

Les Interactions sur Tablettes Multi-touch améliorent-elles l'Apprentissage de la Géométrie dans l'Espace ?

David Bertolo

► **To cite this version:**

David Bertolo. Les Interactions sur Tablettes Multi-touch améliorent-elles l'Apprentissage de la Géométrie dans l'Espace ?. 25ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'13, Nov 2013, Bordeaux, France. <hal-00879637>

HAL Id: hal-00879637

<https://hal.inria.fr/hal-00879637>

Submitted on 4 Nov 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les Interactions sur Tablettes Multi-touch améliorent-elles l'Apprentissage de la Géométrie dans l'Espace ?

BERTOLO David

Université de Lorraine

LCOMS

57000, Metz, France

david.bertolo@univ-lorraine.fr

RESUME

Les tablettes tactiles multi-touch équipées de capteurs sont devenues courantes. Ces nouveaux périphériques ont permis de réaliser de nouvelles interactions. Leur simplicité d'utilisation y compris chez les enfants a rapidement intéressé le milieu scolaire. Nous pensons que ces nouvelles interactions peuvent faciliter l'apprentissage de la géométrie dans l'espace pour les enfants de 9 à 15 ans en leur permettant d'être davantage focaliser sur leur apprentissage que sur la manipulation des outils.

Mots Clés

3D user interface; Interactions; multi-touch; 3DOF; rotations; child-computer interaction.

ACM Classification Keywords

H.5.2. [Information Interfaces and Presentation]: User Interfaces – Interaction styles, G.4 [Mathematical Software]: User interfaces.

INTRODUCTION

Aujourd'hui les tablettes tactiles équipées d'interfaces multi-touch et de capteurs en tout genre sont devenues courantes. De plus en plus d'établissements scolaires mettent en place des expérimentations dans le but d'évaluer les éventuels apports pédagogiques de ces nouveaux outils. Avec ces nouveaux périphériques de nouvelles interactions sont devenues possibles. Elles permettent de réaliser de façon plus simple des manipulations qui seraient parfois difficiles et peu intuitives si l'on utilisait uniquement le clavier et la souris. Un des domaines des mathématiques qui pourrait particulièrement tirer profit de ces outils est la géométrie dans l'espace. En effet, la manipulation de solides virtuels à partir des logiciels de géométrie dynamique dans l'espace classique est loin d'être évidente pour les élèves de primaire et de collège.

Le but de notre étude est de voir d'une part si ces élèves arrivent à s'approprier facilement ces nouvelles interactions et d'autres part si celles-ci permettent d'aider

les élèves lors de la résolution d'exercices de géométrie dans l'espace, voire de son apprentissage.

CADRE THEORIQUE

Interactions et manipulation 3D

Alors que les techniques d'interaction en deux dimensions ont été largement explorées, la manipulation d'objet en 3D est encore un challenge. La principale difficulté réside dans la transformation d'un geste en 2D en un déplacement en 3D. Les widgets 3D ont été largement utilisés pour faciliter les manipulations.

Cohé et al. [5] ont exploré une approche où les utilisateurs appliquent des rotations par des gestes physiquement possibles. Ils ont développé un widget appelé *tBox* qui permet de gérer les translations, rotations et agrandissements à partir de gestes.

De nombreux chercheurs ont exploré les techniques d'interaction multi-touch pour gérer plusieurs degrés de liberté (DOF) en même temps. Hancock et al. [9] ont proposé d'utiliser de un à trois doigts pour gérer les objets sur une petite profondeur. Martinet et al. [12] ont étendu les quatre vues techniques en ajoutant un système de téléportation. Ils ont aussi introduit la z-technique (bi-manuelle). Avec la complexité des techniques d'interaction multi-touch, Kammer et al. [11] ont défini une grammaire pour formaliser les gestes multi-touch.

Hurst and Helder [10] ont étudié l'utilisation de l'accéléromètre pour gérer la rotation de l'observation ou de la scène et de l'observateur en même temps.

La géométrie dans l'espace à l'école

A partir de leur plus jeune âge, les enfants jouent et manipulent des solides comme les cubes et les pavés. Cependant, lors des évaluations nationales de CM2 de 2011, 40 % des élèves n'ont pas été en mesure de décrire correctement un pavé (nombre de faces et d'arêtes) à partir de sa représentation en perspective cavalière (Figure 1, gauche). De même près de 50 % des élèves n'ont pas réussi à accomplir cette tâche pour un prisme.

Les recherches de Piaget et Inhelder [14] ont mis en avant trois stades de développement des représentations spatiales chez l'enfant :

- l'*incapacité synthétique* entre 3 et 4 ans lorsque les dessins ne correspondent pas à la perception ;

- le *réalisme intellectuel* entre 4 et 8 ans lorsque les enfants sont capables d'analyser l'espace par observation. Les relations spatiales commencent à être coordonnées et les relations de projection émergent.
- le *réalisme visuel* à partir de 8-9 ans lorsque les enfants commencent à utiliser la perspective.

C'est pourquoi nous avons limité notre étude aux élèves de cycle 3 et de collège.

De nombreuses recherches ont complété celles entreprises par Piaget avec notamment les travaux de Dolle [7] et Guillermain [8]. Audibert et Keita [2] ont souligné les difficultés des élèves à réaliser et à interpréter correctement des dessins en perspective cavalière (Figure 1, droite)

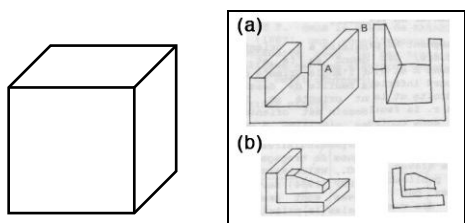


Figure 1. A gauche : pour un élève, qu'est-ce qui est représenté ? Est-ce que c'est un cube ou un carré et deux parallélogrammes ? A droite : Deux productions d'élèves qui ont représenté la vue de face à partir de la vue en perspective.

En 1988, Parzys [13] et un peu plus tard Parzys et Colmez [6] ont expliqué le conflit pour les élèves entre « le vu et le su » lors de la réalisation et de l'interprétation de la représentation d'un solide en perspective cavalière. Leur étude a mis en lumière trois différents stades :

- entre 8 et 10 ans, les dessins en perspectives sont basés sur ce qui est vu ;
- entre 10 et 15 ans, il y a un conflit dans les représentations entre ce qui est vu et ce qui est su ;
- à partir de 15 ans, les dessins en perspectives sont basés sur ce qui est su.

Pour résoudre le conflit mental entre le solide et sa représentation dans le plan, Audibert et Bonafé [1] recommandent fortement, d'utiliser des solides réels ou de les faire construire aux élèves. Ils soulignent l'importance des manipulations qui permettent de montrer les contradictions entre le solide et sa représentation.

Pour confronter recherches didactiques et ressentis sur le terrain, nous sommes allés interroger 28 enseignants de primaire et de collège. Tous se sont accordés à dire que la géométrie dans l'espace est un des domaines des mathématiques difficile à enseigner et posant problème à un bon nombre d'élèves. De plus 82 % d'entre eux ont fait ressortir que bien qu'il existe plusieurs logiciels de

géométrie dynamique dans l'espace (Calque 3D, Geospace, Cabri 3D) ceux-ci ne sont pas adaptés à des élèves de 9 à 15 ans. La principale raison de cette inadaptation mise en avant est la difficulté de création ou de manipulation des solides ou de leurs patrons. Ces enseignants préféreraient que les élèves se concentrent sur l'apprentissage de la géométrie dans l'espace plutôt que sur l'apprentissage de l'utilisation d'un logiciel.

DEVELOPEMENT D'UN PROTOTYPE

A partir de ce cadre théorique et d'une série d'entretiens avec des enseignants et des élèves, nous avons élaboré un ensemble cohérent d'interactions permettant de prendre en compte l'ensemble des besoins et des contraintes. Nous avons ensuite décidé de réaliser un prototype (Figure 2) d'application sur une tablette (un iPad©) afin de voir si ce type d'outil permettait de supprimer le principal défaut mis en avant par les enseignants dans les logiciels proposés, à savoir la difficulté d'utilisation par les élèves. Nous nous sommes fixés plusieurs contraintes issues soit des entretiens avec les enseignants soit du choix du terminal d'application :

1. un élève doit pouvoir manipuler un solide même si un ou plusieurs doigts le cache (ce qui arrive très vite sur une tablette si la densité informationnelle est importante) ;
2. une scène peut contenir plusieurs solides et chaque solide doit pouvoir être manipulé indépendamment des autres ;
3. un élève doit pouvoir observer la scène depuis tout point de vue qui lui semblerait utile ;
4. les interactions doivent être les plus simples possible et par conséquent, un élève ne doit pas avoir à chercher la bonne action dans un menu complexe et l'apprentissage de l'application minimum.

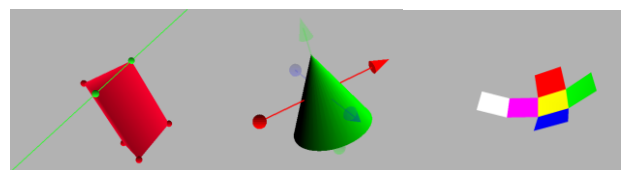


Figure 2. Trois captures d'écran du prototype.

A partir de ces contraintes, nous avons développé notre prototype. Nous avons utilisé des interactions directes (le doigt touche le solide) et des interactions indirectes (le doigt ne touche pas le solide). Le prototype actuel utilise trois types d'interactions différentes :

- les interactions tangibles pour la création des solides ;
- les interactions multi-touch pour la suppression de solides, les translations, les rotations, la gestion des patrons de solides et la duplication ;

- les interactions à partir de capteur comme le gyroscope pour la gestion de la position d'observateur autour de la scène ou pour définir le point visé.

EXPERIENCES UTILISATEURS

Lorsque le prototype a été suffisamment avancé, nous avons réalisé deux tests utilisateurs. Le premier visait à vérifier l'acceptabilité de notre ensemble d'interactions par les élèves [4]. Ensuite, nous avons voulu évaluer si celui-ci peut être une aide lors de la résolution d'exercices de géométrie dans l'espace. Il ne s'agissait pas ici d'évaluer si les élèves ont acquis des compétences à partir de l'utilisation de la tablette et si ces compétences étaient transférables par la suite en ne l'utilisant plus. Le but ici était bien plus modeste et consistait à voir si notre prototype est déjà une aide à la résolution des exercices et permet a minima aux élèves de remettre en cause leur représentation initiale lorsque celle-ci se révèle fautive. Pour cela, nous avons réalisé une seconde expérimentation [3] dans laquelle les élèves ont dû résoudre 4 exercices de géométrie dans l'espace.

Participants

Nous avons constitué un groupe de 22 élèves (10 garçons et 12 filles) âgés de 10 à 15 ans. Ces élèves étaient issus d'une école primaire et d'un collège. De plus, le groupe a été constitué pour être représentatif des différentes catégories d'élèves. Durant l'expérimentation, les élèves ont été divisés en trois groupes : un groupe papier (GP, 8 élèves) utilisant uniquement des feuilles ; un groupe tablettes (GT, 7 élèves) utilisant des feuilles et des tablettes ; un groupe solides (GS, 7 élèves) utilisant des feuilles et des solides pédagogiques.

Méthode

L'expérimentation s'est déroulée sur 3 journées différentes pendant une semaine. Les deux premiers jours se sont succédés et le troisième était exactement une semaine après le premier. L'expérimentation était découpée en trois sessions, la première ayant lieu le premier jour et les deux suivantes ayant lieu le troisième jour :

- pré-test (session 1) : Tous les élèves ont réalisé un test composé de 4 exercices en utilisant uniquement une feuille de papier et un stylo. Cette session a servi de test diagnostique pour la constitution des groupes et n'a pas été corrigée.
- test (session 2) : Les élèves ont été séparés en trois groupes : un groupe papier (GP, 8 élèves), un groupe tablettes (GT, 7 élèves) et un groupe solides (GS, 7 élèves). Les trois groupes ont réalisé un second test (de 4 exercices) similaire au premier et identique pour les 3 groupes. GP n'a disposé que de papier, GT a disposé de tablettes équipées de notre prototype et GS de solides pédagogiques correspondant aux différents exercices. Pour créer les groupes, nous avons pris en compte deux

facteurs : la typologie des erreurs du premier test et l'âge. Une analyse statistique a montré l'absence de différence significative entre les trois groupes. Le test n'a pas été corrigé.

- post-test (session 3) : Nous avons demandé aux élèves de corriger si besoin les exercices qu'ils venaient de faire lors du test. Les conditions ont été les mêmes que durant le test.

La deuxième journée de l'expérimentation n'a concerné que les élèves du groupe tablette. Ceux-ci ont participé à deux sessions d'entraînement avec le prototype sur des tâches n'ayant aucun lien avec le pré-test, le test ou le post-test.

Résultats et discussion

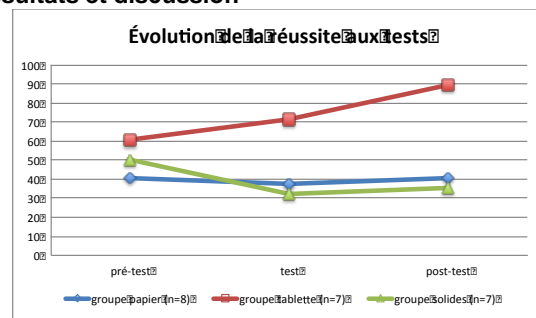


Figure 3. Taux de réussite en pourcentage pour chaque groupe et session.

La figure 3 montre le taux de réussite pour le pré-test, le test et le post-test. Les trois groupes initialement constitués ne présentaient pas de différences significatives ($X^2=2.4107$, $df=2$, $p=0.2996$). Nous pouvons noter que le seul groupe qui a une différence significative de ses résultats entre le pré-test et le post-test est le groupe utilisant les tablettes. Le groupe papier est quasiment constant ($X^2=0$, $df=1$, $p=1$), le groupe tablette augmente significativement son taux de réussite ($X^2=4.6667$, $df=1$, $p=0.03075$) et le groupe solides le diminue légèrement ($X^2=0.6562$, $df=1$, $p=0.4179$). Ces deux derniers résultats nous ont fortement surpris et particulièrement celui concernant les solides. Les entretiens avec les élèves ont fait ressortir trois raisons principales :

- Les élèves ont eu des difficultés à faire le lien entre les solides ou les scènes réelles et les représentations de ceux-ci sur la feuille.
- Certains élèves n'avaient pas l'habitude d'utiliser des solides pour réaliser des exercices.
- Les élèves du groupe utilisant les solides étaient plus confiants dans leurs réponses et 6 d'entre eux n'ont pas essayé de corriger leurs réponses lors du post-test.

Nous avons pu noter une évolution significative de la typologie des erreurs pour le groupe tablettes puisque

91% des erreurs étaient dues à la visualisation lors du pré-test et seulement 50% lors du post-test. Les élèves ont insisté sur le fait qu'ils pouvaient tourner autour des solides de façon réaliste et que lorsqu'ils s'arrêtaient ils disposaient d'une représentation dans le plan facilitant l'identification des bonnes réponses dans les énoncés. Il semblerait donc que l'utilisation de la tablette équipée de notre prototype soit une aide à la résolution des exercices sur le panel testé. Il nous semble cependant important de pointer certaines limites. En effet, l'apport de la tablette et de notre prototype n'est pas le même pour tous les exercices.

TRAVAUX FUTURS

Le prolongement immédiat de ce qui a déjà été réalisé va consister dans un premier temps à finaliser le prototype avec l'intégration des dernières fonctionnalités nécessaires et recensées comme par exemple le pliage et dépliage de solides de façon manuelle. Dans un second temps, l'accent sera mis sur la validation des concepts à l'aide de tests utilisateurs. Nous avons déjà prévu d'évaluer l'apport de notre prototype lors du travail sur les patrons et de réaliser avec le prototype final une évaluation impliquant un plus grand nombre d'élèves et sur une durée proche d'une année scolaire. Parallèlement aux tests utilisateurs qui seront mis en place, les interactions élaborées seront définitivement implémentées et évaluées afin de déterminer leurs limites de mise en œuvre, de performance et d'acceptabilité. La réflexion autour des besoins va continuer à s'effectuer de façon à permettre à terme la réalisation de séquences d'interactions. Une dernière piste à explorer sera la possibilité de réaliser des travaux collaboratifs en utilisant les interactions mises en place pour définir les échanges entre les diverses parties (enseignant-élève et élève-élève). Une approche itérative va être mise en œuvre pour affiner les solutions proposées. Le but étant d'obtenir un prototype fonctionnellement viable, accepté par les élèves et les enseignants et correspondant aux besoins repérés, mais aussi permettant un apport pédagogique mesuré.

CONCLUSION

Au niveau actuel de la thèse, nous avons montré qu'une première partie de l'ensemble d'interactions que nous avons défini a été très bien acceptée par les élèves. De plus, le prototype réalisé à partir de cet ensemble d'interactions a permis d'obtenir de meilleurs résultats que l'utilisation d'une simple feuille de papier ou de solides pédagogiques. Ces résultats encourageants, nous incitent à poursuivre l'expérimentation en classe sur une période plus longue afin de comparer l'effet de plusieurs ensembles d'interactions sur l'apprentissage de la géométrie dans l'espace.

BIBLIOGRAPHIE

1. Audibert G., Bonafé F., "Apprentissage de la perspective cavalière," in P. Rabardel, A. Weill-

Fassina, *Le dessin technique: Apprentissage, utilisations, évolutions.* Hermes, 1986, pp.139-147.

2. Audibert G., Keita B., "La perspective cavalière et la représentation de l'espace," in G. Vergnaud, G. Brousseau, M Hulin, GRECO didactique, CNRS. *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques.* La pensée sauvage editions, 1987, pp.109-126.
3. Bertolo D., Vivian R. and Dinet J. A Set of Interactions To Help Resolve 3D Geometry Problems, SAI'13 Proceedings of the Science and Information Conference 2013. IEEE, Oct. 7-9, 2013.
4. Bertolo D., Vivian R. and Dinet J. A Set of Interactions to Rotate Solids in 3D Geometry Context, CHI EA'13: Proceedings of CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pages 625-630. ACM, 2013.
5. Cohé A., Décle F. and Hachet M. tBox: A 3D Transformation Widget designed for Touch-screens CHI 2011 Canada 3005-3008.
6. Colmez F. & Parzysz B., "Le vu et le su dans l'évolution des dessins de pyramides du CE2 à la 2nd," in A. Bessto, P. Verillon and N. Balacheff, *Espaces graphiques et graphismes d'espaces.* La pensée sauvage editions, 1993, pp.35-55.
7. Dolle J.M., "Réflexions épistémologiques concernant la représentation graphique de l'espace tridimensionnel," in P. Rabardel, A. Weill-Fassina, *Le dessin technique: Apprentissage, utilisations, évolutions.* Hermes, 1986, pp.19-28.
8. Guillermain H., "Approche cognitive de la genèse de la représentation graphique en perspective," in P. Rabardel, *Le dessin technique: Apprentissage, utilisations, évolutions.* Hermes, 1986, pp.43-50.
9. M. Hancock, T. ten Cate, and S. Carpendale. Stickytools: Full 6DOF force-based interaction for multi-touch tables. In Proc. ITS, pages 145–152, 2009.
10. Hürst W. and Helder M. 2011. Mobile 3D Graphics and virtual reality interaction. In ACE'11 Proc. of the 8th international conference on advances in computer entertainment technology. ACM, 2011.
11. Kammer D., Wojdziak J., Keck M., Taranko S. Towards a formalization of multi-touch gesture ITS'10 novembre 7-10 2010 Saarbrücken.
12. Martinet A., G. Casiez, AND L. Grisoni 2010. The design and evaluation of 3d positioning techniques for multi-touch displays. In 3D User Interfaces, 2010 IEEE Symposium, 115 –118.
13. Parzysz B., "Knowing vs seeing," in *Educational Studies in Mathematics*, vol. 19, n°1, 1988.
14. Piaget J. and Inhelder B., *The Child's Conception of Space*, New York: W. W. Norton, 1948.