



Différences entre iMac et iPad sur l'utilisabilité, la charge cognitive et l'apprentissage.

Didier Blanqui, Franck Amadiou, Claudette Mariné CLLE-LTC UT2- Jean Jaurès Toulouse

Résumé

Ce travail de recherche explore l'influence de l'interface tactile Multi-Touch lors de l'utilisation, dans le cadre scolaire, d'une simulation scientifique en astronomie, domaine nécessitant la mobilisation d'aptitudes visuospatiales élevées. En nous appuyant sur la théorie de la charge cognitive, nous avons postulé une hausse de l'utilisabilité perçue du dispositif liée à cette interface. Cette amélioration de l'utilisabilité devait également s'accompagner d'une baisse de charge cognitive inutile entraînant une amélioration de l'apprentissage des notions étudiées. Les résultats de l'étude, menée sur des élèves de seconde, ont montré qu'une hausse de l'utilisabilité perçue était bien mesurée lors de l'utilisation de la tablette tactile. Une faible baisse de charge cognitive inutile a aussi été mesurée mais elle n'a globalement pas eu d'effet sur l'apprentissage, même si l'encodage de notions mettant en jeu un traitement spatial des informations semble avoir été amélioré par le geste "pinch-to-zoom" dans le cadre d'une utilisation de l'interface Multi-Touch.

Mots clés : simulations, Multi-Touch, utilisabilité, charge cognitive, cognition incarnée, apprentissage.

1 Introduction

En mai 2015, le Président de la République a annoncé l'équipement en 3 ans, de 2016 à 2018, de tous les collégiens en tablettes tactiles ou ordinateurs. Ces matériels faciliteront l'accès à des ressources animées comme les animations et les simulations en sciences. Dans ce contexte, la question de l'adéquation entre ces ressources numériques et les modes d'interactions (tactile ou souris) que proposent ces matériels mérite d'être étudiée. Une étude récente de Schneps et al. (2014) montre que l'utilisation d'un simulateur 3D du système solaire aiderait à réduire les idées fausses en astronomie chez des élèves de 15 ans. Le geste "pinch-to-zoom" aiderait notamment à mieux appréhender les échelles très étendues rencontrées dans ce domaine. Nous avons repris ici une partie du matériel de cette étude mais la méthodologie utilisée fut différente : un groupe contrôle sur ordinateur a été mis en place pour réellement évaluer l'influence du Multi-Touch dans les activités. Une éventuelle amélioration de l'utilisabilité liée à ce nouveau mode a été recherchée ainsi que d'éventuels bénéfices sur la conceptualisation des notions abordées.

2 L'apprentissage avec des simulations via une interface tactile

2.1 Caractéristiques d'une simulation

Contrairement à une animation, que l'on peut apparenter à un dessin animé, une simulation se base sur un modèle scientifique pour décrire un phénomène et les différentes images affichées sont calculées en fonction des paramètres constitutifs de ce modèle. L'utilisateur, en faisant varier ces paramètres, contrôlera le scénario qui sera exécuté dans la

simulation. L'aspect exploratoire de ces hypermédias sera donc favorable à des situations d'apprentissage actives (Plass et Schwartz, 2014).

Le degré de contrôle intrinsèque important des simulations pourrait entraîner une surcharge cognitive pour l'apprenant. Mais Rebetez et Bétrancourt (2007) ont pourtant montré qu'il n'y avait pas de différence sur le niveau de l'apprentissage entre une animation et une simulation, cette dernière, ressentie plus stimulante du fait de son interactivité élevée, permettait même d'atteindre plus rapidement un même niveau de connaissances que l'animation.

Du fait du caractère exploratoire des simulations, on peut donc envisager également que l'interface Multi-Touch soit susceptible d'influencer le ressenti de l'utilisateur mais aussi la tâche d'apprentissage comme évoqué ci-après.

2.2 L'interface Multi-Touch

Les dispositifs Multi-Touch sont des dispositifs de navigation tactile où chaque point de contact permet de déclencher une action. La combinaison des différents points de contact permet la mise en place de gestes assurant la navigation dans l'interface (zoom, rotation, déplacement). Ces particularités de l'interaction Multi-Touch amènent à questionner l'existence :

- D'une meilleure utilisabilité.
- D'un encodage facilité par le geste (cognition incarnée).

Une étude de Jokisch et al (2011) sur l'utilisation de GoogleEarth en Multi-Touch montre une certaine affordance pour les gestes de déplacement d'objet ou de zoom promettant une utilisabilité perçue améliorée pour ces actions avec une telle interface. Pour Bétrancourt (2012), à la différence de l'utilisation d'une souris, cette interaction directe avec l'interface permettrait de faciliter la coordination œil-main et pourrait faire baisser les ressources cognitives mises en jeu par l'utilisateur. Wood et al. (2005) confirment d'ailleurs que la souris, bien qu'étant le meilleur dispositif pour un pointage fin, est le dispositif qui demande le plus d'effort cognitif et moteur.

Les aptitudes visuo-spatiales se décomposent en plusieurs sous-compétences qui sont mises en jeu pour se repérer dans l'environnement lors d'activités de navigation par exemple ou lorsqu'il est nécessaire de changer de point de vue... Elles sont sollicitées dans des activités diverses à l'école comme en géométrie, en dessin...(Barisnikov et Pizzo, 2007). Or, des plus values liées au Multi-Touch sont avancées dans les domaines mettant en jeu ces compétences chez des élèves âgés de 8 à 15 ans, âges correspondants aux nouveaux cycles 2 (des apprentissages fondamentaux), 3 (de consolidation) et 4 (des approfondissements) de l'école élémentaire et du collège: la manipulation de modèles 3D de solides via une interface tactile aiderait des élèves de 8 à 15 ans à résoudre des exercices de géométrie (Bertolo, 2013), mais également la mémorisation spatiale serait facilitée par l'utilisation d'une telle interface. (Tan et al., 2002 ; Jetter et al., 2012). Dans le domaine des mathématiques, le simple fait de repasser au doigt sur un écran une courbe permet une meilleure compréhension de la construction de ces courbes par des enfants âgés de 8 à 11 ans.(Agostinho et al., 2015)

2.3 Cadre théorique et hypothèses retenues

L'utilisabilité, telle que définie par la norme ISO 9241-11, renvoie au "degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficacité et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié". Le Multi-

Touch, par l'utilisation directe de gestes sur l'écran, modifie en profondeur les interactions entre l'utilisateur et le système. De cette modification et des résultats présentés dans le chapitre précédent découle la première hypothèse de cette étude :

1. Le Multi-Touch améliore l'utilisabilité ressentie lors de l'utilisation d'une simulation.

Paas et al. (2003) définissent trois composantes à la charge cognitive :

- La charge cognitive intrinsèque liée à la structure des informations à acquérir.
- La charge cognitive inutile liée à la présentation des informations.
- La charge cognitive pertinente liée à l'effort pour automatiser les schémas pertinents.

Les propriétés du multi touch énoncées dans le paragraphe précédent, en facilitant la coordination oeil-main, simplifient la perception des données affichées et de leurs transformations, soit des exigences cognitives générant une charge cognitive inutile. Or, Paas et al. (2003) précisent que les différentes composantes de la charge cognitive sont additives et qu'une hausse des performances d'apprentissage peut être envisagée par augmentation de la charge pertinente suite à une baisse depuis une des deux autres composantes. Enfin, Chevalier et al. (2004) ont montré une corrélation entre une amélioration de l'utilisabilité d'un site web et la charge cognitive globale. Cela nous amène donc à faire les deux autres hypothèses suivantes :

2. Une amélioration de l'utilisabilité perçue liée au Multi-Touch s'accompagnera d'une diminution de la charge cognitive inutile lors de l'utilisation des simulations.
3. Cette baisse de charge cognitive inutile permettra une amélioration de l'apprentissage grâce à un transfert de charge inutile vers de la charge pertinente.

3 Méthodologie

3.1 Participants

La population de cette étude était constituée d'élèves de seconde générale : 48 élèves répartis en deux groupes (ordinateurs et tablettes) de 24 constituaient l'échantillon choisi.

3.2 Matériel

Le logiciel d'astronomie Solar-Walk, disponible pour les systèmes d'exploitation iOS et Mac OS X a été utilisé dans cette étude sur des tablettes Apple iPad2 et sur des ordinateurs Apple Mac Mini et Mac Book-Pro. Identique, tant du point de vue des décors que des contrôles disponibles, sur les deux plateformes, Solar-Walk permet de mesurer l'influence seule de l'interface Multi-Touch sur son utilisabilité mais aussi sur l'activité d'apprentissage qui en découle.

3.3 Procédure

Le protocole mis en place pour répondre aux questions posées peut se décomposer en quatre étapes successives (cf. Figure 1) correspondant à :

- La récolte, en ligne, d'informations sur le participant et sur ses connaissances antérieures en astronomie (pré-test).
- Deux activités à réaliser avec Solar-Walk portant sur le mouvement des planètes et les échelles dans le système solaire pour la première et sur les phases de la Lune pour la seconde. Les consignes de réalisation des activités ont été distribuées sur une feuille papier aux participants. Chaque activité était suivie d'un questionnaire en ligne d'évaluation subjective de la charge cognitive.

- Une étape bilan, toujours en ligne, permettant de mesurer l'utilisabilité perçue par les élèves de Solar-Walk et d'évaluer, grâce à un post-test, l'apprentissage suite aux activités.

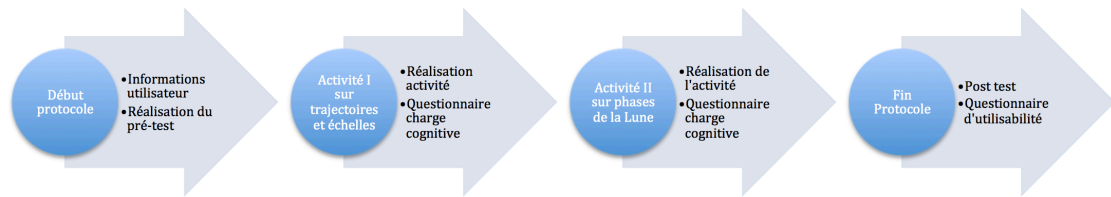


Figure 1. Chronologie des étapes du protocole.

Les pré-test et post-test sont composés de 15 questions provenant de la banque de questions à choix multiples ASSCI (Astronomy and Space Science Concept Inventory) destinées à évaluer les connaissances des élèves et des enseignants sur des concepts d'astronomie. (Sadler et al., 2009).

*Exemple de question sur les échelles dans le système solaire :
Si vous représentez le soleil par un ballon de basket, à quelle distance placeriez-vous, à la même échelle, un modèle de la Terre ?
a) 30 cm ou moins. b) 1,5 m. c) 3 m. d) 7,5 m. e) 30 m.*

A la fin de chaque activité un questionnaire a été proposé pour évaluer de manière subjective la charge cognitive mise en jeu par cette dernière. Il a été construit à partir de la version modifiée par Gerjets et al. (2004) du questionnaire d'évaluation de la charge mentale NASA-TLX de Hart et Staveland (1988). Il permet d'évaluer les trois dimensions de la charge cognitive (intrinsèque, inutiles et pertinente). L'estimation de la valeur des efforts et demandes mentales correspondant aux différentes charges cognitives a été mesurée grâce à une échelle de Likert à 11 points, échelle allant de très faible (0) à très fort (10).

Exemple d'item : Dans cette activité sur la trajectoire des planètes et les échelles dans le système solaire, la place des activités telles que penser, décider, calculer se souvenir, observer, chercher... a été :

L'utilisabilité a été évaluée de manière subjective par un questionnaire SUS (Brooke, 1996). Composé de dix items, il mesure l'utilisabilité en calculant un score de 0 à 100 à l'aide d'une échelle de Likert à 5 points allant de "pas du tout d'accord" (1) à "tout à fait d'accord" (5). Ce questionnaire est particulièrement adapté pour comparer l'utilisabilité d'une même application basée sur différentes technologies (Brooke, 2013). Enfin, dans leur étude sur la structure du questionnaire SUS, Lewis et Sauro (2009) sont arrivés à la conclusion que ce dernier présentait une structure interne mesurant en fait deux propriétés du système :

- son utilisabilité ("usability") pour huit items sur dix,
- sa facilité d'apprentissage ("learnability") pour les deux items restants.

Ces deux composantes ont également été mesurées dans cette étude.

Exemples d'items : Je pense que je vais utiliser ce logiciel fréquemment. Je trouve ce logiciel inutilement complexe.

Les tests se sont déroulés en deux demi-journées (six heures). A chaque heure, huit participants suivaient le protocole détaillé précédemment (4 sur iPad2 et 4 sur ordinateur).

4 Principaux résultats

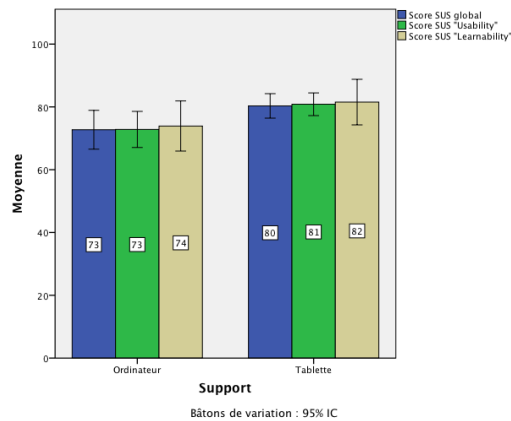
Les moyennes obtenues au pré-test (Tableau 1) montrent un niveau de connaissances antérieures de l'ensemble des participants relativement bas en astronomie (moyenne autour de 4/15) et équivalent pour le groupe tablettes et ordinateurs : $t(44) = -0.79, p = .432$.

Tableau 1. Moyennes des scores au pré-test en fonction du support utilisé.

	Support	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Score Pré-test	Ordinateur	23	4.00	1.81	.38
	Tablette	23	4.48	2.25	.47

4.1 Hypothèse I : Effet sur l'utilisabilité ressentie

On observe un score supérieur d'environ 10 points dans le cas de l'utilisation des tablettes pour les trois facteurs (score SUS global, "usability" et "learnability") et une dispersion plus faible des résultats dans le cas du groupe "tablettes" (Cf. Figure 2). Cette hausse de l'utilisabilité perçue lors de l'utilisation d'une interface Multi-Touch n'est cependant statistiquement significative que dans le cas de la mesure globale du score SUS ($t(44) = -2.156, p = 0.019$) et de sa composante "usability" ($t(44) = -2.448, p = 0.010$).

**Figure 2. Moyennes des différents scores SUS en fonction du support utilisé.**

4.2 Hypothèse II : Effet sur la charge cognitive

Les moyennes obtenues et présentées dans le tableau 2 ci-dessous indiquent une charge inutile ressentie plus faible dans le cas de l'interface Multi-Touch notamment dans l'activité I traitant des trajectoires des planètes et des échelles dans le système solaire. Là encore, la dispersion des résultats est plus faible pour le groupe "tablettes".

Tableau 2. Valeurs moyennes des charges cognitives inutiles pour les activités en fonction du support utilisé.

	Support	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Charge inutile activité I	Ordinateur	3.51	2.01	.42
	Tablette	1.81	1.45	.30
Charge inutile activité II	Ordinateur	3.52	2.00	.42
	Tablette	2.58	1.60	.33

Ces résultats sont significatifs notamment dans l'activité I traitant des trajectoires des planètes et des échelles dans le système solaire : $t(44) = 3.282, p = .001$ pour l'activité I.

On observe de plus une corrélation négative significative entre les charges inutiles ressenties et l'augmentation de l'utilisabilité perçue pour les deux activités (cf. Figure 3) ce qui tend à montrer qu'une hausse de l'utilisabilité perçue s'accompagne d'une baisse de la charge cognitive inutile ressentie dans l'activité.

Tableau 3. Corrélations entre les charges inutiles et le score SUS pour chaque activité.

	1	2	3
1. Charge inutile : activité I	–		
2. Charge inutile : activité II	.607**	–	
3. Score SUS	-.549**	-.380**	–
** p < .01, bilatéral			

4.3 Effet sur l'apprentissage

L'analyse des moyennes obtenues pour le groupe "tablettes" et pour le groupe "ordinateurs" sur les 15 questions des pré-test et post-test montre une faible augmentation des résultats dans les deux cas. (cf. Tableau 4).

Tableau 4. Moyennes des résultats obtenus au pré-test et au post-test en fonction du support utilisé.

Support	Résultats pré-test /15			Résultats post-test /15		
	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Ordinateur	4.00	1.81	.38	4.74	2.28	.48
Tablette	4.48	2.25	.47	5.65	1.87	.39

Pour vérifier si cette évolution était statistiquement significative et pour savoir si le support utilisé dans l'activité (tablette ou ordinateur) jouait un rôle dans cette évolution, une analyse globale des résultats sous forme d'analyse de variance à mesures répétées a été effectuée. Un effet est bien présent sur l'apprentissage suite à l'activité, $F(1,44) = 8.06, p = .007$ même si cette augmentation reste cependant faible (autour d'un point sur 15 en moyenne). Par contre, aucun effet du support utilisé n'a été trouvé dans ce test, $F(1,44) = .42, p = .522$. Cependant, une analyse activité par activité montre un résultat plus proche du seuil de signification concernant l'influence du Multitouch dans le cas des questions portant sur les échelles et distances : $F(1,44) = 2.64, p = .111$

Vu la faiblesse des résultats obtenus, les questions ont été classées en trois catégories (faciles, moyennes, difficiles). Les graphiques ci-dessous (Figure 3) présentent les évolutions entre le pré-test et le post-test pour chaque difficulté de questions. Une augmentation modeste des résultats est observée pour les questions faciles et moyennes, avec une hausse plus importante pour le support tablettes dans le cas des questions faciles.

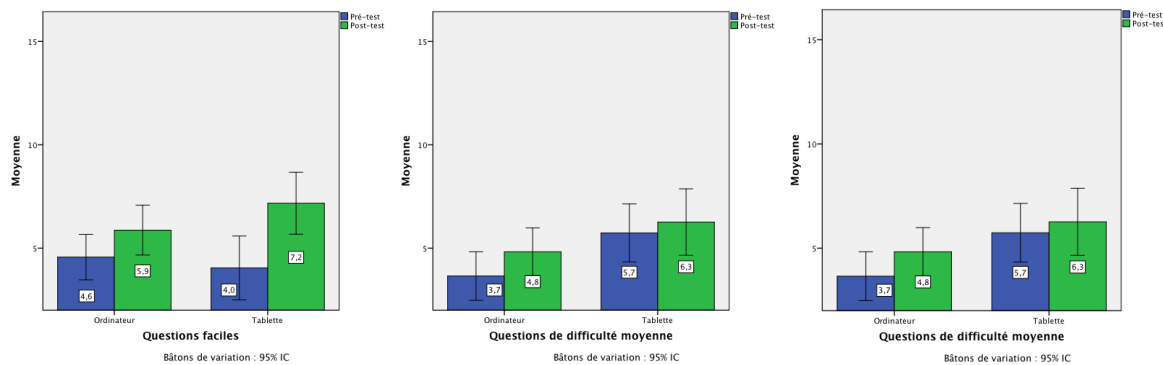


Figure 3. Scores moyens sur les questions faciles, moyennes et difficiles en fonction du support utilisé.

Un apprentissage modeste pour les questions de type facile est observé ($F(1,44) = 19.53, p = .000$) mais il n'y a toujours pas d'effet significatif du support dans cet apprentissage ($F(1,44) = 3.31, p = .076$).

5 Discussion

5.1 Analyse des principaux résultats

Les résultats obtenus confirment bien l'hypothèse d'une hausse importante de l'utilisabilité ressentie dans le cas de l'utilisation de la simulation avec la tablette dotée d'une interface Multi-Touch. La charge cognitive inutile est bien perçue plus faible dans le cas de l'utilisation de la simulation via la tablette et les résultats obtenus montrent bien une corrélation négative entre l'utilisabilité perçue et la charge cognitive inutile perçue, ce qui confirme l'hypothèse faite au départ.

En analysant activité par activité les résultats, il apparaît que la baisse de charge cognitive inutile et la corrélation entre utilisabilité perçue et charge cognitive inutile sont plus fortes dans le cas de l'activité mettant en jeu des notions d'échelle et de distance dans l'univers conformément à l'étude de Schneps et al. (2014). Cette activité nécessite une utilisation plus fréquente du geste *pinch to zoom*, geste dont l'affordance a été évoquée dans la première partie suite aux travaux de Jokisch et al. (2011), ce qui semble plaider en faveur de l'existence d'une amélioration de l'utilisabilité liée à l'utilisation de ce geste dans ce cadre spécifique.

L'analyse des différences de résultats entre pré-test et post-test montre un apprentissage dans l'activité proche de la signification même si celui-ci reste très faible. Cependant, contrairement à l'hypothèse que nous avons formulée, aucune influence notable du support n'est détectée dans cette hausse des résultats. Mais là encore, nous retrouvons une différence selon le type d'activité, avec une influence du support sur les résultats plus importante dans le cas des activités mettant en jeu des notions d'échelle. Cela conforte l'idée qu'un "effet" existe concernant l'utilisation du geste "pinch to zoom" mais il semble bien qu'il soit marginal et insuffisant ici pour amener un bénéfice réel sur l'apprentissage, le niveau à atteindre dans l'activité étant probablement trop élevé.

5.2 Limites de l'étude et perspectives

Suite au classement des questions selon leurs difficultés, il est apparu que toutes les questions concernant les distances et ayant trait à la notion d'échelle se sont trouvées classées dans les questions faciles. Cela semble cohérent avec l'effet de seuil sur les activités précédemment évoqué et donc un effet du Multitouch difficile à détecter, car parasité par des activités cognitives plus coûteuses. De plus, dans cette étude, seule l'homogénéité des groupes sur les compétences en astronomie a été testée. Or, une mesure des aptitudes visuospatiales aurait été également utile pour détecter un éventuel bénéfice du Multitouch sur les élèves présentant des difficultés dans ces aptitudes. En effet, selon Barisnikov et Pizzo (2007), de 3,5 à 5% des enfants en âge scolaire présentent des troubles dans les apprentissages non-verbaux liés à des difficultés dans les aptitudes visuospatiales. Dans les activités proposées ici, des aptitudes visuospatiales dynamiques, selon la classification de Newcombe et Shipley (2015), devaient être mobilisées pour comprendre les phénomènes étudiés : transformer le codage spatial des objets (rotation, zoom, déplacement) et mettre à jour les relations spatiales inter-objets lors du mouvement d'un objet ou lors du mouvement de l'observateur.

Ces aptitudes doivent être travaillées dès le cycle 2 et consolidées dans le cycle 3 (jusqu'en sixième) pour acquérir des compétences dans le domaine mathématiques, espace et géométrie : programmer des déplacements dans des espaces virtuels, étudier des représentations de l'espace environnant, reconnaître les points de vue et changer de point de vue. Des activités exploitant des logiciels de cartographie manipulables en Multitouch

pourraient par exemple permettre de vérifier l'apport du geste dans l'appréhension de l'espace environnant pour des élèves de primaire de cycle 2 et de cycle 3.

Enfin les résultats obtenus dans cette étude concernant les notions de changement d'échelle pourront également inciter à utiliser le Multitouch dans des activités de cycle 4 en physique-chimie (élèves de collège de la 5^{ème} à la 3^{ème}). Dans la partie le monde et son environnement l'élève doit repérer l'échelle de travail pertinente dans une situation donnée : de l'échelle astronomique à l'échelle de la particule. Un apport de l'utilisation du Multitouch, plus particulièrement du geste pinch-to-zoom dans des simulations scientifiques en astronomie ou des gestes de rotation à deux doigts dans la manipulation de modèles moléculaires, pour l'acquisition des notions d'échelles microscopiques et macroscopique et dans l'évaluation des ordres de grandeur mérite d'être recherché.

6 Bibliographie

Agostinho, S., Tindall-Ford, S., Ginns, P., Howard, S. J., Leahy, W., & Paas, F. (2015). Giving Learning a Helping Hand: Finger Tracing of Temperature Graphs on an iPad. *Educational Psychology Review*, 27(3), 427–443. doi :10.1007/s10648-015-9315-5

Barisnikov, K., & Pizzo, R. (2007). Chapitre 6 : L'examen des compétences visuo-spatiales. *PSY-Évaluation, mesure, diagnostic*, 139–170.

Bertolo, D. (2013). Les Interactions sur Tablettes Multi-touch améliorent-elles l'Apprentissage de la Géométrie dans l'Espace ? Communication présentée au 25ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'13.

Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189, 194.

Brooke, J. (2013). SUS: A Retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29–40.

Chevalier, A., Kicka, M., & Cegarra, J. (2004). Quels sont les effets de la qualité ergonomique d'un site web et de l'expérience des utilisateurs sur la charge cognitive et le temps de navigation.

Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2004). Designing Instructional Examples to Reduce Intrinsic Cognitive Load: Molar versus Modular Presentation of Solution Procedures. *Instructional Science*, 32(1-2), 33–58. doi :10.1023/B:TRUC.0000021809.10236.71

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. Dans Peter A. Hancock and Najmedin Meshkati (éd.), *Advances in Psychology, Volume 52* (pp. 139–183). (S.I.) : North-Holland. (04409).

Jetter, H.-C., Leifert, S., Gerken, J., Schubert, S., & Reiterer, H. (2012). Does (Multi-)Touch Aid Users' Spatial Memory and Navigation in « Panning » and in « Zooming & Panning » UIs? Dans *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces* (pp. 83–90). ACM : New York, NY, USA. doi :10.1145/2254556.2254575

Jokisch, M., Bartoschek, T., & Schwering, A. (2011). Usability Testing of the Interaction of Novices with a Multi-touch Table in Semi Public Space. Dans *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction: Interaction Techniques and Environments - Volume Part II* (pp. 71–80). Springer-Verlag : Berlin, Heidelberg. Repéré à <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2022466.2022475>

Lewis, J. R., & Sauro, J. (2009). The Factor Structure of the System Usability Scale. Dans M. Kurosu (éd.), *Human Centered Design, 5619* (pp. 94–103). Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg.

Newcombe, N. S., & Shipley, T. F. (2015). Thinking About Spatial Thinking: New Typology, New Assessments. Dans J. S. Gero (éd.), *Studying Visual and Spatial Reasoning for Design Creativity* (pp. 179–192). (S.l.) : Springer Netherlands.

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1–4.
doi :10.1207/S15326985EP3801_1

Plass, J. L., & Schwartz, R. N. (2014). Multimedia Learning with Simulations and Microworlds, 729–761.

Rebetez, C., & Bétrancourt, M. (2007). Faut-il vraiment prôner l'interactivité dans les environnements multimédias d'apprentissage ? *Actes de la conférence EIAH 2007*.

Sadler, P. M., Coyle, H., Miller, J. L., Cook-Smith, N., Dussault, M., & Gould, R. R. (2009). The Astronomy and Space Science Concept Inventory: Development and Validation of Assessment Instruments Aligned with the K–12 National Science Standards. *Astronomy Education Review*, 8(1), 010111. doi :10.3847/AER2009024

Tan, D. S., Pausch, R., Stefanucci, J. K., & Proffitt, D. R. (2002). Kinesthetic Cues Aid Spatial Memory. Dans *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 806–807). ACM : New York, NY, USA. doi :10.1145/506443.506607

Wood, E., Willoughby, T., Rushing, A., Bechtel, L., & Gilbert, J. (2005). Use of Computer Input Devices by Older Adults. *Journal of Applied Gerontology*, 24(5), 419–438.
doi :10.1177/0733464805278378