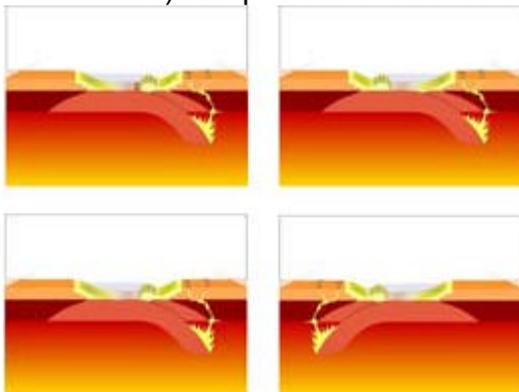
15) En se trouvant sur la Lune, pourrait-on observer des « transits de la Terre » ?

- 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

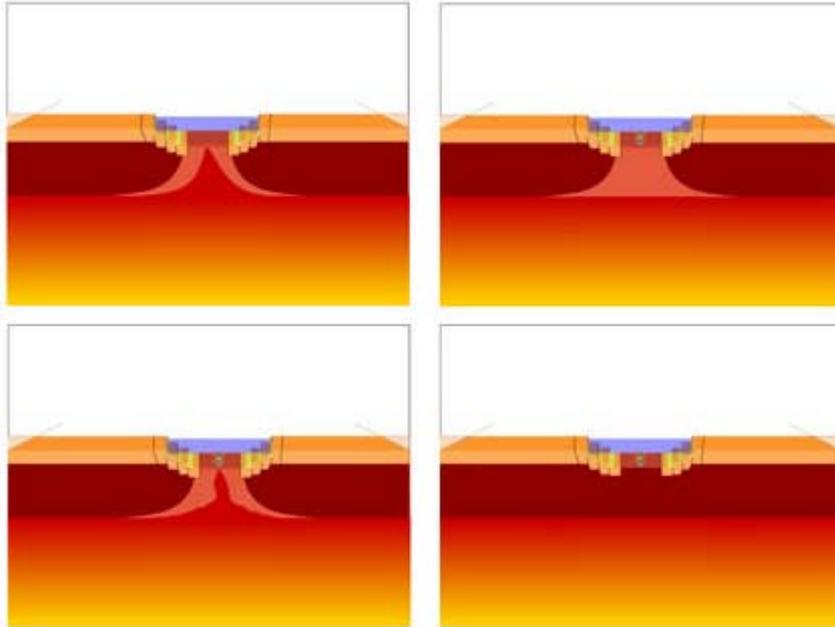
- e) Oui, si la Lune passe dans un nœud en juin ou en décembre
- 16) Le phénomène du transit de Vénus a-t-il un rapport avec les éclipses de Soleil (depuis la Terre) ?
- a) Non, les éclipses de Soleil ont lieu beaucoup plus souvent qu'entre 8 et 120 ans
 - b) Non, la Lune tourne autour de la Terre et 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

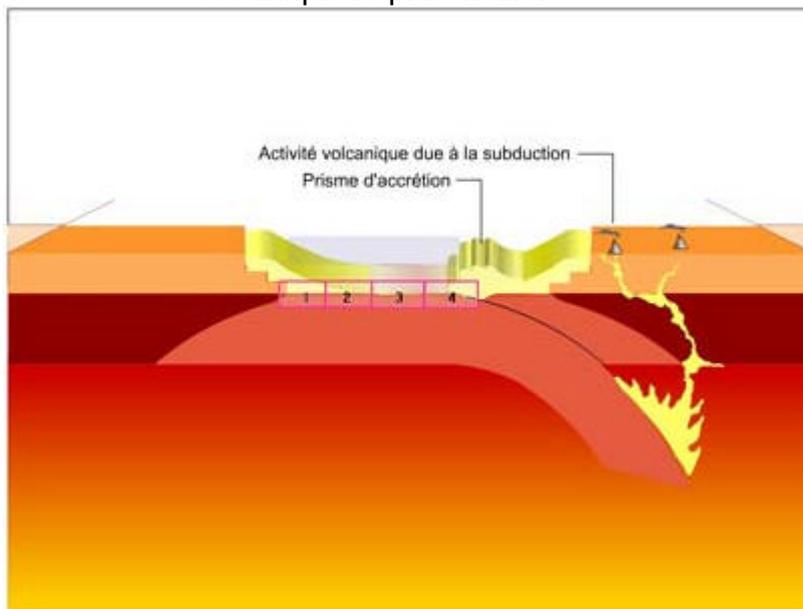
- 1) Expliquez en quelques mots les phénomènes des formations des montagnes et des océans
- 2) Quel phénomène est responsable de la formation du plancher océanique
 - a. Le volcanisme sous-marin
 - b. Les sédiments provenant des bornes continentales
 - c. Les refroidissements de l'asthénosphère
 - d.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



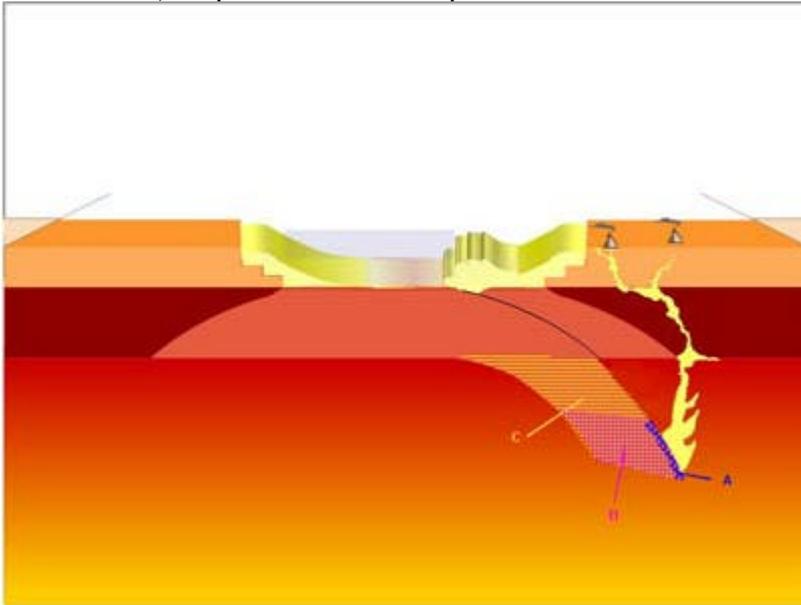
- 6) Cliquez le plus précisément possible sur la partie de la croûte océanique la plus vieille.



- 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

- d. Uniquement de résidus de croûte océanique
- 10) Que sont les cellules de convection ?
- a. Des boucles de matière en mouvement provenant du noyau
 - b. Des contraintes divergentes exercées sur la lithosphère continentale
 - c. Des contraintes convergentes exercées sur la lithosphère océanique
 - d. Des mouvements de matière dans le manteau asthénosphérique

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



- 11) Selon vous, pourquoi l'écroulement du rift s'opère sous la forme d'un escalier ?
- a. Car les fissures dans la croûte continentale ont tendance à suivre un tracé parallèle entre elles, perpendiculairement aux forces de tension
 - b. Car les fissures se créent de manière perpendiculaire entre elles, parallèlement aux forces de tension.
 - c. Car l'effondrement est rapide et soudain
 - d. Car l'effondrement se fait de manière progressive et prend beaucoup de temps
- 12) 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 ?
- a. En regardant la composition de la roche
 - b. En regardant le côté où l'on trouve du volcanisme
 - c. En regardant les versants des reliefs ; le côté de la subduction est le côté où le versant est plus raide
 - d. En analysant les roches de part et d'autre
- 13) Selon vous, pourquoi les cellules de convection forment-elles un boucle ?
- a. Car les courants ascendants suivent un chemin légèrement diagonal
 - b. Car les courants chauds butent contre la lithosphère

- c. Car les courants descendants ne peuvent pas reprendre le même chemin que les courants ascendants
- 14) Selon vous, peut-il y avoir des plaques lithosphériques néoformées ?
- a. 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
- 15) 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.
- 16) 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