

Graphisme tactile appliqué aux illustrations de manuels scolaires à l'usage d'enfants ayant une déficience visuelle

Grégory Petit, Aude Dufresne Vincent Levesque, Vincent Hayward

Nicole Trudeau

Département de Communication
Université de Montréal
Montréal, Canada
{gregory.petit, aude.dufresne}
@umontreal.ca

Haptics Laboratory
McGill University
Montréal, Canada
{vleves, hayward}
@cim.mcgill.ca

Département de Communication
Université de Montréal
Montréal, QC, Canada
Trudeaunicole
@sympatico.ca

RESUME

Cet article présente une recherche visant à rendre accessible, aux étudiants ayant une déficience visuelle les illustrations de manuels scolaires. Le logiciel MaskGen a été développé afin de transformer interactivement ces illustrations en graphiques tactiles. Une méthodologie a été développée pour transposer ces graphiques et les afficher sur le STReSS², un appareil tactile dynamique. Nous avons expérimenté différentes associations de rendus tactiles et de retours sonores pour obtenir une version compréhensible pour les étudiants ayant une déficience visuelle. Nous avons testé trois graphiques tactiles (un plan, un histogramme et une carte) avec quarante participants : vingt voyants, dix adultes non-voyants et dix enfants non-voyants. Les résultats de l'expérimentation montrent que les participants ayant une déficience visuelle ont aimé les images tactiles, ont été capables de les explorer correctement et de répondre avec succès aux questions posées sur ces images.

MOTS CLES : Accessibilité, graphisme tactile, usager ayant une déficience visuelle, appareil multimodal.

ABSTRACT

This article presents research on making schoolbook illustrations accessible for students with visual impairment. The MaskGen system was developed to interactively transpose illustrations of schoolbooks into tactile graphics. A methodology was designed to transpose the graphics and prepare them to be displayed

on the STReSS², a refreshable tactile device. We experimented different associations of tactile rendering and audio feedbacks to find a model that children with visual impairment could use. We experimented with three scientific graphics (diagram, bar chart and map) with forty participants: twenty sighted adults, ten adults with visual impairment, and ten children with visual impairment. Results show that the participants with visual impairment liked the tactile graphics and could use them to explore illustrations and to answer questions about their content.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: H.5.2 User Interfaces, K.3.1 Computer Uses in Education.

GENERAL TERMS: Human Factors, Design, Experimentation.

KEYWORDS: Accessibility, tactile graphics, user with visual impairment, multimodal device.

INTRODUCTION

Les manuels scolaires prennent une part essentielle dans le processus global d'apprentissage à l'école. Les nouvelles méthodes pédagogiques utilisent de plus en plus d'illustrations pour transmettre le savoir, en partie parce qu'elles sont plus faciles à produire. Il y a donc souvent dans les manuels scolaires, deux ou trois illustrations par page, quelque soit le sujet. Les outils multimédias se développent aussi à l'école alors que l'alphabétisation des étudiants non-voyants dépend de l'accès autonome aux documents imprimés [14].

Même s'ils peuvent avoir accès au texte des documents numériques grâce à des lecteurs d'écran, des imprimantes spéciales en braille et des systèmes de synthèse vocale, il y a toujours un problème pour accéder aux illustrations.

Les méthodes pour accéder à ces images utilisent des transpositions manuelles et des papiers spéciaux, comme le papier embossé ou la technique du thermophormage [3].

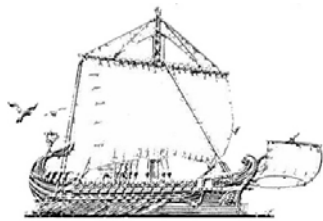


Figure 1 : Galère Viking transformée en graphisme tactile sur du papier spécial.

Lorsqu'on transpose tactilement une image, il est important de mettre en relief les éléments importants et de cacher certains détails inutiles. Par exemple, la Figure 1 est difficile à sentir par le toucher puisque les différentes parties du bateau ne sont pas assez distinctes tactilement : il est quasiment impossible de distinguer les rames, de la coque de la galère. On dit généralement qu'adapter tactilement une image est difficile car le toucher a une moins bonne résolution que la vue, l'exploration est faite de manière linéaire et la sensibilité du toucher diminue avec le temps. En ce qui concerne le graphisme tactile sur papier, il est difficile d'y inclure beaucoup d'informations car celles-ci restent statiques (bordures tactiles, texte incorporé dans l'image). De plus, la production en est lente, assez coûteuse et le matériel se détériore souvent avec l'usage.

Pour transposer tactilement les illustrations, il est aussi possible d'utiliser des appareils tactiles, qui les affichent dynamiquement. Un premier type d'appareil tactile est composé d'une surface d'affichage où tout le retour tactile est déjà mis en place. L'utilisateur peut explorer l'image avec toute sa main, voire ses deux mains. Par exemple, le dispositif Cat [2] peut afficher des graphiques simplistes. L'appareil est composé de quarante cellules Braille qui contiennent chacune seize actionneurs (matrice de 8×2). Avec cet appareil, il est difficile d'obtenir un rendu tactile précis car les actionneurs ne peuvent prendre que deux positions (rentré et sorti) et parce qu'il y a un petit espace entre chacun d'eux. Un autre exemple est l'outil conçu par Shinohara et Al. [10]. Cet appareil utilise une tablette d'affichage (20×17cm) contenant une matrice de 64×64 actionneurs. Contrairement au Cat, ces actionneurs sont très rapprochés les uns des autres et peuvent s'élever de 0,1mm à 10mm ce qui donne plus de précision au rendu tactile. On obtient donc une sensation de relief et des graphiques tactiles plus élaborés. Un autre système

beaucoup plus récent, développé par Pietrzak et Al. [8] permet d'explorer des images tactiles en utilisant plusieurs types d'entrées et de sorties ce qui le rend intéressant grâce à cette souplesse. Mais d'après les résultats préliminaires obtenus, il n'est pas encore très efficace pour les usagers ayant une cécité complète.

Un autre moyen de produire numériquement des graphiques tactiles est d'utiliser une cellule tactile qui peut explorer une surface. Le rendu tactile s'affiche seulement sur cette cellule et s'adapte en fonction de sa position sur la surface d'exploration. C'est le cas du VTD (Virtual Tactile Display) [7] où la cellule tactile est composée de quatre cellules Braille et peut explorer une surface de 16,4×15,9cm. La cellule tactile est montée sur un charriot qui peut se déplacer sur deux dimensions à l'aide de trois rails. Comme le Cat, il est assez difficile d'obtenir un rendu tactile précis à cause de l'utilisation des cellules Braille. La cellule tactile peut aussi être indépendante de la surface d'exploration. Par exemple, l'outil Tactos [4] est composé d'une tablette PC et d'une cellule tactile sur le côté. La cellule tactile ne se déplace pas mais ses actionneurs bougent en fonction de l'endroit où est le stylet sur la tablette. L'utilisateur utilise donc une main pour tenir le stylet et le déplacer sur la tablette, et l'autre main pour sentir le retour tactile sur la cellule.

Tous ces systèmes peuvent générer des graphiques tactiles mais ont des difficultés à transmettre toute l'information nécessaire qui est dans l'illustration originale. C'est pourquoi nous avons développé un outil multimodal pour créer des graphiques tactiles.

L'APPAREIL MULTIMODAL

Matériel tactile

L'appareil tactile utilisé est composé du STReSS² (Stimulator of Tactile Receptors by Skin Stretch) et du Pantograph (Figure 2).

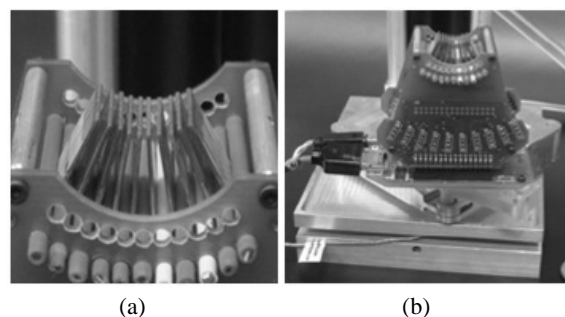


Figure 2 : (a) Actionneurs du STReSS² et (b) STReSS² monté sur le Pantograph.

Le STReSS [12] peut produire un retour tactile en déformant latéralement la peau du doigt. Cette stimulation est produite par la courbure d'actionneurs piézoélectriques disposés en matrice 8×8 (STReSS²). Chaque actionneur peut se courber de 0,1mm vers la gauche ou vers la droite. La cellule tactile couvre ainsi une surface de 12×10,8mm. Un bandeau en mousse a été placé autour du STReSS² pour le sécuriser et le rendre plus confortable lors de la prise en main. Le Pantograph [1] est un appareil haptique qui permet un mouvement sur deux dimensions pour une surface d'exploration de 11,3×6cm. Il est donc possible d'explorer cette surface avec le STReSS² monté dessus et d'obtenir un rendu tactile en fonction de là où le doigt se trouve sur cette surface.

Avec cet appareil, il est possible de produire trois rendus tactiles différents [6] en combinant le déplacement sur le Pantograph et la courbure des actionneurs piézoélectriques du STReSS².

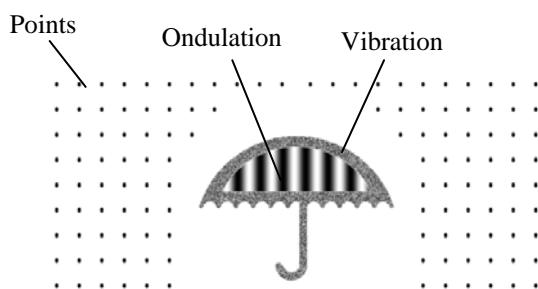


Figure 3 : Graphique tactile combinant les trois rendus tactiles.

Tout d'abord, comme on peut le voir sur la Figure 3, il est possible de produire une sensation de points, comme lorsqu'une personne ayant une déficience visuelle lit le Braille. Il est aussi possible de ressentir une vibration. Cette sensation est très importante car on peut la ressentir même sans se déplacer. Enfin, le dernier rendu tactile est l'ondulation, avec lequel on peut sentir des «vagues» en dessous du doigt lorsqu'on le déplace sur la surface d'exploration. Ces ondulations peuvent avoir différents espacements et orientations. On peut combiner ces trois types de rendu tactile pour transcrire l'illustration.

Le logiciel contrôlant l'appareil multimodal

Le STReSS² monté sur le Pantograph est contrôlé par un logiciel développé en C++ et fonctionnant sur un ordinateur équipé d'une distribution Linux. Ce logiciel utilise Xenomai, un système temps-réel permettant de produire un retour tactile cadencé à 1kHz. Pour afficher un graphique tactile, celui-ci doit être décomposé en plusieurs parties que nous appelons des «masques». Chacun de ces masques correspond à une division de

l'illustration originale à laquelle est associé un retour tactile et/ou sonore. On peut donc associer différents stimuli aux différentes parties composant l'illustration et les combiner pour obtenir un graphique tactile complet. La description de chacun de ces «masques» est écrite dans un fichier XML qui est lu par le logiciel contrôlant l'outil multimodal. Ce fichier XML est utilisé pour régler les différents paramètres des rendus tactiles comme sa fréquence ou l'orientation des «vagues» lorsque le rendu tactile par ondulation est choisi.

L'ADAPTATION TACTILE

Pour transcrire une illustration venant d'un manuel scolaire en graphique tactile et l'utiliser avec le STReSS² monté sur le Pantograph, nous avons utilisé la méthodologie proposée par Trudeau [11], pour adapter de façon optimale les illustrations de manuels scolaires pour les étudiants ayant une déficience visuelle. Elle a analysé diverses illustrations d'un point de vue structurel, systématique et synthétique, tout en prenant en compte comment ces illustrations pourraient être explorées afin d'être comprises par des étudiants ayant une déficience visuelle. Trudeau a créé des fiches d'analyse où les informations pertinentes des illustrations sont décrites. Elle a mis en place trois types de fiche d'analyse : la fiche d'analyse du manuel au complet, d'une page du manuel et d'une illustration. Ces fiches ont été utilisées pour produire les graphiques tactiles, d'une manière systématique dans le cadre de cette recherche. Ainsi, la section «Essentiel» de ces fiches est utilisée pour choisir les informations importantes à adapter tactilement pour atteindre le but pédagogique, en supprimant celles qui sont inutiles. Selon les recommandations, nous avons gardé seulement les éléments importants, renforcé les contours, effacé certaines informations inutiles, complété et mis en relief certaines parties essentielles, qui n'étaient pas très visibles à l'œil.

Trudeau a aussi mis en place des recommandations ergonomiques pour faciliter l'adaptation tactile. Par exemple, il est préférable de commenter brièvement l'illustration avant que l'utilisateur ne commence à l'explorer. De plus, si l'illustration originale est composée de plusieurs niveaux d'information, il faut créer un graphique tactile pour chacun et permettre à l'utilisateur de passer d'un graphique tactile à l'autre quand il le souhaite. Ces différents graphiques tactiles, faits à partir de la même illustration, devront être produits à la même échelle pour que ceux-ci gardent la même proportion.

Les vibrations étant plus facilement perceptibles [6], mais pouvant causer une fatigue tactile, nous avons choisi d'utiliser les vibrations pour accentuer les contours qui sont essentiels à l'exploration des illustrations, afin que l'utilisateur sache quand il sort d'une zone de l'illustration pour rentrer dans une autre et puisse plus facilement deviner leur forme.

PRODUCTION DES GRAPHIQUES TACTILES

Toutes les illustrations originales que nous avons adaptées viennent du manuel scolaire d'histoire générale [9], à la disposition des étudiants âgés entre treize et quatorze ans.

Comme mentionné précédemment, il faut adapter l'illustration pour produire un graphisme tactile. Pour le moment, il est difficile de faire automatiquement cette adaptation [5]. Le logiciel MaskGen que nous avons développé permet d'automatiser certaines étapes. Celui-ci développé en Java facilite l'édition du graphique tactile et produit automatiquement le fichier XML qui est utilisable par le système multimodal. Les illustrations doivent d'abord être simplifiées avec un logiciel d'édition d'image comme Photoshop. L'image simplifiée doit contenir des bordures noires et les zones à l'intérieur de ces bordures devront être en blanc. Ces bordures sont épaissies, et simplifiées, pour être plus faciles à explorer. Par exemple, ce plan de Cathédrale (Figure 4) a été simplifié (Figure 5).

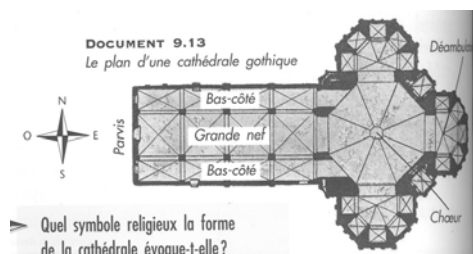


Figure 4 : Illustration originale représentant le plan d'une cathédrale gothique.

L'illustration simplifiée peut alors être ouverte avec le logiciel MaskGen qui extrait automatiquement les zones composant l'image, et l'on peut alors attribuer un rendu tactile spécifique, ajuster les paramètres et associer un retour sonore.

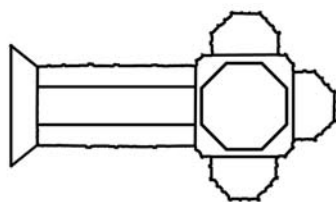


Figure 5 : Illustration simplifiée de la cathédrale gothique.

Ce retour sonore peut être produit par synthèse vocale MBROLA [13], en français ou en anglais, par enregistrement de la voix via un microphone ou en utilisant un fichier sonore déjà existant sur l'ordinateur. Il est possible de fusionner différentes parties si l'on souhaite qu'elles aient le même rendu tactile, ou encore supprimer celles qui ne sont pas pertinentes. Quand tous les «masques» sont prêts, le logiciel MaskGen produit le fichier XML et le graphique peut être exploré à l'aide du STReSS² monté sur le Pantograph. Cette préparation prend entre 5 et 15 minute pour le travail préliminaire avec Photoshop, en fonction de la complexité de l'image, et le logiciel MaskGen permettra de finaliser la transposition (maximum 5 minutes).

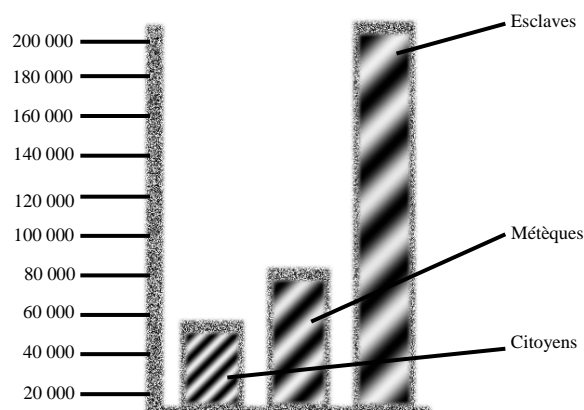


Figure 6 : Répartition de la population de l'Attique.

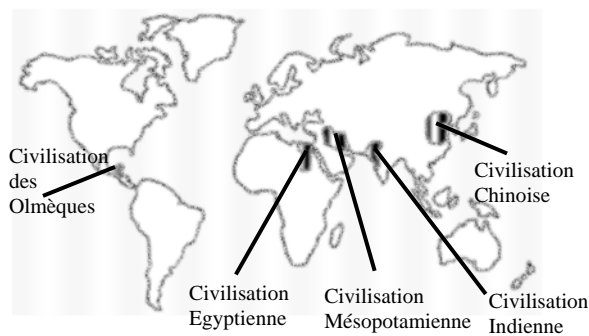


Figure 7 : Les premières civilisations.

Nous avons adapté trois illustrations venant du manuel scolaire d'histoire : le plan d'une cathédrale gothique (Figure 4) ; un histogramme présentant la répartition des habitants de l'Attique, région entourant Athènes, en fonction de leur classe sociale, au V^{ème} avant Jésus Christ (Figure 6) ; et une carte du monde montrant les premières civilisations qui sont apparues au cours de l'histoire (Figure 7), où il fallait localiser les civilisations sur les continents. Comme l'a suggéré Trudeau [11], nous avons séparé deux niveaux d'information en créant deux graphiques ayant des retours tactiles et sonores

différents : un pour les civilisations et un pour les continents. Ils ont été faits à la même échelle pour que l'utilisateur puisse combiner les informations en passant d'un niveau à l'autre avec une touche clavier sans changer d'endroit. Cette exploration avec différents niveaux de détails, couplé à un rendu tactile aussi fin et un retour sonore, est certainement un aspect important et novateur du système.

EXPERIMENTATION

Le but de l'expérimentation était de vérifier si les graphiques tactiles que nous avons utilisés rencontraient le but pédagogique des illustrations originales du manuel scolaire. Nous voulions aussi tester différentes associations de rendus tactiles et de retours sonores. Vingt participants voyants ayant un bandeau sur les yeux ont participé à l'expérimentation. Ensuite, vingt participants ayant une déficience visuelle (totale pour la majorité) ont participé, dont dix jeunes (moins de 18 ans). Nous avons impliqué des usagers voyants car il est assez difficile de trouver des participants ayant une déficience visuelle, spécialement des enfants. Nous voulions aussi comparer l'acceptation du système par les deux populations.

Nous avons utilisé des vibrations pour les différentes bordures présentes dans les graphiques tactiles, mais nous voulions vérifier s'il fallait utiliser un rendu tactile à l'intérieur des zones composant l'illustration. Nous avons donc séparé chaque population en deux sous-groupes. Le premier (VO : Vibration et Ondulation) avait des vibrations pour les contours et des ondulations à l'intérieur de ces contours. Le second sous-groupe (V : Vibration) avait seulement des vibrations pour les contours et l'intérieur des différentes zones composant l'illustration n'avait pas de rendu tactile.

Pour cette expérimentation, nous n'avons pas utilisé le rendu tactile par points car même si celui-ci était fonctionnel, il ne fonctionnait pas encore avec des «masques» comme les deux autres rendus tactiles. Dans tous les cas, un retour sonore français était utilisé pour informer le participant du nom de la zone dans laquelle il rentrait. Pour ce retour sonore, nous avons utilisé une voix préenregistrée masculine pour deux illustrations et la synthèse vocale pour la troisième (graphique sur l'Attique).

Tout d'abord, le participant disposait de quelques minutes pour explorer des formes simples, afin qu'il se familiarise avec les différents types de rendu tactile et la manipulation de l'appareil. Ensuite, pour chacune des

illustrations tests, l'expérimentateur lisait une brève description de l'image. Il donnait aussi un exemple de question qu'il serait amené à poser sur le contenu de l'image. Ces questions étaient construites grâce aux fiches de Trudeau et nous avons aussi repris les questions posées sur les illustrations originales dans le manuel scolaire pour conserver la ligne directrice des auteurs de ce manuel. Le participant disposait ensuite de cinq minutes pour explorer librement l'image tactile. Après ceci, l'expérimentateur posait quelques questions sur l'image, comme par exemple : «Dans quel continent se trouvait la civilisation des Olmèques?», «Combien y avait-il de citoyens en fonction de ce qui est représenté sur ce graphique?». En tout, il y avait treize questions qui furent chacune notées de 0 à 10 (plus la réponse donnée s'approche de la réponse complète et exacte, plus la note se rapproche de 10).

Pendant les questions, les participants pouvaient utiliser l'appareil multimodal s'ils le souhaitaient. Le but de ces questions était de vérifier si les participants avaient correctement localisé les différentes parties des images et correctement compris leur contenu pédagogique. Nous avons précisé aux participants que ce n'était pas un problème s'ils ne pouvaient répondre à une question car la sensation tactile est différente pour chacun. Nous avons ainsi obtenu une note par illustration. Nous avons aussi mesuré le temps qu'ils prenaient pour explorer l'image et pour répondre aux questions.

Un questionnaire était utilisé à la fin pour demander aux participants ce qu'ils voudraient améliorer dans le système, ce qu'ils voudraient supprimer, s'ils pensaient avoir correctement compris les images tactiles, quelle illustration était la plus facile à comprendre, etc.

Nous avons aussi filmé l'expérimentation pour ensuite analyser les différentes techniques d'exploration utilisées par les participants. Cela nous a permis de voir comment les usagers interagissaient avec l'appareil et quelles méthodes ceux-ci utilisaient pour comprendre au mieux l'image. Même si cela prend toujours du temps, l'analyse des vidéos est très utile lorsqu'on voudra améliorer le dispositif tactile et sonore, ainsi que l'interface permettant de générer les graphiques tactiles.

RESULTATS

Pour analyser les données, nous avons utilisé des tests-T. Le principal résultat de cette expérimentation est que les participants ayant une déficience visuelle, particulièrement les enfants, ont beaucoup aimé le

système et ont été capables de l'utiliser correctement pour comprendre les illustrations. Ils ont obtenu de bonnes notes en ce qui concerne les questions de contenu (Tableau 1). Le contenu pédagogique des illustrations a donc bien été compris en utilisant l'appareil multimodal.

| | Cat. | Nb | Moy. % | Tps Expl. | Tps Quest. |
|-------------------------|------|----|--------|-----------|------------|
| Plan de la cathédrale | V | 20 | 69,70 | 222 | 100 |
| | NV | 20 | 74,80 | 184 | 138 |
| Population de l'Attique | V | 20 | 85,88 | 207 | 71 |
| | NV | 20 | 89,38 | 231 | 101 |
| Carte des civilisations | V | 20 | 87,00 | 257 | 108 |
| | NV | 20 | 77,75 | 286 | 190 |
| Global | V | 20 | 80,00 | 686 | 279 |
| | NV | 20 | 80,19 | 701 | 429 |

Tableau 1 : Moyenne de la bonne réponse aux questions de contenu et au temps d'exploration des illustrations.

Nous n'avons pas trouvé de différences significatives pour les résultats aux questions de contenu en fonction des différentes variables indépendantes : voyant vs non-voyant, jeune vs adultes groupes V vs VO. Cela peut-être lié aux importantes variations individuelles dans l'échantillon (âge, origine et début de la cécité).

Différences liées au temps entre voyants et personne ayant une déficience visuelle.

Nous n'avons pas trouvé de différence significative entre ces deux populations pour le temps global et le temps d'exploration, mais les non-voyants prennent plus de temps pour répondre aux questions ($F = 3,98$; $p = 0,05$). Même si les voyants avaient déjà vu ce genre d'illustration auparavant, ils ne comprenaient pas forcément mieux les images tactiles que les personnes ayant une déficience visuelle. Si on regarde chaque question (test T), nous trouvons une question où la différence est significative. Sur la carte des civilisations, les voyants ont obtenu une meilleure note ($p = 0,049$) à la question: «Quelle civilisation se situe le plus à l'Est sur la carte?». La réponse est plus facile pour quelqu'un ayant déjà vu une carte du monde et les continents, de répondre la Chine, plutôt que l'Inde ou l'Egypte. Les voyants peuvent ainsi plus facilement se représenter virtuellement une image connue, mais cela serait peut-être différent pour des objets usuels tactiles ou pour des objets inconnus.

Nous pouvons aussi observer, lorsqu'on regarde le temps passé sur chaque illustration (Figure 8), que les participants ayant une déficience visuelle ont pris plus de temps pour répondre aux questions en général ($F =$

$3,3982$; $p = 0,54$) et en particulier sur la carte des civilisations ($F = 3,58$; $p = 0,044$).

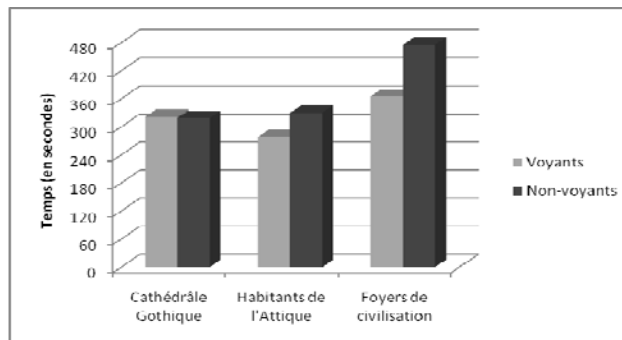


Figure 8 : Graphique montrant le temps passé sur chaque illustration en fonction de l'handicap du participant.

Dans le questionnaire les usagers non-voyants nous ont dit qu'ils comprenaient mieux les graphiques tactiles que les voyants ayant les yeux bandés. Même si les deux populations ont obtenu les mêmes notes, nous leur avons demandé si les illustrations étaient faciles à comprendre. Sur une échelle de 1 à 5, la moyenne pour les non-voyants était de 4 alors qu'elle n'était que de 2,9 pour les voyants ($p = 0,001$).

Différences entre les adultes ayant une déficience visuelle et les enfants ayant une déficience visuelle.

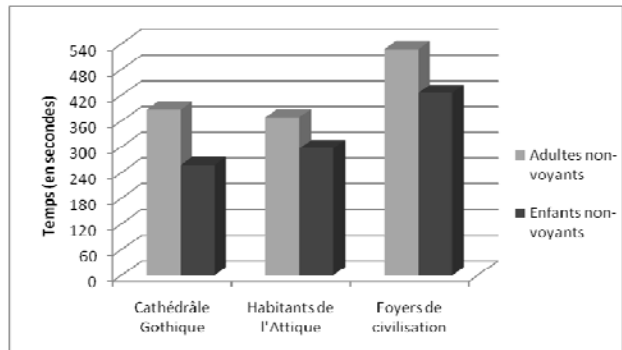


Figure 9 : Graphique montrant le temps passé sur chaque illustration, en fonction de l'âge du participant.

On peut trouver d'autres différences entre les adultes ayant une déficience visuelle et les enfants ayant une déficience visuelle. Les notes sont similaires mais il y a une différence significative pour le temps pris pour faire l'expérimentation. Les enfants l'ont faite plus rapidement. Ils ont mis cinq minutes de moins que les adultes ($p = 0,011$) pour faire toute l'expérimentation, ainsi que pour toute les illustrations (Figure 9). Néanmoins, seule la différence observée pour le plan de la cathédrale est significative ($p = 0,012$).

Différences en fonction du rendu tactile à l'intérieur des zones

En ce qui concerne les groupes VO et V, nous n'avons pas trouvé de différences entre ceux-ci, même si le groupe VO a semblé faire l'expérimentation un peu plus rapidement. Cependant dans les questions sur les illustrations, on trouve deux différences significatives. La première était de trouver la forme globale de la cathédrale. Les participants du groupe VO ont répondu plus rapidement à cette question ($p = 0,014$). Cela suggère qu'on peut reconnaître la forme globale d'un objet plus rapidement s'il y a des textures (ondulations) à l'intérieur des différentes zones qui le composent. Une autre observation suggère l'importance des ondulations dans les formes. Dans l'histogramme montrant la répartition des habitants de l'Attique, les participants du groupe VO ont répondu plus rapidement, à la question : « Quelle était la classe sociale la moins représentée ? ».

Retour sonore

La voix préenregistrée est plus compréhensible que la synthèse vocale ($p = 0,046$) : 87% des participants ont trouvé la voix préenregistrée compréhensible contre 79% pour la synthèse vocale. Cette dernière reste acceptable si on veut traduire rapidement la description de l'image. Le retour sonore a paru essentiel aux participants, même si ceux-ci auraient voulu avoir plus de contrôle sur ce retour (choisir quand le son se déclenche). Ils n'ont pas aimé que le son se répète souvent lors du suivi d'une bordure et ont trouvé irritant le son que nous avons utilisé dans la carte en tant que métaphore de l'eau.

Analyse vidéo

Nous avons regardé quels étaient les éléments les plus difficiles à explorer tactilement dans les trois illustrations, et les différentes techniques d'exploration utilisées par les participants. Nous avons utilisé le logiciel MORAE Manager qui nous a permis de coder les vidéos (seulement pour les non-voyants) en y ajoutant des marqueurs. Nous avons identifié les différentes techniques d'exploration : le suivi de contour ; la saccade – passer d'une zone à une autre par à-coups ; la zone manquée - passer au-dessus d'une zone sans l'avoir remarquée ; le balayage systématique - explorer avec une stratégie précise comme balayer de haut en bas, ou faire le tour de l'image ; le balayage aléatoire - explorer l'image sans prendre en compte les retours sonores et tactiles ; la navigation dans un but précis - se diriger directement vers une zone déjà identifiée ; et enfin, le retour au point de départ - revenir en bas à gauche.

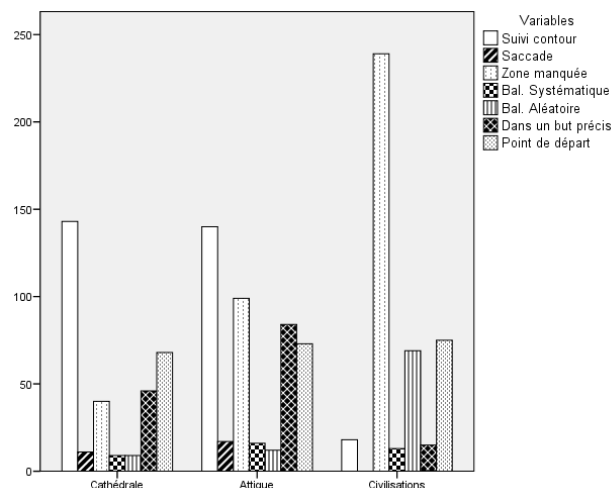


Figure 10 : Stratégies d'exploration en fonction de l'image.

Sur la Figure 10, on remarque que les participants ont très peu suivi les contours dans la carte des civilisations par rapport aux deux autres, où c'était la technique d'exploration la plus utilisée. C'est compréhensible car la carte est plus détaillée et les contours sont plus difficiles à suivre. C'est aussi pour cela qu'il y a eu beaucoup de zones manquées (les civilisations sont très petites). Le balayage aléatoire a été plus utilisé pour cette illustration pour localiser des civilisations au hasard. Le fait que le suivi de contour soit la technique la plus utilisée dans les deux premières images montre que les participants ont principalement utilisé le retour tactile pour les comprendre. Nous avons aussi noté que les participants revenaient souvent à leur point de départ pour répondre aux questions. Ils ont utilisé plus souvent le suivi de contour lors de l'exploration libre (215 observations) que pour répondre aux questions (86 observations).

CONCLUSION

En conclusion, nous avons produit un outil multimodal permettant d'adapter des illustrations pour des usagers ayant une déficience visuelle. Nous voulions savoir si nos graphiques tactiles répondaient aux objectifs pédagogiques des illustrations originales. Il semble que cet objectif ait été atteint car nos participants ont correctement répondu aux différentes questions sur les images et nous ont confirmé qu'elles étaient faciles à comprendre. De plus, les enfants ont adoré utiliser l'appareil. Ils ont posé plusieurs questions sur son fonctionnement et ont demandé si nous allions revenir dans leur école pour d'autres tests. L'un d'entre eux était assez excité pendant l'expérimentation et répétait souvent : « C'est trop cool! ».

En ce qui concerne le rendu tactile, nous pensons que les textures (ondulations) à l'intérieur des différentes

zones composant l'image seraient utiles pour mieux comprendre les graphiques tactiles. Nous n'avons trouvé qu'un avantage significatif à cet ajout, celui d'avoir une meilleure idée de la forme globale d'une illustration. Il serait intéressant de vérifier si les textures dans les formes seraient utiles dans d'autres contextes, comme avec de plus grandes formes ou comme outil de légende. Enfin, grâce à l'analyse des vidéos, nous avons vu que plus un graphique tactile contenait de détails, plus il était difficile de se référer aux retours tactiles pour le comprendre. Cela montre à quel point le travail d'adaptation de l'image originale est important pour supprimer les détails qui ne sont pas importants.

Pour le moment, notre outil multimodal a encore des limites. On ne peut pas encore adapter des illustrations très complexes à cause de la taille de la surface d'exploration. De futurs travaux visent à améliorer le système pour adapter des illustrations plus complexes, explorer plus de niveaux d'information, une plus grande surface d'exploration et peut-être un zoom. Nous voudrions plus automatiser le processus de simplification et d'adaptation de l'illustration graphique tactile. Enfin, nous aimerions adapter cet outil pour rendre accessible un document numérique, comme des pages Web, contenant du texte et des images. Grâce au STReSS², l'utilisateur explorerait la structure du document de façon flexible, avec des retours tactiles et sonores, puis sélectionnerait la partie qu'il l'intéresse pour y accéder. Cela pourrait être la prochaine étape pour cette technologie, qui a un grand potentiel, selon les usagers qui l'ont testée.

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été financée par le FQRNT. Nous remercions les usagers qui ont participé aux expérimentations, Marie-Chantal Wanet et Pierre Ferland de l'Institut Nazareth et Louis Braille, et l'École Jacques Ouellette spécialisée en déficience visuelle pour leur collaboration.

BIBLIOGRAPHIE

1. Campion, G., Wang, Q., et Hayward, V. The pantograph MK-II: a haptic instrument. Dans *Proc. IROS 2005*, pages 193–198, 2005.
2. Ebina T., Igi, S., Miyake, T. et Takahashi, H.. Graph Access System for the Visually Impaired. Dans *Proc. of the Third Asian Pacific Computer and Human Interaction*. Kangawa, Japon, 1998.
3. Edman. P. K. *Tactile Graphics*. AFBPress, New York, NY, USA, 1992.
4. Gapenne, O., Rovira, K., Ammar, A. Ali et Lenay, C. Tactos: Special computer interface for the reading and writing of 2D forms in blind people. Dans *Universal Access in HCI, Inclusive Design in the Information Society*, pages 1270-1274, 2003.
5. Ladner, R. E., Ivory, M. Y., Rao, R., Burgstahler, S., Comden, D. Hahn, S., Renzelmann, M., Krisnandi, S., Ramasamy, M., Slabosky, B., Martin, A. Lacenski, A., Olsen, S. et Groce. D. Automating tactile graphics translation. Dans *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (Assets '05)*, pages 150-157, ACM Press. New York, NY, USA, 2005.
6. Levesque, V. et Hayward, V. Tactile Graphics Rendering Using Three Laterotactile Drawing Primitives. Dans *Proceedings of the 16th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. Reno, NV, USA, Mars 2008.
7. Maucher, T., Schemmel, J. et Meier, K. The Heidelberg Tactile Vision Substitution System. Dans *International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP2000)*. Karlsruhe, Allemagne, Juillet 2000.
8. Pietrzak, T., Martin, B., Pecci, I., Saarinen, R., Raisamo, R. et Järvi, J. The MICOLE architecture: multimodal support for inclusion of visually impaired children. Dans *The Ninth International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI 2007)*. Nagoya, Japon, 2007.
9. Roby, J. et Paradis, C. Enjeux et Découvertes, Tome 1 (manuel de l'élève), Éditions HRW - Group Éducalivres inc., Second trimestre, 1995.
10. Shinohara, M., Shimizu, Y. et Mochizuki, A. Three-Dimensional Tactile Display for the Blind. In *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, Vol. 6, N° 3*, pages 249-256, Septembre 1998.
11. Trudeau, N. «Analyse visuelle du livre, de la page et de l'image du manuel de l'élève Enjeux et découvertes.» Rapport final de projet quinquenal de recherche. Montréal, Canada, 2000-2005.
12. Wang, Q. et Hayward, V. Compact, portable, modular, high-performance, distributed tactile transducer device based on lateral skin deformation. In *Proc. HAPTICS'06*, pages 67–72. Arlington, VA, USA, 2006.
13. <http://tcts.fpms.ac.be/synthesis/mbrola.html>
14. <http://www.cnib.ca/fr/apropos/publications/accessibilite/droit-de-lire/Default.aspx>