

Titre de la thèse	Modélisation des interactions non visuelles dans un environnement de travail mathématique visuel et non visuel synchronisé
Candidat	Silvia Berenice FAJARDO FLORES
Discipline	Informatique
Directeur de recherche	Dominique ARCHAMBAULT
Date de soutenance	8 Juillet, 2014
	Université Paris 8-Vincennes-Saint-Denis

Résumé

Les élèves non voyants et malvoyants qui apprennent les mathématiques dans un environnement scolaire intégré font face à des problèmes qui vont au-delà de la difficulté des mathématiques elle-mêmes. La différence de représentation de contenus mathématiques et des outils de support utilisés par les personnes voyantes et les non voyantes rend difficile la communication directe entre eux. Tandis que les élèves voyants utilisent du papier et le stylo pour prendre des notes et faire des mathématiques, les élèves non voyants, et dans certaines cas les malvoyants, utilisent du braille ou une synthèse vocale. D'un autre côté, bien qu'il soit possible d'écrire et de comprendre les expressions en utilisant le braille mathématique, la transformation et la résolution d'équations reste une tâche complexe pour les personnes ayant un handicap visuel.

L'utilisation d'un ordinateur peut rendre possible la représentation de contenus mathématiques dans des modalités synchronisées qui conviennent à la fois aux voyants et aux non voyants, permettant ainsi la communication entre eux sans intermédiaire. De nos jours, des travaux de recherche ont été menés pour l'analyse et le développement de logiciels accessibles. Alors que ces outils facilitent aux non voyants la production et la communication de contenus, les aides à la résolution restent limitées.

Le but de notre travail a consisté à identifier les caractéristiques de représentation et d'interaction visuelle et non visuelle souhaitables pour la conception d'un prototype d'interface qui puisse servir comme outil de support dans le processus d'enseignement-apprentissage de l'algèbre dans un environnement intégré. On peut situer notre recherche spécifiquement dans la représentation multimodale d'équations algébriques, et les interactions qui facilitent leur compréhension et résolution sur l'ordinateur.

Nos questions de recherche ont été :

- Quelles sont les besoins d'interaction pour les élèves voyants et non voyants concernant l'écriture et résolution d'expressions algébriques?
- Comment présenter de façon synchronisée les représentations visuelle et non visuelle pour faciliter la communication entre les personnes voyants et les non voyants?
- Quels sont les interactions non visuelles qui facilitent l'accès aux termes de l'expression?
- Est-ce que l'interface peut influencer le raisonnement algébrique de l'élève?

Le travail présenté ici prend en compte les aspects cognitifs de l'apprentissage de l'algèbre, la compréhension et la résolution d'expressions par des élèves voyants et non voyants, les aspects de représentation visuelle et non visuelle en braille et en audio, ainsi qu'une analyse des outils actuels de support informatique pour le travail en mathématiques destinés au grand public et aux non voyants, focalisée sur leur pertinence comme outil didactique.

Afin de réaliser cette recherche, nous avons développé un prototype d'interface multimodale. Le développement du prototype suit les principes de la conception centrée sur l'utilisateur, dans laquelle les élèves et les enseignants de mathématiques voyants, malvoyants et non voyants, sont impliqués dans les étapes du développement. Suite à l'analyse de besoins des utilisateurs potentiels, nous avons implémenté un prototype d'interface, prenant en compte les challenges actuels pour aider des non voyants dans leur travail en mathématiques :

- **Saisie.** La possibilité d'éditer et de visualiser les contenus en utilisant chacun leurs capacités est essentielle dans une interface de collaboration. Nous permettons la saisie de contenus mathématiques via le clavier d'ordinateur et la plage braille. Nous considérons ainsi les différents capacités et préférences des utilisateurs. Nous utilisons une sortie synchronisée visuelle, auditive et braille.
- **Compréhension.** La compréhension d'expressions implique leur exploration afin de reconnaître les symboles, saisir l'organisation structurelle, et savoir comment démarrer la résolution. Nous avons implémenté un mode de lecture active basé sur un principe de la navigation granulaire contrôlée par l'utilisateur.
- **Communication.** La communication est possible par la synchronisation des différentes visualisations du contenu lors de la saisie, ainsi que des interactions effectuées sur l'interface par le moyen préféré de chaque utilisateur.
- **Facilitation des calculs.** Nous avons implémenté des fonctions auxiliaires de support à la résolution d'équations, qui facilitent l'accès aux termes de l'expression et minimisent les erreurs de copie.

Nous avons mené des test d'utilisateur en 2 modalités :

1. Évaluation pratique par des élèves et des enseignants, afin de tester l'interface par rapport à la facilité de saisie, de compréhension, de communication et de facilitation

des calculs et la communication entre l'élève et l'enseignant.

2. Évaluation par des enseignants de mathématiques spécialistes des élèves ayant une déficience visuelle, afin de vérifier la pertinence des interactions par rapport à leurs besoins.

Les résultats suggèrent que les interactions proposés dans ce travail pourraient être prises en compte dans l'implémentation d'interfaces accessibles pour faire des mathématiques, afin qu'ils puissent être utilisés comme un outil de support dans une salle de classe intégrée.

Les apports principaux de ce travail sont :

- Modélisation de la résolution d'équations linéaires par des utilisateurs voyants et non voyants.
- Identification des interactions qui facilitent l'accès linéaire non visuel lors d'une visualisation graphique bidimensionnelle.
- Prototype d'éditeur multimodal pour faire des calculs algébriques essentiels.
- Proposition d'application des résultats dans des codes linéaires de représentation mathématique.