



Rapport de pré-soutenance de la thèse de Mme Fajardo Flores Silvia intitulée « Modélisation des interactions non visuelles dans un environnement de travail mathématique visuel et non visuel synchronisé »

Cette thèse interroge les difficultés dans l'apprentissage des mathématiques pour les élèves non et mal voyants dans un environnement scolaire intégré et propose des principes de représentation et d'interaction visuelle et non visuelle pour l'implémentation d'une interface logicielle comme outil facilitant dans ce cadre l'enseignement de l'algèbre.

La thèse est structurée en dix chapitres regroupés en trois parties plus l'introduction.

Le chapitre 2 traite des aspects cognitifs de l'apprentissage de l'algèbre, incluant un modèle de compréhension d'une expression selon Ernest en 1987 ainsi qu'une stratégie de résolution et de différentes analyses des erreurs s'appuyant sur différents auteurs. Ce chapitre est très intéressant et permet de bien poser les actions inhérentes à la compréhension et à la résolution d'équations par des élèves voyants.

Le chapitre 3 propose un état de l'art sur la représentation multimodale d'une expression mathématique. Les descriptions de la représentation non visuelle comme l'audio et le Braille mathématique sont synthétiques et efficaces. Le chapitre se termine par une indispensable description des fichiers informatiques contenant l'information mathématique.

Le chapitre 4 concerne les logiciels utilisés pour faire des mathématiques pour des utilisateurs voyants et non voyants. Les logiciels proposés ont été classés en trois catégories à savoir éditeurs, afficheurs (permettant d'afficher en noir ou transcrire en Braille une formule mathématique) et les logiciels pour faire des mathématiques. Pour faire un parallèle entre les logiciels grand public et ceux spécifiques pour les utilisateurs non voyants, les paragraphes 4.1.1 et 4.1.2 pourraient être inversés car ils correspondent pour les logiciels spécifiques aux outils d'accès (4.2.1) pour les afficheurs (4.1.2) et aux outils de compréhension (4.2.2) pour les éditeurs (4.1.1). D'autre part, la distinction entre les éditeurs et les logiciels pour faire des mathématiques est pertinente pour les logiciels grand public mais beaucoup moins claire dans les cas des logiciels spécifiques qui n'ont pas de fonction de résolution automatique.

La deuxième partie de cette thèse intitulée « développement de l'interface » est structurée en quatre chapitres : Analyse des besoins, Modélisation de l'interaction, Premier et second prototype.

L'analyse de besoins proposée en chapitre 5 a été réalisée à partir d'une expérience qui consistait à observer et analyser des étudiants voyants et non voyants et des enseignants dans la manipulation et résolution d'équations. Les équations proposées et les manipulations à effectuer sont justifiées par

les expériences et résultats provenant de l'état de l'art exprimés dans les chapitres précédents. Cette expérience a été effectuée dans deux modalités : orale pour tous et écrite pour les étudiants voyants. Le fait que les étudiants non voyants n'aient pas pu réaliser l'expérience sous une autre forme qu'orale faute de matériel est regrettable cependant des questions posées aux étudiants non voyants concernant la façon d'éviter des fautes de frappe par exemple avec des copier/coller renseigne sur les fonctionnalités des interfaces pouvant être utilisées. Les résultats de l'expérimentation sont consignés dans des tableaux permettant une modélisation des actions en quatre points vérification, simplification, distribution et isolement.

Les interactions qui rendent ces actions possibles sont définies dans le chapitre 6 : Modélisation de l'interaction. Le principal choix dans la modélisation de l'interface proposée est de faciliter les tâches, faciliter l'accès aux termes de l'expression et de minimiser la charge mentale des utilisateurs mais en maintenant un niveau d'automatisation bas pour que l'utilisateur reste le maître de ses manipulations. Afin de répondre à ce choix les interactions prévues sont le contrôle d'accès, l'édition et l'aide à la résolution. Le contrôle d'accès permet l'action de vérification par une représentation sous forme de blocs sémantiques, l'édition permet les actions d'attraction, collection et isolement. L'aide à la résolution est en lien avec les différentes actions et permet de réduire la charge de mémoire en utilisant des commandes de placement de marques sur des termes, de recherche de termes ou d'opérations simples sur des termes préalablement sélectionnés. Les modalités de représentation des informations se proposent d'utiliser des sorties visuelles et sonore synchronisées afin de permettre la communication entre utilisateurs voyants et non voyants.

Le chapitre 7 propose une première implémentation et expérimentation d'un prototype. Les outils de développement utilisés et l'architecture basée sur le modèle-vue-contrôleur sont définis et argumentés. Le prototype a été testé par des utilisateurs voyants et non voyants afin d'évaluer sa pertinence dans le cadre de l'édition d'expression, de la lecture et compréhension et de l'utilisation des commandes proposées. Les résultats des observations ainsi que les retours des utilisateurs sont décrits avec précision et permettent de proposer des améliorations.

Le chapitre 8 propose l'implémentation et l'évaluation d'un second prototype prenant en compte les améliorations proposées dans le chapitre précédent notamment par l'implémentation saisie et d'une sortie Braille. L'édition a été également modifiée par la mise en place de blocs pour la saisie des fractions et des racines ainsi que l'implémentation de commandes permettant la recherche de termes et la recherche de termes semblables. Ce prototype a fait l'objet d'une évaluation par des enseignants et des élèves de lycée et collège dans des opérations de compréhension, communication (l'enseignant dicte une expression) et de résolution. Les résultats de ces expérimentations sont largement décrits et permettent de dire que les étudiants ont principalement reproduit leur méthode de travail habituelle sans forcément utiliser toutes les fonctionnalités proposées, les enseignants ont apprécié la représentation visuelle afin de suivre le travail de leurs élèves.

Le chapitre 9 intitulé Discussion reprend les différents résultats de ce travail concernant les aspects de saisie et visualisation, de compréhension, de communication et de facilitation des calculs. Une étude comparative avec l'existant est présente ici même si elle aurait pu se trouver dans une partie plus en amont.

Le chapitre 10, qui aurait pu être regroupé avec le précédent, propose quant à lui description de l'apport de ce travail ainsi que des perspectives pour les recherches futures.

En conclusion, ce travail constitue une analyse fine, détaillée et argumentée (basée sur l'évaluation de prototypes) des caractéristiques de représentation et d'interaction souhaitables pour une interface logicielle permettant un enseignement/apprentissage de l'algèbre pour des élèves non voyants. Ce document peut servir aux enseignants ayant dans leur classe des élèves non voyants, il peut également aider des concepteurs voulant implémenter ce type d'interface.

Pour toutes ces raisons, je donne un avis très favorable à la soutenance de cette thèse.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'N. Jessel', with a long horizontal stroke extending to the right.

Nadine JESSEL

Maitre de conférences en Informatique, habilité à diriger des recherches,

ESPE Toulouse Midi Pyrénées, Université de Toulouse Jean Jaurès

IRIT Institut de recherche en informatique de Toulouse.