

# Manipulation pseudo-haptique d'entités 2D

---

*Mesure de la pression sur table tactile  
Déplacement d'objets virtuels*

## RÉSUMÉ

Durant ce stage, j'ai implémenté de manière logicielle la mesure de la pression sur une table tactile. En couplant ce capteur de pression à un retour visuel, j'ai mis en place un système pseudo-haptique donnant une sensation de poids ou de frottement à des objets virtuels 2D.

Ce dispositif a ensuite fait l'objet d'une évaluation, dans le but de connaître la sensibilité de la table, ainsi que l'effet de poids ressenti par les utilisateurs. Enfin, j'ai rédigé la première version d'une publication qui sera soumise à la conférence CHI 2008, et qui relate les travaux effectués pendant mon stage.

## MOTS-CLÉS

Pseudo-haptique      IHM      Table augmentée  
2D      Manipulation d'objets virtuels

Encadrants : Sabine COQUILLART (Directrice de recherche INRIA Rhône-Alpes)  
Renaud BLANCH (Maître de conférence UJF Grenoble I)  
Jérémy BLUTEAU (Doctorant INRIA Rhône-Alpes)

4 juin 2007 - 27 juillet 2007

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
1.1	Pseudo-haptique et surfaces tactiles . . . . .	4
1.2	Cadre et but du stage . . . . .	4
1.3	État de l'art . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Développement : acquisition de la pression, manipulation pseudo-haptique</b>	<b>6</b>
2.1	Mesure de la pression . . . . .	6
2.2	Utilisation de la pression . . . . .	9
2.3	Comparaison du monde réel et du monde virtuel . . . . .	10
2.4	Autres applications possibles . . . . .	11
2.4.1	Travail collaboratif . . . . .	11
2.4.2	Zones interdites ou dangereuses, desktop . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Validation du modèle : mise en place d'une évaluation</b>	<b>12</b>
3.1	Présentation . . . . .	12
3.2	Expérimentation . . . . .	13
3.2.1	Première partie . . . . .	13
3.2.2	Deuxième partie . . . . .	14
3.2.3	Déroulement de l'évaluation . . . . .	14
3.3	Résultats . . . . .	14
3.3.1	Influence de l'utilisateur . . . . .	14
3.3.2	Taux de discrimination . . . . .	15
3.3.3	Échelles entre l'utilisateur et la table . . . . .	16
3.3.4	Résultats qualitatifs . . . . .	17
3.3.5	Problèmes rencontrés . . . . .	17
3.3.6	Conclusion . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>19</b>
4.1	Perspectives . . . . .	19
4.2	Apports sur le plan personnel . . . . .	19
<b>A</b>	<b>Principe du carré latin</b>	<b>21</b>
<b>B</b>	<b>Publication pour la conférence CHI 2008</b>	<b>21</b>

## Table des figures

1	<i>Table tactile</i> . . . . .	3
2	<i>Stylos tactiles sensibles à la pression</i> . . . . .	5
3	<i>Fonctionnement de la DiamondTouch (image tirée de [6]).</i> . . . .	6

4	<i>Le signal des antennes horizontales lorsqu'on applique une pression normale sur la table. Il s'agit d'un entier entre 0 et 255. Il y a 128 antennes horizontales, et 96 antennes verticales.</i>	7
5	<i>Le signal des antennes horizontales lorsqu'on applique une grande pression sur la table.</i>	8
6	<i>Décroissance de la moyenne lorsque la pression augmente.</i>	8
7	<i>Déplacement d'un objet virtuel lors du déplacement du doigt.</i>	9
8	<i>Capteur de pression FlexiForce.</i>	10
9	<i>Implémentation possible pour une zone dangereuse.</i>	12
10	<i>Le taux d'erreur. L'erreur moyenne ne dépasse jamais 39,03%, ce qui montre la robustesse du système.</i>	15
11	<i>Effet de l'apprentissage.</i>	16
12	<i>Échelles, particulières à chaque utilisateurs.</i>	16
13	<i>Écart entre les carrés en fonction du poids. On a tendance à séparer davantage les carrés pour les grands poids, à différence de poids égale.</i>	17

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mes encadrants, pour leur gentillesse et leur disponibilité. Merci aux volontaires d'avoir consacré un peu de temps et beaucoup de patience à mon évaluation ! Enfin, merci à toute l'équipe IIHM de l'IMAG pour leur accueil.



FIGURE 1 – *Table tactile*

# 1 Introduction

## 1.1 Pseudo-haptique et surfaces tactiles

La réalité virtuelle ainsi que la réalité augmentée commencent à être accessibles au grand public. Ainsi, la Wii de Nintendo [1] permet à un objet réel d'interagir dans un environnement virtuel. Cependant, les systèmes permettant un retour haptique, c'est-à-dire un retour des forces, nécessitent du matériel très coûteux.

Pour pallier cet inconvénient, on a constaté que l'on pouvait dans certains cas restituer une certaine sensation d'effort qui ne demande aucun retour physique : un retour visuel couplé à un capteur de force peuvent suffire à donner un résultat très similaire, par exemple pour simuler une sensation de raideur [2]. C'est ce qui est appelé le pseudo-haptique.

Les surfaces tactiles sont également très présentes autour de nous. Ainsi, nous avons l'habitude de les utiliser pour prendre un billet de train, la plupart des ordinateurs portables possèdent des souris tactiles, et les GPS ainsi que les PDA utilisent ce procédé depuis leur apparition.

Cependant, ces dispositifs, contrairement aux surfaces interactives utilisant un stylo, par exemple, n'intègrent pas aujourd'hui la pression comme un canal analogique d'information. Cela représente pourtant un nouveau moyen rapide de transmettre des informations, et il est donc intéressant de l'implanter aux surfaces tactiles.

## 1.2 Cadre et but du stage

Le stage de recherche est un stage d'Interactions Homme-Machine (IHM) dans l'équipe I3D [3] commune à l'INRIA Rhône-Alpes et au LIG, en co-tutelle avec l'équipe IIHM du LIG, dans le projet Digitable [4]. Sa durée est de deux mois.

Il consiste à donner une sensation de poids, ou de frottement (cette sensation est nommée "poids" dans la suite du rapport), lors de la manipulation d'objets virtuels 2D. Pour cela, on utilise un capteur de pression parallèlement à un retour visuel. Il faut donc dans un premier temps implémenter la mesure de la pression sur une table tactile, de manière logicielle.

Cette étude a fait l'objet d'une évaluation en vue de la soumission d'une publication à la conférence CHI 2008 [5] (voir annexe B). D'une part, il s'agit de déterminer la sensibilité à la pression du matériel utilisé. D'autre part, on évalue la réaction des utilisateurs face à ce procédé. Ces données pourront ensuite servir de base à des applications futures qui soient à la fois intuitives et simples d'emploi.

Le dispositif expérimental sur lequel le stage a été effectué est une DiamondTouch réalisée par MERL, table tactile dont la conception et le premier prototype ont été imaginés par P. Dietz et D. Leigh [6]. Il présente de nombreux avantages, dont les plus utiles dans le cadre des travaux ici présentés est la rapidité, la robustesse et la possibilité d'interactions multi-utilisateurs.

## 1.3 État de l'art

La mesure logicielle de la pression sur une DiamondTouch n'a jamais été réalisée. La pression peut être utilisée pour la sélection avec une souris tactile, d'après les travaux de MacKenzie et Oniszczak [7], qui ont montré qu'il était plus facile de sélectionner avec un

pointeur en exerçant une certaine pression sur une souris tactile (comme on le ferait avec une souris classique, lors d'un clic) qu'en utilisant les techniques actuelles. Ils utilisaient à la fois un retour tactile (résistance de la souris tactile) et un retour auditif ("clic" comme pour une souris classique). Rekimoto et Schwesig [8] ont décrit une manière logicielle d'obtenir la pression avec une souris tactile, et ont remarqué qu'elle dépendait de l'orientation du doigt.

La pression peut aussi être mesurée à l'aide d'un stylo tactile y étant sensible, comme l'ont montré Ramos et al. [9] [10], pour zoomer ou pour sélectionner des objets. Un tel dispositif est un stylo tactile usuel comportant sur le côté un bouton que l'on peut enfoncer plus ou moins (voir FIG. 2), et ainsi contrôler la pression. Ce système ne mesure donc pas la pression exercée par le stylo sur la surface tactile, mais mesure d'une part le point de contact entre le stylo et la surface, et d'autre part la pression.



FIGURE 2 – *Stylos tactiles sensibles à la pression*

On propose ici un moyen de mesurer une quantité proportionnelle à la pression avec une table tactile, qui a l'avantage d'être un appareil multi-utilisateurs ne nécessitant ni stylo, ni tout autre objet devant être tenu. Ainsi, c'est directement la pression exercée lors du contact du doigt sur la table qui est calculée. Elle sera utilisée pour protéger ou interdire des actions (on ne peut effectuer ladite action lorsque la pression est en-dessous d'un certain seuil).

De quelle manière sommes-nous sensibles à la pression ? Dans le monde réel, nous pouvons plus ou moins évaluer la force que nous exerçons pour soulever un objet ; mais nous disposons alors de nombreux retours sensoriels, et notamment tactiles, comme l'ont étudié Westling et Johansson [11]. Avec un stylo sensible à la pression, Ramos et al. ont montré [12] que nous sommes capables de choisir l'action que nous souhaitons effectuer et de la mener à bien, lorsqu'elle n'est pas la même selon la pression exercée. Par ailleurs, Mizobuchi et al. ont identifié [13] sept niveaux de pression aisément accessibles tout en étant suffisamment éloignés les uns des autres pour ne pas risquer d'interférence ; ils utilisent et préconisent un retour sensoriel, qui était visuel dans leur expérience.

Nous proposons ici de déterminer la sensibilité que peut avoir un utilisateur avec la table tactile que nous étudions, sans aucun autre retour sensoriel que la possibilité de déplacer un objet ou pas.

Le pseudo-haptique est une technique permettant, dans des configurations comme la nôtre, de simuler un retour d'effort en utilisant uniquement un capteur de force et un retour visuel, et en faisant varier le ratio entre la force exercée et la force visualisée. Elle permet notamment

d'éviter l'emploi d'un matériel très coûteux, et est très facile à mettre en œuvre. Une des premières expériences mettant en évidence cette technique est celle de Lécuyer et al. [2], dans laquelle il simule la raideur d'un ressort par ce procédé. Le fait de pouvoir comparer le ressort simulé à de véritables ressorts en montre l'efficacité. D'autres expériences ont suivi, qui par exemple utilisent la souris, ce qui permet de les rendre accessibles au grand public dès aujourd'hui : Lécuyer et al. [14] ont montré comment simuler des creux et des bosses en faisant varier la vitesse de déplacement du curseur en fonction de celle de la souris.

Nous voulons cette fois simuler une sensation de poids pour des objets virtuels, en faisant correspondre ou non le déplacement de l'objet à celui du doigt.

## 2 Développement : acquisition de la pression, manipulation pseudo-haptique

Cette partie s'attache à décrire l'implémentation logicielle de la mesure de la pression sur table tactile, et sa mise en œuvre pour le déplacement contrôlé d'objets virtuels permettant leur manipulation pseudo-haptique.

Le code a été écrit en Tcl/Tk, un langage interprété permettant de réaliser rapidement des interfaces graphiques. Il a été utilisé avec la couche orientée objet `gml_Object` [15] et le `gml_Canvas` développés par François Bérard. Il est placé sous licence libre (licence GPL).

### 2.1 Mesure de la pression

La DiamondTouch ne peut mesurer la pression de manière matérielle. Elle se compose d'une grille 2D d'antennes qui mesurent un signal électrique, selon deux directions (voir FIG. 3) [6] (ceci est une brève description du matériel utilisé, mais n'est aucunement l'objet du stage). Ce signal est une capacité dont la valeur dépend de la force exercée par un doigt (ou tout autre objet conducteur) sur la table, ainsi que de la surface du doigt en contact avec la table. Le courant électrique traverse l'utilisateur, et le signal dépend donc également de la conduction de cet utilisateur.

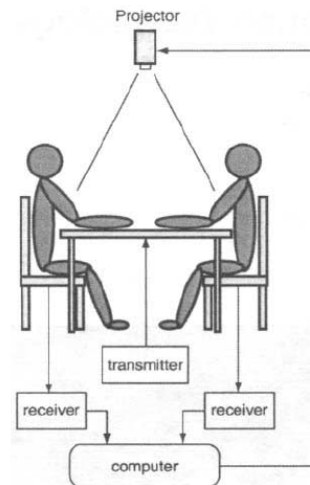


FIGURE 3 – Fonctionnement de la DiamondTouch (image tirée de [6]).

Lorsque ce dernier exerce une grande pression sur la table, d'une part il applique une plus grande force, et d'autre part l'extrémité du doigt s'écrase légèrement, ce qui fait augmenter la surface de contact entre le doigt et la table. Ces deux facteurs réunis modifient le signal des antennes, et servent donc de base pour la mesure de la pression. Les analyses qualitatives décrites ici permettent de l'expliquer.

Afin de pouvoir mieux visualiser la transformation à appliquer à partir du signal donné par les antennes pour obtenir une valeur cohérente de la pression, j'ai implémenté un programme permettant d'observer ce signal en continu. Les deux figures suivantes reproduisent cette visualisation pour les antennes horizontales lors d'une utilisation classique mono-utilisateur de la table.

La FIG. 4 montre cette visualisation lorsqu'un utilisateur applique une pression normale sur la table à l'aide d'un doigt. On constate que le signal n'est jamais nul et qu'il y a du bruit sur les antennes non touchées, bruit qui ne dépasse pas un certain seuil déterminé expérimentalement. Cependant, les antennes touchées présentent un très grand pic d'intensité, ce qui permet d'extraire facilement l'information du bruit.

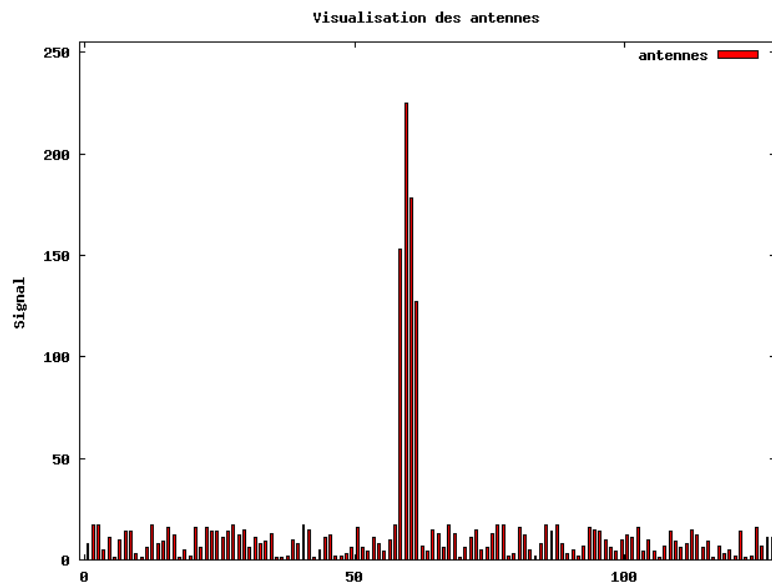


FIGURE 4 – *Le signal des antennes horizontales lorsqu'on applique une pression normale sur la table. Il s'agit d'un entier entre 0 et 255. Il y a 128 antennes horizontales, et 96 antennes verticales.*

On peut observer FIG. 5 la visualisation des antennes lorsqu'un utilisateur applique une forte pression sur la table à l'aide d'un doigt. On remarque que le bruit reste le même, mais le pic est beaucoup plus important, et davantage d'antennes sont touchées. Certaines peuvent même être saturées (toujours indiquer 255 au-delà d'un certain seuil) mais l'indication fournie par les nouvelles antennes touchées compense cette perte d'information.

La saturation des antennes empêche d'utiliser un maximum comme transformation pour obtenir la pression : il ne varierait plus au-delà du seuil de saturation des antennes. On ne peut pas non plus calculer la moyenne des antennes qui dépassent le seuil du bruit, comme le

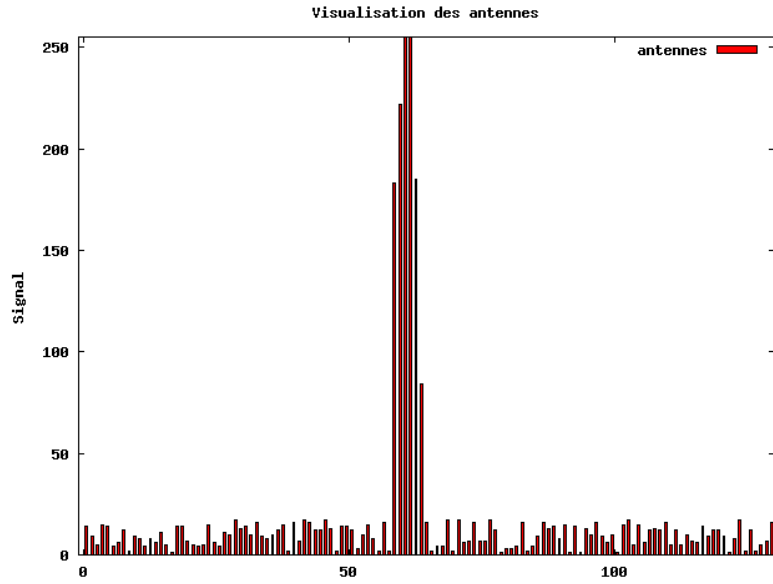


FIGURE 5 – *Le signal des antennes horizontales lorsqu'on applique une grande pression sur la table.*

montre la FIG. 6 : alors que l'on appuie plus fort pour la figure (b), la moyenne est plus faible.

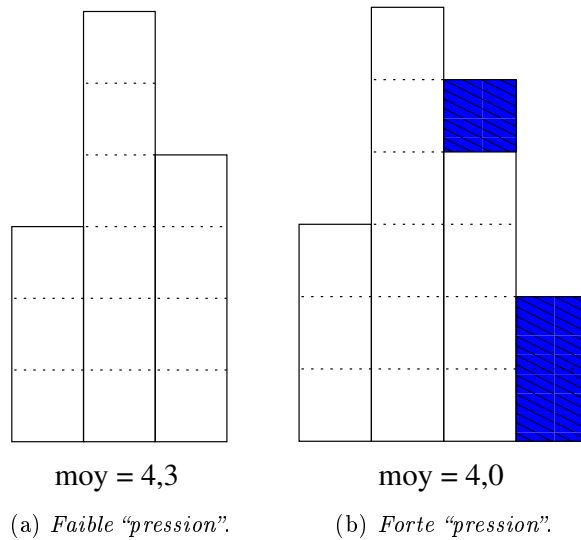


FIGURE 6 – *Décroissance de la moyenne lorsque la pression augmente.*

En revanche, la somme des valeurs des antennes qui dépassent le seuil de bruit augmente lorsque la pression augmente. Mais elle peut être faussée lorsqu'on applique une très grande surface (la main, par exemple) sans appuyer. Pour pallier cet inconvénient, on a choisi de prendre pour valeur de la pression la somme des cinq plus hautes antennes. On obtient donc une valeur entière comprise a priori entre 0 et 1275.



On a donc un modèle linéaire, qui possède l'avantage de tenir compte de la surface (ce que fait réellement la pression) tout en empêchant les trop grandes surfaces d'avoir trop d'influence. De plus, il dépend également de la force appliquée, comme on a pu le tester en utilisant une tige conductrice rigide dont l'extrémité ne pouvait pas s'écraser.

## 2.2 Utilisation de la pression

La table tactile sert avant tout à déplacer des objets virtuels, en posant un doigt dessus et en le faisant glisser. Pour cela, lorsqu'on pose le doigt dessus, le logiciel enregistre sa position sur l'objet, et modifie ensuite la position de l'objet en fonction du déplacement du doigt.

La FIG. 7 illustre cela lors d'une translation : le doigt effectue une translation  $d\vec{x}$ , ce qui fait se déplacer l'objet virtuel de  $r \times d\vec{x}$ . L'endroit où se trouve le doigt au cours du déplacement est la "position réelle du doigt", et l'endroit où se trouve le doigt vu de l'objet virtuel est la "position imaginaire du doigt". C'est elle qui est liée au déplacement de l'objet. On constate que les deux positions initiales peuvent être différentes : ce sont les positions finales du déplacement précédent.

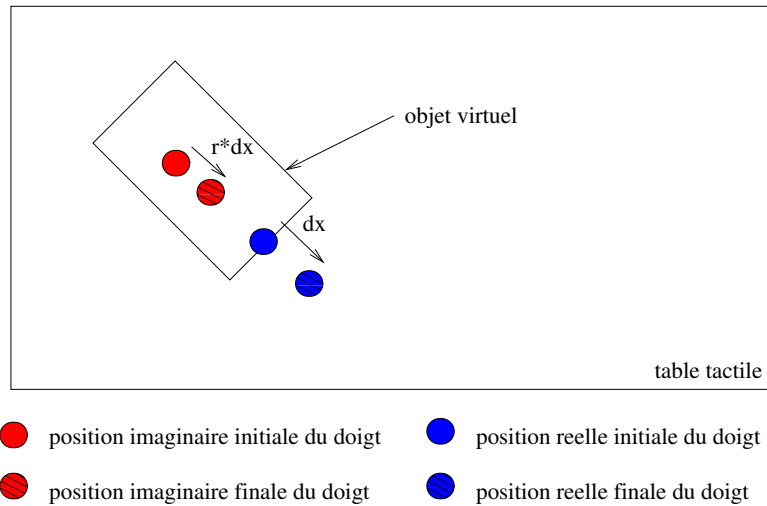


FIGURE 7 – Déplacement d'un objet virtuel lors du déplacement du doigt.

Les applications classiques (travail collaboratif, visualisation de photographies) utilisent toujours  $r = 1$ . Ici, on veut modifier ce coefficient dans le but de donner une sensation de poids à l'aide de la pression. Pour cela, on attribue à chaque objet virtuel un "poids", qui est un entier compris entre 0 et 255. On utilise un système tout ou rien :

$$r = \begin{cases} 1 & \text{si } p \geq w \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

où  $p$  est la pression et  $w$  le poids.

Lorsqu'on veut déplacer un objet sur une table (un livre, par exemple), on peut poser la main dessus et appuyer de manière à le mettre en mouvement. La pression à exercer dépend de multiples facteurs, dont le poids de l'objet, le coefficient de frottement entre l'objet et la

table, ainsi que celui entre la peau et l'objet. Si on n'appuie pas assez fort, c'est la main qui glisse sur l'objet au lieu que ce soit l'objet qui glisse sur la table.

Le système décrit précédemment permet de simuler cela : si on exerce une pression trop faible, la main glisse sur l'objet virtuel ; si on exerce une pression suffisante, l'objet suit le mouvement du doigt. Cela permet, sans aucun matériel, de simuler le poids des objets, ainsi que leur frottement sur la table.

Mais on a également constaté que ce retour visuel, qui ne donne aucune indication objective à l'utilisateur, permet cependant de déterminer la pression à exercer (c'est-à-dire la valeur de  $w$ ) avec une grande précision, comme le montre l'évaluation décrite au paragraphe 3.

## 2.3 Comparaison du monde réel et du monde virtuel

J'ai mené une étude pour connaître le profil de la force que l'on applique lorsqu'on déplace un objet sur une table. Pour cela, j'ai déplacé des objets de masses différentes, mais de même coefficient de frottement sur la table comme sur le doigt (un ou plusieurs livres identiques empilés). J'avais placé sous mon doigt un capteur de pression FlexiForce® (voir FIG. 8).



FIGURE 8 – *Capteur de pression FlexiForce.*

On a constaté que, loin de se stabiliser autour d'une certaine pression comme nous le pensions, la pression qu'on exerce est plutôt aléatoire, et totalement indépendante de la pression minimale à exercer pour déplacer l'objet (on appuie beaucoup plus fort pour être sûr que l'objet vienne).

Le risque est donc, sur la table tactile, de ne pouvoir se stabiliser autour de la pression à exercer et donc de ne pouvoir comparer les objets par leur poids. Cependant, on a constaté que la comparaison, même très fine, était tout à fait possible, comme le montre l'évaluation décrite au paragraphe 3. Et en effet, dans le monde réel, on peut aisément déterminer le poids des objets même en appliquant une pression qui semble aléatoire.

Une différence essentielle entre le déplacement des objets sur la table tactile et dans le monde réel est le frottement du doigt sur la table. En effet, lorsqu'on déplace un livre, il suit la main ; alors que lors du déplacement d'un objet virtuel, la table frotte sur le doigt.

Cela n'est pas gênant pour les utilisations classiques de la table, mais peut le devenir lorsqu'on travaille avec la pression : plus on appuie fort, et plus ce frottement se fait sentir. Cela est un retour sensoriel contradictoire avec la réalité, puisqu'on ressent moins de frottement lorsque l'objet virtuel ne se déplace pas que lorsqu'il se déplace !

Il manque bien entendu de nombreux autres retours sensoriels dans cette application, puisqu'il s'agit d'une manipulation pseudo-haptique : sentir le glissement sous le doigt, entendre le frottement... Cependant, les composantes essentielles sont présentes et suffisent à donner l'illusion du retour d'effort cherché. La particularité de ce dispositif est de n'utiliser

aucun matériel ne donnant la sensation du poids : c'est l'utilisateur qui fait lui-même le retour de force en appuyant plus ou moins fort sur la table.

L'inertie du monde réel fait également défaut. Lorsqu'on lâche un objet réel, il a tendance à continuer sa course en fonction de sa vitesse initiale, de sa masse, et des forces qui s'appliquent sur lui (en particulier, le poids et les forces de frottement). En revanche, l'implémentation du déplacement des objets telle qu'elle a été décrite ne permet pas cela : l'objet s'arrête dès qu'on le lâche.

## **2.4 Autres applications possibles**

Comme on peut utiliser la pression comme nouveau canal d'information, les possibilités d'applications ne manquent pas, et nombre d'entre elles ont déjà été proposées. On peut citer par exemple les modes de sélection mis aux point par Ramos et al. [10] ou le zoom continu de Rekimoto et Schwesig [8].

Cependant, on peut exploiter le principe de la DiamondTouch, qui est avant tout un espace de travail collaboratif. Ainsi, l'utilisation de la pression peut permettre l'établissement d'un protocole social.

De plus, le fait d'empêcher des déplacements au moyen de la pression peut être également utile au desktop, par exemple pour empêcher ou limiter l'accès à certaines zones. On peut enfin faire passer une nouvelle information, comme la taille des fichiers que l'on manipule, par le canal de la pression.

### **2.4.1 Travail collaboratif**

L'un des buts essentiels de cette table tactile est de faciliter le travail collaboratif. En effet, ce dispositif permet à plusieurs personnes d'interagir en même temps sur la même surface. À moyen terme, les personnes pourront même interagir avec des tables séparées reliées par un réseau [4].

Cela est une nouvelle conception des interactions, puisqu'on peut partager des données entre plusieurs personnes sans voir ce que les autres sont en train de faire. Parfois, plusieurs utilisateurs peuvent vouloir modifier le même document en même temps, ce qui risque de poser problème. Nous pourrions imaginer un système dans lequel quelqu'un ne pourrait récupérer un document déjà en cours d'utilisation qu'en exerçant une certaine pression, qui pourrait être la pression exercée par la personne qui l'utilise déjà, ou une valeur déterminée par l'importance de la modification...

Cela peut aussi être utile, lors de conversations à plusieurs personnes sur des ordinateurs distants, en utilisant la pression sur la souris tactile.

### **2.4.2 Zones interdites ou dangereuses, desktop**

J'ai implémenté rapidement un exemple dans lequel on ne pouvait mettre des objets dans une zone "interdite" ou "dangereuse" qu'en exerçant une forte pression (voir FIG. 9). Ainsi, il faut appuyer fortement pour passer la frontière, puis normalement une fois que l'on est dans la zone, de manière à pouvoir organiser les documents comme on le souhaite à l'intérieur.

On peut l'utiliser par exemple pour remplacer le traditionnel message de confirmation lorsqu'on veut placer un document dans la corbeille. Pour le travail collaboratif, chaque utilis-

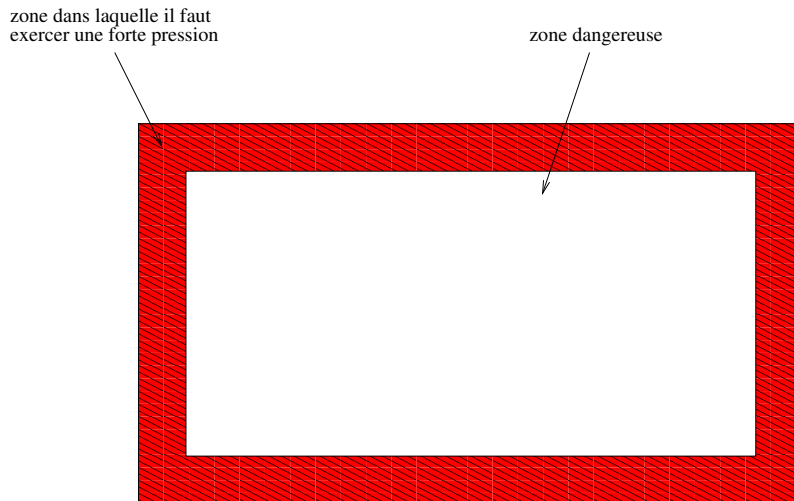


FIGURE 9 – *Implémentation possible pour une zone dangereuse.*

teur peut posséder une fenêtre de travail personnelle en plus de la surface de travail collective, qui pourrait être protégée de cette manière.

Enfin, toujours pour une utilisation de la table comme desktop, le drag-and-drop pourrait utiliser la sensation de poids que nous avons mise en place, afin de visualiser la taille d'un fichier, ou son âge... Cela permettrait par exemple de se rendre compte que l'on est en train de copier un gros fichier et que l'on peut avoir un problème d'espace de stockage.

### 3 Validation du modèle : mise en place d'une évaluation

#### 3.1 Présentation

Cette évaluation a trois principaux intérêts :

- connaître de manière quantitative la précision de la mesure de la pression sur la table ;
- connaître l'impression des utilisateurs quant au retour pseudo-haptique étudié ;
- avoir une échelle de la pression ressentie en fonction du poids des objets.

Ainsi, on pourra ensuite utiliser ce dispositif pour mettre en place de nouveaux modes d'interaction utilisant la pression, qui soient à la fois intuitifs et faciles d'emploi.

Une évaluation consiste en la répétition de tests prédéfinis sur une quinzaine de participants extérieurs au domaine de recherche et choisis dans la classe des chercheurs, afin de prouver la validité de nos travaux, de déterminer des seuils de sensibilité, et d'explorer différentes possibilités d'applications. Les participants ne sont pas représentatifs de la population, tant par leur nombre que par leur secteur d'activité. L'évaluation ne peut donc pas se prêter à une analyse statistique fine ; néanmoins, elle peut servir de pré-test permettant aux scientifiques de poursuivre leurs recherches dans telle ou telle direction, et aux industries de posséder une base de tests pour faire une étude plus poussée si elles le souhaitent. De plus, cela est un contact enrichissant avec d'autres chercheurs qui permet de prendre le recul que nous n'avons pas forcément en travaillant longtemps sur le même dispositif.

Mon évaluation se divise deux parties : la première, qualitative, sert d'apprentissage pour le participant et me permet d'analyser la pertinence et l'efficacité du procédé pseudo-haptique utilisé ainsi que l'effet ressenti sur l'utilisateur ; la deuxième, quantitative, sert à déterminer la précision de la mesure de la pression sur la table tactile et à établir une échelle entre le poids ressenti et le poids "réel". Elles sont décrites en détail ci-après.

Dans toute l'évaluation, les participants doivent manipuler des carrés virtuels, en posant un doigt (et un seul) dessus et en le faisant glisser sur la table. Lorsqu'ils lèvent le doigt, le carré ne bouge plus, jusqu'à ce qu'ils posent à nouveau le doigt dessus. De plus, ils doivent exercer une pression suffisante pour arriver à déplacer les objets, comme décrit en détail précédemment.

On utilise un retour visuel pour le doigt : lorsque celui-ci se pose sur l'un des carrés, un disque rouge apparaît au bout du doigt et se déplace en même temps que lui, même lorsque le carré ne bouge pas ; il disparaît lorsque le doigt quitte le carré, soit en décollant le doigt de la table, soit parce que le carré n'a pas suivi le doigt car la pression était trop faible. Ce retour visuel est un témoin inconscient du bon fonctionnement de la table : le fait que le carré ne bouge pas ne peut être dû à une défaillance de la table, car dans ce cas, le disque rouge ne suivrait pas non plus. Il faut donc chercher une autre raison.

## **3.2 Expérimentation**

### **3.2.1 Première partie**

Dans cette première partie, les participants peuvent apprendre comment utiliser de manière sûre et rapide la pression sur la table. Mais son but principal est de connaître la réaction des utilisateurs alors qu'on ne leur explique pas que la manipulation des objets dépend de la pression. On veut savoir s'ils peuvent trouver aisément la manière dont cela fonctionne et surtout s'ils intègrent facilement le fait de devoir faire passer des informations au système par le nouveau canal que représente la pression.

L'expérimentation s'ouvre sur un écran d'introduction, exposant aux participants qu'il vont devoir déplacer des carrés et comment le faire ; mais il n'est fait aucune mention du fait que le déplacement n'est possible qu'en exerçant une pression suffisante. Deux carrés sont représentés, l'un léger et l'autre lourd, et l'utilisateur peut les manipuler autant qu'il le souhaite. Le texte énonce que ces deux carrés doivent "[réagir] différemment à la manipulation", pour orienter les utilisateurs dans une direction leur permettant de trouver une différence entre les deux carrés sans pour autant leur donner d'information.

Ensuite est expliqué le premier test : en tenant compte de la différence qu'ils viennent d'observer, ils doivent trouver un critère pour classer quatre carrés dans l'ordre croissant. Ce test est répété 10 fois, et à chaque fois, les carrés ont des poids compris entre 70 et 130 choisis aléatoirement et séparés par la même différence de poids qui est elle aussi choisie aléatoirement. Il n'y a pas de limite de temps. À la fin des dix tests, les participants doivent répondre à la question suivante : "Quel nom donneriez-vous au critère que vous avez choisi pour classer les carrés?". Cela a pour but de déterminer s'il y a un effet ressenti, et dans ce cas de savoir s'il s'agit vraiment du poids ou des frottements, ou autre chose. À la base, la différence entre les carrés est uniquement le fait de devoir appuyer plus fort pour en déplacer certains ; mais la question posée demande un niveau d'abstraction supérieur afin de connaître l'effet ressenti par les participants.

Les termes de "pression" ou de "poids", "frottements", ne sont jamais évoqués dans ce premier test.

### 3.2.2 Deuxième partie

Pour la deuxième partie, dont le but est de déterminer de manière quantitative la sensibilité du matériel et l'échelle entre le poids ressenti et le poids "réel", le principe de fonctionnement est totalement expliqué : la possibilité de déplacer des objets dépend de la pression exercée.

Les participants doivent maintenant comparer des carrés deux à deux, et les placer sur un axe orienté. Cet axe, non gradué, représente la distribution des poids de tous les carrés vu au cours de l'expérience ; ainsi, l'utilisateur doit placer le carré qu'il estime le plus léger à gauche, un celui qu'il estime le plus lourd à droite ; il doit également tenir compte de la différence de poids ressentie pour l'écart entre les carrés (s'il n'y en a aucune, on peut superposer les carrés). Ce test est répété 81 fois, selon le principe du carré latin (voir annexe A). Les carrés ont pour poids 80, 95 ou 110, plus ou moins 2, 4 ou 6. Il n'y a pas de limite de temps.

Cela permet d'obtenir trois types d'informations :

- la comparaison des carrés ;
- l'écart entre eux ;
- la place de chacun d'eux sur l'axe.

Ainsi, nous pourrions connaître la sensibilité de la table pour la pression (grâce au taux d'erreur lors de la comparaison) mais aussi les relations entre le poids ressenti et le poids réel, et la différence de poids ressentie et la différence de poids réelle.

### 3.2.3 Déroulement de l'évaluation

13 volontaires ont participé à l'expérimentation, qui durait en moyenne 40 à 50 minutes.

Pendant toute la durée de l'expérience étaient enregistrés la pression appliquée sur la table, les répartitions des poids des carrés, et les résultats (classement dans la première partie, abscisse des carrés dans la seconde). Étaient relevés l'âge des participants, leur latéralité, et la réponse à la question portant sur le ressenti après la première partie de l'expérience.

## 3.3 Résultats

De manière générale, on a constaté que les résultats dépendaient beaucoup des utilisateurs. Chaque utilisateur a sa propre manière de déterminer le poids des objets, sa propre échelle de poids.

Cependant, malgré ces disparités, on observe un taux d'erreur moyen n'excédant pas 39,03%, ce qui est très encourageant pour pouvoir utiliser la pression sur la table aisément lors d'applications futures. Les données concernant le placement des carrés sur l'axe sont également encourageantes et ont permis de déterminer une échelle qu'il pourra être utile d'utiliser par la suite.

### 3.3.1 Influence de l'utilisateur

Pour la seconde partie, nous avons réalisé des analyses de variances sur le taux d'erreur, le placement des objets sur l'axe et l'écart entre les objets. Bien que de peu de signification étant données les conditions du test, ces ANOVA montrent clairement l'effet de l'utilisateur sur ces trois paramètres.

Un moyen de remédier à ce problème serait de réaliser une calibration lors de l'utilisation de la table. En effet, certaines personnes avaient par exemple beaucoup plus de mal que d'autres à déplacer les carrés (pour des raisons physiques, comme la moiteur des mains ou

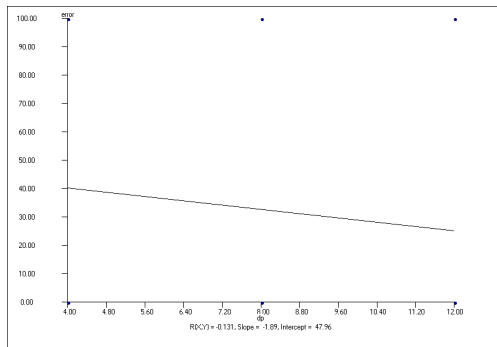
la mauvaise conduction du courant électrique), ce qui les empêchait de pouvoir distinguer facilement les poids. De fait, on constate également que certains sentaient les carrés toujours lourds et d'autres toujours légers.

Cependant, l'influence de l'utilisateur change peu de choses pour l'étude des autres facteurs, et permet de mettre en évidence des disparités intéressantes que l'on peut cependant facilement corriger par une calibration.

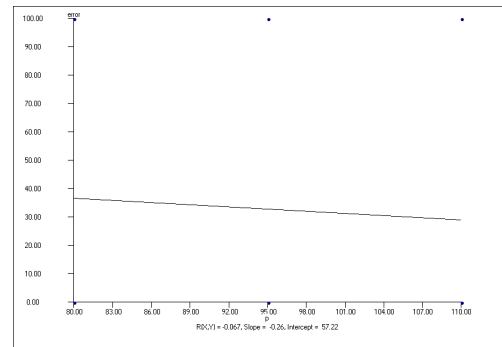
### 3.3.2 Taux de discrimination

L'intérêt de cette étude est de comparer le taux d'erreur avec la différence de pression, afin de savoir combien de pressions différentes on peut facilement contrôler avec ce dispositif. On peut également en apprendre davantage sur la capacité d'apprentissage concernant ce système, en observant le taux d'erreur et la durée des tests au cours de l'évaluation.

On constate que l'erreur diminue lorsque la différence de pression augmente, ce qui est plutôt logique, mais également lorsque la pression augmente (voir FIG. 10). Cela peut être dû à un seuil de pression, qui dépend de chaque utilisateur, en-dessous duquel on ne peut faire de différence.



(a) Le taux d'erreur en fonction de la différence de pression.

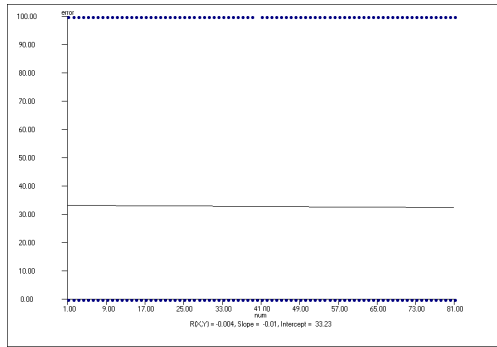


(b) Le taux d'erreur en fonction de la pression.

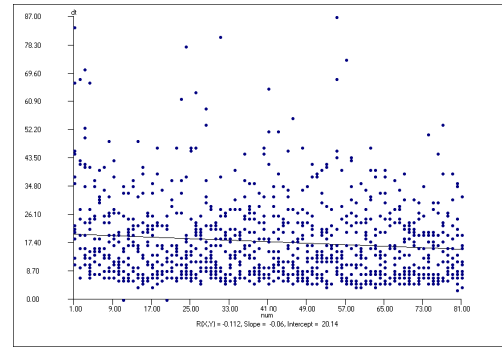
FIGURE 10 – Le taux d'erreur. L'erreur moyenne ne dépasse jamais 39,03%, ce qui montre la robustesse du système.

Concernant la capacité d'apprentissage du système, la FIG. 11 montre que le taux d'erreur diminue de manière insignifiante au cours de l'expérience, alors que le temps a tendance à diminuer plus rapidement. Cela prouve la présence d'un effet d'apprentissage, qui concerne davantage le temps passé à distinguer deux objets de poids différents qu'à augmenter la capacité de distinction.

Ainsi, on remarque que l'on peut assez aisément différencier des écarts de poids très faibles, et ce sans un retour visuel direct de la pression exercée. Mizobuchi et al. avaient montré [13] que pour maintenir une pression donnée, un tel retour était nécessaire ; mais nos applications ne consistent pas à maintenir une pression mais à sentir le poids, ce qui détache complètement la pression à exercer d'une valeur numérique.



(a) Le taux d'erreur au cours de l'expérience.



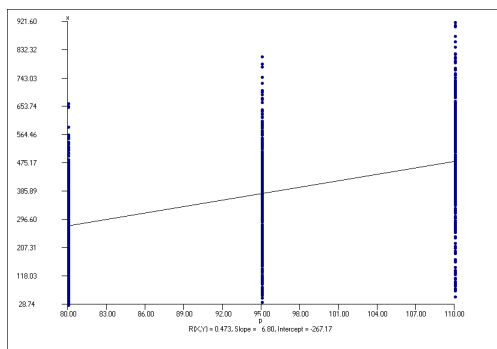
(b) La durée des tests au cours de l'expérience.

FIGURE 11 – Effet de l'apprentissage.

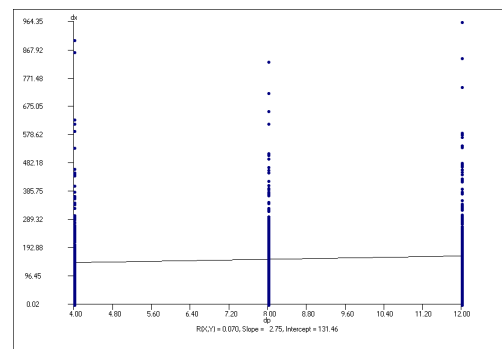
### 3.3.3 Échelles entre l'utilisateur et la table

Bien que ces échelles dépendent beaucoup de chaque utilisateur, certaines constantes apparaissent qui permettent de déterminer une échelle intéressante.

Vérifiant nos hypothèses, la position sur l'axe dépend du poids et l'écart entre deux carrés dépend de la différence de poids (voir FIG. 12). En revanche, on constate également que l'écart entre les carrés dépend du poids, comme le montre la FIG. 13.



(a) Placement sur l'axe en fonction du poids.



(b) Écart sur l'axe en fonction de la différence de poids.

FIGURE 12 – Échelles, particulières à chaque utilisateurs.

Cela est lié au fait que nous commettons moins d'erreur pour les grandes pressions : comme nous pouvons mieux sentir la différence, nous avons tendance à sentir plus de différence. L'intérêt d'un tel résultat est de pouvoir ajuster l'échelle des poids réels, afin que celle des poids ressentis soit linéaire, et qu'elle soit donc plus naturelle pour l'utilisateur et plus facile d'emploi. Il suffit de répartir les poids de manière logarithmique, c'est-à-dire avec moins d'écart pour les poids plus grands.

Cela, combiné à la calibration, doit permettre d'une part de normaliser les échelles, et d'autre part de permettre un emploi aisé de la pression sur la table.



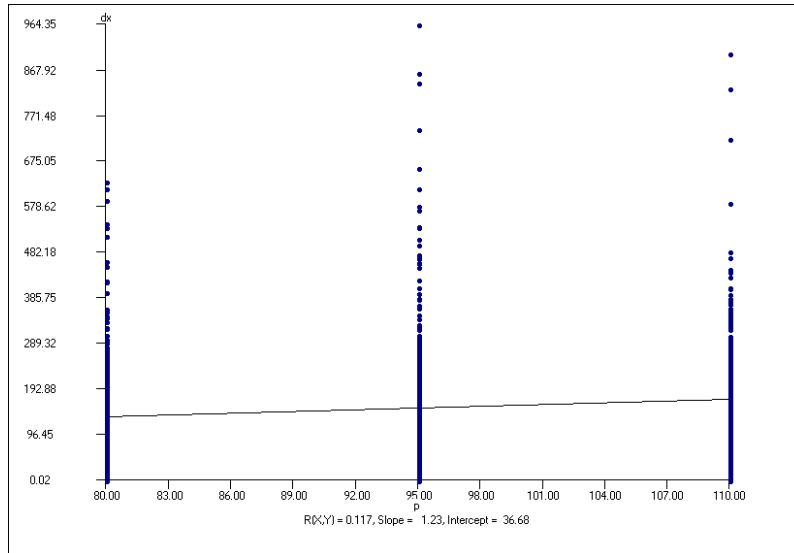


FIGURE 13 – Écart entre les carrés en fonction du poids. On a tendance à séparer davantage les carrés pour les grands poids, à différence de poids égale.

### 3.3.4 Résultats qualitatifs

Le premier test permettait de tester le caractère intuitif du système, mais surtout de déterminer l'existence d'un effet pseudo-haptique et de le caractériser.

Pour la réponse à la question terminant la première partie, deux participants déclarèrent n'avoir trouvé aucun critère, cinq avoir choisi la pression ou la surface qu'ils devaient appliquer, cinq la difficulté pour déplacer l'objet, et un le poids.

Les deux personnes qui n'ont pas pu trouver de critère n'ont pas pensé que la table captait la pression, mais qu'il fallait appuyer fort sur tous les carrés car elle n'était pas assez sensible, comme détaillé au paragraphe 3.3.5.

La question demandait de mettre un nom sur le critère, et donc de se placer à un niveau d'abstraction assez élevé. Le but était de savoir si un effet sous-jacent à la tâche pouvait éventuellement permettre de classer plus facilement.

Pour les personnes ayant répondu "la pression" ou "la surface", on peut donc penser qu'il n'y avait aucun effet ressenti, ou du moins pas suffisamment clair pour que son nom vienne naturellement lorsqu'on demandait le critère. Au contraire, les personnes ayant répondu "une difficulté de déplacement", c'est-à-dire un frottement, ou "un poids", ont ressenti l'effet que nous pensions.

L'effet pseudo-haptique qui ressort n'est donc pas totalement clair, puisque la moitié seulement des personnes l'ont ressenti. En revanche, pour celles dont c'est le cas, il apparaît bien que l'on puisse simuler un poids et un frottement.

### 3.3.5 Problèmes rencontrés

**De l'utilisation de la pression** Un problème récurrent lors des tests est le manque d'habitude pour utiliser la pression. En effet, très peu d'appareils sensibles au toucher l'utilisent.

En outre, certains d'entre eux (par exemple, les écrans tactiles en libres services) ne sont pas toujours très sensibles, et nous avons l'habitude de considérer que ces appareils ne fonctionnent pas bien et d'appuyer très fort dessus jusqu'à obtenir ce que l'on souhaite. De plus, la "panne informatique" étant largement évoquée pour toutes sortes de problèmes, nous avons l'habitude de ne pas y prêter attention et de répéter l'opération patiemment jusqu'à ce qu'elle fonctionne.

Ce problème lié au manque de confiance dans le matériel est apparu lors de l'expérimentation : au départ, lorsque les carrés ne se déplaçaient pas car les participants n'appuyaient pas assez fort, nombre d'entre eux avaient tendance à croire que cela était dû à un manque de sensibilité du système (alors qu'il suffit de l'effleurer pour obtenir un signal semblable à celui de la FIG. 4) et à toujours appuyer fort par la suite. Bien sûr, cela les entraînait sur une fausse piste pour le premier test, mais qui a été rapidement corrigée dans une très grande majorité des cas.

Nous avons nous-mêmes constaté ce problème lors de pré-tests parmi les personnes de l'équipe : elles oubliaient leur connaissance du matériel pour elles aussi appuyer toujours fort !

C'est pour cette raison que le suivi du doigt avait été ajouté, après plusieurs autres essais. Par exemple, nous avons essayé de faire se dégrader l'objet (changement de couleur, vibrations) ou le mouvement (ralentissement de l'objet) lorsque la pression devenait trop forte, afin d'inciter les utilisateurs à rester modérés. Mais plutôt que de faciliter la tâche, cela a encore accru l'incompréhension des utilisateurs (en effet, dans la réalité, un objet sur une table n'a aucune raison de ralentir lorsqu'on appuie trop fort dessus pour le déplacer, mais a plutôt tendance à devenir plus difficile à mettre en mouvement).

Il n'était donc pas facile de "faire comprendre" implicitement que la table était sensible à la pression, et le suivi du doigt nous a paru un bon compromis. Il s'est effectivement révélé efficace puisque 85% des participants ont très bien réussi la première partie du test.

**Surface de contact** La valeur de la pression mesurée ainsi que la sensibilité des utilisateurs dépend de la surface du doigt en contact avec la table. Ainsi, l'évaluation nécessitait d'avoir le doigt posé assez horizontalement sur la table pour pouvoir manipuler les carrés avec aisance, alors que la plupart des participants posaient plus naturellement le doigt verticalement. Cependant, cela ne desservait pas les résultats du test : il suffisait de positionner correctement le doigt.

Ce que l'on cherche à mesurer est une quantité proportionnelle à la pression, pression qui dépend dans le monde réel de la surface de contact. Ainsi, il peut être plus efficace non pas de chercher à réduire cette dépendance, mais d'adapter la mesure de la pression aux préférences de l'utilisateur, et notamment l'orientation du doigt, en réalisant une calibration qui intègre ce point.

### 3.3.6 Conclusion

Pour pouvoir prouver l'existence de cet effet, on peut, à partir des résultats obtenus grâce à cette expérience, mettre en place une nouvelle expérimentation dans laquelle on comparerait le déplacement d'un objet virtuel avec celui d'objets réels. Le but de cette expérience était de mettre un nom sur l'effet et de connaître la fiabilité de la table, afin de pouvoir continuer les travaux dans cette direction.

On sait maintenant que l'on peut assez facilement différencier plusieurs "poids" donnés à des objets virtuels de cette façon, et la prochaine étape est de combiner objets virtuels et objets réels.

## 4 Conclusion

### 4.1 Perspectives

On dispose maintenant d'un moyen simple et fiable de mesurer la pression de manière logicielle sur la DiamondTouch, ainsi que d'un jeu de données permettant d'exploiter au mieux cette pression pour concevoir des outils utilisateurs. De nombreuses recherches sont effectuées autour de l'utilisation de la pression sur surface tactile, qui pourrait apparaître prochainement pour le grand public.

Le pseudo-haptique n'en est qu'à ses débuts. Il est apparu récemment dans certains jeux vidéos : par exemple, pour la course automobile, il faut accélérer beaucoup pour faire avancer la voiture lorsqu'elle est sortie de la route, afin de simuler la difficulté à sortir du gazon.

Le problème est que toutes les études qui sont faites sont "expérimentales" : on simule l'effet recherché, et on fait varier certains paramètres jusqu'à ce que cela semble le plus vraisemblable possible. Le phénomène est difficile à expliquer, puisqu'il est basé sur un ensemble de stimuli qui nous font percevoir une réalité qui n'est pas.

Les résultats sont cependant très encourageants, et en particulier la simulation du poids pour des objets 2D. La sensation de poids est vraiment présente, et peu de choses sont à rajouter pour la rendre sans équivoque : avant tout, l'inertie des objets. La comparaison avec le réel semble tout à fait possible (malheureusement, le stage n'était pas assez long pour la faire), sous réserve de trouver des objets réels qui n'ont aucune autre différence visible que le poids!

Mon travail apporte donc une base pour l'utilisation de la pression sur table tactile dans le but de simuler un poids. La partie innovante de ce système est que tout est réalisé de manière logicielle, de la mesure de la pression au retour d'effort du poids.

### 4.2 Apports sur le plan personnel

Ce stage m'a beaucoup appris, et en particulier dans le domaine de la programmation. Alors que Tcl/Tk m'était totalement inconnu, j'ai dû développer rapidement un moyen de récupérer le signal des antennes à bas niveau pour en extraire ce qui permet de calculer la pression et l'utiliser à haut niveau. J'ai également appris des rudiments de Gnuplot, et de la conception d'un Makefile.

J'ai dû mettre en place une expérimentation humaine, ce qui était nouveau pour moi, aussi bien au niveau de conception du programme de test, des textes d'introduction (qui doivent être suffisamment explicites sans tout dévoiler), de la recherche de volontaires puis du passage des tests... Mais c'est par l'exploitation des résultats que j'ai le plus appris, au niveau des statistiques (dont j'ai eu un très rapide aperçu pour la publication).

J'ai eu la chance d'avoir un stage de recherche en informatique très complet, durant lequel j'ai fait à la fois de la programmation, une expérimentation, de la bibliographie, la rédaction

d'une publication ! J'ai également pu découvrir le domaine de l'IHM, que je ne connaissais pas, et le monde de la recherche, qui m'a beaucoup plu.

Et tout cela dans le cadre agréable de Grenoble (où j'ai eu de la chance : il n'a pas fait trop chaud) !

## Références

- [1] Nintendo Wii. <http://wii.nintendo.com>.
- [2] A. Lécuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard, and P. Coiffet. Pseudo-haptic feedback : Can isometric input devices simulate force feedback? *Proc. of the IEEE Virtual Reality 2000 Conference*, page 83, 2000.
- [3] The I3D team, INRIA Rhône-Alpes, France. [http://www.inrialpes.fr/prji3d/0/fiche\\_\\_\\_projetrecherche/&RH=1143805542938](http://www.inrialpes.fr/prji3d/0/fiche___projetrecherche/&RH=1143805542938).
- [4] The DIGITABLE project. <http://digitable.imag.fr/pmwiki.php>.
- [5] The 26<sup>th</sup> CHI Conference. <http://chi2008.org>.
- [6] P. Dietz and D. Leigh. Diamondtouch : a multi-user touch technology. *Proc. CHI 2001*, pages 219–226, 2001.
- [7] I. S. MacKenzie and A. Oniszczak. A comparison of three selection techniques for touchpads. *Proc. CHI 1998*, pages 336–343, 1998.
- [8] J. Rekimoto and C. Schwesig. Presenseii : bi-directional touch and pressure sensing interactions with tactile feedback. *CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1253–1258, 2006.
- [9] G. Ramos and R. Balakrishnan. Zliding : fluid zooming and sliding for high precision parameter manipulation. *Proc. CHI 2005*, pages 143–152, 2005.
- [10] G. Ramos and R. Balakrishnan. Pressure marks. *Proc. CHI 2007*, pages 1375–1384, 2007.
- [11] G. Westling and R. S. Johansson. Responses in glabrous skin mechanoreceptors during precision grip in humans. *Experimental Brain Research*, 1987.
- [12] G. Ramos, M. Boulos, and R. Balakrishnan. Pressure widgets. *Proc. CHI 2004*, pages 487–494, 2004.
- [13] S. Mizobuchi, S. Terasaki, T. Keski-Jaskari, J. Nousiainen, M. Ryyanen, and M. Silfverberg. Making an impression : force-controlled pen input for handheld devices. *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1661–1664, 2005.
- [14] A. Lécuyer, J.-M. Burkhardt, and L. Etienne. Feeling bumps and holes without a haptic interface : the perception of pseudo-haptic textures. *Proc. of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 239–246, 2004.
- [15] Presentation of gml\_Object and source code. <http://iihm.imag.fr/nigay/ENSEIG/RICM3/siteWebRICM/TclTk/object.htm>.

## A Principe du carré latin

Un carré latin est un tableau carré de  $n$  lignes et  $n$  colonnes, contenant  $n$  symboles différents, et pour lequel chaque ligne et chaque colonne contient une et une seule fois chaque symbole. On peut obtenir tous les carrés latins de taille  $n$  en partant du carré latin :

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & \dots & n \\ 2 & 3 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n & 1 & \dots & n-1 \end{bmatrix}$$

et en appliquant un certain nombre de permutations de deux lignes ou de deux colonnes.

L'intérêt d'un tel carré est d'obtenir une suite "pseudo-aléatoire" pour l'ordre de passage des tests : en effectuant des combinaisons aléatoires de permutations, on obtient un carré latin aléatoire. Si chaque numéro représente un test, la lecture ligne par ligne du tableau donne un ordre de passage des tests qui garantit une équité : chacun des  $n$  tests sera placé à chacune des  $n$  positions possibles, deux tests identiques ont peu de chance de se suivre...

Le carré latin était le même pour tous les participants à mon évaluation :

$$\begin{bmatrix} 7 & 5 & 2 & 1 & 6 & 8 & 3 & 0 & 4 \\ 8 & 6 & 3 & 2 & 7 & 0 & 4 & 1 & 5 \\ 0 & 7 & 4 & 3 & 8 & 1 & 5 & 2 & 6 \\ 4 & 2 & 8 & 7 & 3 & 5 & 0 & 6 & 1 \\ 5 & 3 & 0 & 8 & 4 & 6 & 1 & 7 & 2 \\ 6 & 4 & 1 & 0 & 5 & 7 & 2 & 8 & 3 \\ 1 & 8 & 5 & 4 & 0 & 2 & 6 & 3 & 7 \\ 2 & 0 & 6 & 5 & 1 & 3 & 7 & 4 & 8 \\ 3 & 1 & 7 & 6 & 2 & 4 & 8 & 5 & 0 \end{bmatrix}$$

avec les tests suivants :

dp \ p	80	95	110
2	0	1	2
4	3	4	5
6	6	7	8

où les poids des carrés étaient :  $w = p \pm dp$ .

## B Publication pour la conférence CHI 2008

Voici la première version de la publication qui sera soumise à CHI 2008 (à ce jour, la version définitive n'est pas achevée).

# Pressure on a digital table : sensibility and utilization

**Chantal KELLER**  
École Normale Supérieure  
de Lyon  
46, allée d'Italie  
69364 LYON Cedex 07  
FRANCE  
chantal.keller@ens-lyon.fr

**Sabine COQUILLART**  
I3D Project  
INRIA Rhône-Alpes  
Inovallée  
655, avenue de l'Europe  
Montbonnot  
38334 SAINT ISMIER  
Cedex  
FRANCE  
Sabine.Coquillart@inria.fr

**Renaud BLANCH**  
Laboratoire d'informatique  
de Grenoble  
Bâtiment IMAG B  
385, avenue de la  
Bibliothèque  
38400 SAINT MARTIN  
D'HERES  
FRANCE  
renaud.blanch@imag.fr

## ABSTRACT

In the next few years, the pressure is bound to be a new way for people to pass information to devices; and the future common interaction instruments tend to use tactile surfaces.

In this paper, we show that the pressure applied with the fingers during tabletop interactions can be estimated with great precision without modification of the hardware on the MERL DiamondTouch, and presumably on other tabletop setups. We also show that this pressure can be used to simulate a weight or a friction for the virtual objects manipulated on the table.

Two controlled experiments are reported. The first demonstrates that users can accurately order virtual objects according to their virtual weights, provided they are sufficiently distincts. The second investigates the relationship between the virtual weights and the actual perception of the users, while collecting many informations about the precision of the device.

## Author Keywords

DiamondTouch, tactile surface, pressure, virtual object, virtual weight, pseudo-haptic.

## ACM Classification Keywords

The ACM Classification keywords here.

## INTRODUCTION

Digital surfaces are becoming more and more predominant in our world. Lots of automata and vending machines work thanks to tactile screens. Most of the laptops have touchpads. Nonetheless, those systems often do not take the pressure into account, while it is an analogical channel to transmit information.

As digital tables may be in the short term in our houses, as the Surface of Microsoft [1] lets think, or at least commonly used in public spaces, it could be useful to integrate the pressure on those devices. The DiamondTouch [2] is a fast reliable multi-user example of such a tactile surface. Its most important advantage and use is to allow a collaborative work on an interactive surface, so a social protocol is needed.

Basically, the DiamondTouch is mainly used to move virtual objects on a table. It is sensible to the apparition of the finger on the table, its motion, and its disappearance, and can give easily the coordinates of the users' fingers.

But not the pressure they exert. Here is the presentation of one way to implement the capture of the pressure on the table. This implementation is then evaluated by a test that also measures both the sensibilities of the table and the user considering the pressure.

In fact, in this implementation, the pressure is used to give a feeling of weight for the virtual objects. Indeed, the objects are attributed a fictive "weight" and the user can move it only if the applied pressure exceeds this weight, basing on an all or nothing system. In the real life, if one wants to move an object — a book for example — that lays on a table, he can put some fingers on it and apply a certain pressure to move it. We reproduced this on the table.

This pressure depends of a multiple of factors, not only the weight. So we have here a model that we want to know the best way to use it. How can we use this channel to give information to the device, in the way that fits the best the user ? To answer this question, we propose an experiment in which we explain just a little the device to the participants, to know how they feel the use of the pressure.

We describe how to capture the pressure and to use it to make objects move or not, then the two experiments and their results, finally some possible applications and future works.

## RELATED WORKS

One of the earlier use of tactile surface is the work by Herot and Weinzapfel in 1978 [3]. While clarifying the easiness of using one's finger so as to make actions on a surface, they showed that it was possible to control the pressure of this finger on a glass surface with a good accuracy and to perform some tasks depending on pressure. Buxton et al. compared a touch-sensitive tablet to other materials [4] and concluded that this device was complementary to a mouse, but permitted to repair many positions at the same time and to use a discrete or continuous measure of the pressure. However, they noticed that the friction of the table was disturbing, above

all with large gestures using a huge pressure, and that there was no tactile feedback. Minsky [5] showed through three examples how everyday life gestures could be integrated to a pressure sensitive table, implementing for instance a painting game. The concept of the DiamondTouch was largely described by Dietz and Leigh [2] as a cheap unburdensome device, allowing multi-user touch. We chose to use it due to all its qualities developed in their paper, and its robustness and fastness.

To our knowledge, the way to integrate pressure on a DiamondTouch has never been tested yet. Pressure was added to touchpads as a selection means by MacKenzie and Oniszczak [6]: they showed it was easier to select with the pointer by exerting a pressure on the pad, as we would do with a mouse, than with the commonly used techniques. They used both a tactile feedback (resistance from the pad) and a sonorous feedback (“click” like a mouse). Rekimoto and Schwesig [7] explained how to obtain the pressure with a touchpad, and noticed their system depended on the orientation of the finger. Pressure can also be measured using a pressure-sensitive tactile pen, as explained by Ramos et al. [8] [9], to zoom or to select objects. We propose to implement the way to measure the pressure on a tactile table, which is a multi-user device with no pen or other to hold, and use it for preventing jobs (one cannot perform an action without a certain pressure). We would also discuss the encountered problems compared to the ones on other devices.

Multiple works wonder how sensible to pressure we are. In the real life, we are able to exert a certain force to lift an object, thanks to plenty of sensory feedbacks, above all tactile feedbacks, as observed by Westling and Johansson [10]. Using a pressure-sensitive pen, Ramos et al. showed [11] that we were able to perform an action which could only be done in an interval of pressure, and Mizobuchi et al. identified [12] seven levels of pressure we could easily maintain, provided that there is a feedback, which was visual in their experiments. According to the authors, the users tended to exert a too high pressure with no feedback. We propose here to determine the sensibility of one using this device with no feedback but the possibility to move a virtual widget or not.

Finally, we want to know if the fact that we have to use a certain pressure to perform an action is intuitive or not, as did Raisamo [13]. In the experiment we propose, we do not precise the way to make the widgets move, expecting people would automatically press higher to do it, as it would be in the real life.

### PRESSURE ON A DIGITAL TABLE

DiamondTouch cannot directly provide us with the pressure. It is compound with a row-column antenna pattern, which measures an electrical signal in both the horizontal and the vertical directions [2]. This signal is, in fact, a capacitance depending on the force exerted on the table, and on the surface of the finger in contact with the table.

When a user applies a great pressure on the surface, the force exerted on the table increases, and the very end of the finger

crushes itself on the table. As a result, the information given by the device can be used to get the pressure of the finger.

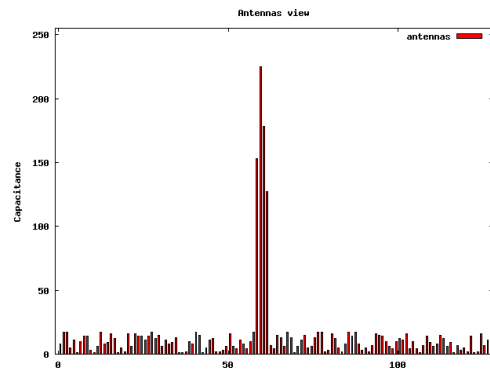


Figure 1. The signal of each  $X$  antenna, while applying a normal pressure with one finger. The signal is an integer between 0 and 255 and there are 128 antennas.

Figure 1 is a classical visualization of the signal detected by the antennas when a user applies one finger with a normal pressure. We can see that the signal of the antennas is never zero, and that there is some noise for the antennas that are not touched. This noise never exceeds a certain threshold that we determined experimentally. However, for the others, there is a peak of intensity. So we can bring out this peak to get a correct signal.

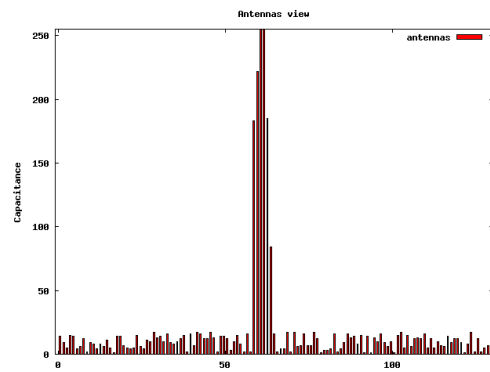


Figure 2. The signal of each  $X$  antenna, while applying a great pressure with one finger.

Figure 2 is a classical visualization of the signal detected by the antennas when a user applies one finger with a great pressure. The noise is the same, but the peak is quite more important, and more antennas are touched. One or two of them may be saturated, but the signal given by the new antennas that are touched makes up for this loss of information.

The model we propose is linear : the calculated “pressure” is the average of the five greatest signals. After testing other linear models, we found many advantages to this one, whose most important one is the capacity of taking account of the

surface, while preventing too big surfaces, when the user applies all his hand for instance. However, it also depends on the applied pressure, as we noticed making tests with a conducting rod whose end does not crush itself on the table.

This pressure can be calculated at any moment, on account of the fact that the information given by the DiamondTouch is refreshed every 0.05 seconds. As a result, this pressure can be used during a movement of a finger to adjust this motion.

#### **Direct application**

In everyday life, we are used to move objects that lay on a table by putting some fingers on it and exerting a sufficient pressure. If this latter is under a certain threshold, the object does not slide on the surface but the fingers slide on the object. We instinctively determine this threshold, even if it depends on many factors such as the weight of the object, the friction coefficient between the table and the object and the one between the object and the fingers...

We use this observation to develop an application in which the users can feel the weight or the friction of virtual objects. These objects are attributed a fictive "weight", and to move it, the user must exert a pressure that overtakes this weight.

We use the term of "weight", but it also stands for a lot of factors, whose friction is an important one. This could be a way to give information to the table using a knew channel, and to do so, we need to know the more intuitive way for the user to use it easily and effectively.

#### **EXPERIMENT**

We want to determine how the use of the pressure can be intuitive. Raisamo experimented different ways to use easily a public information kiosk with a tactile surface that could measure the pressure [13], and showed that the use of the pressure was not acquired yet for common users. But beyond this intuitiveness that the device can measure the pressure, we would like to know how the user feels its use, to be able to develop interesting applications.

Besides, we need to know the precision of our implementation on that device, and the precision of the user using this device, giving that there is no feedback of the exerted pressure but the motion or not of the object.

To do so, we conducted an experiment divided in two parts. In both of them, the users have to manipulate virtual squares by posing one and only one finger on them and then sliding this finger over the table. When they raise the finger, the square does not move anymore until they pose the finger on it once more. This way to move objects is usual from such a surface.

However, differently from what is commonly used, users also have to perform a certain pressure to move the squares. In fact, each of them is given a fictive "weight" (which is implemented by an integer between 0 and 255) which represents the minimal pressure the user must apply for the square to move. It is an all-or-nothing-system : if the pressure is un-

der the weight, the square does not move ; if it is above the weight, the square does move.

There is a visual feedback for the finger : if the finger poses on a square, a little disk appears under the end of the finger that moves with the finger whatever the pressure is. It disappears when the finger raises or when it leaves the figure of the square (if the pressure was not sufficient so that it did not move while the finger did). This feedback is a sub-conscious witness that the table does record the motion even though the square does not move. It lets people realize that the square does not move not due to a failure of the system but for another reason.

The next paragraphs describe the two parts of the experiment in more details, and its results.

#### **Apparatus**

INCOMPLETE PARAGRAPH

#### **Participants**

13 people, 12 male and 1 female, with an average age of 24.92 years old, participated to the study. One of them was left-handed. They did not know the apparatus neither the progress or the purpose of the study. We provided no compensation.

#### **First part**

The first part of the experiment is partly qualitative, and is quite an entertaining moment so that the participant might learn how to use the pressure on the device. But its main purpose is to know the reaction of users that are not told how they have to manipulate virtual objects, if they find the way it works and above all if they integrate we want to give them information by the knew channel of the pressure.

In an introduction screen, the participants are told that they will have to move squares and how to do it, but not that the possible motion of the square depends on the exerted pressure. They are proposed two squares, one supposed to be light and the other heavy, that they can move as long as they like. The text says that those squares will react differently to handling, so as to make them think they have to find a difference considering this plan.

Then, they are announced the first test : taking account of this difference, they have to find a criteria to class four square in a growing order. This classifying has to be done ten times. Each time, the four squares have a weight between 70 and 130 chosen at random, with a constant difference of weight between 5 and 15 chosen at random.

There are 4 squares  $\times$  10 repetitions, that is to say 40 trials per person, which means a totals of 520 trials. The time is unlimited and the participants are asked, at the end, to name the criteria they have chosen to order the squares. The names of "pressure" or "weight" was never mentioned by the experimenter during the test.

#### **Second part**



After completing this work, the participants are told the way the experiment worked : the possibility to move objects depends on the exerted pressure. Some objects need a more important pressure to get displaced than others.

They will now have to compare two different squares, and place it over an axis. They must do it not only considering the two squares they are comparing, but all the squares they have seen during the experiment, that is to say they place the squares considering that at the left of the axis is the lightest square they can imagine, and at the other end is the heaviest one.

As a result, we will have three pieces of information :

- the comparison between the two : the lightest should be to the left of the other one;
- the gap between the two : it should be higher when the difference of weights is bigger;
- the place of the two on the axis : it should reflect the felt weight.

Hence, we could know the sensibility of the table considering the pressure, but also the relationship between the felt pressure and the felt difference of pressure, and the virtual ones.

The weights are  $80, 95$  or  $110 \pm 2, 4$  or  $6$ . There are 9 different tests made 9 times by each participant, in a pseudo-random order guaranteeing two consecutive tests are always different.

There are 2 squares  $\times$  3 pressures  $\times$  3 differences of pressure  $\times$  9 repetitions, that is to say 162 trials per person, which means a total of 2106 trials. The time is unlimited.

## Results

The experiment averaged 40 minutes per participant.

For the first part, we subjectively recorded the time for each participant to understand that the device was able to measure the pressure, and that they should use it. We note when they found the criteria to order the squares. As this test was purely qualitative, to know the intuitiveness of the system and the word the users give to the fact they have to press more for some squares, the error rate as no sense.

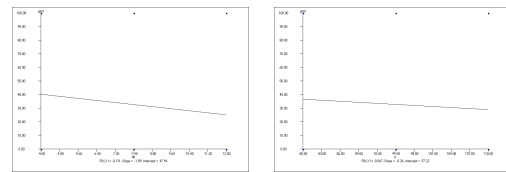
For the second part, we conducted a 2 (squares)  $\times$  3 (pressures)  $\times$  3 (differences of pressure) repeated measures analysis of variance (RM-ANOVA) on the errors, the place on the axis and the drop between the two squares on the axis.

### Errors

In this study, we want to compare the error rate with the difference of pressure, so as to know how many different pressures are easily controllable. Regarding the error across blocks of trials will also provide us with a beginning of the learning capacitance of the users on this system, comparing it with the duration of the trials.

The most important effect on the error rate is the user ( $F = 61.2, p < 0.0001$ ), that is to say the easiness to use the pressure on this device really depends on the user.

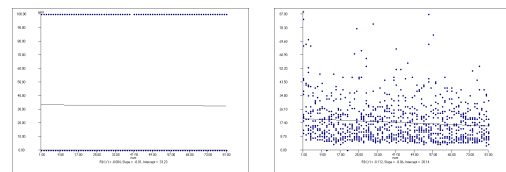
Considering the objective parameters, the two main effects on the error rate are the difference of pressure ( $F = 27.1, p < 0.0001$ ) and the pressure ( $F = 4.76, p = 0.0291$ ), which is quite less important, as we can see Figure 3. Not surprisingly, the error is conversely proportional to the difference of pressure, but also to the pressure. We think that it could be due to a threshold of pressure, depending on the user, below which we cannot make the difference. This would also explain the disparate results between the participants.



(a) The error rate depending on the difference of pressure. (b) The error rate depending on the pressure.

**Figure 3.** The error rate. The average error never exceeds 39.03%, which suggests the system is robust.

We can see Figure 4 that the error rate insignificantly decreases across blocks of trials, whereas the time really falls. As they are manipulating the pressure, the users take less and less time, while they commit the same error rate. Therefore there is a learning effect on the using of the pressure, which concerns more the time than the accuracy.



(a) The error rate across blocks of trials. (b) The time across blocks of trials.

**Figure 4.** The learning effect.

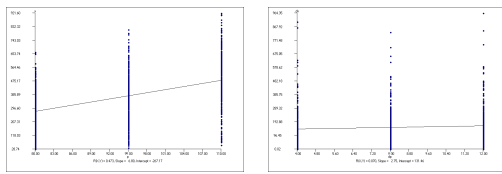
### Human/device scales

We are interested in finding a scale between the device weigh and the humans' feelings, so we can use it in a way that will seem natural for people (for instance, it could be easier to manipulate pressures that seems linearly distributed).

Considering the placement on the axis, the ANOVA shows that it mainly depends on the pressure ( $F = 431, p < 0.0001$ ) (see Figure 5), and it largely less depends on the user ( $F = 21.4, p < 0.0001$ ). Moreover, each user has its own scale, as shown by the fact that the placement depends on the cross factor  $p \times$  user ( $F = 18.1, p < 0.0001$ ). While in his scale, the user tends to respect it.

Considering the drop between the two squares on the axis,

the ANOVA shows that the most important factor is the difference of pressure ( $F = 25.6$ ,  $p < 0.0001$ ) (see Figure 5). As usual, the user is influential ( $F = 5.89$ ,  $p < 0.0001$ ), but many less than for the pressure scale. There is also a not insignificant influence of the weight ( $F = 5.65$ ,  $p = 0.0176$ ): indeed, we noticed that the users tend to separate more the squares for the great pressures (see Figure 6). This is related to the fact that we commit less errors with great pressures: we tend to sense better the difference of pressure, and therefore to feel it more important. So, to use a linear feeling scale, it could be interesting to use a logarithmic real scale: the weights would be closer to one another for the great ones than for the smaller ones.



(a) The placement on the axis depending on the weight. (b) The gap on the axis depending on the difference of weight.

Figure 5. The scales, really peculiar to users.

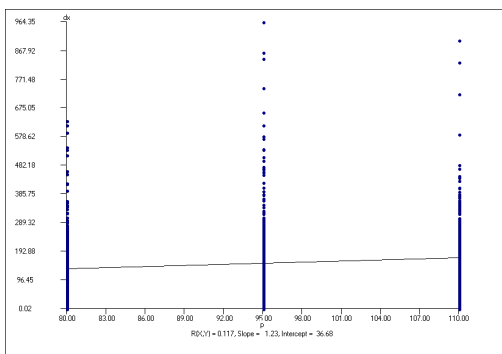


Figure 6. Drop between the squares depending on the weight. We tend to separate more the squares for the great weights, with an equal difference of weight.

#### Qualitative results

We asked for the criteria the participants chose to order the squares in the first part of the experiment. Among the thirteen participants, two did not find any criteria; five said it was the pressure or the power or the surface they had to apply; five said it was the difficulty to move the object; and one said it was the weight.

The persons who did not find the criteria could not imagine that the table was sensitive to the pressure, and thought the lag was due to a problem of the device (see the next paragraph).

The question was “how would you name the criteria”, and as a result demanded a high level of abstraction for the name. The persons who answered “the pressure” or an equivalent

answer did not make this abstraction, so we can imagine they could not feel any pseudo-haptic effect.

However, the other answers really describe the felt effect. We can see that it seems rather to be the difficulty to move the object than the weight, contrary to what we predicted. Nonetheless, this difficulty reflects the friction of the object, and in fact, if one move an object on a table by applying a certain pressure, the motion will depend not only on the weight, but also on the friction.

#### Subjective observations

It was uneasy to make people understand that they should use the pressure.

Most of the time, the users tried to move an object, but did not succeeded at first use. Even if the feedback of the finger did move as the finder did, some people thought the table was not reactive and that they had to press a lot to make the squares move — we are indeed used to tactile screens that does not work that well. As a result, they pressed high all the time, and did not went on well for the first test. As we wanted to know how they received the information, we could not tell a lot for the first experiment; by contrast, we explained the device for the second one, which was only for quantitative measures of the pressure on the table.

This is related to the work from Raisamo [13] in which he tried to implement a fast navigation system on a map. One test of this system could include pressure. He stated that how to use the pressure with no particular instruction was not that easy. Moreover, a lot of participants even did not notice that the pressure could be used in order to perform more actions.

We think that the use of the pressure on those devices is only beginning. The tactile surfaces we are used to (touchpads, automata...) often do not capture the pressure at all. However, we can imagine that in a few years, people will know those devices are sensible to the pressure, as nowadays it seems obvious to everyone that it is sensible to touchness.

#### Conclusion

We now have a way to determine the pressure on a Diamond-Touch only using the software, and it seems reliable. Moreover, we have access to a scale of the perceived pressure. Considering that it really depends on the user, a calibration should be viewed before use.

Independently of the device, there is a pseudo-haptic effect when allowing a motion only with a certain pressure, that could be largely studied and exploited.

#### APPLICATIONS

This study shows we can use the pressure as a new channel of information. The user gives information to the device applying a certain pressure, and the device reacts and gives a visual feedback to the user.

In our experiment, this visual feedback was the motion of the virtual object or not. We asked to participants the name they

would give to what they felt with this feedback. Some of them answered the friction or the weight. This first knowledge on the subject opens a field in the pseudo-haptic effects: the pressure can effectively be used this way to create an effect of weight and friction, as when moving an object on a table with the fingers.

#### Collaborative work

An important purpose of such a device is to make the collaborative work easier. Indeed, the digital table allows many people to interact at the same time on the same surface. In the middle term, people could interact with separate tables connected by a network [14].

This is a new challenge for interaction between people, as one cannot see what distant people are doing. Sometimes, they may want to modify the same document, which causes some issues. We can imagine a system in which someone can take a document which is already used only by exerting a certain pressure, which could be the pressure exerted by the one already using it, or determined due to the importance of the document or the modification.

#### Forbidden and dangerous zones

We implemented a short system in which one can put documents in a forbidden or dangerous zone only by exerted a high pressure (Figure 7). In our system, one has to press hard to cross the frontier, but to press normally when he is in the zone, so he can organize the objects as he wants to in it.

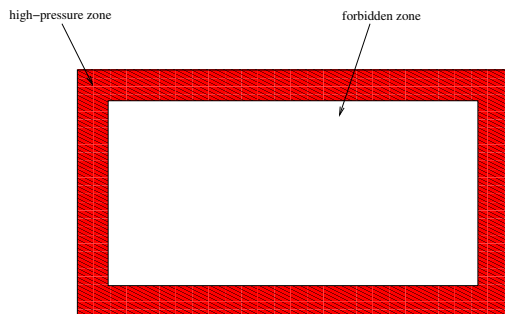


Figure 7. A possible implementation for a forbidden zone.

This could be used for instance to replace the traditional confirmation message when putting a document to the bin. Considering the collaborative work, a window where people can work individually independently of the common workspace should be protected by such a system.

#### CONCLUSION, FUTURE WORK

We are entering an era where tactile surfaces will take the main role. A lot of automata work with tactile screens, to buy tickets or food or for maps... They have a high performance for what they do.

However, existing systems that are faster, more reliable, that one can easily touch to perform complex movements, will be

in our houses in the short-term. The in-development Surface of Microsoft [1] is an example of these new technologies.

We have shown that we can measure the pressure exerted by the user with no more hardware but a few more software, and that the user can feel it with a great precision. We now know the scales of the felt pressure and difference of pressure compared to the virtual weight and difference of weight. Besides, we have a general survey of the feelings given by the most simple use of the pressure, which is encouraging enough so we can go further into this way to develop new interaction models basing on the pressure.

With almost no visual feedback, and with no haptic feedback at all, we can produce a feeling of weight and friction of the objects on the table. This encouraging analyze can be really interesting to study.

Only half the participants had such a feeling, but the system can be improved easily, by adding some features like other feedbacks which could highlight the use of the pressure, or by adding a dynamism. After the finger let go of an object, it could have some inertia so that it would go on moving depending on the initial velocity, the weight and the friction.

Considering this experiment and its results, the pressure on a DiamondTouch can have many applications thanks to its robustness. We present some of them, which must be evaluated. We plan to use the pressure to develop a social protocol for collaborative work. We can go further into the pseudo-haptic application exposed in this paper. Finally, this study can easily adapt to other devices such as touchpads, to allow new possibilities for distant collaborative work.

#### REFERENCES

1. Microsoft Surface.  
<http://www.microsoft.com/surface>.
2. P. Dietz and D. Leigh. Diamondtouch: a multi-user touch technology. *Proc. CHI 2001*, pages 219–226, 2001.
3. C. F. Herot and G. Weinzapfel. One-point touch input of vector information for computer displays. *Proc. of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 210–216, 1978.
4. W. Buxton, R. Hill, and P. Rowley. Issues and techniques in touch-sensitive tablet input. *Proc. CHI 1985*, pages 215–224, 1985.
5. M. R. Minsky. Manipulating simulated objects with real-world gestures using a force and position sensitive screen. *Proc. of the 11th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 195–203, 1984.
6. I. S. MacKenzie and A. Oniszczak. A comparison of three selection techniques for touchpads. *Proc. CHI 1998*, pages 336–343, 1998.
7. J. Rekimoto and C. Schwesig. Presenseii: bi-directional touch and pressure sensing interactions with tactile

- feedback. *CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1253–1258, 2006.
8. G. Ramos and R. Balakrishnan. Zliding: fluid zooming and sliding for high precision parameter manipulation. *Proc. CHI 2005*, pages 143–152, 2005.
  9. G. Ramos and R. Balakrishnan. Pressure marks. *Proc. CHI 2007*, pages 1375–1384, 2007.
  10. G. Westling and R. S. Johansson. Responses in glabrous skin mechanoreceptors during precision grip in humans. *Experimental Brain Research*, 1987.
  11. G. Ramos, M. Boulos, and R. Balakrishnan. Pressure widgets. *Proc. CHI 2004*, pages 487–494, 2004.
  12. S. Mizobuchi, S. Terasaki, T. Keski-Jaskari, J. Nousiainen, M. Ryyanen, and M. Silfverberg. Making an impression: force-controlled pen input for handheld devices. *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 1661–1664, 2005.
  13. R. Raisamo. Evaluating different touched-based interaction techniques in a public information kiosk. *Conference of the CHI Special Interest Group of the Ergonomics Society of Australia*, pages 169–171, 1999.
  14. The DIGITABLE project.  
<http://digitable.imag.fr/pmwiki.php>.