

# Modélisation de la Résolution d'Équations Linéaires pour Concevoir une Interface Multimodale

Silvia Fajardo Flores  
EA 4004 – CHArt-THIM  
Université Paris 8, France

Email : [silvia.fajardo-flores@etud.univ-paris8.fr](mailto:silvia.fajardo-flores@etud.univ-paris8.fr)

Dominique Archambault  
EA 4004 – CHArt-THIM  
Université Paris 8, France

Email : [dominique.archambault@univ-paris8.fr](mailto:dominique.archambault@univ-paris8.fr)

**Résumé**—Cet article s'inscrit dans le domaine de l'interaction homme-machine dans le contexte de l'accès aux mathématiques. Dans l'environnement scolaire, les étudiants non-voyants qui commencent à apprendre l'algèbre ont besoin de travailler, de collaborer et de communiquer avec leurs camarades de classe. Cette interaction n'est pas toujours facile puisqu'ils utilisent des modalités de représentation des contenus différentes. L'ordinateur peut faciliter l'interaction en permettant l'accès multimodal dans une interface pour faire des mathématiques. Suite à la conduite d'expériences avec des étudiants voyants et non-voyants, nous présentons dans cet article la modélisation des actions que les étudiants ont besoin de faire en résolvant des équations linéaires. À partir de ce modèle, nous présentons une proposition pour mettre ces actions en options dans une interface multimodale. Enfin, nous discutons les avantages et les limitations d'implémentation.

## I. INTRODUCTION

L'accès des étudiants non-voyants aux études de mathématiques et des sciences en général reste un challenge aussi bien pour les éducateurs que pour les chercheurs. Les difficultés d'accès sont diverses, elles concernent la présentation et la communication de contenus, et la facilitation pour faire des calculs essentiels [1], [2]. Dans le contexte scolaire, les étudiants qui commencent à apprendre l'algèbre ont besoin de noter les exercices, comprendre les opérations, principes et méthodes de résolution, de communiquer avec leur professeur, et de collaborer avec leurs camarades de classe. Cette interaction devient compliquée entre étudiants voyants et non-voyants, puisqu'ils utilisent des modalités de représentation de contenus différentes. L'ordinateur peut faciliter l'interaction en permettant l'accès multimodal dans une application logicielle pour faire des mathématiques.

Dans une expérience précédente [3], nous avons identifié les actions des utilisateurs voyants et non-voyants en résolvant des équations linéaires. Dans le présent article nous présentons la modélisation de ces actions et nous proposons les interactions pour leur mise en fonction dans une interface synchronisée.

## II. LOGICIELS DE SUPPORT POUR FAIRE DES MATHÉMATIQUES

L'accès aux contenus mathématiques pour l'apprentissage a été abordé par quelques projets de recherche et développement. Le *Math Genie* [4], [5] est un logiciel de navigation

d'expressions qui utilise la sortie vocale, en permettant aux utilisateurs d'étendre chaque terme en les branches qui le composent. *Lambda* [6] permet d'écrire les expressions en utilisant une notation linéaire propriétaire ; ce logiciel utilise la sortie vocale du lecteur d'écran et un code braille à 8 points. La manipulation dans *Lambda* consiste en éditer la notation mathématique propriétaire de façon similaire à l'édition de texte littéraire. D'un autre côté, les prototypes *MaWEn* [2], [7] utilisent une sortie synchronisée visuelle et braille multi-code, en permettant aux utilisateurs voyants et non-voyants d'indiquer le terme ou sous expression courante ; *MaWEn* offre aussi la possibilité d'étendre et replier les sous-expressions. En ce qui concerne le travail avec les expressions au-delà de la lecture, *MaWEn* offre des assistants de manipulation et de simplification [1], [8]. Néanmoins, bien qu'accessibles, les possibilités de manipulation de ces logiciels sont limitées. D'un autre côté, il existe des logiciels tels que *APLUSIX* [9], *PIXIE* [10] et *VP Algebra*, qui permettent de travailler avec les expressions algébriques, mais qui ne sont pas accessibles aux utilisateurs non-voyants. Un troisième type de logiciel pour faire des mathématiques est les *Computer Algebra Systems* (CAS) tels que *MuPAD*, *Sage*, *Axiom* et *Mathematica* ; ces logiciels fonctionnent comme des calculatrices symboliques qui sont utilisés surtout pour accélérer les calculs, mais ils ne sont pas recommandés pour l'apprentissage puisqu'ils peuvent faire obstacle au développement du symbolisme algébrique [11], [12]. Il est admis que les interactions homme-machine dans les logiciels pour apprendre mathématiques peuvent affecter positivement ou négativement la compréhension conceptuelle des étudiants [13], [14].

## III. COMPRÉHENSION DE LA RÉOLUTION D'ÉQUATIONS LINÉAIRES

Il est reconnu que la résolution d'équations linéaires peut être facilement identifiée et caractérisée [15]. L'analyse des stratégies de résolution dans les expériences menées par [16] nous permet d'observer les actions suivies par les étudiants ayant appris les notions d'algèbre. Les actions suivies par les participants dans l'étude de [16] ont été organisées en trois étapes :

- *Attraction*. L'organisation d'occurrences de l'inconnue de telle façon qu'elles puissent être simplifiées ultérieurement.

ment.

e.g.  $3x + 1 = x + 2 \rightsquigarrow 3x - x = 2 - 1$

- *Collection*. La simplification de l'équation en additionnant les termes semblables.

e.g.  $3x - x = 2 - 1 \rightsquigarrow 2x = 1$

- *Isolement*. L'enlèvement des termes qui entourent l'inconnue, dans le but de trouver sa valeur.

e.g.  $2x = 1 \rightsquigarrow x = 1/2$

Les résultats ont montré que l'ordre des étapes variait en fonction de la stratégie suivie par le participant, et que le nombre de répétitions dépendait de son degré d'expertise. Ces résultats nous ont aidé à comprendre la résolution dans le contexte écrit, parmi des participants voyants.

D'un autre côté, notre expérience précédente [3] nous a permis d'observer les actions des étudiants voyants et non-voyants, dans le but de comparer leurs besoins et de chercher les possibles différences entre leurs intentions. Les exercices compris dans notre expérience impliquaient les tâches de simplification des termes semblables, la multiplication de monômes, binômes et polynômes, et la résolution d'une équation linéaire. Ces tâches ont été identifiées en [17] comme essentielles après une analyse de textes scolaires. Les participants ont réalisé les exercices de façon verbale, avec l'aide d'un observateur qui a noté le déroulement. Les résultats de notre expérience nous ont permis d'observer que les actions demandées aussi bien par des participants voyants que les non-voyants sont similaires. Nous n'avons pas trouvé de différences importantes sur la capacité de mémorisation entre participants voyants et non-voyants ; tous les participants ont trouvé difficile de retenir termes et de maintenir un contrôle adéquat sur l'ordre des distributions. Il est proposé que la résolution d'équations nécessite l'exécution systématique des actions en dépendant de la stratégie suivie, indépendamment de la capacité visuelle. Nous avons trouvé que la facilitation d'accès direct aux termes des équations et la minimisation de la charge mentale sont des caractéristiques fondamentales à prendre en compte dans notre interface.

#### IV. MODÉLISATION DES ACTIONS

Les actions demandées par les participants de notre expérience peuvent être catégorisées en étapes. Ces étapes représentent les actions poursuivies par les participants ; elles peuvent être effectuées plusieurs fois et dans un ordre différent, selon leur préférence ou habileté.

##### A. Vérification

Il s'agit de l'analyse de l'état de l'équation pendant toute la démarche de la résolution, soit au début pour comprendre la structure de l'équation et préparer la stratégie de solution, soit après avoir réalisé une des étapes pour vérifier le résultat partiel, ou bien pour obtenir d'autres informations sur l'équation. La vérification peut se réaliser aussi bien sur la ligne courant que sur des lignes précédentes.

##### B. Simplification : Attraction et Collection

L'étape la plus essentielle et fréquente est la simplification. Dans notre contexte, simplifier consiste en organiser

et additionner les termes semblables, soient occurrences de l'inconnue, soient termes indépendants. Dans le cadre de l'analyse de [16], la simplification correspond aux phases d'*Attraction* et *Collection*. L'étape d'*Attraction* peut être effectuée en réalisant les actions : écrire, appliquer une opération aux deux membres de l'équation (parfois demandé par les participants comme « ajouter un terme des deux côtés »), ou bien par transposer termes au membre contraire et changer ses signes. La *Collection* se réalise en effectuant des actions parmi les suivantes : Additionner les termes semblables, écrire, éliminer.

##### C. Distribution

En fonction de la complexité de l'équation, mais toujours dans les exercices de notre expérience, il peut être nécessaire de faire des multiplications entre monômes, binômes et polynômes. Cette étape met en évidence les limitations de la mémoire humaine, puisque, comme il est difficile de retenir les termes de référence, il est nécessaire de les chercher constamment. En utilisant la vue, cet action est automatique puisqu'on peut regarder directement les termes dans l'expression ; sans la vue c'est n'est pas si évident, parce qu'il faut se déplacer entre la ligne initiale pour obtenir les facteurs et la ligne du résultat pour les écrire. Les actions requises pour distribuer sont *multiplier* et *écrire*. De façon générale, nous pouvons considérer qu'à la suite d'une distribution, l'utilisateur effectuera plus probablement une simplification.

##### D. Isolement

L'objectif de cette étape est de se débarrasser des termes qui entourent l'inconnue, pour arriver à trouver sa valeur. De façon pareille que l'*Attraction*, l'isolement peut être effectué en deux manières : en appliquant une opération aux deux membres de l'équation, ou bien en transposant les termes à l'autre membre et changeant ses signes.

Il faut noter que quelques actions correspondent à plus d'une catégorie, selon la stratégie suivie par l'étudiant. Par exemple, l'action de transposer un terme au membre contraire peut se faire au début dans une phase d'attraction pour organiser et puis simplifier l'équation, ou bien dans une étape finale d'isolement pour déplacer les termes qui entourent l'inconnue. Dans tous les cas, ce sont les actions individuelles qui sont prises en compte pour les transformer en interactions dans l'interface.

Nous présentons maintenant deux exemples de résolution (Tables I et II) suivis par des participants de notre expérience précédente [3]. L'équation d'exemple a été prise de [16], parce qu'il s'agit d'une équation complexe dont la compréhension verbale pourrait représenter un problème. Notez que la stratégie de résolution des deux participants est différente, mais les actions sont similaires.

L'étape de *Vérification* n'est pas toujours indiquée explicitement dans la table, mais elle s'est effectuée après chaque action sous la forme de vérification du résultat partiel.

Tableau I  
STRATÉGIE DE RÉOLUTION 1.

| Équation                           | Étapes/Actions   |
|------------------------------------|--|
| $x + 2(x + 2(x + 2)) = x + 2$      | <b>Attraction</b><br>Transposer $x$ , $+2$<br>Changer signe  |
| $-x - 2 + x + 2(x + 2(x + 2)) = 0$ | <b>Distribution</b><br>Multiplier $2(x + 2)$   |
| $-x - 2 + x + 2(x + 2x + 4) = 0$   | <b>Collection</b><br>Additionner termes semblables (en parenthèses)  |
| $-x - 2 + x + 2(3x + 4) = 0$       | <b>Distribution</b><br>Multiplier $2(3x + 4)$  |
| $-x - 2 + x + 6x + 8 = 0$          | <b>Vérification</b><br>Rechercher termes semblables en $x$   |
| $-2 + 6x + 8 = 0$                  | <b>Collection</b><br>Additionner termes semblables   |
| $6x + 6 = 0$                       | <b>Vérification</b><br>Rechercher termes indépendants<br><b>Simplification arithmétique</b><br>Additionner termes semblables |
| $6x = -6$                          | <b>Isolement</b><br>Transposer 6<br>Changer signe  |
| $x = -1$                           | Diviser par 6  |

Tableau II  
STRATÉGIE DE RÉOLUTION 2.

| Équation                               | Étapes/Actions  |
|--|---|
| $x + 2(x + 2(x + 2)) = x + 2$          | <b>Attraction</b><br>Ajouter $-x$ aux deux membres                    |
| $-x + x + 2(x + 2(x + 2)) = x + 2 - x$ | <b>Collection</b><br>Éliminer occurrences d' $x$                      |
| $2(x + 2(x + 2)) = 2$                  | <b>Isolement</b><br>Diviser par 2                                     |
| $x + 2(x + 2) = 1$                     | <b>Attraction</b><br>Transposer $x$<br>Changer signe                  |
| $2(x + 2) = 1 - x$                     | <b>Distribution</b><br>Multiplier $2(x + 2)$                          |
| $2x + 4 = 1 - x$                       | <b>Attraction</b><br>Ajouter $x$ aux deux membres                     |
| $x + 2x + 4 = 1 - x + x$               | <b>Collection</b><br>Additionner termes semblables (membre de gauche) |
| $3x + 4 = 1 - x + x$                   | Additionner termes semblables (membre de droite)                      |
| $3x + 4 = 1$                           | <b>Isolement</b><br>Ajouter $-4$ aux deux membres                     |
| $-4 + 3x + 4 = 1 - 4$                  | <b>Simplification arithmétique</b><br>Additionner termes semblables   |
| $3x = -3$                              | <b>Isolement</b><br>Diviser par 3                                     |
| $x = -1$                               |   |

## V. INTERACTIONS DANS L'INTERFACE

Les interactions prises en compte pour implémenter dans notre interface ont pour objectif la facilitation de tâches couramment utilisées pour l'apprentissage de l'algèbre essentielle. Nous avons essayé de maintenir le degré d'automatisation au plus bas possible, en permettant que l'utilisateur manipule directement les équations et produise les résultats. Par conséquent, les options d'interaction sont destinées à faciliter l'accès direct aux termes de l'équation et à minimiser la charge mentale des utilisateurs. Quelques interactions avaient été déjà considérées par d'autres travaux, parmi lesquels : Navigation dans la formule [1], [2], [4], minimisation d'erreurs provoqués par les limitations de mémoire et localisation de positions spécifiques [8].

Notre proposition considère importante de permettre l'erreur inhérente à l'apprentissage, donc il est prévu que les utilisateurs puissent commettre les erreurs suivantes :

- Arithmétique. Comme résultat de multiplier, diviser ou

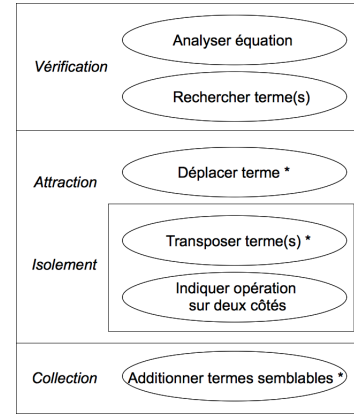


FIGURE 1. Diagramme de Cas d'Utilisation : Étapes

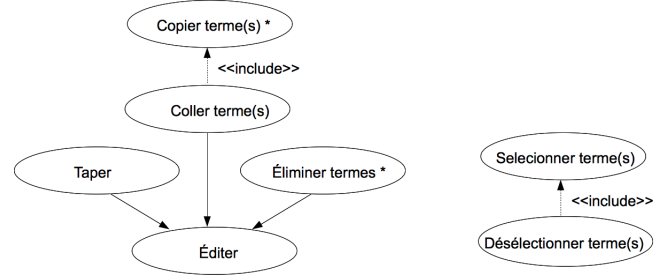


FIGURE 2. Diagramme de Cas d'Utilisation : Édition

d'ajouter mentalement les coefficients ou exposants.

- Exécution. Comme résultat d'appliquer une opération incorrecte, ou de sélectionner des termes d'exposant différent pour les additionner.
- Signe. Comme résultat d'une opération arithmétique, ou bien en transposant un terme au terme contraire.

D'un autre côté, il existe des erreurs qui doivent être notifiées à l'utilisateur, comme l'erreur de syntaxe d'écriture des équations.

### A. Diagrammes de Cas d'Utilisation

Suite à l'organisation des actions en étapes, nous les avons représentés en cas d'utilisation (Figure 1). Tous les cas sauf l'étape de *Vérification* ont besoin de l'écriture de termes. Les diagrammes de la Figure 2 affichent les options possibles pour effectuer l'édition. Les cas d'utilisation ayant un astérisque (\*) requièrent d'une sélection précédente de termes.

### B. Options d'Interaction

La totalité des cas d'utilisation peut être mise en opération dans l'interface sous la forme d'interactions pour l'édition et navigation. En permettant l'édition, l'utilisateur pourra achever les étapes d'*Attraction*, *Collection* et *Isolement*. L'édition, à son tour, implique la navigation dans l'équation pour achever la *Vérification* requise avant et après toute action.

1) *Édition : Écriture et Sélection*: Les utilisateurs pourront écrire, éliminer et modifier les termes. Pour l'écriture d'équations, on mettra à disposition de l'utilisateur des lettres, numéros, opérateurs (+, -, \*, /), parenthèses, et les flèches *Up* et

*Down* pour indiquer respectivement le début et la fin d'un exposant. Par exemple, pour écrire «  $4x^3 + 5$  » on devra taper « 4 », « x », flèche *Up* , « 3 », flèche *Down* , « + », « 5 ». La frappe de chaque caractère aura une sortie visuelle et auditive.

L'édition permettra également d'éliminer, de copier et de coller termes et opérateurs, précédée par une sélection de termes.

Une fois indiquée, la sélection sera persistante même en changeant la position du curseur, jusqu'à l'indication explicite d'une désélection.

2) *Navigation*: L'utilisateur pourra naviguer dans l'équation : 1) par terme ou opérateur, 2) par élément dans le terme actif (terme indépendant, inconnue, exposant, coefficient, opérateur), et 3) par ligne. Le défaut sera par terme ou opérateur.

Pour faciliter la navigation d'une ligne à l'autre, nous proposons de garder la position du curseur du dernier terme visité dans chaque ligne, de telle façon qu'en revenant, on retourne à la position antérieure.

Pour minimiser les allers et retours entre lignes, nous considérons la possibilité d'alterner la position du curseur, de la ligne active à la liste de termes sélectionnés. Cet interaction sera possible grâce à la persistance de la sélection.

3) *Interactions auxiliaires : Commandes*: Les interactions auxiliaires permettront à l'utilisateur de minimiser le nombre de frappes au clavier en effectuant une action, offrant la possibilité d'accélérer la démarche sans changer la nature de la tâche. Ces interactions auxiliaires sont ciblés aussi bien aux utilisateurs voyants que aux non-voyants. Par exemple, la transposition d'un terme d'un membre à l'autre pourra être faite manuellement en le copiant et l'éliminant, et puis le collant ou écrivant dans l'autre membre. Une interaction auxiliaire permettrait de passer automatiquement ledit terme d'un membre à l'autre en utilisant une commande suite à sa sélection. La simplification dans une équation de plusieurs termes pourrait être accélérée considérablement en facilitant la recherche et la sélection des termes semblables en utilisant des options auxiliaires, et même la localisation des termes spécifiques pourrait être accélérée sans avoir besoin de parcourir l'équation entière. Bien que les utilisateurs voyants n'aient pas besoin de parcourir l'équation pour certaines actions comme rechercher des termes semblables, ils pourront également utiliser les interactions auxiliaires pour accélérer la sélection des termes pour les additionner ou copier ultérieurement.

Les interactions auxiliaires seront les suivantes :

- Rechercher terme : Commande *Rechercher terme*. Aller directement à l'emplacement d'un certain terme. Le résultat ou résultats seront surlignés, et la position du curseur sera actualisé au premier résultat.
- Rechercher termes semblables : Commande *Rechercher termes en* [ $x^3$ ,  $x^2$ ,  $x$ , *indépendant*]. L'utilisateur pourra choisir d'une liste d'options contenant l'inconnu en ses différents exposants, incluant les termes indépendants ou en  $x^0$ . Cette commande a été conçue pour faciliter l'identification des termes semblables, et de suivre de façon organisée la simplification des équations de nombreux

termes. La commande s'effectuera dans le membre actif en prenant compte les termes tels qu'ils sont affichés dans l'équation et pas leur sémantique. Par exemple, la recherche de termes en  $x^2$  ne produira pas «  $x * x$  » ni le terme dans «  $(x + 2)^2$  » comme résultats.

Les termes trouvés seront marqués comme sélectionnés, et l'utilisateur pourra naviguer entre eux. Il faut noter que cette commande implique aller à la ligne précédente et revenir sur la ligne de résultat pour écrire. Néanmoins, en revenant sur la ligne de résultat, le curseur reviendra aussi à la position antérieure.

- Transposer terme(s) : Commande *Transposer*, précédée par une sélection de terme(s).
- Indiquer opération sur deux côtés : Commandes *Additionner/Diviser terme dans deux côtés*.
- Additionner termes semblables : Commande *Additionner coefficients*, précédée par une sélection des termes.

Toutes les commandes seront exécutées en appuyant une combinaison de touches, ou bien en les choisissant d'un menu.

4) *Sortie bimodale d'Information*: Les modalités de sortie d'information visuelle et auditive seront synchronisées. Par exemple, en écrivant un caractère, ledit caractère s'affichera sur l'écran en même temps que son équivalent en audio ; en sélectionnant un terme, ledit terme s'affichera surligné visuellement, pendant que la sélection sera indiqué auditivement aussi bien au moment de la sélection qu'à chaque fois que le terme soit actif dans la navigation.

## VI. POSSIBILITÉS ET LIMITATIONS D'IMPLÉMENTATION

La liberté de navigation, d'écriture, de manipulation, et même la considération d'erreurs prévues dans notre proposition impliquent un haut degré de difficulté d'implémentation. Les équations mathématiques, contrairement aux textes littéraires, sont bidimensionnelles, donc leur représentation fidèle dans l'interface implique l'utilisation des langages de balisage. Ces langages, comme MathML de contenu, de présentation, et OpenMath, permettent l'affichage de contenus mathématiques sur l'écran, mais ils ne rendent pas les contenus éditables ; par conséquent, leur navigation, traitement et édition ne sont pas directs. Nous avons choisi la représentation en MathML de présentation, ayant une correspondance plus directe avec la lecture et écriture humaines de la notation mathématique. Par ailleurs, les contenus générés seront susceptibles d'être utilisés dans d'autres logiciels de manipulation qui utilisent MathML de présentation.

D'un autre côté, l'écriture dynamique de termes prévue dans notre proposition nécessite une sortie visuelle et auditive immédiate. À l'intérieur du système, toute nouvelle frappe ou modification de l'équation impliquera une conversion automatique en MathML de présentation.

La sortie auditive comme feed-back des interactions est critique pour l'accès des utilisateurs non-voyants. À ce propos, nous avons considéré deux alternatives : 1) la synchronisation de la sortie avec le lecteur d'écran de l'utilisateur, ou bien, 2) l'utilisation d'un lecteur à l'intérieur de notre interface. La

première option permettrait d'éviter l'interférence entre l'audio du lecteur d'écran de l'utilisateur et celui de notre logiciel, mais la variété de lecteurs d'écran rend difficile d'assurer la lecture correcte des éléments de notre interface. Par contre, bien que la deuxième option permet un environnement plus contrôlé, elle implique une implémentation plus complexe.

## VII. CONCLUSION

En nous basant sur une analyse précédente où nous avons identifié les actions des utilisateurs voyants et non-voyants en résolvant des équations linéaires [3], nous avons présenté la modélisation de ces actions et nous avons proposé les interactions pour leur mise en fonction dans une interface synchronisée. Notre proposition est focalisée principalement sur la facilitation de l'accès direct aux termes de l'équation, et la minimisation de la charge mentale des utilisateurs. Ayant considéré les alternatives d'interaction, leur implémentation dans un prototype nous permettra d'évaluer notre proposition du point de vue des étudiants et de professeurs.

Une fois développée, nous espérons que notre interface facilitera la communication et la collaboration entre utilisateurs voyants et non-voyants, de tel façon qu'elle contribuera à la compréhension des notions algébriques au sein d'un environnement scolaire.

## RÉFÉRENCES

- [1] K. Miesenberger, "Doing mathematics," <http://www.ascience-thematic.net/en/conferences/paris/Miesenberger>, 2008.
- [2] D. Archambault, "Non visual access to mathematical contents : State of the art and prospective," in *Proceedings of the WEIMS Conference 2009 (The Workshop on E-Inclusion in Mathematics and Science)*, 2009, pp. 43–52.
- [3] S. Fajardo Flores and D. Archambault, "Understanding algebraic manipulation : Analysis of the actions of sighted and non-sighted students," in *The International Workshop on Digitization and E-Inclusion in Mathematics and Science 2012 (DEIMS12)*, K. Yamaguchi and M. Suzuki, Eds., 2012.
- [4] D. Gillan, P. Barraza, A. Karshmer, and S. Pazuchanics, "Cognitive analysis of equation reading : Application to the development of the math genie," in *Computers Helping People with Special Needs*, K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagler, and D. Burger, Eds. Berlin : Springer-Verlag, 2004, pp. 630–637.
- [5] A. Karshmer, C. Bledsoe, and P. Stanley, "The architecture of a comprehensive equation browser for the print impaired," in *Computers Helping People with Special Needs*, K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagler, and D. Burger, Eds. Berlin : Springer-Verlag, 2004, pp. 614–619.
- [6] W. Schweikhardt, C. Bernareggi, N. Jessel, B. Encelle, and M. Gut, "Lambda : a european system to access mathematics with braille and audio synthesis," in *Proc. ICCHP 2006 (10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagler, and A. Karshmer, Eds. Springer, 2006, pp. 1223–1230.
- [7] D. Archambault, B. Stöger, M. Batusic, C. Fahrengruber, and K. Miesenberger, "A software model to support collaborative mathematical work between braille and sighted users," in *Ninth International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS 07)*, 2007.
- [8] B. Stöger, K. Miesenberger, and M. Batusic, "Mathematical working environment for the blind : Motivation and basic ideas," in *Computers Helping People with Special Needs*, K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagler, and D. Burger, Eds. Berlin : Springer-Verlag, 2004, pp. 656–663.
- [9] J. F. Nicaud, "A general model of algebraic problem solving for the design of interactive learning environments," in *Mathematical Problem Solving and New Information Technologies*, ser. NATO ASI Series, J. e. a. Ponte, Ed. Springer Berlin Heidelberg, 1992, vol. 89, pp. 267–285.
- [10] D. H. Sleeman, "Inferring (mal) rules from pupils' protocols," in *Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence*, 1982, pp. 160–164.
- [11] M. Artigue, "Learning mathematics in a cas environment : The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work," *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, vol. 7, pp. 245–274, 2002.
- [12] J. Monaghan, "Computer algebra, instrumentation and the anthropological approach," *International Journal for Technology in Mathematics Education*, vol. 14, no. 2, pp. 63–72, 2007.
- [13] N. Balacheff, "Artificial intelligence and mathematics education : Expectations and questions," in *Proceedings of the 14th Biennial of the AAMT*, T. Herrington, Ed., 1993, pp. 1–24.
- [14] P. Drijvers and K. Gravemeijer, "Computer algebra as an instrument : Examples of algebraic schemes," in *The Didactical Challenge of Symbolic Calculators : Turning a Computational Device Into a Mathematical Instrument*, D. Guin, K. Ruthven, and L. Trouche, Eds. Springer, 2005.
- [15] J. Anderson, "Human symbol manipulation within an integrated cognitive architecture," *Cognitive Science*, vol. 29, pp. 313–341, 2005.
- [16] L. Carry, C. Lewis, and J. Bernard, "Psychology of equation solving : An information processing study," The University of Texas at Austin, Tech. Rep., 1979.
- [17] B. Stöger, M. Batusic, K. Miesenberger, and P. Haindl, "Supporting blind students in navigation and manipulation of mathematical expressions : Basic requirements and strategies," in *Miesenberger, K. and Klaus, J. and Zagler, W. and Karshmer, A., C. H. P. with Special Needs*, Ed. Berlin : Springer-Verlag, 2006, pp. 1235–1242.