IHM'2007 © ACM, 2007. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution.The definitive Version of Record was published in the Proceeding of the 19th Conference on l'Interaction Homme-Machine, pp. 299-302, http://dx.doi.org/10.1145/3294109.3295634

Etude d'interacteurs pour la sélection d'une ligne de coupe depuis une carte

*Nadine Couture**

*LIPSI-ESTIA
Technopôle Izarbel
64210, Bidart, France
n.couture@estia.fr

Guillaume Rivière,†*

†LaBRI
351, cours de la Libération
33400, Talence, France
riviere@labri.fr

RESUME
Nous nous intéressons à la sélection d'une ligne de coupe dans un modèle 3D. Nous nous situons donc dans le paradigme des interfaces utilisateurs 3D (3DUI). Dans ce contexte, il est intéressant pour adresser un problème général d'expérimenter sur des applications métiers complexes porteuses de contraintes et d'exigences, ici les géosciences. Dans le cadre de l'interface proposée, table interactive et interface tangible, nous étudions les différentes métaphores d'interaction possibles et déterminons le meilleur interacteur pour la tâche ciblée.

MOTS CLES : Interface Utilisateur Tangible (TUI), Tabletop, Géosciences.

ABSTRACT
In this paper, we discuss a choice of props for a dedicated task: selecting a cutting line from a top map. We present GeoTUI, a tabletop and a Tangible User Interface intended to geosciences. Several props have been evaluated for both usability and task performance. We begin with an analysis of the advantages of addressing a specific domain in this kind of study.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: H.5.2 [**Information Interfaces and Presentation (e.g., HCI)**]: User Interface.

GENERAL TERMS: Design; Human Factors

KEYWORDS: Tangible User Interface (TUI), Tabletop, geosciences.

INTRODUCTION

Les interfaces utilisateurs tridimensionnelles (3DUI) [3] – *i.e.* manipulant des données tridimensionnelles (3D dans la suite) ou interagissant par l'intermédiaire d'interacteurs 3D – apparaissent de plus en plus pertinentes dans de nombreux domaines comme la conception et le prototypage rapide, les traitements psychiatriques, la visualisation scientifique, le tourisme historique, ou encore le travail collaboratif qui ont en commun la manipulation de données 3D. Or, les interfaces classiques d'entrée-sortie (clavier, souris, écran, ...) ne sont pas adaptées et requièrent de la part de l'utilisateur un effort dans sa démarche d'interaction. Les 3DUIs sont généralement plus directes, plus immédiates et par conséquence la "distance cognitive" entre l'utilisateur réalisant la tâche et le retour du système est réduite. Ceci permet à l'utilisateur d'être plus concentré sur sa tâche, et donc de construire des modèles théoriques plus complexes et sophistiqués sur les données qu'il manipule.

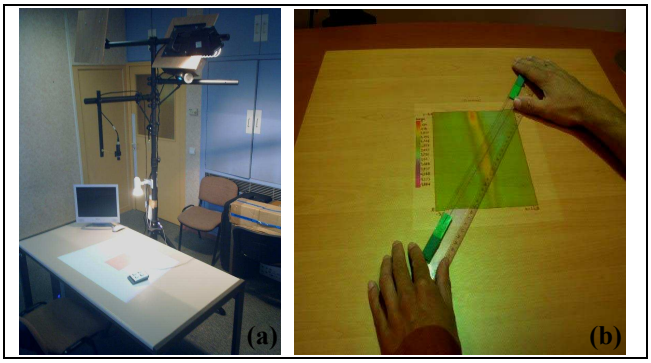


Figure 1 : **(a)** GeoTUI sur site. **(b)** Interacteur règle et carte

Une question soulevée par [3] et que nous adressons dans cet article est la question de l'optimisation des techniques d'interaction pour des données spécifiques. La plupart des recherches existantes sur les techniques d'interaction 3D sont orientées vers des techniques génériques et pour une tâche "universelle". Cette généralisation est un avantage dans un souci de réutilisation. Mais c'est aussi un désavantage car il n'y a pas d'application générique ! C'est d'autant plus vrai dans un contexte de conception d'applications dédiées à des tâches complexes dans des métiers de productions industrielles ou de services. Un domaine réel d'application a des propriétés, des contraintes, et des exigences spécifiques. Elles

doivent être prises en compte lorsque l'on conçoit des techniques d'interaction pour ce domaine. A ce sujet, citons [3] : "*The design of domain-specific interaction techniques should be one of the next major research topics in 3DUIs*".

C'est dans ce contexte et en collaboration avec l'Institut Français du Pétrole (IFP), que nous développons GeoTUI. GeoTUI est une interface utilisateur tangible (TUI), cas particulier d'une 3DUI, dédiée aux géosciences. Les interfaces tangibles visent à simplifier l'interaction avec l'ordinateur en utilisant des objets physiques de l'environnement de l'utilisateur, appelés interacteurs (ou *props*), comme support à une tâche informatique. Ullmer et Ishii [5] définissent les TUI ainsi : "*give physical form to digital information, employing physical artefacts both as representations and controls for computational media"*. GeoTUI initie un retour vers les conditions "spontanées" de collaboration des géophysiciens, tout en conservant les apports de l'informatique : puissance de calcul, visualisations 3D, sauvegardes, assistance au traçage, annulation d'une action, versionnement automatique, classification et recherche d'un document.

TACHE METIER CIBLEE

Un modèle de sous-sol est obtenu par acquisition sismique. Ce modèle est un nuage de points. Le premier travail des géospécialistes consiste à pointer et tracer des splines sur le modèle, de manière plus ou moins automatique. Géologues et géophysiciens interprètent le modèle brut, et itèrent des hypothèses sur la nature des roches, jusqu'à obtenir un modèle mathématique le plus proche possible de la réalité. Pour comprendre et modifier ce modèle, des coupes 2D dans le modèle 3D sont successivement réalisées. Ces différentes tâches sont réalisées à l'aide de l'informatique via des interfaces graphiques (GUI). Nombre de géophysiciens pourtant compétents rencontrent des difficultés pour réaliser ce modèle mathématique avec ces GUI. En effet, les réflexions géophysiques mobilisent énormément les ressources mentales du spécialiste et requièrent une forte concentration. Les outils actuels demandent trop d'attention et éloignent le géophysicien de ses réflexions. La nécessité de collaborer entre géophysiciens et géologues pour obtenir un modèle exact rajoute des contraintes sur le type d'interaction à proposer. L'enjeu est double : simplifier l'interaction, et faciliter le travail en collaboration coprésente.

On note de la part de l'IFP une réelle volonté de changer. Une salle immersive de réalité virtuelle a déjà été aménagée pour contribuer à optimiser les conditions de travail. Mais la salle n'est plus utilisée. Le coût important du dispositif et la place qu'il requiert (une très grande salle dédiée à un seul usage) ne permettent pas d'en posséder plus d'une. Les utilisateurs doivent donc se conformer à un planning de réservation. Ils doivent aussi porter des casques, et cela ne favorise ni la concentration, ni la communication interpersonnelle. La salle immersive n'est donc pas une solution satisfaisante.

En 2002 Aliakseyeu *et al.* [1] ont proposé des interacteurs tangibles pour la navigation et la manipulation de données 2D et 3D. Ils citent le travail des géosciences sur les modèles sismiques comme un champ d'application privilégié. Nous nous appuyons sur ces travaux pour concevoir et réaliser GeoTUI. La première tâche à laquelle nous devons nous attaquer est celle de "la sélection d'une ligne de coupe depuis une carte géographique" qui est récurrente dans le processus d'obtention d'un modèle mathématique de sous-sol.

LE DEMONSTRATEUR GEOTUI

En préalable à la réalisation du prototype GeoTUI, nous avons mené une étude sur les besoins des géophysiciens (*cf.* section précédente). Le système doit être léger et peu coûteux pour être déployé et multiplié autant que nécessaire. Il doit être proche du poste de travail des utilisateurs. Il doit être non intrusif. Il doit disposer d'une grande surface d'affichage (de l'ordre d'une feuille de papier A0). La base de notre proposition est un *tabletop* (voir ***Figure 1***). En 1993, Wellner initie, avec le Digital Desk [6], une approche visant à interagir avec un système informatique sur un bureau dans des conditions de travail papier-crayon. Dans cet esprit, nous proposons une interface qui se rapproche des conditions de travail connues par les géophysiciens dans les bureaux d'études. La manipulation d'objets physiques permet d'interagir avec les données affichées à la surface de la table, en combinant la manipulation d'outils tangibles et la collaboration autour du *tabletop.* La surface de la table devient ainsi un espace d'échange privilégié, où les utilisateurs peuvent partager une carte géographique, un tracé sismique. La carte géographique est affichée à la surface de la table à l'aide d'un vidéoprojecteur, et le système informatique peut connaître la position des interacteurs en utilisant une caméra. Nous sollicitons ainsi une informatique présente, mais non intrusive, qui observe l'espace de travail de l'utilisateur. Espace d'action et espace de perception se rejoignent sur la table. Ces espaces sont communs et accessibles à plusieurs utilisateurs.

Le prototype de GeoTUI est équipé d'une caméra ieee1394 Sony XC-555P et d'un vidéoprojecteur EPSON EMP 7200. Ces deux dispositifs sont fixés en hauteur sur un trépied SHOWTEC 70128 Alu Stand double T-bar à élévation variable. Le tout se range dans un carton (20x20x1,50 cm) et une valise (50x75x30cm). Pour faire fonctionner l'interface, une table ou un bureau est requis. La seule contrainte concerne la surface du meuble utilisé : elle ne doit pas comporter de dessins de nœud de bois trop contrastés, ni présenter un aspect trop sombre, afin de ne pas perturber la vision de l'utilisateur. L'interface utilisateur GeoTUI communique avec

l'application JOHN (Jerry On tHe Net), un logiciel interactif de construction de modèle géologique 3D développé à l'IFP. JOHN utilise Jerry [4], un logiciel de tracé de rayon et de calcul de réflexion tomographique 3D. Un dialogue client-serveur est instauré entre GeoTUI et JOHN via une connexion socket. GeoTUI est capable de capter avec la caméra la position d'objets physiques de l'environnement de l'utilisateur qui sont équipés de marqueurs verts.

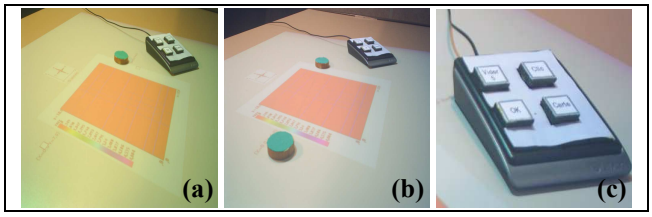


Figure 2 : **(a)** Interacteur 1-palet. **(b)** Interacteur 2-palets. **(c)** Le boîtier de validation.

OBJECTIF DE L'ETUDE

La tâche cible est la sélection d'une ligne de coupe dpuis une carte. Trois interacteurs ont été fabriqués afin d'étudier et évaluer différentes métaphores d'interactions pour cette tâche.

- Le premier est un petit palet (noté 1-palet) de 35mm de diamètre et de 10mm de hauteur (voir ***Figure 2-a***). Il permet de sélectionner ou modifier une ligne de coupe en créant ou déplaçant tour à tour les deux ancres de la ligne vidéo-projetée sur la carte.
- Le deuxième interacteur est composé de deux palets (noté 2-palets), identiques au précédent, qui représentent physiquement les deux ancres de la ligne vidéo-projetée (voir ***Figure 2-b***). Avec les deux palets, il n'y a aucune phase d'activation pour accrocher la ligne ; les deux ancres physiques contrôlent constamment la ligne.
- Le troisième interacteur est une règle plate (voir ***Figure 1-b***), en plastique translucide, de 30cm de long et 4cm de large. La règle permet intrinsèquement de contrôler la position et l'orientation de la ligne.

Chaque palet est équipé d'un marqueur vert, et la règle est équipée de deux marqueurs verts, positionnés en ses extrémités. Pour valider une action (valider la coupe sélectionnée et obtenir un plan de coupe ou revenir à la carte) un boîtier de validation, équipé de boutons physiques, est à disposition sur la table (voir ***Figure 2-c***).

EXPERIMENTATION ET ANALYSE

Le prototype GeoTUI a été transporté depuis notre laboratoire jusqu'à l'IFP (voir ***Figure 1-a***), afin de mener des premiers tests utilisateurs sur le lieu de travail des géophysiciens. Douze sujets (géophysiciens) ont manipulé et évalué quatre interactions différentes pour réaliser une ligne de coupe en effectuant deux exercices avec chacune des interactions. Les douze sujets étaient droitiers. Les sujets ont utilisé les quatre interactions dans des ordres distincts afin de contrebalancer l'influence de l'apprentissage de chacun des outils et des exercices. L'utilisation de la souris sur GUI, et des interacteurs 1-palet, 2-palets, et règle sur TUI a été testée.

Le premier exercice consistait à réaliser une série de six coupes à des coordonnées précises, et le deuxième à reconnaître, à l'aide de coupes 2D, une forme géométrique 3D (une lettre de l'alphabet, voir ***Figure 3***) cachée dans un cube constituant un bloc opaque.

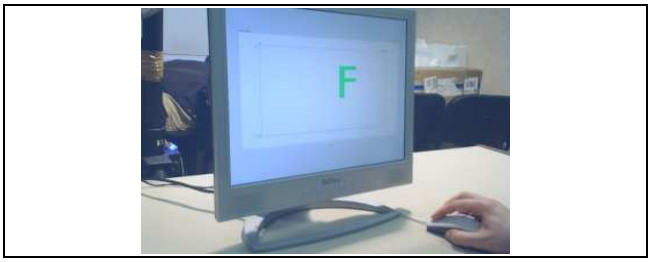


Figure 3 : Une lettre 3D, en coupe 2D, de face depuis la GUI.

Manipulation bi-manuelle

Lors de l'utilisation de l'interacteur 1-palet, une main est souvent laissée sur le boîtier de validation, tandis que l'autre déplace le palet. Lors de l'utilisation de 2-palets, une interaction à deux mains est presque toujours utilisée pour positionner les deux palets dans le même temps. Lors de l'utilisation de la règle, le type de manipulation n'a pas été le même selon la nature de l'exercice. Lors du premier exercice de sélection de coordonnées précises, les sujets ont autant manipulé la règle à une ou à deux mains. Et les manipulations à une main ont été pratiquées autant de fois avec la main gauche et la main droite. De même, lors du deuxième exercice de navigation, autant de manipulations de la règle ont été effectuées à une et à deux mains.

Concernant les manipulations à une main de la règle, les sujets ont majoritairement effectué ces manipulations avec leur main gauche (main non-dominante) en gardant leur main droite (main dominante) sur le boîtier de validation. Selon [2] cette configuration de manipulation n'est pas optimale. En effet, l'action discrète étant plus facile à réaliser que l'action continue on s'attendrait à ce que la main dominante, qui est supérieure à la main non-dominante, prenne en charge les actions continues. Notre analyse est que cette configuration main dominante / main non-dominante est une conséquence du positionnement du boîtier de validation par les utilisateurs au début de l'exercice. Toute liberté était laissée à l'utilisateur pour disposer ses dispositifs d'interaction sur l'espace de travail. Le boîtier a généralement été positionné à droite de la carte. Cette attitude est logique dans une vue occidentale : "je fais puis je valide" dans un espace

d'action de gauche à droite. En conclusion, la manipulation de la règle avec la main non dominante est restée "confortable" pour les utilisateurs puisqu'ils n'ont pas éprouvé le besoin de modifier leur espace de travail. Cela renforce le fait que l'interacteur règle est bien adapté à la tâche de coupe.

Les temps moyens de sélection de coupe qui ont alors été mesurés sont les plus petits observés durant les expérimentations. La possibilité d'avoir de multiples points de pression et de contrôle avec les doigts tout le long de la règle, permet une manipulation aisée et efficace avec une seule main. En ce qui concerne le boîtier de validation, tous les utilisateurs l'ont rapidement pris en main de manière générale, que ce soit avec l'interaction avec 1-palet, 2-palets, ou la règle. Ces observations sont synthétisées dans le ***Tableau 1***.

		Manipulation main gauche uniquement / Manipulation à deux mains / Manipulation main droite uniquement	Main posée
1P	Ex1	46% | 54%	58%
	Ex2	50% | 50%	57%
2P	Ex1	79% | 21%	0%
	Ex2	8 | 84% | 8	10%
R	Ex1	24% | 47% | 25%	17%
	Ex2	50% | 42% | 8	75%

Tableau 1 : Répartition par exercice des manipulations, à une main (gauche ou droite), et à deux mains, des interacteurs 1-palet (*1P*), 2-palets (*2P*) et règle (*R*), et pourcentage des sujets qui ont laissé poser, au moins une fois, leur main sur le boîtier de validation pendant plusieurs coupes consécutives.

Optimisation de la tâche, dextérité

Les meilleurs temps de sélection de coupe ont été observés avec la règle (12s), premier et deuxième exercices confondus. Après dépouillement et analyse statistique des questionnaires écrits auxquels les sujets ont répondu, la règle est désignée comme interacteur préféré par la majorité d'entre eux (voir ***Tableau 2***).

	S	*1P*	*2P*	*R*
Choix d'interaction	8%	8%	34%	50%
Choix d'interacteur	X	8%	34%	58%

Tableau 2 : Répartition des sujets selon leur choix d'interaction et d'interacteur préféré, entre souris (*S*), 1-palet (*1P*), 2-palets (*2P*) et règle (*R*).

Les très mauvaises performances de l'interacteur 1-palet (35s), et les remontrances des sujets à sont égard, écartent tout choix en sa faveur. Cependant, l'interacteur 2-palets n'est pas tellement moins performant que l'interacteur règle (15s contre 12s). La souris a été moins performante (17s) que les interacteurs règle et 2-palets. Les sujets ont préféré travailler sur la TUI "malgré l'habitude de la souris (sic)". Des sujets se sont plaints d'une fatigue due aux nombreux mouvements des bras lors de l'utilisation des interacteurs 1-palet et 2-palets. Pour autant, à la question "Si je devais collaborer avec plusieurs collègues pour résoudre un problème de géophysique, quelle interface, GUI ou TUI, j'utiliserai ?" tous les sujets ont choisit l'interface tangible sur tabletop avec un des interacteurs (GUI : 0%, TUI : 100%).

CONCLUSION

Les difficultés rencontrées par les géophysiciens nous ont conduits à mener une étude sur la faisabilité d'une TUI pour les géosciences. Nous proposons une TUI disséminée dans leur espace de travail, et se rapprochant de leurs conditions "spontanées" de travail. Ainsi ils peuvent se concentrer pleinement sur la tâche métier, et non pas sur l'interaction à mettre en œuvre pour l'accomplir. D'un point de vue plus général, nous avons prouvé que pour la tache de sélection d'une ligne de coupe depuis une carte un interacteur de type règle est supérieur en terme de performance et de qualité d'interaction à un interacteur de type 2-palets et est très supérieur à une interaction avec la souris et une GUI traditionnelle et à une interaction avec 1-palet. D'un point de vue champ d'application spécifique, le gain observé en ce qui concerne le temps de sélection des coupes, et la sympathie exprimée envers le travail sur la table encouragent à continuer le développement d'autres interacteurs pour les géosciences, en particulier pour la tâche de modification du contenu des coupes de sous-sol.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aliakseyeu, D., Subramanian, S., Martens, J.B. and Rauterberg, M. Interaction Techniques for Navigation through and Manipulation of 2D and 3D Data. In *Proceedings of the Eigth Eurographics Workshop on Virtual Environments EGVE'02* (May 30-31, 2002, Barcelona, Spain), Eurographics Association, 2002, pp. 179-188.
2. Bailly, G., Nigay, L. and Auber, D. 2M : un Espace de Conception pour l'Interaction Bi-Manuelle. In *Proceedings of UbiMob2005* (May 31-June 3, 2005, Paris, France), ACM Press, 2005, pp. 177-184.
3. Bowman, D.A., Kruijff, E., LaViola, J.J. and Poupyrev, I. *3D User Interface: Theory and Practice*. Addison-Wesley, 2005.
4. Jurado, F., Sinoquet, D.and Lailly, P. Jerry: a 3D reflection tomography designed for complex structures. *KIM 1996 Annual Report*, Institut Français du Pétrole, Pau, France, 1996.
5. Ullmer, B. and Ishii, H. *Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces*. IBM Systems Journal, Vol. 39, No. 3-4, 2000, IBM Corp., NJ, 2000, pp. 915-931.
6. Wellner, P. *Interacting with paper on the DigitalDesk*. Communications of the ACM, Vol. 36, No. 7, 1993, pp. 86-96.