

Extrait du Les nouvelles technologies pour l'enseignement des mathématiques

<http://revue.sesamath.net/spip.php?article537>

Interactions sur tablettes tactiles et géométrie dans l'espace

- N°36 - septembre 2013 -

Date de mise en ligne : dimanche 23 juin 2013

Description :

Interactions sur tablettes tactiles et géométrie dans l'espace"

**Copyright © Les nouvelles technologies pour l'enseignement des
mathématiques - Tous droits réservés**

Aujourd'hui les tablettes tactiles équipées d'interfaces multi-touch et de capteurs en tous genres 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 « naturelles » 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'autre part si celles-ci permettent d'aider les élèves lors de la résolution d'exercices de géométrie dans l'espace.

Pourquoi la géométrie dans l'espace au primaire et au collège ?

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). De même près de 50 % des élèves n'ont pas réussi à accomplir cette tâche pour un prisme.

Les recherches de Piaget et Inhelder [7] [8] ont mis en avant trois stades de développement des représentations spatiales chez l'enfant :

- ▶ 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 [4], Wittling [9] et Guillermain [5]. Audibert et Keita [2] ont souligné les difficultés des élèves à réaliser et à interpréter correctement des dessins en perspective cavalière (Figure 2).

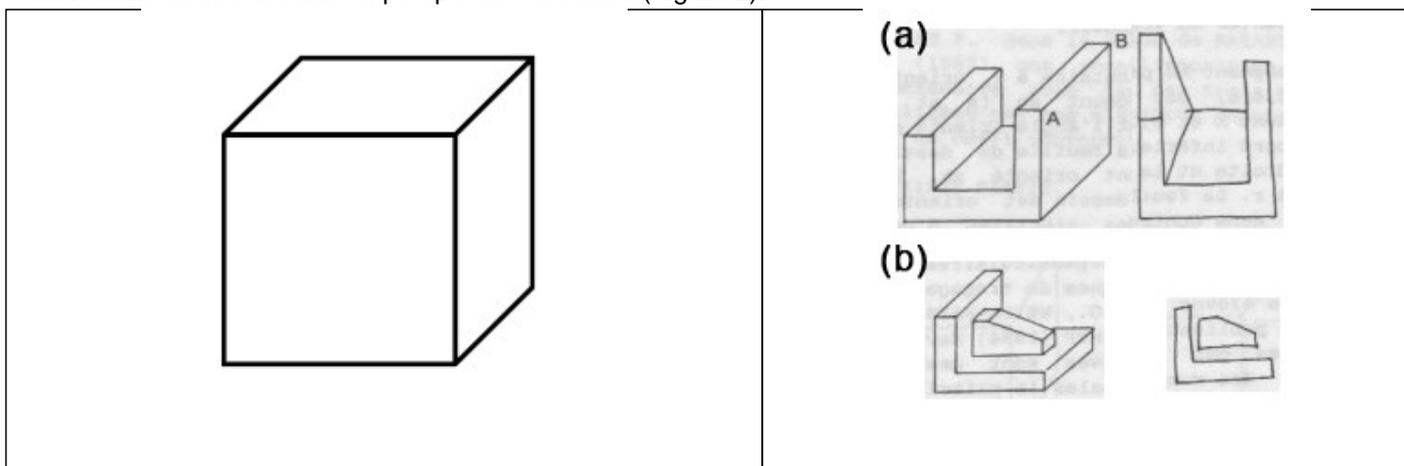


Figure 1. Pour un élève, qu'est-ce qui est représenté ? Est-ce que c'est un cube ou un carré et deux parallélogrammes ?

Figure 2. Deux productions d'élèves qui ont représenté la vue de face à partir de la vue en perspective.

En 1988, Parzysz [6] et un peu plus tard Parzysz et Colmez [3] 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. Ils ont analysé 1 500 dessins de plus de 1 200 élèves de 8 à 17 ans. 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 inadéquation 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.

Description du prototype

Nous avons donc décidé de réaliser un prototype 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.

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).

++++ La sélection :

Pour sélectionner un solide, il suffit de maintenir un contact avec le solide pendant 1 seconde. Une fois sélectionné, les axes relatifs au repère de l'objet apparaissent. Un contact d'une seconde supplémentaire fait apparaître des sphères de sélection des sommets dans le cas d'un polyèdre et les axes précédents disparaissent. Le mode sélection est cyclique, ce qui fait qu'à chaque contact d'une seconde, on passe d'un type de sélection à l'autre. Pour désélectionner un solide, il faut maintenir un contact pendant 1 seconde sur un endroit de la scène qui ne comporte pas de solide. Actuellement, la sélection multiple n'est pas prise en compte.

++++ Les translations :

Lorsqu'un solide n'est pas sélectionné, il est possible de le déplacer dans le plan de l'écran par un contact direct avec un seul doigt. Lorsque le solide est sélectionné, le contact indirect d'un doigt suffit à le déplacer dans le plan de l'écran. En utilisant un contact indirect de deux doigts avec un solide sélectionné, l'élève peut déplacer le solide en profondeur dans la scène en faisant varier l'écartement des doigts.

++++ Les rotations :

Pour réaliser des rotations avec un solide, celui-ci doit être sélectionné et les interactions sont toutes indirectes. A chaque type de sélection correspond un repère associé différent qui permet de réaliser des rotations différentes. Au total, trois cas ont été distingués :

- Les rotations qui sont liées au repère de l'écran : dans ce cas, les interactions permettent de réaliser des rotations libres, c'est à dire dont l'axe de rotation n'est pas représenté (Figure 3).

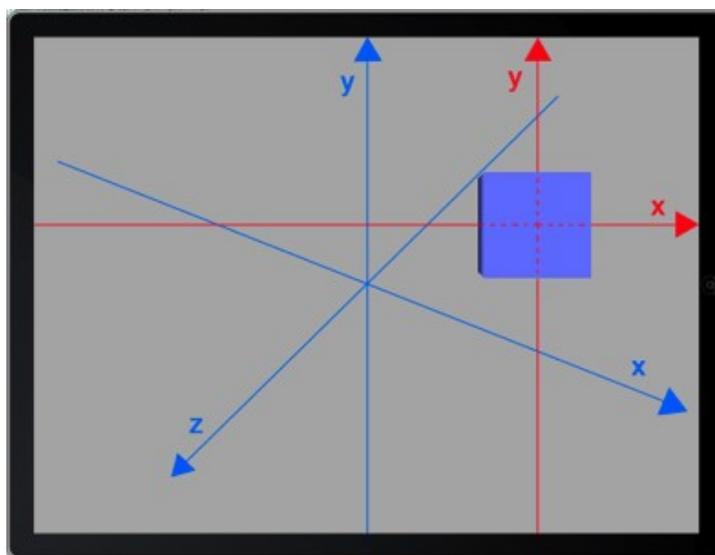


Figure 3. En bleu, le repère de la scène et en rouge le repère de l'écran.

- Les rotations qui sont liées au repère de l'objet : dans ce cas, les interactions permettent de réaliser des rotations autour des axes du repère de l'objet. Pour sélectionner un des axes, il suffit de toucher la sphère ou le cône liés à l'axe (Figure 4).

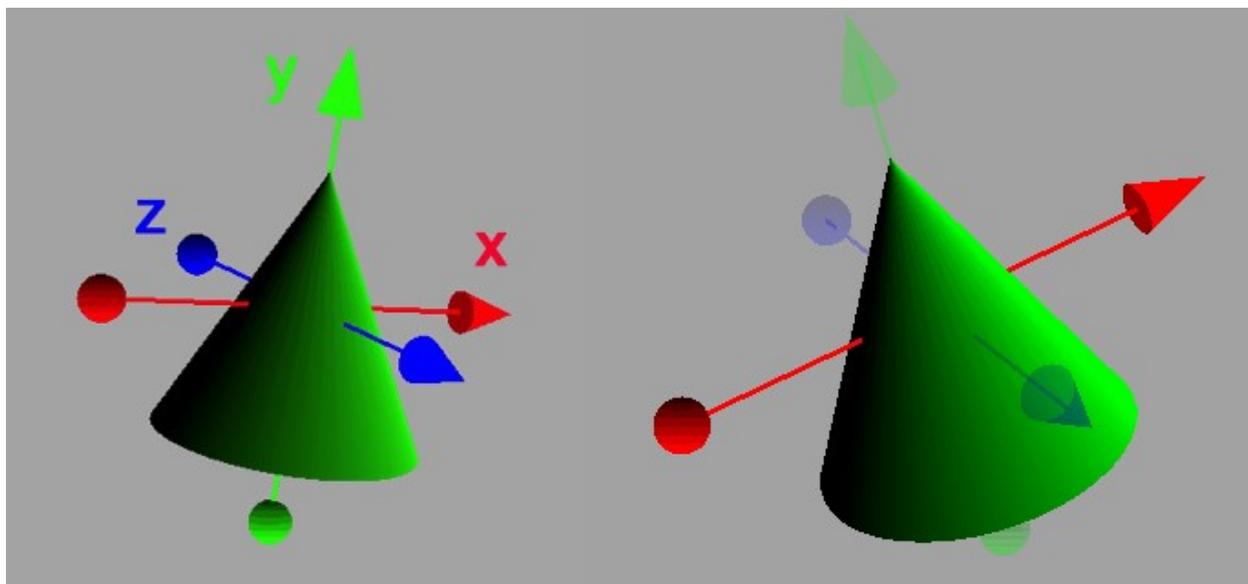


Figure 4. Repère de l'objet (à gauche) et sélection d'un axe de ce repère (à droite).

- Les rotations qui sont liées au repère de la scène (repère mathématique) : dans ce cas, les interactions permettent de réaliser des rotations autour d'éléments caractéristiques du solide comme les arêtes ou les diagonales du solide (Figure 5).

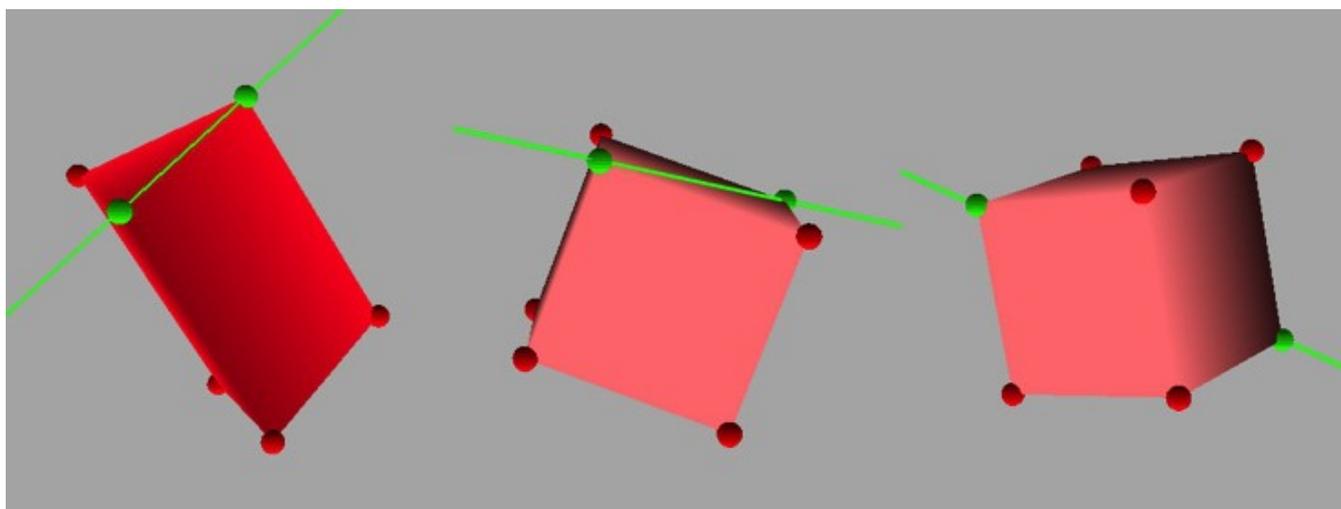


Figure 5. Axes de rotation définis par deux sommets.

La suite logique de la définition d'une grammaire d'interactions pour gérer la rotation des objets a été de définir une méthodologie d'interaction pour la gestion de l'observateur. En effet, une fois qu'il est possible d'appliquer tout type de rotation à l'objet, il faut à minima pouvoir tourner autour de l'objet ou de la scène pour englober l'ensemble des cas de figure concernant les rotations et permettre d'interagir avec la scène avec les mêmes possibilités que dans la réalité. Ainsi une observation accrue devient possible et permet aux élèves de réaliser des observations plus riches. Cette partie a été abordée comme étant la gestion de l'observateur. Une méthodologie comprenant deux points a été mise en place :

- le déplacement de l'observateur autour de la scène en gardant un point de visée fixe ;
- le changement du point visé par l'observateur lorsqu'il tourne sur lui-même.

Grâce à l'utilisation de fonctionnalités techniques comme le gyroscope, une fois de plus, ici c'est le côté affordant qui a été privilégié afin que les interactions semblent les plus naturelles possibles à des élèves. Nous avons utilisé la métaphore de la caméra vidéo. La tablette est alors utilisée comme une fenêtre sur la scène et le déplacement de la tablette dans l'espace change le point de vue sur la scène (Figure 6).

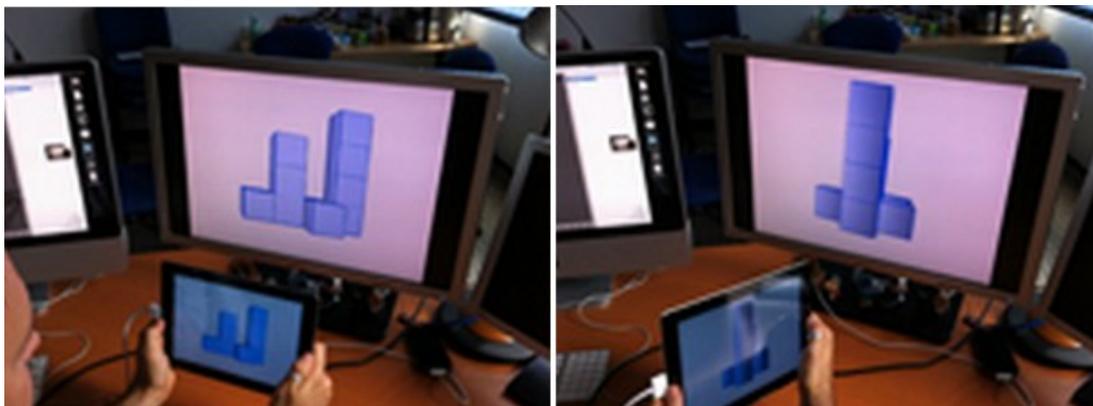


Figure 6. Utilisation du gyroscope et de la métaphore de la caméra pour tourner autour de la scène.

++++ *Les patrons :*

Dans la continuité de ce qui a été fait précédemment, le déplacement de solides dans la scène a été complété par la gestion automatisée des patrons. Lorsqu'un élève utilise le geste lié au dépliage/pliage d'un patron sur un solide sélectionné, seul ce solide reste visible sur la scène. L'élève peut alors gérer le dépliage du solide comme il le veut et il obtient un patron prédéfini (Figure 7). Une fois déplié, le patron est modifiable à volonté. Un système de vérification a été mis en place non pas pour vérifier que le patron est valide mais que celui-ci est potentiellement valide, c'est à dire que chaque face est reliée à une autre par une arête. Une fois les modifications réalisées, l'utilisateur peut plier le patron avec des mouvements antagonistes au dépliage. La vérification de la validité du résultat est alors visuelle puisque si deux faces se sont superposées alors la face résultante est bicolore (chaque face ayant une couleur différente dans un patron) et une des faces sera absente. Il reste encore sur cette partie à permettre un pliage/dépliage manuel par l'utilisateur, c'est-à-dire que celui-ci puisse choisir l'ordre et les faces qu'il veut déplier/plier.

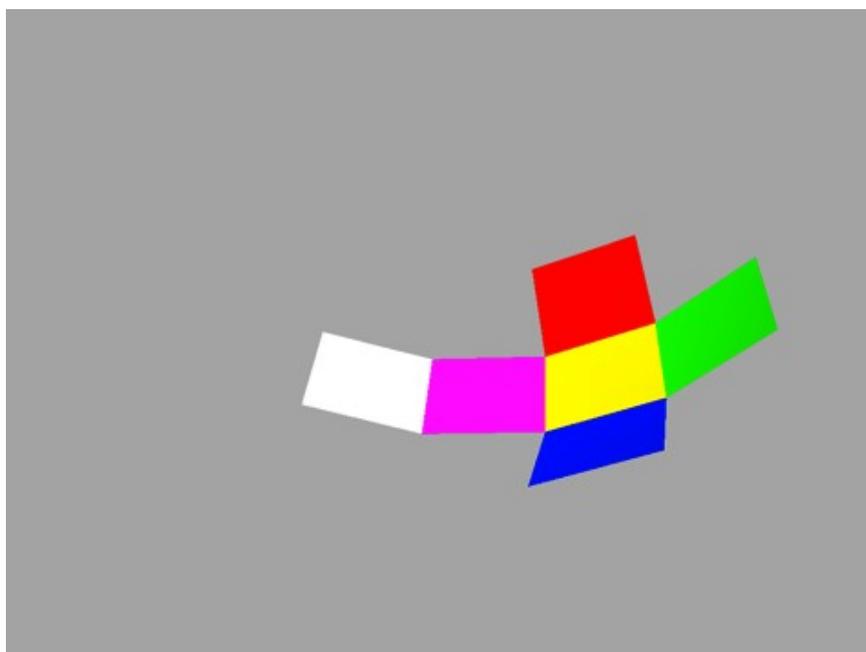


Figure 7. Dépliage d'un patron du cube.

++++ *La création d'un solide :*

Pour créer un solide dans la scène, nous avons voulu permettre aux élèves de passer du monde réel au monde virtuel en manipulant un vrai solide. Nous utilisons un artefact tangible qui lorsqu'il est posé sur la tablette est détecté et entraîne la création du solide correspondant à l'endroit du contact.

++++ *La suppression d'un solide :*

Pour supprimer un solide, il suffit d'emmener celui-ci hors de l'écran ou de poser 5 doigts sur l'écran et de les rapprocher comme pour prendre le solide hors de la scène.

Nous avons commencé nos tests bien avant que l'ensemble de ces fonctionnalités soit développé (et il en reste encore beaucoup à développer). Dans un premier temps, nous nous sommes attachés à pouvoir déplacer un solide et à pouvoir l'observer sous toutes ses faces. C'est pourquoi, nos premiers tests ont porté sur les rotations des solides et l'observation des solides par les élèves.

Évaluation initiale de l'acceptation des interactions par les élèves

Afin de valider notre jeu d'interactions pour les rotations et la gestion de l'observateur, nous avons réalisé une expérimentation sur notre prototype. Nous avons demandé à des élèves de trouver des cubes qui avaient une face de couleur différente et de localiser l'emplacement de ces faces (arrière, gauche, ..), le but étant de vérifier l'acceptation de nos interactions par des élèves de 9 à 15 ans.

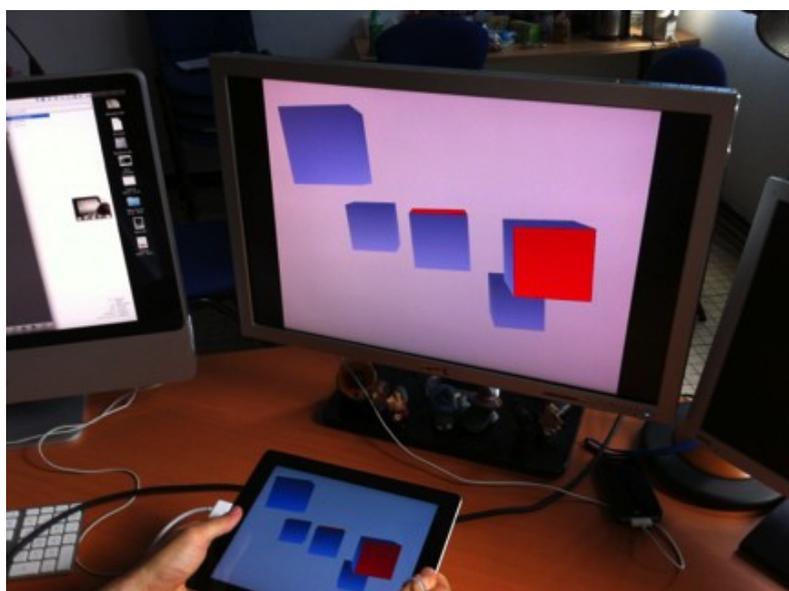


Figure 8. Un exemple de test pour l'acceptabilité des interactions.

++++ *Participants et méthode*

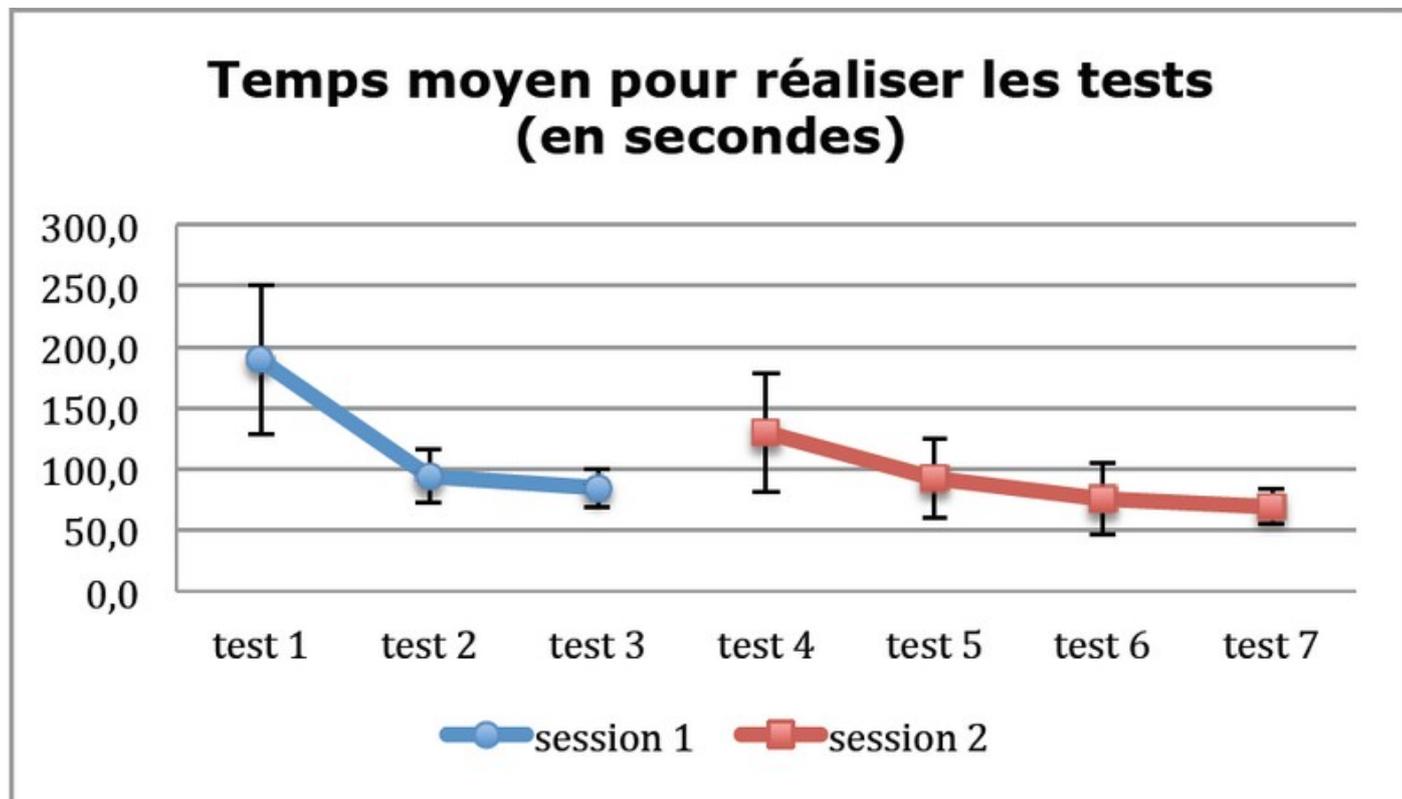
Nous avons demandé à 7 élèves (3 garçons et 4 filles) âgés de 10 à 15 ans de réaliser notre test. Aucun des participants n'était daltonien ; 2 élèves n'avaient jamais utilisé une tablette tactile ; 4 élèves en avaient déjà utilisé une de façon occasionnelle et 1 élève en possédait une.

Pour les besoins de cette expérimentation, nous avons développé une application d'entraînement avec deux cubes et une application de test avec 5 cubes (Figure 8). Le nombre de cubes a été choisi de façon à ne pas induire le choix d'une interaction plutôt qu'une autre. Après une présentation de 3 minutes de l'application, chaque élève a bénéficié de 5 minutes d'entraînement pour se familiariser avec le prototype avant de commencer l'expérimentation. La consigne était de trouver le nombre de cubes (parmi les 5) possédant une face rouge et pour chacun de ces cubes, la position initiale de cette face sur le cube. Cet exercice a été réalisé 7 fois sur deux sessions séparées d'une semaine. Les nombres et positions des faces rouges ont changé à chaque test. Les élèves ont réalisé l'exercice 3 fois lors de la première session et 4 fois lors de la seconde. Lors de chaque test, les élèves ont été chronométrés et filmés (seulement les mains et la tablette). Nous avons noté les stratégies utilisées et l'application a enregistré les interactions réalisées. La priorité affichée n'était pas la rapidité d'exécution de la tâche mais le taux de bonnes réponses. Suite aux tests, les élèves ont rempli un questionnaire pour recueillir leurs opinions sur la facilité d'utilisation et l'intuitivité des interactions (nous avons utilisé des échelles de Likert allant de 0 à 7). Enfin, un entretien post-expérimental a été effectué.



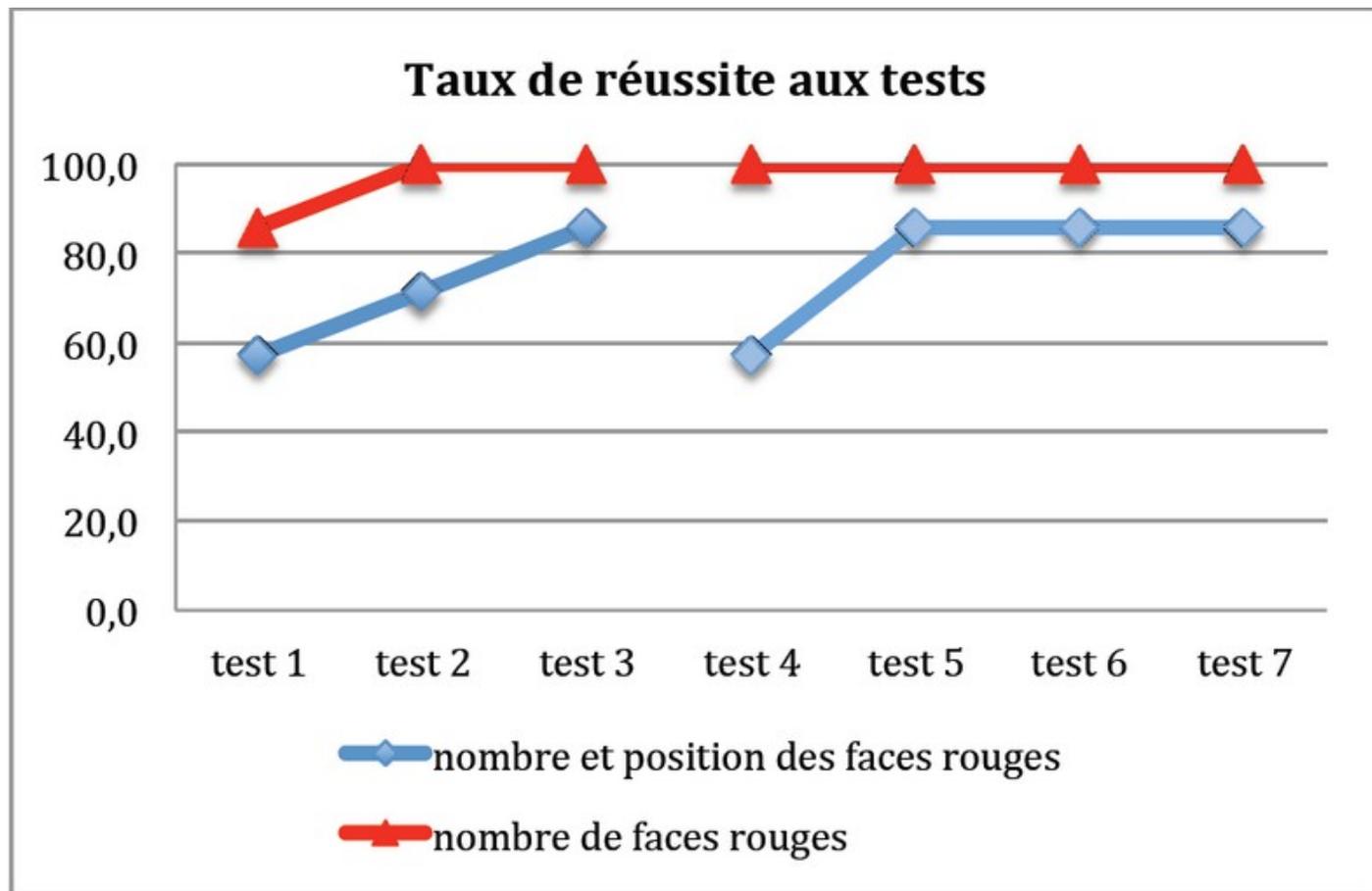
++++ *Résultats et discussion*

Le graphique 1 montre le temps moyen mis pour accomplir la tâche lors de chaque test. Lors du premier test, le temps moyen est de 189,7s (écart-type : 121,9) et décroît jusqu'à 69,1s (écart-type : 28,4) lors du septième test. L'augmentation du temps moyen lors du quatrième test s'explique en grande partie par l'écart d'une semaine entre les deux sessions.



Graphique 1. Temps moyen mis pour réaliser les tests (en secondes).

Le graphique 2 montre le taux de réussite lors de chaque test. Lors du premier test, nous avons eu 57,1 % de bonnes réponses puis les tests se sont stabilisés à 85,7 % de bonnes réponses. Dès le second test, les élèves ont été capables de trouver 100 % des faces rouges. La baisse de résultats lors du quatrième test s'explique elle aussi en grande partie par le délai d'une semaine entre les deux sessions. La baisse rapide du temps moyen (ainsi que de l'écart-type) pour réaliser un test et le haut taux de bonnes réponses montrent que les élèves se sont très rapidement appropriés nos interactions et qu'ils n'ont eu aucune difficulté à les utiliser.

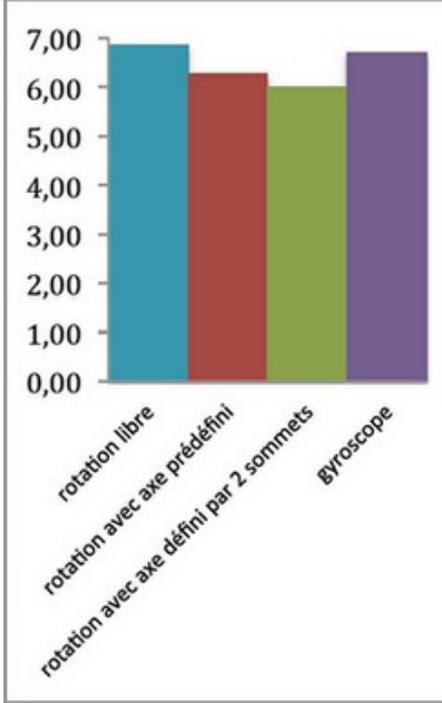
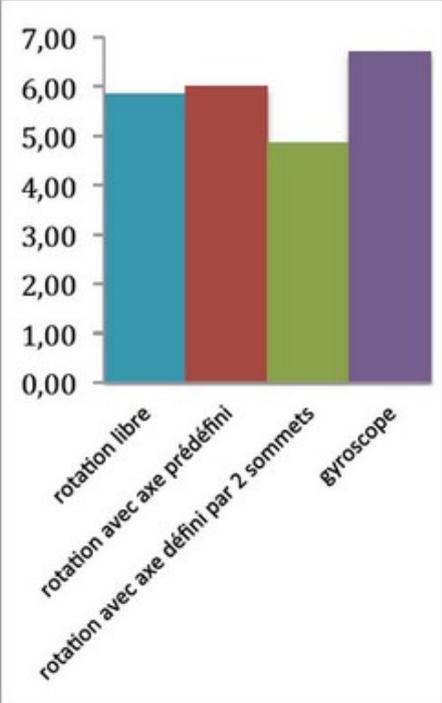
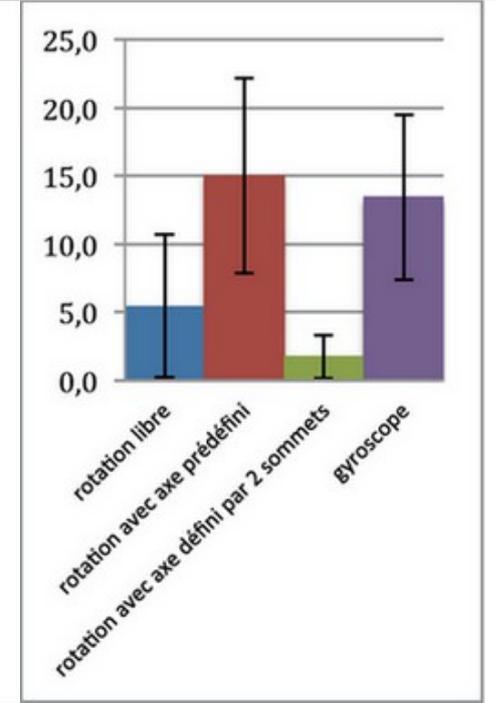


Graphique 2. Taux de réussite en pourcentage lors des tests.

Le retour des élèves sur notre jeu d'interactions a été très positif. D'après eux, les gestes implémentés étaient faciles à utiliser (graphique 3) et intuitifs (graphique 4). Cependant, deux interactions ont été largement préférées par les élèves. Les entretiens ont fait ressortir que les rotations autour d'un axe du repère relatif au solide (Figure 4 avec utilisation du multi-touch) et les rotations autour de la scène avec le gyroscope (Figure 6) ont été ressenties comme les plus efficaces. D'après les élèves, les principales raisons ont été :

- ▶ dans le premier cas, l'apparition d'un repère les rassure sur l'orientation de la scène et la disparition de rotations parasites lorsqu'un axe est sélectionné ;
- ▶ dans le second cas, l'utilisation du gyroscope qui a été considéré comme l'interaction la plus « naturelle ».

Les logs enregistrés par notre prototype confirment que ces deux types de rotations ont été les plus utilisés (graphique 5).

		
<p>Graphique 3. Facilité d'utilisation des interactions sur une échelle de 0 à 7.</p>	<p>Graphique 4. Intuitivité des interactions sur une échelle de 0 à 7.</p>	<p>Graphique 5. Logs des interactions. Nombre moyen d'utilisation des interactions.</p>

Il est intéressant de noter que l'utilisation des rotations autour des axes du repère du solide nécessite au minimum 5 interactions pour observer en détails les 5 cubes alors que l'utilisation du gyroscope n'en nécessite qu'une seule pour avoir un aperçu complet de la scène. De plus, nous avons observé que deux élèves utilisaient les rotations autour des axes du repère du solide pour vérifier les résultats qu'ils avaient obtenus en utilisant le gyroscope. Un seul élève a utilisé le système de rotation « libre » sur la totalité des tests. Pour tous les autres élèves, il était important de définir explicitement l'axe autour duquel la rotation devait avoir lieu. Seul trois élèves ont essayé les rotations autour d'axes définis à partir de deux sommets des cubes et parmi eux un seul a réellement utilisé cette interaction pour réaliser le test. Une explication possible réside dans le fait qu'il n'était absolument pas nécessaire de choisir de tels axes de rotation pour réussir à faire les tests.

Bien que nous ayons conçu ces tests dans le but de tester le jeu d'interactions lié aux rotations, un élève a essayé d'utiliser des translations de cubes dans le plan de l'écran. L'ensemble des élèves s'est accordé à dire que l'interaction la plus « fun » était incontestablement l'utilisation du gyroscope pour tourner autour de la scène. Les élèves ont fait remarquer que l'utilisation des interactions multi-touch et du gyroscope étaient complémentaires. Enfin, 4 élèves nous ont signalés que l'utilisation de deux doigts était inutile dans le cas des rotations impliquant la sélection explicite d'un axe. Pour eux, un seul doigt aurait été suffisant la sélection de l'axe impliquant de fait une volonté de rotation. Ils sont ainsi prêts à utiliser les mêmes gestes en fonction de leur contexte d'utilisation.



Est-ce une aide à la résolution d'exercices de géométrie dans l'espace ?

Après avoir évalué la facilité de prise en main de nos interactions et de notre prototype, 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'agit pas ici d'évaluer si les élèves ont acquis des compétences à partir de l'utilisation de la tablette et si ces compétences ont été transférées par la suite en ne l'utilisant plus. Le but ici est bien plus modeste et consiste 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 fausse.

Pour cela, nous avons réalisé une expérimentation dans laquelle les élèves ont du 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 du CM2 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.

++++ **Matériel**

L'expérimentation a été conduite sur des iPad 2. Nous avons utilisés des solides pédagogiques (Figure 9). Nous avons préparé deux séries de 4 exercices qui ont été passées sur deux jours différents. Durant les deux sessions, les élèves ont été chronométrés et nous avons pris des notes détaillées et ce en particulier sur les problèmes didactiques rencontrés par les élèves et les stratégies mises en place pour effectuer les exercices avec ou sans outil.

++++ **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. Le test a été suivi d'un questionnaire recueillant l'opinion des élèves sur la facilité, l'intérêt et le fun de chaque exercice ainsi que sur la facilité d'interpréter les représentations en perspective des solides.

Le test

- ▶ 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. Un questionnaire a ensuite été complété pour recueillir les mêmes opinions qu'après le pré-test. Enfin, nous avons réalisé des entretiens avec les élèves.

Exercice 1 :
Complète le tableau, en indiquant pour chaque solide, le nombre de faces, le nombre d'arêtes et le nombre de sommets.

	Pavé droit	Prisme
Nombre de faces		
Nombre d'arêtes		
Nombre de sommets		

Exercice 2 :
Trois cônes de hauteur identique sont disposés sur une table selon la vue de dessus suivante :

Nord-Est

La vue obtenue du nord-est est la suivante :

Entoure la vue de l'ouest :

Exercice 3 :
On a empilé et coté des cubes de même arête pour obtenir le solide représenté ci-contre. On a peint toutes les faces visibles du solide obtenu, dessous compris.

Combien de faces ont été peintes ?

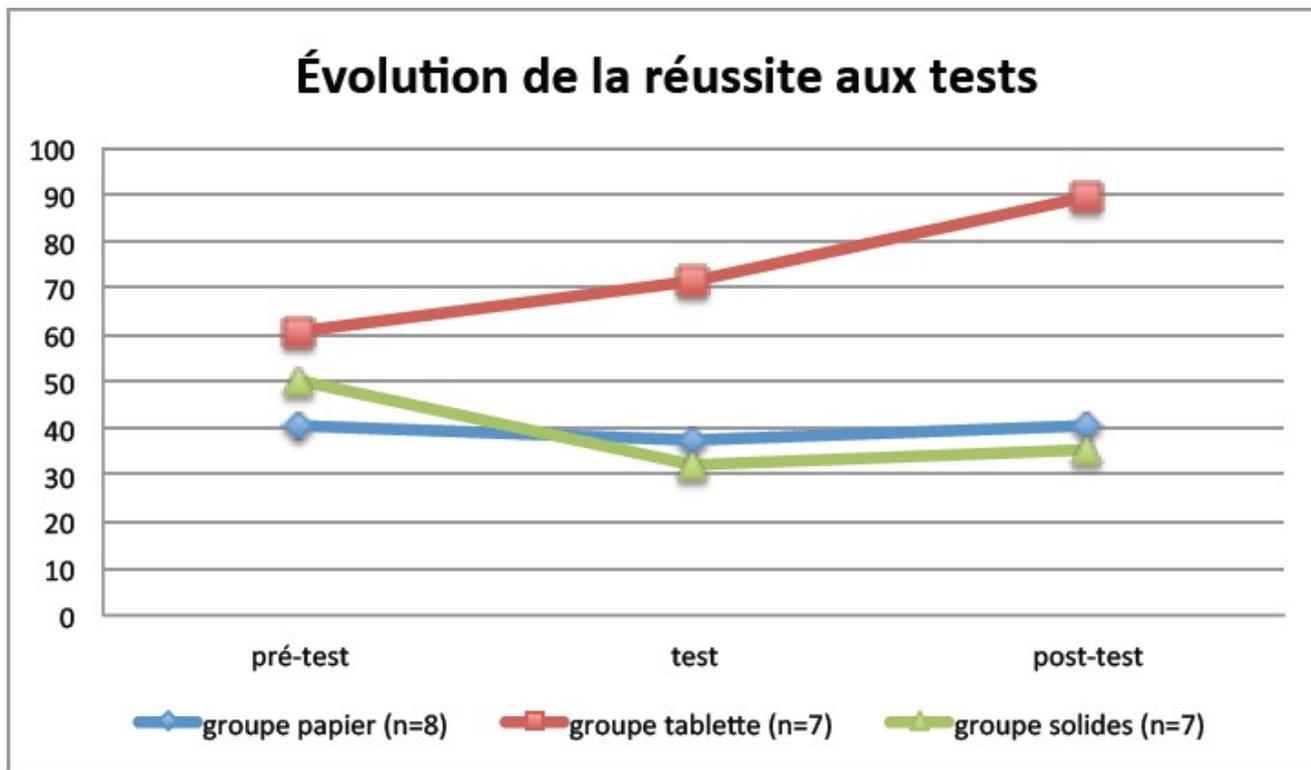
A. : 72
B. : 64
C. : 50
D. : 23
E. : on ne peut pas savoir.

Exercice 4 :
Parmi les cinq représentations ci-dessous, lesquelles correspondent à une vue du dessus, une vue de face ou une vue de droite indiquées sur la vue en perspective (à-droite) d'un assemblage donné de neuf cubes ?

Figure 9. Feuille d'exercices du test (session 2) avec pour chaque exercice une image de la version tablette et de la version solides.

La deuxième journée de l'expérimentation n'a concerné que les élèves du groupe tablette. Nous avons alors réutilisé notre test d'acceptabilité avec les cinq cubes et les faces rouges à trouver pour familiariser les élèves avec notre prototype. Cela a permis que l'entraînement n'ait aucun lien avec le pré-test, le test ou le post-test.

++++ Résultats et discussion



Graphique 6. Taux de réussite en pourcentage pour chaque groupe et session.

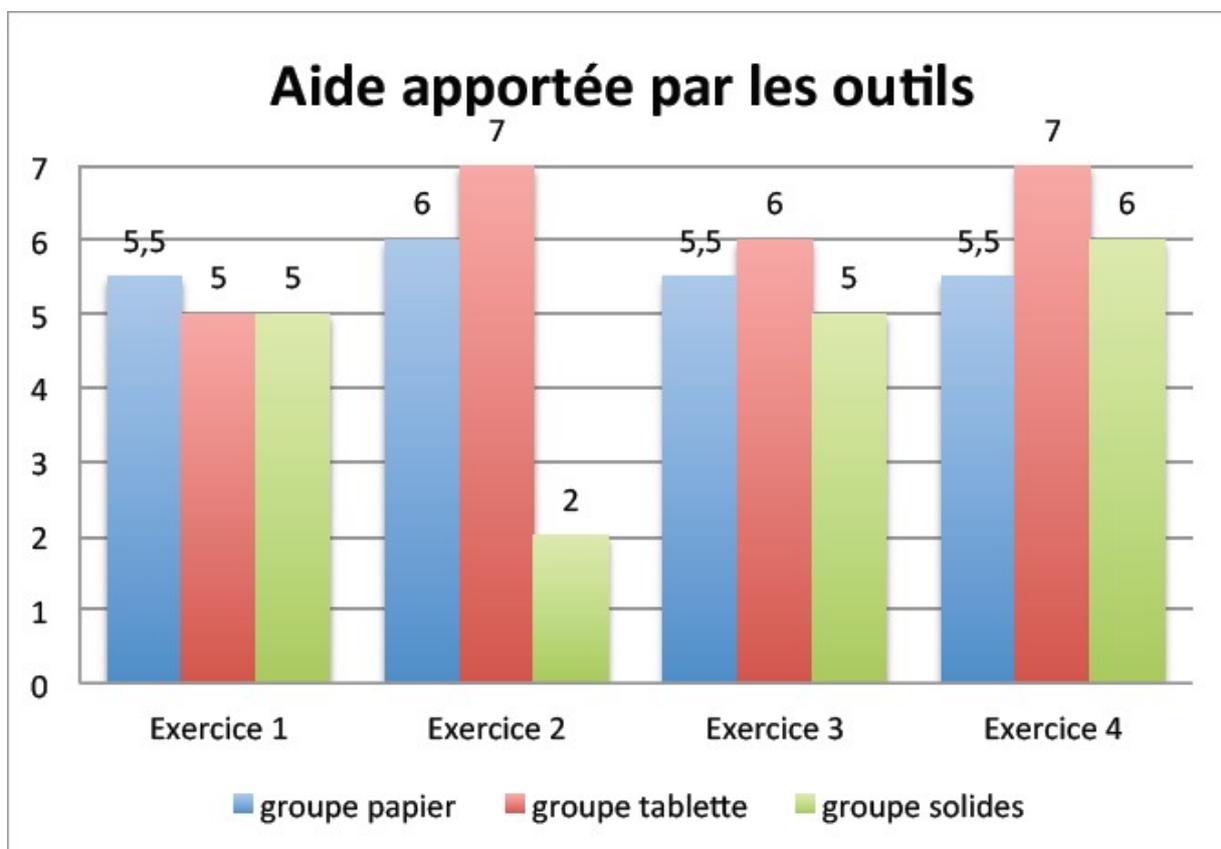
Le graphique 6 montre le taux de réussite pour le pré-test, le test et le post-test. Nous pouvons noter que le seul groupe qui a une différence significative de ses résultats entre le pré-test et le post-test est le groupe utilisant les tablettes. Le groupe papier est quasiment constant, le groupe tablette augmente significativement son taux de réussite et le groupe solides le diminue légèrement. 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. Cela a représenté un problème pour 4 des élèves.
- ▶ Certains élèves n'avaient pas l'habitude d'utiliser des solides pour réaliser des exercices. Par exemple, lors de l'exercice 2, deux élèves ont tourné le plateau avec les trois cônes au lieu de tourner autour. Au bout d'un court moment, ils étaient incapables de se repérer.
- ▶ 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 observer que lors du test, les groupes solides et tablettes utilisaient plus souvent les outils mis à disposition pour trouver les réponses aux exercices que pour les vérifier (GS : 57% ; GT : 75%). De plus le groupe équipé de tablettes a eu plus recours à la manipulation via le prototype que le groupe avec les solides. Lors des entretiens, les élèves du groupe tablettes, nous ont expliqués qu'ils avaient manqué de confiance et qu'ils étaient très concentrés car ils utilisaient pour la première fois notre prototype pour résoudre des exercices. De plus, ils 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. 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. La comparaison directe des représentations des solides sur la tablette et sur la feuille permet d'expliquer cette différence.

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. On peut prendre l'exemple de l'exercice 1 qui est tiré des évaluations nationales de CM2 pour lequel, il n'a été quasiment d'aucune aide. De plus, même si les élèves du groupe tablettes ont trouvé de façon un peu plus importante que celle-ci était une aide dans la résolution des exercices, il n'y a pas de différence significative avec les deux autres groupes (y compris le groupe papier) (Graphique 7).



Graphique 7. Évaluation par les élèves de l'aide apportée par les outils sur une échelle de 0 à 7 (médiane).

Un autre point intéressant de cette expérimentation est le fait que les élèves du groupe tablettes n'ont pas trouvé les exercices plus faciles, intéressants ou fun en utilisant la tablette (ou les solides). Ils nous ont expliqué lors des entretiens qu'un exercice de mathématiques est toujours un exercice de mathématiques avec ou sans tablette (ou solides). Cette remarque nous laisse à penser que l'attraction technologique liée à la tablette est finalement faible car ce type de matériel est déjà largement entré dans les moeurs avec entre autres le fort développement des smartphones.



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 oeuvre, de performance et d'acceptabilité. La réflexion autour de ces 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 oeuvre 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

Notre étude a montré qu'avec des interactions adaptées aux élèves de 9 à 15 ans, ceux-ci n'ont absolument aucun problème à manipuler les représentations virtuelles des solides. Les retours des élèves et des enseignants sur notre prototype ont été positifs et nous incitent à continuer notre recherche. De plus, nous avons pu mettre en avant le potentiel pédagogique des tablettes comme aide à la résolution d'exercices de géométrie dans l'espace. Même si le nombre d'élèves de notre étude était limité, nous pensons qu'avec cette technologie, les élèves pourront davantage se concentrer sur ce qu'ils ont à apprendre plutôt que sur les interactions à faire pour manipuler un logiciel. Nous avons aussi pu constater que l'apport est variable suivant les exercices. En effet, pour les exercices les plus classiques comme ceux proposés dans les évaluations de CM2 et largement travaillés en classe, les élèves se basent sur ce qu'ils connaissent et n'éprouvent pas le besoin d'utiliser la tablette. Par contre, lorsque les exercices reposent sur la visualisation et la bonne interprétation de vues en perspective, alors la tablette équipée de notre prototype semble être utile lors de la résolution. Ces résultats restent à confirmer lors d'une prochaine étude qui se déroulera sur une durée plus importante et qui prendra appui sur un nombre plus important d'élèves.

Références

[1] G. Audibert, F. Bonafé, "Apprentissage de la perspective cavalière," in P. Rabardel, A. Weill-Fassina, *Le dessin technique : Apprentissage, utilisations, évolutions*. Hermes, 1986, pp.139-147.

[2] G. Audibert, B. Keita, "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 éditions, 1987, pp.109-126.

[3] F. Colmez & B. Parzysz, "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 éditions, 1993, pp.35-55.

[4] J. M. Dolle, "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.

[5] H. Guillermain, "Approche cognitive de la genèse de la représentation graphique en perspective," in P. Rabardel, A. Weill-Fassina, Le dessin technique : Apprentissage, utilisations, évolutions. Hermes, 1986, pp.43-50.

[6] B. Parzysz, "Knowing vs seeing," in Educational Studies in Mathematics, vol. 19, n°1, 1988.

[7] J. Piaget, The psychology of intelligence. London : Routledge and Kegan Paul, 1951 [La psychologie de l'intelligence. Paris : A. Colin, 1947].

[8] J. Piaget and B. Inhelder, The Child's Conception of Space, New York : W. W. Norton, 1948.

[9] M. Wittling, G. De Bodinat, B. Raou, "Génèse de la perspective spontanée. Etude génétique et expérimentale," in P. Rabardel, A. Weill-Fassina, Le dessin technique : Apprentissage, utilisations, évolutions. Hermes, 1986, pp.29-35.

Cet article est un complément de l'article :

D. Bertolo, R. Vivian, J. Dinet, "A Set of Interactions to Rotate Solids in 3D Geometry Context," in Proc. CHI EA'13 Extended Abstract on Human Factors in Computing Systems. ACM., 2013, pp.625-630.

David Bertolo

Université de Lorraine

Laboratoires LCOMS & PErSEUs

Équipe IHM

UFR MIM Île du Saulcy

57006 Metz (France)

[7] J. Piaget, The psychology of intelligence. London : Routledge and Kegan Paul, 1951 (La psychologie de l'intelligence. Paris : A. Colin, 1947)

[8] J. Piaget and B. Inhelder, The Child's Conception of Space, New York : W. W. Norton, 1948

[4] J. M. Dolle, "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.

[9] M. Wittling, G. De Bodinat, B. Raou, "Génèse de la perspective spontanée. Etude génétique et expérimentale," in P. Rabardel, A. Weill-Fassina, Le dessin technique : Apprentissage, utilisations, évolutions. Hermes, 1986, pp.29-35.

[5] H. Guillermain, "Approche cognitive de la genèse de la représentation graphique en perspective," in P. Rabardel, A. Weill-Fassina, Le dessin

technique : Apprentissage, utilisations, évolutions. Hermes, 1986, pp.43-50.

[2] G. Audibert, B. Keita, "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.

[6] B. Parzysz, "Knowing vs seeing," in Educational Studies in Mathematics, vol. 19, n°1, 1988.

[3] F. Colmez & B. Parzysz, "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.

[1] G. Audibert, F. Bonafé, "Apprentissage de la perspective cavalière," in P. Rabardel, A. Weill-Fassina, Le dessin technique : Apprentissage, utilisations, évolutions. Hermes, 1986, pp.139-147.