

# Interaction et usages des modalités non visuelles, accessibilité des contenus complexes

## Mémoire de synthèse

présenté et soutenu publiquement le 7 décembre 2010

pour l'obtention de l'

**Habilitation à Diriger les Recherches  
de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris 6**  
(spécialité informatique)

par

Dominique Archambault

### Composition du jury

<i>Président :</i>	Annick Valibouze	Professeure à l'Université Pierre et Marie Curie - Paris 6
<i>Rapporteurs :</i>	Viviane Durand-Guerrier	Professeure à l'Université Montpellier 2
	Jan Engelen	Professeur à l'Université Catholique de Louvain
	Jaime López-Krahe	Professeur à l'Université Paris 8
<i>Examineurs :</i>	Pascal Estrailhier	Professeur à l'Université de La Rochelle
	Klaus Miesenberger	Professeur à l'Université Johannes Kepler de Linz
	Stéphane Natkin	Professeur du CNAM
	Christian Retoré	Professeur à l'Université Bordeaux 1
<i>Invité :</i>	Damien Olivier	Professeur à l'Université du Havre

Mis en page avec la classe thloria, modifiée par l'auteur.

*À Noëlle Carbonell*



# Table des matières

<b>Avant-propos</b>	<b>xi</b>
<b>Chapitre 1 Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Les aveugles et l'accès à l'information . . . . .	1
1.1.1 Humains et échanges d'information . . . . .	1
1.1.2 Transmission non visuelle de l'information . . . . .	2
1.2 Un grand besoin d'accessibilité . . . . .	3
1.2.1 Tout n'est pas si simple ! . . . . .	3
1.2.2 L'accessibilité : un bien commun . . . . .	4
1.3 Positionnement scientifique de ce travail . . . . .	6
<b>Chapitre 2 Contexte</b>	<b>9</b>
2.1 Communication homme-machine non visuelle . . . . .	9
2.1.1 Communication et modalités . . . . .	9
2.1.2 Communication homme-machine et document électronique . . . . .	9
2.1.3 Utilisation de modalités non visuelles . . . . .	10
2.1.4 Des conversions . . . . .	11
2.1.5 Des documents électroniques accessibles . . . . .	12
2.2 Quelques problèmes concrets d'accessibilité . . . . .	12
2.2.1 Aspect temporel . . . . .	12
2.2.2 Aspect structurel . . . . .	13
2.2.3 Des graffitis... . . . .	15
2.2.4 Un espace de travail immédiatement disponible et permanent . . . . .	16
2.2.5 Collaboration transmodale . . . . .	17
2.3 État de l'art . . . . .	18
2.3.1 Frameworks d'accessibilité . . . . .	18
2.3.2 Documents électroniques . . . . .	19
2.3.2.1 Langages de markup . . . . .	19
2.3.2.2 Formats audio . . . . .	20
2.3.2.3 DTBook . . . . .	20
2.3.3 Accès aux documents scientifiques . . . . .	20
2.3.3.1 Accéder . . . . .	21

2.3.3.2	Comprendre . . . . .	22
2.3.3.3	Calculer . . . . .	23
2.3.4	Jeux multimédia . . . . .	23
2.3.4.1	Des jeux spécifiques . . . . .	23
2.3.4.2	Les fondations de l’accessibilité . . . . .	24
<b>Chapitre 3</b>	<b>Contributions</b>	<b>25</b>
3.1	Des interfaces utilisateurs spécifiques . . . . .	25
3.1.1	Documents électroniques structurés . . . . .	26
3.1.2	Accès aux expressions mathématiques . . . . .	27
3.1.2.1	Lecture et compréhension d’expressions mathématiques . . . . .	27
3.1.2.2	Manipulations d’expressions mathématiques . . . . .	28
3.1.3	Adaptations d’interactions de jeux vidéo . . . . .	29
3.1.3.1	Adapter un jeu . . . . .	30
3.1.3.2	Compenser le manque d’information visuelle . . . . .	30
3.1.3.3	Pertinence des sons . . . . .	31
3.1.3.4	Viser . . . . .	31
3.1.3.5	Représentation linéaire d’un plateau de jeu à deux dimensions . . . . .	32
3.1.3.6	Adaptation du principe d’auto-apprentissage dans les jeux audio . . . . .	33
3.2	Collaboration et Interfaces transmodales synchronisées . . . . .	34
3.2.1	Affichage et pointage transmodal des expressions mathématiques . . . . .	34
3.2.2	Jeux collaboratif et compétitifs . . . . .	35
3.3	Transcriptions . . . . .	36
3.3.1	Braille Mathématique . . . . .	37
3.3.2	Bibliothèque numérique Hélène . . . . .	38
3.3.3	odt2dtbook . . . . .	39
3.4	Modèles et Accessibilité . . . . .	40
3.4.1	Blindstation . . . . .	40
3.4.2	Vers une mise en accessibilité des jeux vidéo . . . . .	42
3.4.2.1	Recommandations . . . . .	42
3.4.2.2	Conception pour tous . . . . .	42
3.4.2.3	Vers une accessibilité active . . . . .	43
3.4.3	Modèle MaWEn . . . . .	44
<b>Chapitre 4</b>	<b>Accessibilité et TIC</b>	<b>45</b>
4.1	Réalité de l’accessibilité numérique aujourd’hui . . . . .	45
4.2	Imposer le support de l’accessibilité . . . . .	45
4.3	Situation éducative en France : peu d’intégration réelle . . . . .	46
4.4	Perspectives . . . . .	47
<b>Bibliographie</b>		<b>49</b>

<b>Annexe A Projets Européens</b>	<b>63</b>
A.1 TiM . . . . .	63
A.2 Vickie . . . . .	64
A.3 MICOLE . . . . .	65
A.4 @Science . . . . .	66
<b>Annexe B Copies d'écran de Multisite</b>	<b>67</b>
<b>Annexe C Niveaux de <i>Pyvox</i>, <i>Musical Maze</i></b>	<b>69</b>
<b>Annexe D Copies d'écran de MaWEn</b>	<b>71</b>
<b>Annexe E Feuille de style Blindstation</b>	<b>73</b>



## Remerciements

Le travail de recherche que je présente dans ce mémoire est le fruit de nombreuses rencontres. Ce ne fut parfois qu'un échange de quelques minutes lors d'une pause café, ou à l'inverse des années de collaboration, d'où souvent est née une amitié. Dans ces pages que j'écris en dernier alors qu'elles apparaîtront en premier dans le mémoire, en essayant de dépasser toute la maladresse dont je me sais capable, je voudrais tenter de remercier tous ceux sans qui ce travail n'existerait pas. Je vais probablement oublier des personnes qui devraient être mentionnées, j'espère qu'elles seront indulgentes !

Je dédie ce mémoire à Noëlle Carbonell, Professeur d'informatique à l'Université Henri Poincaré Nancy 1. Elle a apporté de nombreuses contributions dans le domaine de l'interaction humain-machine, sur les aspects ergonomiques et logiciels, sur l'interaction multimodale et l'interaction centrée utilisateur. Elle participait au comité de rédaction de plusieurs revues scientifiques internationales et était impliquée dans le « *Special Interest Group on Accessible Computing* » (SIGACCESS) d'ACM. Noëlle tu t'es intéressé à mon travail très tôt, et tu m'as encouragé et soutenu. Nous nous rencontrions de temps en temps dans des conférences, aux 4 coins du monde, et c'était toujours un grand plaisir de discuter avec toi. C'est avec une grande tristesse que j'ai appris ta disparition alors que je commençais à réfléchir à ce mémoire et que je voulais t'en parler justement. J'avais toujours pensé que tu participerais au jury. Je te remercie Noëlle pour tout ce que tu m'as apporté.

Je voudrais maintenant remercier les étudiants handicapés que j'ai rencontrés sur mon chemin, depuis mon service d'objecteur de conscience à l'Université d'Orléans, puis au Havre, à Paris 6 et Paris 8. Vous m'avez fait comprendre beaucoup de choses sur le handicap, lorsque j'étais confronté, avec vous, au manque d'accessibilité que vous rencontrez quotidiennement, aussi bien dans les déplacements que dans tous les aspects de vos vies. Par votre courage, par votre ténacité, par vos réussites, par vos échecs et la façon dont vous les viviez, par les discussions que nous avons pu avoir, vous avez contribué largement au peu que je crois avoir compris du sens d'une vie.

Ce travail n'aurait rien été bien sûr sans celui de tous ceux que j'ai accompagné dans leurs projets de fin d'études, dans leurs stages d'école d'ingénieur, de DESS puis de MASTER, dans leur travail de recherche au sein des projets Européens. J'espère vous avoir apporté autant que vous m'avez apporté. Les travaux qui sont rapportés dans ce mémoire sont ceux que nous avons mené ensemble. Merci Sébastien, Aurélie, Antoine, Sylvain, vous qui avez développé les prototypes du projet TiM. Merci aussi de la part des centaines de joueurs aveugles qui ont téléchargé Mudsplat depuis quelques années. Merci Benoît, Cédric pour le projet Vickie ; Victor, Bernhard, Mario et Claudia, Kim, Aurélie, Elka pour le projet Micole. Merci aussi à Arnaud et à Alexis pour les travaux de qualité réalisés pendant leur projet de fin d'études à Polytech'Tours. Ils ont chacun de leur côté poursuivi une thèse par la suite avec succès.

En 1997 je suis venu à l'université Paris 6 pour assister à une réunion de l'association Braille-Net qui venait d'être lancée. C'est là que j'ai rencontré Dominique Burger qui en était le fondateur et qui dirigeait une équipe de recherche sur les interfaces non visuelles et l'accessibilité au sein de l'unité U483 de l'Inserm. J'ai rejoint l'association et l'unité dans l'année qui a suivi. Merci à toi Dominique pour m'avoir accueilli, m'avoir offert le gîte — un bureau alors que l'équipe n'avait pas beaucoup d'espace, m'avoir conseillé et accompagné alors que je rejoignais cette thématique, et m'avoir présenté de nombreux collègues français et étrangers. Nous avons travaillé côte à côte pendant plusieurs années, sur les projets Européens TiM et Vickie, puis nos chemins se sont séparés doucement, les financements communs que nous avions étant terminés. Merci à Yves Burnod qui dirigeait l'unité 483, et qui m'a fait confiance et encouragé à demander une délégation CNRS. Et merci à l'équipe accessibilité historique de BrailleNet avec qui j'ai travaillé les premières années, Sylvie, Claudine, Denis, merci à vous.

Je tiens aussi à remercier tous les collègues du Havre, de l'IUT et de la Faculté des Sciences et Techniques, qui m'ont soutenu et permis d'arranger mon emploi du temps. Cyrille, Véronique

et Damien à la Faculté des Sciences et Techniques, Patrice, Michel à l'IUT, merci à vous. En 97, 98 vous m'avez aidé à bloquer une journée par semaine pour me rendre à mon labo parisien, puis ayant du déménager à cause du défaut de prise en charge des enfants au Havre, alors que j'avais emménagé à Paris vous m'avez aidé à bloquer tous mes enseignements sur deux jours.

En juin 2000 je recevais un mail de Jaime Lopez-Krahe pour me proposer d'assister à une réunion concernant un projet d'enseignement de troisième cycle européen « *Nouvelles technologies et handicaps physiques et sensoriels* ». Ce projet est devenu un DESS, qui s'est transformé par la suite en Master « *Technologie et Handicap* » auquel j'ai participé depuis l'origine. Depuis j'ai appris à connaître Jaime, sa bienveillance, sa capacité de médiation, et surtout bien sûr la qualité du travail scientifique qu'il génère au sein de son laboratoire THIM. Merci à toi pour m'avoir fait confiance très tôt Jaime, et pour m'avoir conseillé, soutenu. Merci de m'avoir invité comme *guest editor* dans la revue *Upgrade*, et pour les contacts en Espagne. Pour m'avoir poussé aussi à rédiger une bonne fois ce mémoire. Je crois que j'aurais encore attendu des mois, merci encore. Et merci d'avoir accepté de rédiger un rapport sur mon travail.

Depuis 2005 je suis en poste à l'Université Paris 6. Avec la disparition de l'unité U483, je me suis retrouvé sans labo, une situation inconfortable. Cette situation aurait pu être complètement invivable sans le soutien de mon UFR. L'UFR d'informatique en premier, et le soutien indéfectible de Philippe Aubry, puis notre UFR ayant fusionné avec d'autres dans l'UFR d'ingénierie, ce soutien a continué sous la direction de Jean Devars. Merci à tous les deux. Et merci aux personnels administratifs de l'UFR qui ont eu à gérer mes conventions et mes missions, Marie-Odile Charré, Anne-Maire Meish, Carole Le Nillon, puis à l'UFR d'ingénierie Annie Bacon et Annick Maunourri. Merci aussi aux personnels des services qui se sont occupé de gérer des conventions de recherche auparavant, Catherine Seghezzi, Marie Nosenko, Marguerite Sos, Cécile Campet, Hélène Gillot, Kristina Polony ; ainsi qu'au bureau Europe : Catherine Ora et Stéphanie Rossard. Merci de nouveau à Carole le Nillon qui m'a aidé dans l'urgence à accélérer le processus et à réduire le temps entre le pré-dossier HDR et la soutenance ! Enfin un grand merci à Brigitte Noël qui s'est occupé des tirages papier et des reliures des mémoires, pour les rapporteurs, pour la soutenance et enfin du tirage final, toujours attentive au choix des reliures et réalisant les documents au plus vite.

Merci aux collègues d'Informatique de l'Université Paris 6 qui m'ont témoigné leur amitié et leur confiance. Et tout d'abord à Annick Valibouze. Merci Annick, tu m'as toi aussi encouragé, poussé à écrire ce mémoire et soutenir, et tu étais bien obligée d'accepter de participer au jury, merci. Merci à Philippe Aubry, Emmanuel Chailloux, Frédéric Peschanski, Olivier Sigaud, Nicolas Spathis, Gérard Nowak et une mention très spéciale à Bruno Lesueur, toujours là pour aider, relire un sujet, prendre un groupe au pied levé *etc.*

Depuis plusieurs années Franck Guyon m'a rejoint au sein de l'équipe Inova. En tant qu'Ingénieur sa tâche est d'assurer le suivi des applications réalisées durant les projets Européens. En faire des applications diffusables et en assurer le suivi. Corriger les bugs qui subsistent dans le code, développer des interfaces utilisateurs, faire marcher ces logiciels sur plusieurs plateformes. Merci Frankie et j'espère qu'on va continuer un moment encore comme cela !

Le domaine des techniques d'assistance aux personnes handicapées est très particulier en ce sens que la plupart des collègues avec qui j'ai pu travailler pendant ces années sont devenus mes amis. C'est très agréable de travailler dans ce domaine. Il existe évidemment des tensions et des difficultés, des désaccords et des controverses, mais elles sont discutées de façon amicale et bienveillante. Oui c'est peut-être « bienveillant » le terme que j'emploierai pour qualifier ce domaine. Merci à vous tous, ceux avec qui j'ai travaillé sur des projets, ceux que j'ai côtoyé dans des réunions de comité de programme, d'évaluation ou de sélection de projets pour la Commission Européenne.

Parmi eux je souhaite remercier tout particulièrement Gerhard Weber de l'Université de Dresde, Wolfgang Zagler de l'Université de Vienne et Joaquim Klaus de l'Université de Karlsruhe, avec qui j'ai travaillé dans le comité de programme d'ICCHP. Encore une mention spéciale pour Harry Murphy et Debbie Gilden, les jeunes mariés de San Francisco, nous nous sommes croisés

à ICCHP, à CSUN et ils m'ont reçu chez eux à San Francisco à plusieurs reprises, et chaque rencontre a été si riche pour moi. Merci à vous deux mes amis.

Je veux remercier aussi en particulier mes amis les membres du groupe iGUMA, Enrico Pontelli de New Mexico University, Gopal Gupta de l'Université du Texas à Dallas, Dónal Fitzpatrick de Dublin City University, avec qui nous avons souvent travaillé et échangé, et une mention spéciale à notre *Computer Science Guru*, mon ami Arthur Karshmer, de l'Université de San Francisco. Merci à toi Art, tu m'as reçu chez toi plusieurs fois, tu m'as invité à ce workshop à Tampa où j'ai passé 20h en avion et dans les aéroports pour 38h en Floride, combien d'heures à échanger sur tous les sujets et en particulier sur notre travail à propos de l'accessibilité des maths. Merci aussi pour les semaines que tu as passé dans mon équipe à Paris, pour tout ce que tu as apporté à mes étudiants. Te souviens-tu de la fois où nous avons passé une bonne partie de la nuit à démonter complètement nos ordinateurs portables sur ta table de cuisine tout en discutant d'accessibilité!

Merci aux partenaires du projet TiM, Krister Svensson, Harry Svensson, Phil Ellis, Lieselotte Van Leeuwen, Diane Stacey et Lesley Talbot-Strettle, merci aussi aux partenaires du projet Vickie, Antonio Quatraro, Cristian Lai, Claude Moulin, Siobhán Bermingham, aux partenaires du projet Micole, Roope Raisamo, Arto Hippula, Grigori Evreinov, Stephen Brewster, Eva-Lotta Sallnäs, Fredrik Winberg, Charlotte Magnusson, Kirsten Rasmus-Gröhn, Gunnar Jansson et à tous les autres. Merci aux collègues de l'équipe Infty. Merci à Masakazu Suzuki, *sensei*, pour m'avoir invité dans son laboratoire à l'Université de Kuyhsu, à plusieurs reprises. Ces semaines passées à Fukuoka furent si riches. Merci à Toshihiro Kanahori pour les heures passées ensemble à travailler sur l'intégration d'UMCL dans Infty, dans le bureau qu'il m'avait cédé à *Tsukuba Institute of Technology* — son propre bureau qu'il avait en partie déménagé dans une sorte de réserve, malgré mon insistance pour qu'il n'en fasse rien et que nous puissions partager simplement ce bureau. Et merci à Katsuhito Yamaguchi de *Nihon University*.

Une mention spéciale pour Philippe Claudet, qui dirige l'Association Les Doigts Qui Rêvent à Dijon, éditeur de livre en relief pour les enfants aveugles et malvoyants. Merci à toi pour ton enthousiasme, pour la qualité des productions de ton association, que nous avons utilisé dans le projet TiM, et pour ta soif de comprendre les processus sous-jacents à l'interaction tactile, dans le but de toujours améliorer tes ouvrages. C'est toujours un plaisir de travailler avec toi.

En 2006, Thomas Gaudy est venu me trouver au labo pour me demander de co-encadrer la thèse qu'il allait commencer au CNAM avec Stéphane Natkin. Merci à toi Thomas pour ton énergie, ton audace, ta célérité pour développer et venir me montrer de nouveaux prototypes à l'issue de nos entretiens, la qualité de ton travail. Merci pour les jeux que tu as développés et qui sont disponibles pour des joueurs handicapés. Et merci pour m'avoir fait rencontrer Stéphane ! Avec Stéphane Natkin nous avons rédigé plusieurs propositions pour essayer de pousser l'idée d'une interface d'accessibilité pour les jeux vidéo. Merci à toi Stéphane pour m'avoir fait rencontrer les personnes, universitaires, industriels, PME qui ont fait de nos idées des propositions de projet crédibles. Merci pour ta confiance, et pour ton optimisme. Nous n'avons pas encore réussi, qu'à cela ne tienne ce sera pour la prochaine fois ! Et merci d'avoir accepté de participer à mon jury.

Je veux remercier ceux des membres du jury que je rencontre à l'occasion de cette HDR. Merci à Viviane Durand-Guerrier et Christian Retoré pour avoir accepté le principe de faire un rapport dans un temps un peu court. Merci à tous les deux de participer à mon jury. Votre éclairage sur les aspects didactique des mathématiques m'est précieux. Je tiens à remercier Violaine Prince pour m'avoir orienté vers vous, c'était déjà elle qui m'avait fait rencontrer Jaime en 2000. Merci à Pascal Estrailier qui a accepté de participer à mon jury. Nous ne nous étions rencontrés que quelques fois auparavant, lors de réunions de préparation de projet et à l'occasion d'une conférence à La Rochelle.

J'ai rencontré Klaus Miesenberger en 2000, lors de la conférence ICCHP à Karlsruhe. Nous nous sommes croisés à maintes reprises durant les années qui ont suivi. Ensemble nous avons travaillé sur la préparation du projet Micole en 2003 et nous avons collaboré étroitement sur

ce projet. Depuis je suis allé maintes fois à Linz, pour y travailler avec les membres de son équipe *Integriert Studieren*. Avec Roland sur l'accessibilité des jeux, avec Mario et Bernhard sur les applications mathématiques. Merci à toi Klaus pour ta confiance, pour la grande qualité de ton travail, pour ta précision dans l'analyse des textes d'appels d'offre de financement. Combien de projets, combien d'articles avons nous rédigé ensemble ? Merci de m'avoir confié le co-encadrement de la thèse de Bernhard Stöger. Merci aussi à toi Bernhard. Pour la précision de ton travail, ton souci du détail, ta capacité à imaginer des solutions pour faciliter le travail des mathématiciens en Braille, la manipulation d'expressions, les calculs. Bon courage pour la rédaction de ton manuscrit de thèse. Maintenant qu'il est commencé il faut aller au bout.

Si tu as lu jusqu'ici, Damien, tu dois te douter que c'est ton tour. J'ai rencontré Damien Olivier à l'Université du Havre. Toujours dévoué et prêt à aider chacun de ses collègues, prenant en charge tout ce n'est pas fait par les autres, laissant paraître sa propre préférence en dernier ressort seulement, et encore. Tu peux te moquer de Sainte Véronique ! Merci à toi Damien mon ami. Merci pour l'aide que tu m'as apporté toutes ces années, lorsque j'étais en poste au Havre, sur le projet TiM. Dès que j'avais un doute sur une question d'enseignement ou de recherche, un document à relire, un conseil à chercher : *Allo Damien !* Tu étais toujours là. Tu es toujours là. La précision de tes remarques, l'originalité de tes idées, la rigueur de tes relectures, cette façon que tu as de trouver l'angle qui permet le mieux de présenter une idée, toutes ces qualités sont précieuses. Toujours présent quand j'ai eu des soucis, tu m'as accueilli chez toi, toute les semaines, avec les  $K^i$  quand je venais enseigner au Havre les lundis et mardis après la fin de ma délégation ; tu m'as recueilli quand j'étais dans la peine ; tu as reçu mes gars, malgré leur manque d'autonomie, *etc.* Merci.

Merci à mes deux garçons, Gabriel et Emmanuel, vous qui ne lirez probablement jamais ces lignes. Vous avez été ma motivation lors de ma conversion thématique, les premiers testeurs des jeux présentés dans ce mémoire. Merci à Fabienne qui a dû rester seule bien souvent avec ces deux garnements lorsqu'ils étaient petits et que je devais partir en réunion ou en conférence à l'étranger.

Enfin je tiens à remercier Chloé ma compagne qui m'a soutenu et aidé pendant la rédaction de ce mémoire, qui a supporté mes nuits à travailler, qui a pris en charge mes garçons pour me laisser rédiger. Merci aussi à mes parents qui m'ont toujours encouragé dans tout ce que j'entreprenais, depuis mon choix de faire une prépa, puis de retourner à l'université ; lorsque je suis parti au Havre puis quand j'ai déménagé à Paris. Toujours là quand j'avais des soucis ces dernières années pour garder les garçons alors que je devais partir en réunion ou en conférence. Et en particulier merci à mon père, qui est passé par tous les aspects de l'enseignement, depuis son premier poste d'instituteur en classe unique, jusqu'à devenir Maître de Conférences en Géographie, aujourd'hui retraité. C'est lui qui m'a influencé pour le choix de ce métier, probablement involontairement. Merci papa.

# Avant-propos

Ce mémoire présente mon activité de recherche des douze dernières années, dans le domaine des techniques d'assistance pour les personnes handicapées. Voici quelques éléments permettant de comprendre le contexte dans lequel ces travaux ont été menés.

Ma première rencontre réelle avec le handicap a eu lieu à l'université d'Orléans, où j'avais choisi de faire mon service national dans le cadre du service civil des Objecteurs de Conscience. Pendant un peu moins de deux années universitaires, j'étais affecté à l'Association d'Aide à l'Accueil et à l'Insertion des Personnes Handicapées de l'Université d'Orléans. Je parle de rencontre réelle, car si bien sûr j'avais auparavant croisé ici ou là des personnes handicapées, c'est pendant cette période que j'ai appris à connaître quelques dizaines de personnes en situation de handicap, très divers, que j'accompagnais dans leurs études et leur vie quotidienne sur le campus. Je me trouvais confronté avec elles aux difficultés qu'elles rencontrent quotidiennement : difficultés d'accès d'abord lorsque j'allais les chercher à leur résidence universitaire et les accompagnais à leurs cours, parfois il fallait que je monte une étudiante dans mes bras à l'étage pendant qu'un de ses camarades montait le fauteuil ; ou lorsque que nous devions traverser les cuisines du restaurant universitaire avec le lourd fauteuil électrique d'un autre. Certains d'entre eux avaient besoin d'une assistance permanente pour les repas, pour mettre leurs manteaux *etc.*. Difficultés pour trouver des étudiants acceptant qu'on copie leurs notes : ils devaient les apporter au bureau et écrire de façon lisible. Il y avait aussi les examens, pour lesquels il fallait surveiller les tiers temps et parfois faire le secrétaire sous la dictée de l'étudiant empêché d'écrire lui-même (et j'ai parfois eu à écrire de terribles fautes, tout en restant impassible, sous la dictée d'un étudiant au bras cassé, dans des devoirs de maths !). Que de découragements mais aussi que de joies, d'examens réussis, de passages dans l'année suivante ou de diplômes gagnés ! Que de discussions aussi, sur tous les sujets, du quotidien au sens de la vie, qui m'ont marqué à jamais. J'ai ensuite rejoint l'association, et j'y suis resté comme membre du Conseil d'Administration jusqu'à mon départ d'Orléans.

J'ai ensuite débuté mon doctorat d'Informatique sur des problèmes de traitement automatique du langage naturel, sous la direction de Jean-Claude Bassano. Je cherchais à trouver des relations que nous appelions lexicales-sémantiques entre les mots d'une phrase en utilisant des réseaux neuro-mimétiques. En fait j'avais débuté ma thèse dans les 6 derniers mois de mon service, mais ayant été libéré de façon anticipée, pour bonne conduite (*sic*), en mars 91 j'avais dû l'interrompre d'avril à juillet avant de la reprendre à plein temps en septembre. Entre temps j'avais travaillé comme programmeur pour le service Minitel de l'Académie d'Orléans<sup>a</sup>. Mes fils Gabriel et Emmanuel sont nés pendant cette thèse, et leur cécité a été diagnostiquée très tôt pour chacun d'eux.

Ayant soutenu ma thèse en janvier 1995, j'ai obtenu un poste de Maître de Conférences à l'Université du Havre en septembre de la même année. J'étais affecté au département Information Communication de l'IUT, département créé l'année précédente. Mon premier travail a donc été de monter un enseignement d'Informatique pour les étudiants du département. J'emploie le terme d'enseignement d'Informatique car mon objectif était de leur faire comprendre un certain nombre de notions élémentaires sur le fonctionnement d'un ordinateur et d'un système informatique, afin

---

<sup>a</sup> 3614 OTAVIA

qu'ils aient une culture informatique leur permettant de mieux comprendre le fonctionnement des outils bureautiques, graphiques et de création Web qu'ils devaient apprendre à maîtriser. J'avais aussi construit un ensemble de TP de bureautique et de design Web dans le sens d'une séparation entre contenu et mise en forme, et d'une bonne structuration du contenu. Je faisais beaucoup d'heures complémentaires, car je tenais à conserver des enseignements classiques d'informatique (essentiellement algorithmique, initiation et perfectionnement en langages de programmation, programmation objet *etc.*).

En 1997, j'ai participé, avec les collègues de la Faculté de Sciences et Techniques de l'Université du Havre, à la création d'une licence et d'une maîtrise d'informatique. J'ai monté un cours de licence intitulé *Informatique Documentaire Multimédia et Interface Homme Machine*, puis l'année suivante, deux cours pour la maîtrise intitulés *Langage Naturel* et *Nouvelles Technologies de Communication*. De plus, ayant eu auparavant ce type d'expérience à l'Université Orléans, je fus aussi nommé Président de la Commission d'Accueil des Étudiants Handicapés de l'Université du Havre.

C'est pendant cette période, alors que mon fils Gabriel avait 6 ou 7 ans, que j'ai commencé, en utilisant une planche tactile, à programmer des petits jeux audio-tactiles qu'il appréciait énormément. Ces jeux étaient basés sur CD-Roms ludo-éducatifs édités par Bayard Presse. Je reprenais les ressources sonores de ces jeux, ainsi que quelques copies d'écran, et je reprogrammais complètement l'interface utilisateur pour permettre leur commande via la planche tactile. En même temps je réalisais des overlays tactiles (dessins en relief à placer sur la planche tactile) en découpant et en collant des pièces de différentes matières. Grâce à l'Association Nationale des Parents d'Enfants Aveugles<sup>b</sup>, et avec l'autorisation des éditions Bayard-Press, j'ai pu diffuser, à très petite échelle, ces premiers jeux au sein de l'association. Bien vite je me suis rendu compte que pour dépasser le stade du bricolage, il y avait un travail théorique à effectuer, consistant à tenter de proposer une séparation entre le scénario du jeu et la présentation des différents éléments le composant sur des périphériques variés. C'est à partir de ces jeux que l'idée de ce qui deviendrait plus tard le projet TiM fut élaborée, mais j'y reviendrai un peu plus tard.

Par l'association de parents, j'appris la création d'une association dont le but était de promouvoir l'utilisation d'Internet comme support pour l'éducation scolaire, universitaire et la formation professionnelle des personnes handicapées visuelles, l'association BrailleNet<sup>c</sup>; ainsi que l'existence d'une équipe de recherche sur les interfaces non visuelles et l'accessibilité, dirigée par Dominique Burger, au sein de l'unité Inserm U483, à l'Université Paris 6. Isolé au niveau recherche depuis que j'avais quitté Orléans, je décidais de me rapprocher de cette équipe. J'entrais au Conseil d'Administration de l'association BrailleNet, puis je rejoignais l'unité U483.

Au sein de cette équipe, je travaillais sur l'accessibilité du Web d'une part, et d'autre part je développais quelques adaptations de nouveaux jeux, que, grâce au soutien financier de la Fédération des Aveugles de France<sup>d</sup>, j'ai pu diffuser à petite échelle, principalement dans des écoles et centres spécialisés. Je développais un petit langage prototype pour développer ces jeux et nous publions un premier article sur ce thème [24] au workshop ERCIM 2000 (UI4ALL) à Athènes. C'est lors de ce workshop que je rencontrais un groupe de collègues suédois et anglais, avec qui nous décidions de présenter une proposition de projet en réponse à un appel d'offre IST de la commission Européenne, qui fut financé sous le nom de projet TiM (voir annexe A.1). Six mois plus tard, avec d'autres collègues anglais et italiens, nous présentions une seconde proposition lors de l'appel suivant de la Commission Européenne, toujours sur le programme IST, mais cette fois-ci sur le thème du cartable électronique, et ce fut le début du projet Vickie (voir annexe A.2).

C'est à cette époque qu'a démarré le DESS Handi à l'Université Paris 8. J'y contribuais en proposant un module d'enseignement sur les Interfaces Non Visuelles et l'Accessibilité. Ce DESS,

---

<sup>b</sup> <http://www.anpea.asso.fr>

<sup>c</sup> <http://www.brailletnet.org>

<sup>d</sup> <http://www.faf.asso.fr>

devenu MASTER « Technologie et handicap », « *repose sur l'appropriation par les étudiants des nouvelles technologies de l'information (réseaux, télématique, informatique, traitement du signal, robotique, neurophysiologie...)* pour la mise en place de solutions facilitant l'intégration socio-économique des personnes handicapées physiques et sensorielles dans leur environnement social et professionnel. ».

J'étais toujours en poste au Havre, c'est-à-dire que j'y passais deux jours par semaine pour faire mes enseignements. Lorsque le projet TiM a démarré, je postulais pour une délégation CNRS, que j'obtins, ce qui me déchargea d'enseignement pendant trois années universitaires — soit pendant la durée de ces projets. Une fois ces projets terminés, évalués avec la mention « *successful completion* » par la commission, je devais obtenir le transfert complet de mon poste à l'Université Pierre et Marie Curie-Paris 6 en février 2005.

En juin 2003, lors de la conférence HCI en Crète, à l'occasion de la session thématique organisée par Arthur Karshmer, à propos de l'accessibilité des mathématiques, nous décidions, avec l'ensemble des équipes représentées, de constituer un groupe international de chercheurs sur ce sujet. Le groupe iGUMA (*International Groupe for Universal Maths Access*) était né. Il était constitué des universités américaines de Lakeland, Dallas et New Mexico, et des universités de Linz (en Autriche), Dublin et Paris 6, bientôt rejointes par l'université japonaise de Kyushu. Ce groupe informel a pour but de coordonner les efforts des différentes équipes, et de favoriser la création d'une librairie de transcription *Open Source* permettant à toutes les applications développées par ces membres d'avoir des sorties dans différents codes Braille mathématiques et non seulement dans leur seul code national. Cette librairie — UMCL — est évoquée dans le mémoire car nous avons eu, à l'UPMC-P6, la charge de développer le module principal.

En septembre 2003, c'est-à-dire avant la fin des deux projets déjà cités, toujours dans le cadre d'une conférence, AAATE 2003 à Dublin, nous avons, avec plusieurs collègues de sept pays, jeté les bases d'un nouveau projet qui fut lui aussi financé par la Commission Européenne, sous le nom de MICOLE. C'est le début de ma collaboration avec l'Université Johannes Kepler de Linz, et en particulier avec Klaus Miesenberger. Au sein de ce projets nos deux équipes travaillaient sur l'accès multimodal et collaboratif aux mathématiques. Les différents prototypes MaWEn, évoqués dans ce mémoire, ont été développés et évalués dans ce cadre. Par la suite j'ai participé à nombre d'activités de cette équipe, nous avons proposé ensemble un certain nombre de propositions de projets à différents niveaux, j'ai travaillé avec plusieurs étudiants et en particulier je co-encadre avec Klaus Miesenberger le travail de thèse de Bernhard Stöger sur le sujet : « *Design and Prototype Implementation of a Mathematical Working Environment for Blind Students* ».

Je me suis aussi impliqué dans l'organisation de la conférence ICCHP — *International Conference on Computer Helping People with special needs* — organisée tous les deux ans par l'université de Linz, et en particulier dans l'organisation du *Young Researcher Consortium*. Il s'agit de deux journées précédant la conférence elle-même durant laquelle une quinzaine de jeunes chercheurs (doctorants ou futurs doctorant), viennent présenter leur travail. Un groupe d'une douzaine de chercheurs confirmés leur apporte un regard extérieur et des conseils pour la continuation de leur travail. Cette année nous avons reçu environ 25 candidatures pour 16 places durant cet événement. Les échanges entre les étudiants et les « vieux » ont été particulièrement intéressants et les retours des étudiants nous encouragent à poursuivre l'expérience. Un autre événement qui eut lieu en marge d'ICCHP cette année fut la « *ICCHP Summer University* »<sup>e</sup>, au cours de laquelle des étudiants handicapés visuels et des enseignants travaillant avec eux ont pu assister à des ateliers concernant les techniques existantes susceptibles de leur apporter une aide pour travailler en mathématiques, en sciences, et en statistiques. Une vingtaine d'étudiants étaient présents ainsi qu'une demi douzaine d'enseignants. Les travaux, là aussi, ont été particulièrement riches et les retours des étudiants sont très encourageants. Nous avons décidé de

---

<sup>e</sup> <http://icchp-su.net>

poursuivre cette expérience en l’organisant tous les ans, une année sur deux conjointement avec ICCHP, et comme événement autonome les années où la conférence n’a pas lieu.

À partir de 2006, dans le domaine de l’accessibilité des jeux vidéo, j’ai encadré, avec Stéphane Natkin, du CNAM, le travail de thèse de Thomas Gaudy, sur le sujet : « *Étude et développements de jeux vidéo sonores accessibles aux personnes aveugles* ». Thomas avait un financement de type CIFRE, avec la société CECIAA<sup>f</sup>. Il a soutenu brillamment sa thèse le 3 juillet 2008 au CNAM. Toujours dans ce domaine, avec le CNAM, l’Université de Linz et une quinzaine d’autres organisations (dont des universités, des gros industriels et des PME), nous avons fait une première proposition de type IP, intitulée AGA *Active Game Accessibility*<sup>g</sup> qui n’a malheureusement pas été couronnée de succès.

En 2008 au débuté le projet @Science, financé par la Commission Européenne sur le programme eContentPlus. Il s’agissait d’un projet visant essentiellement à construire un réseau thématique consacré à l’accessibilité des mathématiques et des sciences et à la diffusion des résultats de nos travaux, à la fois vers les publics concernés et vers les spécialistes de l’enseignement des mathématiques. Nous avons établi des collaborations avec le réseau thématique JEM<sup>h</sup> (*Joining Educational Mathematics*).

Depuis mon affectation à l’Université Paris 6, j’ai participé à plusieurs enseignements classiques en informatique (C avancé, Programmation Objet, *etc.*), et j’ai pris la responsabilité d’un module d’initiation à la programmation Objet en Java pour les étudiants du Master d’Électronique. Resté toujours proche des services d’accueil des étudiants handicapés tout au long de ma vie universitaire, je participe aux activités du RHSE (Relais Handicap Santé Étudiant), pour lequel je suis le correspondant enseignant pour la licence d’informatique, j’ai donné des cours de soutien à plusieurs étudiants suivis par le service, *etc.*. Enfin depuis l’an dernier j’ai pris la responsabilité d’un module de Master 2 du Master d’Informatique, spécialité STL/TA (Sciences et Technologies du Logiciel/Techniques Applicatives). Ce module s’intitule « *Accessibilité et ergonomie des interfaces informatiques* » et il concerne la conception d’interfaces humain-machine, dans lequel je traite, entre autres, des notions d’accessibilité logicielle et d’accessibilité des documents électroniques.

Pour terminer cet avant-propos, je vais citer un petit nombre de sujets annexes sur lesquels nous avons travaillé durant ces années, qui ne sont pas présentées dans le mémoire afin de ne pas l’alourdir. Il s’agit en particulier de la librairie partagée libbraille<sup>i</sup> [46] permettant de piloter de nombreux afficheurs Braille, que nous avons développé dans le cadre du projet TiM, et qui est multi-systèmes et disponible en *Open Source* ; d’une brève étude sur le modèle *Open Source* et son application dans le domaine particulier des techniques d’assistance aux personnes ayant des besoins particuliers [19] ; et de la mise au point par l’association Les Doigts Qui Rêvent<sup>j</sup>, qui édite des livres tactiles pour les enfants déficients visuels, d’un nouveau procédé de production de dessin en relief, le procédé « ToM’s 3D<sup>k</sup> » [37], auquel nous avons contribué dans le cadre du projet TiM.

---

<sup>f</sup> <http://www.cecias.com>

<sup>g</sup> *Integrated Project* très ambitieux d’un budget d’environ 8 millions d’euros et auquel participaient 19 organisations de 11 pays différents, présenté dans le cadre du programme IST de la Commission Européenne, AGA proposait une architecture d’accessibilité pour les jeux vidéo grand public, avec le développement d’interfaces spécifiques d’assistance et de jeux de démonstration.

<sup>h</sup> <http://www.jem-thematic.net>

<sup>i</sup> <http://libbraille.org>

<sup>j</sup> <http://www.ldqr.org>

<sup>k</sup> <http://www.toms3d.com>

# Chapitre 1

## Introduction

Échanger des informations entre individus ; Communiquer ; et donc pouvoir s’organiser, ensemble, comme un groupe : la possibilité d’échanger de l’information est probablement à l’origine de la notion de société, ou tout du moins en est une condition préalable indispensable. L’accès à ces échanges d’information est donc primordial pour chaque individu membre d’une société. Mais l’intégration sociale ne doit pas être considérée comme la nécessité pour chacun de s’adapter à la société, même moyennant une aide que cette dernière apporterait. Il faut aussi que la société soit capable de faire un pas vers chacun de ceux qui la composent. C’est en quelque sorte ce que nous appelons **Accessibilité**.

### 1.1 Les aveugles et l’accès à l’information

#### 1.1.1 Humains et échanges d’information

Si l’apparition de la communication entre humains a probablement permis la constitution des premiers groupes sociaux, c’était par des signes, puis par des sons qui finiront par devenir des langages. Bien plus tard, l’apparition de l’écriture permet de différer le temps de l’émission du temps de la réception de l’information et donc de la stocker pour la conserver et de la multiplier pour la diffuser. Mais elle permet aussi, et peut-être surtout, de structurer la pensée. L’écriture « *permet d’enregistrer les traces d’une configuration mentale et de les réorganiser à volonté. Grâce à elle une pensée peut être affinée et travaillée inlassablement, connaître des modifications contrôlées et des expansions illimitées tout en échappant à la répétition qui caractérise la transmission orale* » [Van99]. Dans la mesure où ni la paléanthropologie, ni la paléolinguistique ne sont mes spécialités scientifiques, je ne m’aventurerai pas plus loin sur ce terrain. Je retiendrai simplement pour débiter mon propos l’importance considérable de l’accès à l’information dans nos sociétés humaines, et en particulier l’importance de l’écrit.

La majorité des informations que nous recevons nous est transmise selon une modalité<sup>1</sup> visuelle. C’est d’abord visuellement que nous percevons notre environnement. D’après [KP06] « *Les êtres humains comme tous les primates sont des créatures éminemment visuelles. Le fait qu’une grande partie du cortex cérébral humain soit dévolue au traitement visuel en témoigne* ». En effet nous pouvons tous constater que « *La perte de l’odorat provoquée par un rhume ne nous perturbe pas sérieusement. En comparaison la perte momentanée de la vue est nettement plus handicapante.* » On dit communément que la vision représente aujourd’hui au moins 80% des perceptions humaines. Ce serait d’ailleurs intéressant de le vérifier, mais il faut d’ors et déjà tempérer cette affirmation car si le plus grand nombre de stimuli vient de la vision, la

---

<sup>1</sup> Dans ce premier chapitre nous accepterons une définition informelle de la notion de *modalité*, qui représente une façon de coder l’information en rapport avec un mode de perception, et nous tenterons d’en apporter une définition plus précise dans le chapitre 2.

majeure partie reste inconsciente [Hol00], alors que l’audition nous apporte une moisson bien plus importante d’information consciente.

Depuis l’apparition de l’écriture, l’accès à l’information se fait essentiellement de façon visuelle, et c’est bien par l’écrit que le jeune être humain acquiert la connaissance qui lui permettra de participer pleinement à la société. Néanmoins il convient maintenant de ne pas systématiquement associer l’écrit et la vision. Que ce soit dans le domaine de la lecture ou non, il semble que la perception soit amodale, c’est-à-dire que la façon dont une information a été perçue importe peu. [Por96] cite une expérience dans laquelle des nourrissons de cinq mois étaient d’une part capables de reconnaître un objet cubique d’un objet sphérique, mais surtout qu’ils pouvaient les reconnaître dans le creux de leur main, de façon tactile, après les avoir perçus de façon visuelle seulement. Un autre indice concordant peut être observé lorsqu’après avoir lu un document, et mémorisé tout ou partie du contenu, nous sommes incapables de dire dans quelle langue (parmi celles que nous maîtrisons) nous avons lu ce document. Ainsi on devrait pouvoir accéder à la même information quelque soit la modalité utilisée : visuelle, tactile — en braille —, ou auditive. Si pendant plusieurs millénaires l’écrit était totalement lié à la vision, ceci n’est plus vrai depuis environ 2 siècles, depuis l’invention du braille et beaucoup plus récemment de la synthèse de parole. Ainsi sont apparues d’autres *modalités* permettant l’accès à la lecture.

### 1.1.2 Transmission non visuelle de l’information

L’importance de la vision est telle que pendant longtemps ceux qui en sont privés n’ont aucun accès au savoir. C’est à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle qu’un homme, Valentin Hauy, aura l’idée que les aveugles aussi peuvent apprendre à lire. La méthode employée était rudimentaire, basée sur les lettres de l’alphabet visuel, mises en relief, dont les élèves apprenaient à reconnaître les formes. Le principal problème rencontré alors, hormis celui lié à la production de tels ouvrages, est qu’il ne permet qu’un déchiffrement long et fastidieux : en fait on ne peut pas vraiment parler de lecture. C’est à partir du début du XIX<sup>ème</sup> siècle, avec l’invention par Louis Braille du système qui porte son nom, que les aveugles vont rentrer dans la lecture. Ce qui est révolutionnaire dans l’invention de Louis Braille ne réside pas dans l’utilisation de points en relief, dont la paternité revient à Barbier de La Serre<sup>2</sup>, mais d’une part dans le choix de symboles à six points, arrangés en deux colonnes de hauteur limitée, ce qui les rend lisibles en leur totalité en faisant simplement glisser le doigt le long de la ligne, sans avoir à les parcourir verticalement ; et d’autre part dans l’utilisation de ces symboles pour coder l’alphabet, ce qui permet de ne rien perdre de l’information écrite. Le processus d’apprentissage de la lecture en braille a été étudié en particulier par [LD97] et comporte des points communs avec la lecture visuelle.

Depuis une vingtaine d’années, le développement des ordinateurs personnels, et dans son sillage la généralisation des réseaux (et en particulier d’Internet), ont ouvert de nouvelles perspectives pour les personnes handicapées visuelles. En effet, sont apparus des synthèses vocales et des afficheurs braille qui leur permettent d’accéder de façon autonome à tout un monde d’information qui leur était jusqu’alors totalement inaccessible sans aide extérieure. Une synthèse vocale (ou synthèse de parole) est un dispositif permettant de générer un signal sonore simulant une voix humaine à partir d’un texte. Elles étaient essentiellement externes — utilisant des cartes électroniques dédiées — jusqu’au début des années 2000, en raison de la quantité de calcul et de mémoire nécessaire à leur fonctionnement, et souvent pouvaient recevoir des nouvelles voix (un autre timbre ou une autre langue) sur des cartes mémoire à insérer dans l’appareil. De nos jours ce sont presque exclusivement des synthèses logicielles, et il n’y a quasiment pas de limite au nombre de voix que l’on peut installer. Les afficheurs braille quand à eux sont des dispositifs permettant d’afficher des symboles braille de façon éphémère. Ils sont constitués d’une ligne de cellules braille, chaque cellule correspondant à un symbole braille. Leur longueur est comprise

---

<sup>2</sup> Officier de l’armée française inventeur de la *sonographie* ou écriture nocturne, procédé d’écriture des sons en relief qui utilise des motifs de deux colonnes de six points pour transmettre des messages militaires dans le noir.

entre 18 et 80 cellules<sup>3</sup>. Chaque cellule braille est constituée d'une matrice de huit orifices disposés en deux colonnes, dans lesquelles des picots peuvent monter et descendre, animés par un dispositif piézo-électrique. Ces matrices permettent donc d'afficher des symboles braille à huit points. Néanmoins ces symboles ne peuvent pas être lus sans un va-et-vient vertical ce qui casse le rythme de lecture. S'il existe des codes braille informatique à huit points, nous préférons conserver un code à six points et réserver les deux points supplémentaires (appelés points 7 et 8) à des utilisations complémentaires, comme un curseur ou une sélection.

Avec un afficheur braille connecté à un ordinateur il devient possible et même facile de d'accéder à des documents contenant du texte, mais aussi d'éditer ces textes. Ainsi la personne aveugle peut échanger par l'écrit directement avec des voyants, sans avoir à passer par un intermédiaire chargé de transcrire. Elle peut échanger des messages en utilisant le courrier électronique, ou partager des documents de traitement de texte, des tableaux, *etc.* Cet accès est tout aussi facile avec une synthèse vocale, quoique l'édition dans ce cas soit plus ardue (elle reste néanmoins possible et nombre d'utilisateurs aveugles travaillent en synthèse vocale uniquement avec une certaine virtuosité). Le Web permet de plus d'accéder à toutes sortes d'informations dont le volume a toujours empêché la création et la diffusion sur support braille papier ou sur bandes magnétiques enregistrées : la presse quotidienne, des dictionnaires et encyclopédies, des annuaires, des horaires, *etc.* De plus le développement des services en ligne laisse entrevoir la possibilité d'exécuter de manière autonome, et de chez soi, des tâches qui jusqu'ici demandaient une aide totale (sans parler de l'aide souvent nécessaire pour le déplacement) : remplir des formulaires administratifs, faire des courses au supermarché, accéder au détail de son compte bancaire ou de ses factures. Enfin l'apparition de bibliothèques numériques décuple les choix de lecture pour les personnes qui devaient auparavant se contenter de ce qui avait été transcrit en braille papier, ou bien enregistré sur bande magnétique (par exemple par des associations de donneurs de voix).

Ainsi, les documents numériques représentent un espoir considérable pour les personnes aveugles et malvoyantes, et plus généralement pour toutes les personnes touchées par un handicap lié à l'écrit, c'est-à-dire des personnes qui n'ont pas accès aux écrits conventionnels à cause de problèmes visuels, moteurs comme la dyspraxie, cognitifs comme la dyslexie ou la dyscalculie, de problèmes du développement ou problèmes d'apprentissage.

## 1.2 Un grand besoin d'accessibilité

### 1.2.1 Tout n'est pas si simple !

L'euphorie des débuts à vite laissé place à une grande déception. En effet, si les systèmes d'exploitation pour ordinateurs personnels des premières générations étaient relativement faciles à adapter, car presque exclusivement basés sur du texte, tout s'est vite compliqué avec le développement des écrans graphiques, et de l'ensemble des technologies qui a suivi, à partir du milieu des années quatre-vingt-dix [BBV90]. En effet on assiste à partir de 1995 à la généralisation des interfaces graphiques. Il a fallu presque une dizaine d'années pour revenir à un niveau d'accessibilité comparable à ce qu'il était juste avant 1995, au moins en ce qui concerne les applications de type « bureau » : traitement de texte, tableurs (malgré le fait que conceptuellement l'accès à des tableaux a toujours été très difficile pour les aveugles), logiciels d'accès aux courriers électroniques et aux forums. D'ailleurs de nombreuses personnes aveugles ont continué d'utiliser des systèmes de type DOS, jusqu'au milieu des années 2000, finissant par avoir des soucis pour les installer sur des ordinateurs récents ! Nous verrons dans le chapitre 2 (2.3.1) pourquoi l'accès à

---

<sup>3</sup> Les catégories les plus fréquentes sont les petits afficheurs (entre 18 et 20 cellules) moins coûteux, et les afficheurs standard. La taille de ces derniers a évolué de 40 cellules (ce qui correspondait à une demi-ligne d'un écran en mode texte en 1980) à une moyenne de 32 de nos jours (pour des raisons de coût mais aussi parce que la ligne standard de 80 caractères n'a plus de sens aujourd'hui, tandis qu'une ligne de braille papier compte entre 32 et 34 caractères).

ces interfaces a nécessité l'implémentation d'une interface d'accessibilité entre le système et l'interface non visuelle, alors qu'auparavant ces interfaces trouvaient tout ce dont elle avaient besoin dans la mémoire vidéo de l'ordinateur, et nous évoquerons dans le chapitre 4 (4.2) la bataille qu'il a fallu mener auprès du principal développeur de systèmes d'exploitation, Microsoft<sup>TM</sup>, pour obtenir la création d'une telle interface dans Windows<sup>TM</sup>. Cette interface d'accessibilité, MSAA<sup>4</sup> a permis de rendre accessible le bureau de Windows<sup>TM</sup>, ainsi que plusieurs applications courantes de type « applications bureautique », c'est-à-dire des applications manipulant essentiellement des contenus textuels : la suite bureautique Ms Office<sup>TM</sup>, des logiciels de courrier électronique comme Outlook<sup>TM</sup> ou Eudora<sup>TM</sup>, etc.

En ce qui concerne les **contenus complexes**, l'accessibilité reste aujourd'hui très limitée. Je veux parler ici par exemple des applications permettant d'accéder à des documents contenant des formules mathématiques et des figures ; ainsi que des jeux vidéo et des applications — de plus en plus nombreuses — ayant des interfaces de type « jeu vidéo » (*game-like interfaces*). Le cas du Web entre ainsi dans cette catégorie des contenus complexes.

L'apparition du Web a représenté un grand espoir pour les personnes ayant un handicap lié à l'écrit, leur permettant, comme on l'a vu précédemment, d'entrevoir l'accès à des quantités inimaginables de documents et des services jusqu'alors totalement inaccessibles. Si l'on considère en particulier les documents Web antérieurs aux années 1997/1998, ils étaient très simples, contenant essentiellement du texte et des éléments de structure, ce qui laissait penser que l'accès à ces documents serait très facile. Mais très vite, avec le navigateur NCSA Mosaic<sup>5</sup>, les images sont apparues et ont envahi la toile. Tant que les images étaient limitées à quelques illustrations, comme dans un ouvrage papier, cela ne posait pas trop de problèmes, mais elles ont bientôt pris la place de texte, et particulièrement des éléments importants de structure et de navigation. C'est par exemple l'utilisation d'images contenant des textes travaillés dans des logiciels graphiques, par pur souci de style, pour les titres de pages ou les sous titres, ainsi que pour toutes sortes de boutons et de menus de navigation. Un autre problème est venu de l'identification du rôle de chaque élément dans un document Web. Nous décrirons dans le chapitre 2 (2.2) différents problèmes rencontrés dans des documents électroniques en général, pour lesquels les utilisateurs restent très tributaires de la façon dont les documents auxquels ils essaient d'accéder sont codés. Ces problèmes ont conduit le World Wide Web à lancer dès 1997 l'initiative WAI (*Web Accessibility Initiative*)<sup>6</sup>. Avec l'Association BrailleNet nous avons participé à cette initiative dont le but est de promouvoir l'accessibilité du Web à tous et en particulier aux utilisateurs handicapés. En 1999 nous avons mené une étude [33] sur une grosse centaine de sites de différentes catégories (media, institutions, administrations et services publics, poste, transport, internet, handicap etc.) afin de déterminer l'état de l'accessibilité en France, et les principaux problèmes d'accessibilité auxquels les utilisateurs aveugles et malvoyants étaient réellement confrontés.

### 1.2.2 L'accessibilité : un bien commun

Nous assistons un peu partout, et pas seulement dans les pays développés, à l'émergence d'un besoin profond d'accessibilité. Les raisons en sont variées et leur étude dépasse le cadre de ce document. L'une de ces raisons semble être que les bénéfices pour tous de l'accessibilité sont de plus en plus compris par les individus. Premièrement il y a une prise de conscience progressive du fait que le handicap peut arriver à chacun, directement ou indirectement (par les enfants ou un membre de la famille). D'autre part si le nombre d'individus porteurs de handicaps à un instant donné est heureusement faible, la plupart des personnes vont se trouver en situation de handicap à un moment ou un autre de leur vie, de façon définitive ou bien plus souvent de façon temporaire, pour une période plus ou moins importante.

---

<sup>4</sup> Microsoft Active Accessibility

<sup>5</sup> <http://www.ncsa.illinois.edu/Projects/mosaic.html>

<sup>6</sup> <http://w3.org/WAI>

Prenons l'exemple des « bateaux » qui équipent les trottoirs de nos villes et permettent aux fauteuils roulants d'y monter et d'en descendre. Ils sont utiles à un moment ou à un autre de la vie de tous, valides ou non. Ce peut être à l'occasion d'une blessure (comme une jambe cassée aux sports d'hiver) ou d'un déménagement. Ils sont aussi utilisés quotidiennement par jeunes parents qui promènent leur enfant dans un landau, ou pour ramener du marché un caddie plein de victuailles, et bien sûr par beaucoup de personnes âgées pour qui monter une marche représente un effort important.

En ce qui concerne l'accès aux ordinateurs, si aujourd'hui peu de personnes âgées en ont un usage important, cette situation va changer avec le vieillissement des générations qui utilisent des ordinateurs quotidiennement durant leur vie active, et qui voudront continuer à les utiliser malgré leurs problèmes de vue, d'audition, de mobilité, toutes les difficultés qui accompagnent malheureusement les dernières années de la vie. Nous pourrions encore citer les télécommandes qui, inventées pour les personnes à mobilité réduite à une époque où de toutes façons peu de chaînes de télévision existaient, sont devenues indispensables aujourd'hui, ou bien les ascenseurs, *etc.* Donc les équipements pour l'accessibilité servent à tous car nous pouvons tous nous trouver dans une situation handicapante. Mais au delà, nous affirmons que la prise en compte des nécessités d'accessibilité peut améliorer le confort, la vie de chacun, et cette fois ci à tout moment.

En matière de développement de produit, on considère souvent qu'il y a deux groupes ayant des besoins très différents : les valides et les handicapés, et que sont handicapés ceux qui ne peuvent pas utiliser les mêmes produits que les autres. Dans ce cas on va développer des solutions spécifiques pour ces personnes, qui tenteront d'apporter la même fonctionnalité que le produit dit normal. Une autre approche consiste à considérer au contraire qu'il y a simplement des personnes qui ont des capacités dans certains domaines plus ou moins importantes, et que dans certaines situations une incapacité est génératrice de handicap. Ainsi le handicap n'est pas lié à la personne, mais à l'environnement dans laquelle la personne évolue. Un aveugle n'est pas handicapé dans le noir absolu, alors qu'une personne ayant une vision normale le devient. Une personne entendant normalement se trouve dans la même situation qu'une personne sourde ou malentendante dans un environnement bruyant. Dans cette optique on admettra alors les différences entre les personnes et on développera des produits susceptibles de s'adapter à chacun. La situation de handicap sera alors considéré comme un cas limite. Si l'on résout le problème pour ce cas limite, en apportant des solutions de personnalisation, le produit sera amélioré pour l'ensemble des utilisateurs.

C'est le cas par exemple des livres électroniques. Dans la situation initiale, on a un livre édité à plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires au même format. Les caractères sont petits et chacun doit s'adapter à son format. Les personnes qui, sans parler de handicap, ont des problèmes de vue doivent utiliser des loupes ou allonger les bras, selon leur problème. Si la situation ne s'y prête pas, ils ne pourront pas l'utiliser (manque de lumière ou de place, situation où la vue est requise pour une autre tâche, impossibilité d'emporter des kilos de papiers en voyage *etc.*). Pour les aveugles on va éditer des versions spéciales en braille. Ces livres en braille ne seront accessibles qu'aux aveugles ayant appris à lire le braille, bien sûr, ils sont particulièrement lourds et n'aident en rien les malvoyants. Aujourd'hui un livre électronique permet à différents utilisateurs de choisir leur façon de le lire. Ainsi la lecture sera toujours possible dans une configuration proche de celle du papier (petits caractères noirs sur fond clair), mais chacun pourra aussi choisir d'agrandir les caractères, de changer les couleurs ou la taille des interlignes *etc.*, selon son besoin particulier. Les aveugles pourront y accéder en braille, ou en synthèse vocale. De plus ce livre électronique, une personne n'ayant pas de handicap pourra l'écouter au volant, en utilisant la version vocale, ou bien le lire dans le noir, en inversant les couleurs afin de préserver ses yeux et d'émettre un minimum de lumière pour ne pas gêner l'entourage (par exemple lors d'un voyage en wagon couchettes) ! Enfin, voyants comme aveugles et malvoyants pourront emporter avec eux des dizaines d'ouvrages avoir à supporter un poids de papier considérable.

Ainsi l'accessibilité est d'une part susceptible d'être nécessaire à chacun d'entre nous à un moment ou un autre de la vie, mais en plus sa prise en compte permet de développer des

applications qui pourront s'adapter mieux à chacun plutôt que d'obliger chacun à s'adapter à la même interface, et est donc susceptible d'améliorer le confort de tous.

### 1.3 Positionnement scientifique de ce travail

Depuis une douzaine d'années je me suis particulièrement intéressé à l'accessibilité en général<sup>7</sup>, et à l'accessibilité à ces contenus que j'appelle complexes, c'est-à-dire des contenus structurés et/ou composites, constitués d'éléments de natures différentes dialoguant et interagissant entre-eux par leurs contenus et leurs positions.

Dans différents projets, relatifs à nos 3 principaux domaines d'application qui seront décrits plus bas, nous avons tout d'abord étudié les interfaces utilisateurs spécifiques. Comment proposer à un utilisateur tel ou tel type d'interaction en utilisant des modalités non visuelles ? Ce travail est proche de l'ergonomie cognitive. Mais notre sujet réel est la modélisation sous-jacente, qui va permettre d'apporter des solutions informatiques. Quelles sont les données nécessaires pour alimenter tel ou tel dispositif non visuel et proposer à son utilisateur une expérience équivalente à celle des utilisateurs de modalités visuelles, c'est-à-dire une perception du même contenu informatif ? En effet nous avons vu au début de ce chapitre (1.1.1) que la perception est amodale, c'est-à-dire que le contenu perçu devrait être le même quelque soit la modalité utilisée. Cette équivalence ne pose pas de problèmes particulier dans le cas de texte simple, par contre ce n'est pas nécessairement réalisable dans les situations où le temps est limité par exemple, comme les jeux vidéo, et où nous devons utiliser des modalités donnant un accès plus lent à une information.

Dans un second temps nous nous intéressons à la façon de transcrire les données fournies pour les modalités visuelles, de façon à pouvoir les présenter sur des dispositifs non visuels. Quelles sont les conditions pour que cela soit possible, de quel type de données avons nous besoin pour effectuer les transcriptions sans perte d'information, que doit on demander aux auteurs de contenus afin de réaliser cet objectif ?

Enfin la question fondamentale concerne l'architecture logicielle. Comment permettre à des utilisateurs d'interfaces non visuelles d'accéder aux contenus de logiciels standard ? Quelles interfaces sont nécessaires et suffisantes ?

**[Domaines d'application]** D'un point de vue applicatif, ces travaux se sont appuyés sur des cas concrets, dans les trois domaines d'application suivants :

1. les premiers travaux concernaient l'accessibilité du Web, puis nous avons considéré plus largement le document électronique structuré. Plus récemment nous avons travaillé sur le format DTBook et sur les transcriptions de documents (incluant des expressions mathématiques ou non) ;
2. dans le domaine des mathématiques nous avons travaillé à des interfaces permettant de faciliter la compréhension des expressions par des utilisateurs brailleux, tout en facilitant le travail collaboratif avec des personnes voyantes (cas typique : un élève aveugle travaillant avec un enseignant voyant et ne connaissant pas le braille). Nous avons développé des prototypes permettant en particulier l'accès synchronisé à la même expression, dans plusieurs modalités, et le pointage transmodal. Enfin nous avons proposé des prototypes permettant d'apporter une aide à la manipulation d'expressions ;
3. dans le domaine des jeux vidéo nous avons étudié la façon de modéliser des jeux vidéo de façon indépendante des modalités utilisées, et étudié la façon de présenter différents types d'interaction de jeux de façon non visuelle ; puis nous en avons extrait des recommandations pour améliorer l'accessibilité des jeux vidéo. Nous proposons actuellement un modèle

---

<sup>7</sup> Ces travaux de recherche alimentent le cours que je donne sur le thème « *Interfaces non visuelles et accessibilité* » au Master Technologie et Handicap de l'Université Paris 8, où nous venons d'accueillir la dixième promotion, et depuis l'an dernier le cours « *Accessibilité et ergonomie des interfaces informatiques* » que je donne au Master d'informatique de l'UPMC-Paris 6.

d'architecture permettant de généraliser l'accessibilité des jeux vidéo, en implémentant une interface entre moteurs de jeux ordinaires et interfaces spécifiques. Nous envisageons de présenter ce projet lors de prochains appels d'offres de la Commission Européenne.

**[Projets]** Ces travaux ont été réalisés pour une importante partie d'entre eux dans le cadre de plusieurs projets financés par la Commission Européenne dont le lecteur trouvera des résumés en Annexe A. Il s'agit du projet TiM [28] dans le domaine des jeux multimédia accessibles aux personnes aveugles et très malvoyantes ; du projet Vickie [27] concernant des outils de transcription et de diffusion de contenus scolaires accessibles ; et du projet Micole [44] au sein duquel nous avons développé et évalué les prototypes concernant l'accès aux expressions mathématiques et leur manipulation. Enfin le projet @Science [BMa06] nous a permis de constituer un réseau thématique consacré à l'accessibilité des mathématiques et des sciences, et de diffuser les résultats de nos travaux à la fois vers les publics concernés directement et vers les spécialistes de l'enseignement des mathématiques. A ce titre nous avons établi des collaborations avec le réseau thématique JEM<sup>8</sup>.

Ce mémoire présente, dans le chapitre 3, une sélection de ces travaux organisés autour de quatre thèmes, chacun d'entre eux correspondant à un ou plusieurs des domaines d'applications :

- interfaces utilisateurs spécifiques ;
- collaboration et Interfaces transmodales synchronisées ;
- transcriptions ;
- modèles et accessibilité.

Auparavant, dans le chapitre 2 (2.2) on trouvera les descriptions d'un certain nombre de verrous scientifiques relatifs à l'accessibilité, déclinés dans les différents domaines d'application et sur lesquels nous avons travaillé.

---

<sup>8</sup> *Joining Educational Mathematics*, réseau thématique financé par la Commission Européenne dans le cadre du programme eContentPlus (comme @Science). <http://www.jem-thematic.net>



# Chapitre 2

## Contexte

### 2.1 Communication homme-machine non visuelle

#### 2.1.1 Communication et modalités

La communication, l'échange d'informations entre individus se fait naturellement par l'intermédiaire de la perception. Qu'il s'agisse de loups qui hurlent, de femelles en chasse qui émettent des odeurs particulières, de poissons dont la couleur signale le statut social, de dauphins qui sifflent pour avertir leurs congénères de la présence d'un banc de poissons ou de fourmis qui déposent des phéromones sur leur passage, chaque élément d'information est codé d'une manière appropriée à un mode de perception. Nous appellerons *modalité de communication* chacun de ces codages. Chaque modalité de communication est donc associée à un mode de perception, en revanche un mode de perception peut être le support de plusieurs modalités. Par exemple la musique, les sons non verbaux et synthèse vocale sont trois modalités associées au sens auditif, parmi beaucoup d'autres.

Certaines modalités peuvent être utilisées via plusieurs modes de perception. Dans ce cas néanmoins cette modalité reste associée à un mode principal, et peut être perçue, de façon en général moins efficace, au travers d'un autre mode. C'est le cas par exemple du braille, qui est une modalité tactile, mais que l'on peut aussi percevoir avec les yeux (ce que font la plupart des personnes qui voient normalement et qui connaissent le braille, comme les enseignants spécialisés, les transpositeurs ou les familles des personnes aveugles).

Les perceptions humaines sont de deux types, qui correspondent à deux grandes catégories de modalités : les modalités extéroceptives et modalités intéroceptives. Les premières correspondent à la réception d'énergie physique (photons, pressions, *etc*) et sont associées à nos cinq sens traditionnels : vue, audition, toucher, goût et odorat. Quant aux secondes, elles sont elle-mêmes de deux types : kinesthésique (proprioception — correspondant à la position et aux mouvements des membres —, et vestibule — équilibre, perception de l'accélération *etc.*) et viscères.

Les modes de perception sont inégalement utilisés pour la communication entre êtres humains. Grossièrement on peut dire que la communication synchrone privilégie largement la perception auditive (notamment l'oralité) alors que la communication asynchrone privilégie tout aussi largement la perception visuelle (notamment l'écrit). Néanmoins la plupart des autres moyens de perception extéroceptifs peuvent être utilisés, ainsi que les modalités kinesthésiques.

#### 2.1.2 Communication homme-machine et document électronique

La communication humain-machine utilise un sous-ensemble des modalités de communication humaines. On emploie plus ou moins les modalités pour lesquelles on a été capable de créer des appareils permettant de les restituer. La place des modalités visuelles y est prépondérante, ce qui est naturel étant donné l'importance de la vision pour l'être humain, comme on l'a vu en

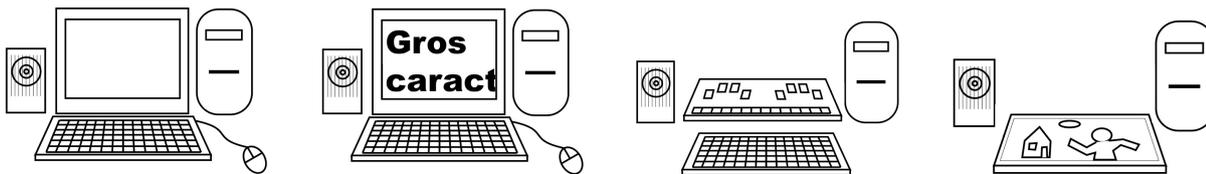


FIG. 2.1 – 4 interfaces multimodales : l’interface multimodale standard et 3 interfaces spécifiques

1.1.1. Les modalités auditives sont aussi utilisées, par contre les autres sens restent peu utilisés, pour des aspects pratiques.

Les informations que l’on va manipuler avec un système informatique sont enregistrées dans des fichiers informatiques que l’on appelle des **documents électroniques**. Ces informations sont représentées selon un format de stockage : un code. Il existe de nombreux codes correspondant à de nombreux types de documents électroniques : le code ASCII permet de stocker des documents texte, un code *bitmap* permet de stocker une image sous la forme d’une matrice de nombres, correspondant chacun à une des composantes de couleur d’un point — un pixel — de cette image, *etc.*

Pour chaque type de document électronique, il existe de nombreux formats, et lorsqu’on crée un tel document on doit choisir quel format utiliser. La solution la plus simple consiste à choisir le même codage pour stocker et manipuler un document. Par exemple dans le cas d’un texte qu’on voudrait afficher sur un écran, il suffirait d’avoir une image *bitmap*, avec une résolution suffisante par rapport à l’écran d’affichage. En effet, quelque soit le format de stockage, le document sera transformé en image *bitmap* pour être affiché sur l’écran. Mais on peut aussi choisir un format de stockage de type “texte”, c’est-à-dire un fichier contenant un code par caractère de l’article, et laisser au système informatique le soin de transformer cette suite de caractères en une image *bitmap* à afficher. Dans ce cas la taille du fichier sera bien moins importante (selon le code utilisé de 1 à 4 octet par caractère de l’article, alors que pour une image cela sera proportionnel au nombre de pixels — au moins 40 pixels pour chaque caractère pour avoir une image lisible, plus les interlignes, les marges, les espaces divers). Nous verrons un peu plus loin que l’utilisation du texte présente bien d’autres avantages.

Les interfaces utilisateur modernes sont dites multimodales, en ce sens qu’elles utilisent plusieurs modalités conjointement, aussi bien en entrée qu’en sortie. Par exemple l’interface standard d’un ordinateur de bureau actuel utilise un écran graphique, un clavier, une souris et des haut-parleurs (voir figure 2.1, la première illustration à l’extrême gauche). Chacun de ces éléments correspond à une ou plusieurs modalités (dans le cas de l’écran et du haut-parleur). Néanmoins il existe très peu ou aucune redondance entre les informations transmises par l’un ou l’autre canal. [Cou91] parle de **multimodalité exclusive**. Les informations qui sont présentées sont souvent formatées pour s’adapter à ces interfaces, par exemple un fichier audio prêt à être diffusé sur le haut-parleur ou une image prête à être affichée sur l’écran.

### 2.1.3 Utilisation de modalités non visuelles

Les personnes gravement handicapées visuelles n’ont pas accès aux modalités visuelles classiques. Parmi elles, les aveugles n’ont accès qu’aux modalités associées au modes de perception tactile et auditif, principalement la modalité braille, via des afficheurs braille éphémères, et la synthèse vocale. Les sons non verbaux sont aussi utilisés, dans une moindre mesure. Nous avons aussi développé des interfaces de jeux basées sur des représentations tactiles statiques (glissées sur une planche tactile). En ce qui concerne les personnes malvoyantes, elles ont un accès restreint à certaines modalités visuelles à condition qu’elles permettent une adaptation à leurs capacités

visuelles grâce à des réglages multiples. Nous appellerons ces modalités “texte ajustable”<sup>9</sup>. Les trois illustrations de droite de la figure 2.1 présentent une interface en gros caractères, une interface braille et une interface de jeux basée une planche tactile.

Le point commun entre les modalités non visuelles est qu’elles sont intrinsèquement linéaires. [Por99] note d’ailleurs que la lecture braille possède plus de similitudes avec la lecture auditive qu’avec la lecture visuelle. En effet même si la lecture visuelle paraît très linéaire, l’œil procède de façon globale, par fixations discrètes et sauts d’un point de fixation à l’autre, alors qu’au contraire dans le cas du braille le doigt touche les points de façon continue. Le texte ajustable partage cette caractéristique, en effet à part dans les cas de handicap visuel très léger, l’utilisateur perd la notion de vision globale, en partie ou en totalité, dès lors que son handicap ne lui permet de percevoir que quelques signes à la fois. D’ailleurs, par extension, on considère que la modalité texte ajustable fait partie des modalités non visuelles.

Ces modalités ne permettent pas d’obtenir un aperçu global d’un document au premier coup d’œil comme le fait si bien la vue. L’œil perçoit une multitude de stimuli quasi-simultanés que le cerveau est capable d’analyser instantanément. La différence est essentielle et c’est dans ce manque de vision globale que résident un grand nombre des problèmes d’accessibilité.

Afin d’accéder à ces modalités les utilisateurs doivent utiliser des logiciels spécifiques, appelés logiciels de lecture d’écran, ou *screen readers* en anglais<sup>10</sup>. Ces logiciels ont pour rôle de littéralement lire ce qui se trouve sur l’écran afin de le présenter à l’utilisateur en utilisant des afficheurs braille ou des synthèses vocales. C’est le rôle de ces logiciels de formater les documents électroniques auquel l’utilisateur veut accéder selon les modalités qu’il peut utiliser. Les utilisateurs de texte ajustable utilisent quant à eux des loupes logicielles. Nous décrirons de façon plus détaillée le fonctionnement général de ces logiciels dans la section 2.3.1.

#### 2.1.4 Des conversions

Pour utiliser un document électronique avec une modalité non visuelle, il est nécessaire de convertir le code de stockage de ce document dans le code de la modalité utilisée. Deux cas de figure sont alors possibles. Dans le premier, le code du document électronique contient toutes les données nécessaires pour la modalité désirée, soit directement, soit via une conversion, et on peut facilement formater le document pour cet utilisateur. On dira que ce code de stockage est accessible pour cette modalité. Dans le cas inverse, on sera incapable de présenter ce document à l’utilisateur.

Par exemple si nous reprenons l’exemple de texte pour lequel on a proposé 2 codes de stockages différents, dans la section 2.1.2. Si l’on a choisi de le coder dans un mode texte, cela ne pose aucun problème d’y accéder aussi bien sur un afficheur braille qu’en synthèse vocale. Par contre si l’on n’a stocké qu’une image, on ne pourra pas l’exploiter de façon efficace ni dans un cas ni dans un autre. Bien sûr on pourrait tenter de convertir cette image en utilisant un logiciel de reconnaissance de texte (OCR), mais le résultat dépendra fortement de la qualité du source ainsi que des polices employées et des effets de styles éventuels (couleurs, fonds, *etc.*). Aujourd’hui les *screen readers* n’utilisent pas cette technique.

En plus de permettre aux aveugles de lire cet article sur un terminal braille, le choix d’un format basé sur le texte a de nombreux avantages pour les autres utilisateurs. On retrouve l’idée que bien souvent l’accessibilité améliore la situation de tous. Les utilisateurs pourront adapter l’interface de lecture à leur vision et ainsi améliorer leur confort de lecture (choisir la taille des caractères, les couleurs *etc.*). De plus on pourra faire des recherches sur le contenu du texte ou indexer ce document. Bref de nombreux traitements sont possibles dès lors qu’un document est accessible — en format texte.

---

<sup>9</sup> L’appellation “gros caractères” est aussi fréquemment utilisée mais elle ne reflète pas l’ensemble des usages de texte ajustable : certains problèmes de vue ne permettent au contraire de lire que de tout petits caractères.

<sup>10</sup> Dans le reste du document nous emploierons le terme anglais pour des raisons de concision

Bien sûr aujourd'hui les formats à base de texte sont privilégiés pour les documents simples, justement parce qu'ils prennent moins de place, et qu'ils permettent d'effectuer des traitements sur les documents. Nous allons voir que pour des documents complexes on est loin de se trouver dans une situation aussi favorable.

### 2.1.5 Des documents électroniques accessibles

Un document électronique accessible est donc un document que l'on va pouvoir manipuler en utilisant n'importe quelle modalité, c'est-à-dire un document que chaque utilisateur, quelque soit sa façon d'interagir avec l'ordinateur, pourra utiliser.

Pour cela il faut que ce document contienne toutes les données nécessaires pour être formaté en fonction de toutes les modalités possibles. Comme on l'a vu certains codes sont exploitables dans plusieurs modalités alors que d'autres de le sont pas. C'est le rôle des recommandations d'accessibilité (*Accessibility guidelines*) de formaliser la façon dont chaque type de document doit être codé pour être accessible. Il existe aujourd'hui diverses recommandations d'accessibilité correspondant à de nombreux formats de documents électroniques. Les plus connues sont probablement les recommandations pour l'accessibilité du Web [WAI99].

## 2.2 Quelques problèmes concrets d'accessibilité

Nous allons maintenant examiner un certain nombre de cas concrets qui posent des problèmes d'accessibilité non résolus ou pour lesquels nous avons proposé des éléments de réponse qui seront décrits dans le chapitre 3.

### 2.2.1 Aspect temporel

Dans sa thèse, Gérard Uzan [Uza05] introduit l'aspect temporel comme facteur déterminant de l'utilisation des dispositifs techniques d'assistance. Après avoir expliqué comment les modalités visuelles ne permettent pas la même vitesse de lecture que la vision (p. 30) : « *Ainsi, la lecture auditive via une synthèse vocale et, plus encore, la lecture braille, tant sur papier que sur fenêtré braille, sont plus lentes que la lecture visuelle. Les durées peuvent être augmentées d'un facteur 2, 4 ou 6, voire davantage, surtout si l'on comptabilise les temps des actions préparatoires ou périphériques.* »

Il montre aussi que le problème temporel n'est pas seulement du à une vitesse de lecture moins importante mais aussi à toutes les activités périphériques à la lecture : sélection de ce qu'il faut lire, préparation, etc. En effet la vision permet un accès rapide à une grande quantité d'information, qui peut être elle-même dynamique, et permet de sélectionner l'information intéressante d'un coup d'œil.

**[Web]** Un des facteurs limitant dans le cas de l'accès à des documents sur le Web concerne la validation du document à lire. Une fois activé un lien dans un navigateur Web, une nouvelle page est téléchargée, mise en forme et présentée à l'utilisateur. Bien souvent cette nouvelle page présentée ne correspond pas à la recherche réelle de l'utilisateur. Une des raisons est que le label du lien activé précédemment peut ne pas être pertinent. L'étude citée précédemment [33] a montré que c'est un des problèmes d'accessibilité les plus fréquents avec l'absence de contenu alternatif textuel aux images fonctionnelles. Une personne voyant normalement se rend compte quasiment instantanément que cette page n'est pas la bonne et ne va pas perdre beaucoup de temps, tout au plus quelques secondes. A l'inverse une personne aveugle a un temps de lecture allongé, et de surcroît ne dispose pas de possibilité de survol de la page, de lecture en diagonale. Ainsi la perte de temps occasionnée dans ce cas est multipliée. Bien souvent on constate que la personne ne peut finalement pas trouver l'information qu'elle était venue chercher sur ce site.

**[Jeux]** Dans le cas des jeux vidéo les *screen readers* classiques ne fonctionnent en général pas. On pourrait imaginer un système essayant, sur le même principe, de permettre à l'utilisateur

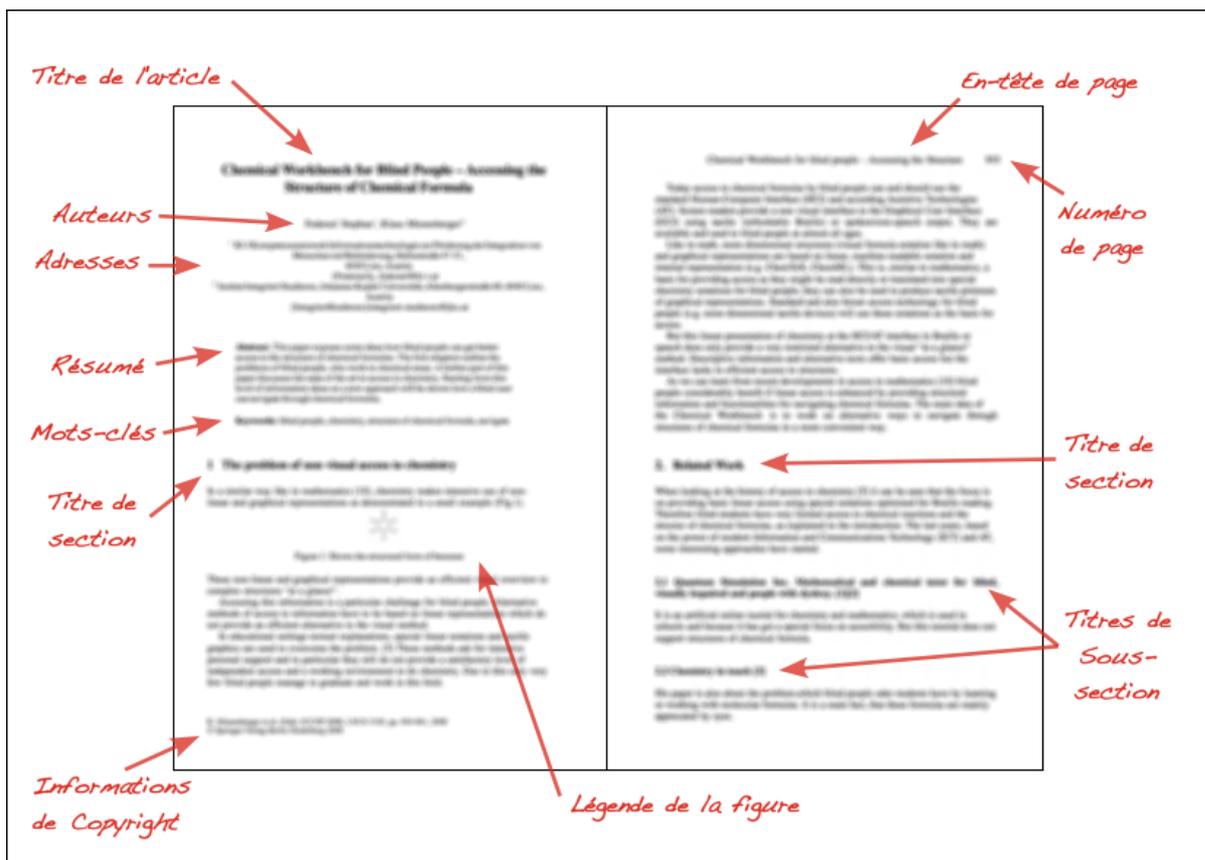


FIG. 2.2 – Structure reconnue avant la lecture

d'explorer le contenu de l'écran en accédant à une description de chacun des éléments présents. En raison des aspects temporels décrits plus haut, ce système ne permettrait pas au joueur de réagir suffisamment vite. En d'autres termes, dans un jeu où un ennemi est susceptible d'apparaître sur l'écran à une place aléatoire, le temps que le joueur le trouve il aura perdu depuis longtemps. Un jeu accessible doit avant tout *être un jeu* [5], et en particulier permettre au joueur de réussir !

### 2.2.2 Aspect structurel

Dans un document quelconque un lecteur voyant est guidé par un faisceau d'informations non textuelles lui permettant d'en percevoir instantanément la structure. Il s'agit d'une part de la disposition des blocs de texte dans la page et les uns par rapport aux autres, et d'autre part des différents types de caractères utilisés. Cette structure est reconnue immédiatement car le lecteur a appris à la reconnaître : depuis ses premiers livres de classe à l'école élémentaire les mêmes conventions sont utilisées. Les titres sont écrits plus gros, ils sont séparés du reste du texte. Les différents éléments ont une position, un aspect et un espacement par rapport aux autres blocs qui permet de comprendre leur rôle avant de les lire. Ceci peut aussi être renforcé par des encadrés ou des soulignés, et des fonds colorés. Sur la figure 2.2, on présente un article dont le texte lui-même a été rendu illisible. On peut néanmoins reconnaître le rôle de chaque bloc de texte.

Ainsi la perception de la structure du document précède la lecture de détail. Cette perception va nous permettre par exemple d'éviter de lire une partie du document qui ne nous intéresse pas, ou qui nous semble inutile à un instant donné. À l'inverse avec une modalité linéaire, c'est de la lecture de détail qu'on va construire mentalement la structure. Ceci implique une forte charge mentale car il faut mémoriser cette structure tout en la construisant.

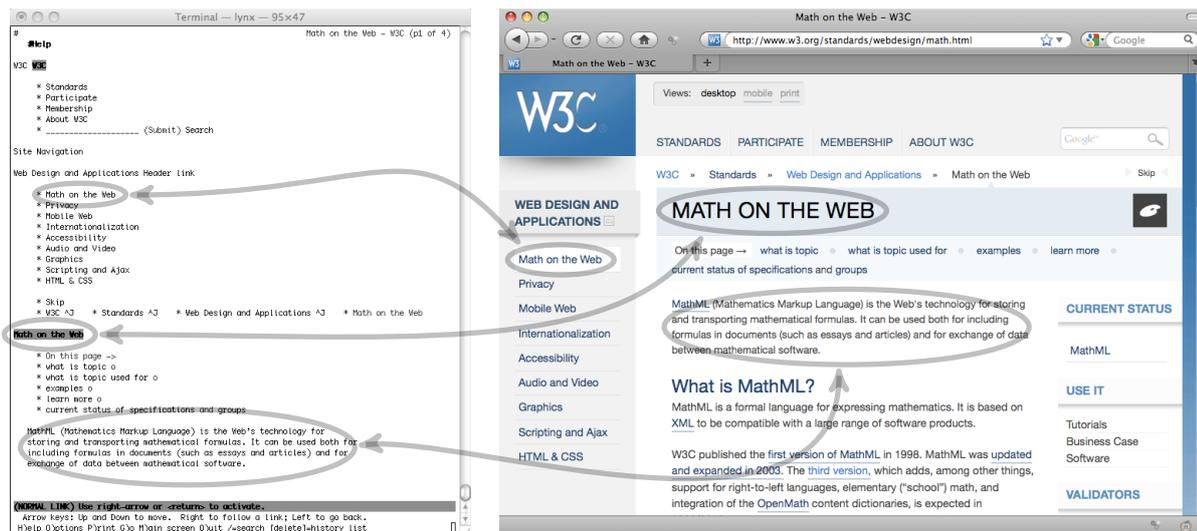


FIG. 2.3 – Une page Web vue via un navigateur texte et via un navigateur graphique

Un autre type de problème d'accessibilité est lié au manque de structure de certains documents. Il serait faux de penser qu'un document en texte simple, en ascii, serait nécessairement et absolument accessible. Considérons par exemple un document en texte pur, dont tous les mots, toutes les phrases sont donc parfaitement accessibles, mais particulièrement long et sans structure aucune. En fonction du type de document, son accessibilité peut être remise en question. En effet s'il s'agit d'un roman, ou d'un document qui doit être lu de façon linéaire et complète (du début à la fin), cela ne pose pas de réel problème mais si c'est un document dans lequel les utilisateurs vont chercher des informations précises, ou rechercher une partie, alors ce document est finalement inaccessible. Bien sûr il ne sera pas non plus très pratique pour les voyants mais la vue donne des possibilités de balayage permettant de dépasser ce problème tandis qu'avec une modalité non visuelle le facteur temporel cité précédemment en rend l'accès quasi impossible.

Nous parlons d'*accessibilité locale* ou de *micro-accessibilité* lorsque les composants élémentaires, comme le texte ci-dessus, sont accessibles ; par opposition à l'*accessibilité globale* ou *macro-accessibilité* qui est définie comme l'accessibilité du document ou du site Web dans son ensemble. Encore une fois accessibilité et utilisabilité sont des concepts convergents.

[Web] Cet aptitude que donne la vision globale à détecter la structure et donc à accéder directement à l'information pertinente est d'autant plus importante dans le cas du Web que les documents Web sont remplis d'information secondaire : barres de titre, outils de navigation et/ou de contrôle, bandeaux publicitaires, séries de liens connexes, outils divers (RSS, éditeur de commentaires, *etc*). L'information recherchée peut n'être qu'une petite partie de la page affichée dans le navigateur. Dans la figure 2.3, on a montré une même page Web<sup>11</sup> affichée par un navigateur texte (*Lynx*) et par un navigateur graphique (*Firefox*). Dans le second cas (à droite), l'utilisateur est guidé par la mise en page vers le contenu, et la modalité visuelle permet de détecter immédiatement l'emplacement du titre de la page, ainsi que le début du texte.

Dans la fenêtre présentée à gauche de la figure 2.3, la même page est affichée selon une modalité linéaire (dans le navigateur Lynx). Si aucune précaution n'est prise (en pratique si les règles d'accessibilité ne sont pas respectées), il devient impossible de déterminer *a priori* l'emplacement du contenu réel de la page, c'est-à-dire l'information pertinente dans la mesure où c'est ce que l'utilisateur est venu chercher en premier dans ce document. Le lecteur doit parcourir séquentiellement l'ensemble de la page pour en déterminer la structure, ou du moins jusqu'à ce qu'il trouve le début de l'information pertinente. N'ayant pas la possibilité de « lire en diagonale », il devra lire tout le texte situé au début du document jusqu'à arriver au titre.

<sup>11</sup> <http://www.w3.org/standards/webdesign/math>, telle qu'elle était le 8 juillet 2010.



code qui nous est propre, et éventuellement cornons la page ou ajoutons un marque-page. C'est très fréquent lorsque nous lisons un document technique, ou simplement un document structuré, mais aussi, parfois, dans le cas d'un roman. J'appelle *graffitis* ces éléments manuscrits, graphiques et textuels, qui sont des éléments d'informations utilisant une modalité différente de la modalité principale du document sur lequel nous travaillons.

À quoi nous servent donc ces différents graffitis ? S'il semble légitime de nous poser la question, la réponse risque fort d'être différente d'un individu à l'autre. Ces signes sont rarement un moyen de transmettre une information. En effet lorsque nous les trouvons sur un livre emprunté à une bibliothèque, sans connaître le contexte de celui ou celle qui les a dessinés, ni son système de codification, nous en devinons rarement la signification. Le signe placé dans la marge au paragraphe précédent pourrait vouloir dire que le lecteur a trouvé un point important dans ces 2 lignes, mais l'abréviation utilisée (« *impt* ») peut avoir d'autres sens pour d'autres lecteurs.

Nous pouvons avancer quelques hypothèses : ce peut être pour guider une recherche d'information qui pourra avoir lieu plus tard, et parfois simplement pour faciliter la mémorisation. Ils peuvent aussi servir à comprendre le sens ou à accomplir certaines tâches, comme on va le voir maintenant pour les mathématiques.

**[Maths]** Dans le cas des mathématiques en particulier ces graffitis sont très utiles pour comprendre le sens aussi bien que pour effectuer des calculs. Voyons un exemple : nous souhaitons développer le produit  $(x+1)(x-1)$ . À l'école la plupart d'entre nous ont appris qu'il fallait relier les termes de chaque facteur pour n'en oublier aucun, puis qu'on pouvait rayer des termes qui s'annulent pour simplifier (voir l'expression 2.6). Il existe de nombreux autres cas dans lesquels on peut entourer, rayer, souligner un terme ou un facteur dans un but précis.

$$(x+1)(x-1) = x^2 - \cancel{x} + \cancel{x} - 1 = x^2 - 1 \quad (2.6)$$

Il semble donc que ces graffitis ne sont pas là par hasard et qu'ils nous sont utiles. En général nous apprenons à les faire, par exemple ici en classe de mathématiques, et nous les développons par la suite nous mêmes, en les personnalisant. La double question qui se pose maintenant est de savoir si nous pouvons nous en passer et ce que cela implique.

En mathématiques, s'en passer signifie devoir mémoriser l'ensemble de l'expression mathématique à chaque étape du calcul. C'est possible pour certains élèves, mais cela réserve l'étude des mathématiques aux plus brillants élèves et non au plus grand nombre, même à un niveau élémentaire (ce qui est de fait le cas pour les élèves aveugles).

La question corollaire est ensuite de savoir si on peut les rendre accessibles ou du moins proposer des méthodes pour y suppléer. Il n'existe pas de méthode générale permettant de rendre compte de tous les types de graffitis en utilisant des modalités non visuelles, mais nous explorerons dans le chapitre 3 quelques pistes permettant de tirer partie des savoir-faire auxquels ils correspondent tout en proposant des méthodologies adaptées aux modalités non visuelles.

## 2.2.4 Un espace de travail immédiatement disponible et permanent

La feuille de papier représente un espace de travail immédiatement disponible par le regard. Cet espace, sous les yeux de la personne voyante constitue un support pour la réflexion. Elle joue ainsi un rôle de mémoire complémentaire, car il n'est pas nécessaire de mémoriser dans le détail ce qui y est inscrit, les symboles sur lesquelles on travaille restent présents de façon permanente. Elle joue aussi un rôle de guide : selon la façon dont y sont organisés les symboles, certaines tâches sont simplifiées, comme la recherche de certains de ces symboles.

**[Maths]** Lors d'un calcul mathématique, si une expression est longue, nous utilisons l'expression écrite sur le papier pour la recopier terme par terme, en substituant le résultat de nos calculs à certains des termes. Pour ce faire nous n'avons pas besoin de mémoriser l'ensemble de la formule.

Mieux, en utilisant les graffitis décrits plus haut nous pouvons rayer ou souligner au fur et à mesure les termes traités.

$$(x + y + 2) \times (2x - 3y - 1) = 2x^2 - 3xy - x + 2xy - 3y^2 - y + 4x - 6y - 2 \quad (2.7)$$

$$= \cancel{2x^2} - \cancel{3xy} - x + \cancel{2xy} - \cancel{3y^2} - y + 4x - 6y - 2 \quad (2.8)$$

$$= 2x^2 - 3y^2 - xy \dots \quad (2.9)$$

De plus l'organisation en 2 dimensions nous facilite certaines tâches. Par exemple dans l'équation suivante (2.10), il est très facile de repérer, d'un coup d'œil, les nombres qui doivent être multipliés : ils apparaissent clairement en haut et en bas des traits de fraction. Pour effectuer le même calcul de façon linéaire, il est plus difficile d'identifier les nombres qui doivent être multipliés entre eux, car ils n'apparaissent plus simplement l'un à côté de l'autre mais ils sont tous sur la même ligne, et intercalés :

$$\frac{2}{3} \times \frac{4}{5} = \dots \quad (2.10) \qquad 2/3 \times 4/5 = \dots \quad (2.11)$$

Dans l'exemple suivant les nombres à simplifier apparaissent clairement sur la version graphique, contrairement à la version linéaire.

$$\frac{3}{5} \times \frac{7}{2} \times \frac{2}{3} = \dots \quad (2.12) \qquad 3/5 \times 7/2 \times 2/3 = \dots \quad (2.13)$$

## 2.2.5 Collaboration transmodale

Comme on le verra dans le chapitre 4, dans de nombreux pays de plus en plus d'élèves sont intégrés dans l'école dite ordinaire. Il est donc essentiel de développer de nouveaux outils permettant le travail collaboratif entre voyants et aveugles ou malvoyants, entre utilisateurs de modalités visuelles et utilisateurs de modalités non visuelles, à la fois pour servir ces élèves et leurs enseignants, mais aussi pour concourir à propager cette idée de l'intégration scolaire. Le cas le plus fréquent est celui d'un élève handicapé visuel en milieu ordinaire, qui doit donc travailler avec un enseignant et d'autres élèves voyants. Dans ce cas il est important que chacun puisse utiliser la représentation auquel il est habitué, sans avoir à en apprendre une autre, et que les problèmes de représentation n'interfèrent pas dans le processus pédagogique. Par exemple un élève utilisant un terminal braille et/ou une synthèse vocale (grâce à un écouteur de façon à ne pas perturber le reste de la classe), peut partager des documents avec l'enseignant ou d'autres élèves sur son écran. Dans ce cas il est nécessaire non seulement de pouvoir transcrire les informations d'une modalité à l'autre, mais aussi de pouvoir les maintenir synchronisées, et de permettre aux uns et aux autres de désigner un élément du contenu.

Étant donné la faiblesse du nombre de symboles que peut présenter un afficheur braille, par rapport à ce que peut montrer un écran, il est important que la partie affichée sur l'afficheur braille soit bien visible sur l'écran, de façon à ce que l'utilisateur de l'écran ne se méprenne pas sur ce à quoi l'élève accède réellement, et qu'il puisse suivre son travail aisément. Il faut aussi que le curseur braille soit visible sur l'écran et vice-versa. Dans le cas d'une synthèse vocale aussi on doit pouvoir suivre sur l'écran ce qui est énoncé.

**[Maths]** Ceci est particulièrement vrai dans le cas des mathématiques. Les problèmes mathématiques ne sont pas nécessairement simples, en tous cas du point de vue de l'élève et il est important de permettre à chacun d'utiliser la modalité qu'il connaît bien. Dans le cas du braille il existe de nombreux codes mathématiques braille différents selon les pays, et il est important que l'utilisateur brailliste puisse choisir celui qui lui convient, ceci afin de ne pas ajouter de difficulté à la difficulté inhérente aux problèmes traités eux-mêmes.

**[Jeux]** Dans le cas des jeux vidéo de même si un joueur utilisant une modalité alternative joue avec un joueur utilisant l'écran il est, c'est évident, fondamental que les deux représentations soient parfaitement synchronisées.

## 2.3 État de l'art

### 2.3.1 Frameworks d'accessibilité

Comme on l'a évoqué dans le chapitre 1, l'apparition de la micro-informatique a engendré un immense espoir pour les personnes handicapées visuelles car elles permet d'accéder à une quantité d'information jusqu'alors inimaginable, mais aussi d'échanger directement avec des personnes voyantes. Cette technologie est non seulement susceptible de révolutionner leur vie quotidienne et pratique comme leur accès à la culture (accès à de nombreux services, au livre, *etc.*), mais elles permet d'envisager une meilleure inclusion dans la société, aussi bien à l'école que dans le milieu professionnel. Ainsi de nouveaux métiers deviennent possibles.

Le tout début de la micro-informatique fut marqué par des interfaces utilisateurs de type console, et l'accessibilité de ce type d'interface ne posait pas de problèmes considérables. En effet dès l'apparition des premiers afficheurs braille, des *screen readers* ont permis d'accéder à la quasi-totalité des applications disponibles. Rien n'était magique, il fallait un apprentissage, et bien sûr les applications de type graphique restaient inaccessibles, mais le potentiel que laissait entrevoir ces technologies était immense. Ces *screen readers*, nécessaires pour utiliser les afficheurs braille, étaient très simples de conception. Développés pour accéder à des interfaces de type console — typiquement 25 lignes de 40 caractères —, ils étaient basés sur une correspondance directe entre l'afficheur braille et une fraction d'une des lignes de l'écran (1/4, 1/2 ou 1/1), en fonction de la taille de l'afficheur braille (respectivement 20/40/80 caractères). Un jeu de quatre touches directionnelles permettait de déplacer cette fraction de ligne affichée en braille partout dans l'écran. Ces logiciels fonctionnaient en accédant directement au contenu de la mémoire vidéo. La position dans l'écran de chaque élément de texte suffisait à en déterminer le rôle (menus, barres de statut ou zone client). Chaque fabricant de matériel braille avait ainsi développé sa solution propriétaire pour Ms Dos<sup>TM</sup>. En parallèle, des logiciels d'accès pour Unix ont été développés de façon collaborative (par exemple brlty<sup>12</sup>).

Mais dès le début des années 90 les interfaces graphiques se profilent et la communauté commence à s'en inquiéter [BBV90]. En effet pour faire fonctionner un *screen reader* avec une interface graphique, l'accès au contenu de la mémoire vidéo n'est plus suffisant. D'une part parce que celle-ci est devenue graphique — elle ne contient plus des caractères mais des pixels —, mais surtout parce que la position de chaque caractère sur l'écran n'en détermine plus le rôle. Ainsi plusieurs fenêtres peuvent se recouvrir, du texte peut se retrouver localisé au dessus des menus d'une autre application, deux fenêtres peuvent être placées côte-à-côte et occuper la moitié de l'écran chacune.

De nombreux travaux à cette époque ont porté sur des métaphores non visuelles, essentiellement auditives ou brailles. L'idée était proche de celle des *screen readers* textuels. Tandis que l'interface graphique fonctionne sans avoir été modifiée, un agent externe (le *screen readers*) collecte l'information qui lui est nécessaire en observant les messages envoyés par le système [MW94] et construit un modèle *off-screen*. Ce derniers est alors traduit en présentation non visuelle, en temps réel, selon un ensemble de règles.

Le système « Fruit » [KAS96] a proposé une architecture basée sur un « *widget toolkit* » abstrait. Les applications devaient utiliser ce toolkit comme s'il était simplement graphique mais l'utilisateur pouvait choisir l'interface qu'il voulait utiliser. L'inconvénient était que ce système n'était pas capable de proposer deux présentations synchronisées utilisant des modalités différentes. Néanmoins il a introduit l'idée d'abstraire les éléments d'interface.

Finalement la nécessité d'avoir accès à de l'information d'ordre sémantique sur le contenu de l'interface graphique et des applications s'impose [Ble93]. En d'autres termes on a besoin d'une interface d'accessibilité entre le système et le *screen reader*, dont le rôle est de fournir à ce dernier les informations nécessaires sur chaque élément de l'interface utilisateur, et de permettre

---

<sup>12</sup><http://mielke.cc/brlty>

aux applications de coopérer avec l'aide technique. Microsoft<sup>TM</sup> finira, sous la pression (voir chapitre 4 — 4.2) par proposer un interface d'accessibilité, MSAA, grâce à laquelle les *screen readers* pour Windows<sup>TM</sup> peuvent se développer [BE00]. Néanmoins il faudra une dizaine d'année pour atteindre un niveau d'accessibilité comparable à ce qu'il était auparavant avec les interfaces de type console.

Le développement des *screen readers* s'est spécialisé et séparé des constructeurs de matériels. Aujourd'hui il en existe trois principaux sur le marché et des solutions *Open Source* sont en cours de développement. Il existe maintenant des frameworks d'accessibilité pour la totalité des interfaces graphiques : Ms Windows, Gnome, KDE, Mac OS X, *etc.*).

[vHE06] introduit la notion d'interface utilisateur abstraite, permettant de développer les applications non plus sur des interfaces graphiques données mais sur une interface abstraite, implémentée par l'interface graphique aussi bien que par le *screen reader*, ce qui leur permet d'interroger les applications en parallèle.

Enfin le projet *ÆGIS* [KBG09] cherche à intégrer le support de l'accessibilité au cœur des technologies de la communication et de l'information de demain, afin de proposer des applications plus accessibles.

## 2.3.2 Documents électroniques

### 2.3.2.1 Langages de markup

Avec le langage GML (*Generalized Markup Language*) [Gol96] apparaît en 1969 l'idée qu'un format de document peut se démarquer des possibilités techniques des imprimantes. Il est suivi quelques années plus tard, par le langage SGML (*Standard Generalized Markup Language*), son successeur, qui repose sur la séparation complète entre la structure logique d'un document de sa mise en page. La structure logique est identifiée par des balises insérées dans le document lui-même alors que la mise en page, qui dépend du support physique sur lequel il sera présenté est définie à l'extérieur du document dans une ou plusieurs feuilles de style. Accessoirement ces feuilles de style peuvent être réutilisées pour de nombreux documents.

Au début des années 90 commence à apparaître l'idée que, grâce à la structure qu'il contient, le format SGML peut améliorer l'accessibilité des documents électroniques pour les personnes handicapées visuelles [BEE<sup>+</sup>94, Bél97]. Les informations liées à la mise en page, les tailles des titres, listes à puces *etc.* que perçoit un lecteur voyant sont d'une importance considérable lorsqu'il consulte un gros document. La présence de ce type d'information dans le code SGML va permettre de les rendre accessibles à un utilisateur d'une autre modalité. Au même moment la norme ODA *Open Document Architecture* présente des caractéristiques similaires [AW92].

À partir de 1995, avec le développement extrêmement rapide du Web, les choses s'accélérent. Le nouveau langage HTML, successeur de SGML, présente le même potentiel. De nombreux articles et ouvrages sont publiés pour proposer des approches pour l'accessibilité du Web, comme [LMPV96, VC96] et [33]. Ces travaux aboutissent à la publication des *Web Content Accessibility Guidelines 1.0* en 1999 [WAI99]. Depuis lors, le Web a beaucoup évolué et 10 ans plus tard une seconde version a été publiée [WAI08]. Des initiatives semblables ont été proposées depuis l'apparition de la famille de formats XML [WAI02].

Le format ODF (*Open Document Format*) a été initié par les concepteurs d'OpenOffice.org et de plusieurs autres logiciels *Open Source*. Le format ODF se caractérise par un ensemble de documents XML dans lesquels sont enregistrés des informations de natures différentes (il y a par exemple une séparation totale entre le contenu du document et le style de mise en page). [ES07] présente le groupe de travail sur l'accessibilité d'ODF et les recommandations qui ont été publiées. Il s'intéresse aussi à l'impact que peut avoir ce format accessible sur la vie des personnes ayant un handicap lié à l'écrit.

### 2.3.2.2 Formats audio

Le système  $\text{AsT}_{\text{ER}}$  (*Audio System for Technical Reading*) [Ram94, RG94] est un système destiné à formater des documents électroniques pour produire des documents audio à partir de documents électroniques au format  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ . Contrairement aux enregistrements réalisés par des donneurs de voix à l'époque, la synthèse vocale permet de commencer à lire un document immédiatement. De plus le système est interactif. L'utilisateur peut l'arrêter, le redémarrer, revenir en arrière ou aller plus loin. L'utilisation de la structure de  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  lui permet de traiter les références croisées.

Débuté en 1988, le projet DAISY (*Digital Accessible Information SYstem*) de construire un système numérique pour les livres audio, se développe fortement à partir du milieu des années 90 pour devenir aujourd'hui un standard, le format le plus utilisé au niveau mondial pour les livres audio destinés aux personnes handicapées de l'écrit [Ker02].

En pratique un livre audio au format DAISY est composé d'un ensemble de fichiers incluant des fichiers audio (au format mp3), des fichiers de synchronisation et un fichier au format XML DTBook, qui sera présenté plus bas, contenant l'ensemble du texte du livre, avec des informations de structure et des informations sémantiques. Ce fichier est souvent comparé à la colonne vertébrale du livre audio, et on peut d'ailleurs complètement créer un livre DAISY à partir de ce fichier, en utilisant une synthèse vocale et un logiciel spécialisé.

Le développement récent des livres électroniques (utilisant des lecteurs spécifiques de livres électroniques, de type « *kindle* », ou des lecteurs logiciels) permet d'envisager une utilisation de ces appareils comme des livres audio, moyennant l'intégration d'une synthèse vocale dans le lecteur. [Eng10] présente la situation actuelle, et compare livres électroniques et livres audio. Il conclut que le nombre d'applications utilisables par les personnes ayant un handicap lié à l'écrit est en augmentation, mais que les problèmes de copyright risquent de devenir un obstacle.

### 2.3.2.3 DTBook

Le format DTBook est devenu un standard ANSI/NISO (référence Z39.86). Ce format est maintenant utilisé indépendamment des livres audio DAISY. Spécifique aux personnes ayant un handicap lié à l'écrit, ce format n'inclut aucune information de mise en forme et est relativement bien accepté par les éditeurs. Il contient tout ce qui est nécessaire pour produire des documents utilisables aussi bien en braille qu'en synthèse vocale. De nombreux outils ont été développés pour créer, accéder à et manipuler ce format, [36] présente un panorama des outils *Open Source* le concernant.

DTBook est utilisé dans de nombreuses autres bibliothèques numériques à travers le monde : TPB — la bibliothèque suédoise pour les aveugles — ; la *Library of Congress* aux États-unis ; la bibliothèque numérique Hélène, créée et maintenue par l'association BrailleNet en France ; *etc.* Le format DTBook est aussi utilisé comme format de distribution des contenus scolaires accessibles aux États-unis dans le cadre du *Individual with Disabilities Education Act*<sup>13</sup>.

Nous décrirons dans la section 3.3.2 des outils de conversion que nous avons développé avec BrailleNet pour produire des documents adaptés à partir de ce format DTBook, dans le cadre de la bibliothèque Hélène, et dans la section 3.3.3 un outil *Open Source* de production de documents DTBook à partir d'OpenOffice.org.

## 2.3.3 Accès aux documents scientifiques

Depuis une vingtaine d'années de nombreux projets de recherche ont été menés dans le but de faciliter l'accès des personnes aveugles et malvoyantes aux mathématiques et plus généralement aux sciences. [10] propose un état de l'art relativement exhaustif de ce thème.

---

<sup>13</sup> IDEA oblige toute institution scolaire ou universitaire des États-unis à fournir aux élèves ou étudiants ayant un handicap les empêchant d'accéder à l'écrit dans un format accessible tout document remis aux autres élèves ou aux étudiants. Cela s'applique aussi bien aux ouvrages qu'aux feuilles d'exercices rédigées par les enseignants.



### 2.3.3.2 Comprendre

Le système  $\text{A}\mathbb{S}\text{T}\mathbb{E}\mathbb{X}$  vu précédemment est aussi capable de produire des vocalisations précises des expressions mathématiques au format  $\text{T}\mathbb{E}\mathbb{X}$  [Ram94]. On a vu dans la section 2.2.2 que la perception de la structure d'une équation par la voix seule est très difficile. Dónal Fitzpatrick [Fit06] explore l'utilisation de la prosodie pour tenter de résoudre ce problème d'ambiguïté. Dans [BF10] il introduit l'utilisation de « *earcons* » et de « *spearcons* ». Les *earcons* sont des sons non vocaux tandis que les *spearcons* sont des sons produits par une synthèse vocale, mais excessivement accélérés. L'auditeur ne peut pas réellement entendre le mot prononcé mais il peut apprendre sa signification en se basant sur la sonorité (parenthèse ouvrante par exemple). Le papier introduit aussi l'utilisation de la stéréo pour différencier les parenthèses ouvrantes des parenthèses fermantes.

Le *MathPlayer*<sup>16</sup> [Soi05], développé par *Design Sciences*, est un plug-in pour *Internet Explorer* qui permet d'agrandir les expressions et de les lire en utilisant un lecteur d'écran.

*dots plus*<sup>17</sup> [GHH<sup>+</sup>04], développé par *View Plus*, propose aux utilisateurs une représentation mixte utilisant du braille et des graphiques en relief. L'idée est d'embosser une représentation tactile de l'expression dans laquelle les chiffres et lettres sont en braille alors que les symboles mathématiques, traits de fraction, racine carrée sont embossés de façon graphique. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite l'embossage d'une feuille de papier. Elle ne pourra donc pas être facilement étendue à la manipulation d'expressions en vue de faire des calculs. D'un autre côté c'est la seule méthode qui permette de retrouver la structure bi-dimensionnelle des expressions mathématiques.

Toujours dans la section 2.2.2, nous avons vu que le lecteur d'une expression mathématique doit construire la structure en lisant le détail. Dans [GBKP04], Doug Gillan s'est intéressé à la façon dont les lecteurs voyants lisent une formule mathématique. Il a ainsi montré, comme on pouvait s'y attendre que la structure des expressions simples est perçue en premier. Néanmoins son expérience a montré que dans le cas d'expressions plus complexes il n'en est rien. Pour cela il a montré à des étudiants la structure d'expressions à calculer (*cf.* 2.20), avant d'en montrer le contenu séparément. Les mesures montrent que dans les cas des expressions simples, cette méthode en a accéléré la résolution alors qu'elle l'a ralenti dans le cas d'expressions complexes. Sa conclusion est qu'en fait ce n'est pas l'ensemble de la structure mais la structure de surface qui est lue en premier. Ensuite l'expression est découpée en tronçons (qu'il appelle « *chunk* »), de façon cohérente avec la structure précédemment perçue et le processus recommence sur chaque tronçon.

$$\left( \frac{\quad + \quad}{\quad} \right) + \frac{14 \quad 9 \quad 5}{5} \quad (2.20)$$

Ces travaux ont permis à l'équipe d'Arthur Karshmer de mettre au point le *Math Genie* [KGGW98, KGG02, KBS04], qu'il définit comme un navigateur de formules qui facilite la compréhension des formules en utilisant une sortie vocale. Il a été conçu pour transmettre la structure des expressions mathématiques en même temps que leur contenu. Il y a une sortie graphique qui permet la communication avec les enseignants. Le système importe des expressions en MathML se qui fait qu'il n'y a pas nécessairement besoin de préparer les exercices spécialement pour les étudiants handicapés visuels, si toutefois le document préparé pour les autres utilise ce format pour les expressions mathématiques. De plus la sortie graphique permet de régler la taille de caractères (jusqu'à un fort agrandissement), ce qui en permet l'utilisation par des malvoyants, ainsi que de surligner avec des couleurs contrastées, pour les personnes atteintes de dyslexie.

La principale innovation est la possibilité donnée à l'utilisateur de naviguer dans l'expression, qu'il peut lire de différentes manières (voir expression 2.21) : soit de gauche à droite, de façon

<sup>16</sup><http://www.dessci.com/en/products/mathplayer>

<sup>17</sup><http://www.viewplus.com/products/braille-math/dotsplus>

traditionnelle, soit en fermant des sous-expressions ( $\alpha$ ), elles sont alors remplacées par le mot clé « *entity* », ce qui permet d’accéder à la structure (elle sera alors prononcée : « *Entity over entity* »). On peut alors entrer dans l’« *entity* » du numérateur ( $\beta$ ), puis naviguer dans celle du dénominateur ( $\gamma$ ) et enfin par exemple revenir au niveau supérieur ( $\delta$ ). Cette façon d’ouvrir et de refermer des sous-expressions peut être fait à tous les niveaux, ce qui correspond à la compréhension par tronçons décrite par Doug Gillan plus haut. L’utilisateur peut alors se déplacer dans la structure de l’expression, par tronçons cohérents. Nous verrons dans le chapitre 3 (3.1.2.1) que nous avons étendu ce modèle au braille en développant de nouvelles fonctions, ce qui nous a amené à créer un modèle de représentation bien adapté à cette situation. Par la suite, le *Math Génie* a été adapté pour supporter une sortie en braille américain *Nemeth* [SK06].

$$\frac{x+1}{x-1} \rightsquigarrow^{(\alpha)} \frac{Entity}{Entity} \rightsquigarrow^{(\beta)} x+1 \rightsquigarrow^{(\gamma)} x-1 \rightsquigarrow^{(\delta)} \frac{Entity}{Entity} \quad (2.21)$$

### 2.3.3.3 Calculer

Accéder à des contenus mathématiques et être aidé pour les comprendre sont 2 étapes importantes mais insuffisantes pour qui souhaite « faire » des mathématiques. Il faut pouvoir manipuler les formules, les éditer, les modifier pour résoudre des problèmes. Très peu de projets aujourd’hui s’attaquent à ce nouveau défi.

Le projet *Lambda* (*Linear Access to Mathematics for Braille Device and Audio-synthesis*) [SBJ<sup>+</sup>06] consiste en un éditeur d’équations et de texte permettant d’utiliser braille et synthèse vocale. Il est basé — et c’est d’ailleurs son principal défaut — sur un nouveau code braille linéaire, qui associe à chaque symbole mathématique des codes brailles (localisés dans les différentes langues disponibles) et une représentation visuelle. L’inconvénient est qu’il nécessite l’apprentissage d’un nouveau code braille, tandis que les voyants n’accèdent qu’à une vue linéaire de la formule — utilisant des symboles faciles à comprendre —, et non à la représentation graphique classique. De plus le code *Lambda* est un code braille à 8 points, qui ne peut donc pas être lu de façon purement linéaire (voir 1.1.2). D’un autre côté c’est un des seuls éditeurs mathématiques qui disponible de façon opérationnelle aujourd’hui.

Au sein du projet *Infty*, l’éditeur *ChattyInfty* [YKKS08] propose une solution totalement vocale utilisant des commandes  $\text{\LaTeX}$  en entrée sur le clavier et vocalisant toutes les expressions via une synthèse vocale.

### 2.3.4 Jeux multimédia

On a vu ci dessus que les solutions d’accessibilité fonctionnent aujourd’hui de façon relativement satisfaisante pour ce qui concerne les applications de bureau, mais la situation des jeux est tout à fait différente. La première raison est que dans le cas d’un jeu « fonctionner de façon relativement satisfaisante » n’est pas suffisant, et ne peut pas être facilement mesuré. Dans le cas d’un logiciel de traitement de texte, il est possible de mesurer la productivité de l’utilisateur, dans le cas du jeu cette notion n’a que peu de sens. On peut bien sûr vérifier si le joueur parvient à progresser dans le jeu, mesurer le temps qu’il passe dans chaque niveau de jeu, mais l’aspect émotionnel est bien plus important que ces mesures. [6] propose un état de l’art relativement exhaustif du thème de l’accessibilité des jeux vidéo pour les personnes handicapées visuelles.

Un nombre important de jeux accessibles ont été développés au cours des 10 dernières années. Lorsque nous avons commencé à travailler dans ce domaine, en 2000, il n’existait qu’une poignée de jeux utilisables par des personnes handicapées.

#### 2.3.4.1 Des jeux spécifiques

La première phase que nous avons identifié couvre la période 2000 à 2005. Nous avons observé que durant ces années de nombreux jeux spécifiques à des groupes de personnes handicapées

ont été développés. Ces jeux étaient souvent financés par des fondations ou des organisations non gouvernementales. La plupart de ces jeux étaient très intéressants pour les groupes pour lesquels ils avaient été développés (pour certains d'ailleurs l'intérêt résidait simplement dans leur existence) mais n'avaient aucun intérêt pour le grand public, mis à part quelques jeux audio. Tous ces jeux, ont une importance en ceci qu'ils ont démontré qu'on pouvait proposer des solutions alternatives pour une grande variété d'interactions de jeux. Ceci est complété par différentes études à propos de l'utilisation de différentes modalités pour des jeux vidéo.

Parmi ces jeux, on trouve tout d'abord un grand nombre de jeux audio. Le site [audiogames.net](http://audiogames.net)<sup>18</sup> en recense aujourd'hui près de 400 (ce qui reste minime comparé au nombre de jeux vidéo grand public). Mais tous ces jeux ne sont pas nécessairement accessibles. En effet le concept d'audiogame concerne des jeux pour lesquels la modalité principale est audio, mais certains d'entre eux utilisent une interface visuelle, comme « *Guitar Hero* » par exemple. On trouve parmi ces jeux des titres auxquels on peut jouer indifféremment avec ou sans la vue. C'est le cas par exemple de « *Terraformers* » [Wes04] qui fut développé avec la contrainte d'être accessible aux joueurs aveugles, ou de « *AudioQuake* » [AGML06] qui est un projet de recherche visant à rendre accessible un jeu très visuel et non accessible.

Très peu de jeux tactiles par contre sont présents. Le centre de ressources de *Tomteboda*, près de Stockholm a publié un rapport [Ham99] destiné à encourager parents et éducateurs à développer leurs propres types de jeux. On verra dans les sections 3.1.3 et 3.4.1 des études que nous avons développées dans le cadre du projet TiM et dans son prolongement la dernière permettant justement à des éducateurs et des parents de développer des contenus de jeu.

[SRG99] a étudié les possibilités offertes par les technologies haptiques pour créer de nouvelles interactions utilisables par des personnes aveugles. On trouve depuis 10 ans un nombre important d'études concernant l'utilisation de procédés haptiques expérimentaux dans les jeux [JL99, WLP06, RPHP07, EER04, CB06, RLC<sup>+</sup>05].

#### 2.3.4.2 Les fondations de l'accessibilité

Depuis 2005, on assiste à l'émergence de la notion de jeux pour tous. Ceci est décliné de deux façons : les jeux conçus pour tous (d4a — *Design for all*) et l'accessibilité des jeux vidéo. L'une des motivations est le fort développement, en particulier dans le domaine du eLearning, des interfaces humain-machine de type jeu vidéo.

La notion de jeu conçu pour tous implique d'importantes possibilités de configuration et de réglages. [GSS05] propose un jeu d'échecs universellement accessible permettant à deux joueurs ayant éventuellement des handicaps très différents de jouer l'un contre l'autre, en utilisant une grande variété de dispositifs d'entrée sortie. De même [GSGS06] est une implémentation conçue pour tous du célèbre jeu « *Space Invaders* », dans laquelle les auteurs ont introduit la notion de jeu coopératif pour permettre à des personnes ayant des capacités très différentes de jouer ensemble même s'ils ne peuvent pas entrer en compétition. Nous décrirons dans le chapitre 3 (3.4.2.2) un travail sur un jeu de ce type.

Ces jeux conçus pour tous doivent être considérés comme des exemples de bonnes pratiques, démontrant que l'accès universel est un défi et non une utopie. Néanmoins il faut reconnaître que l'implémentation de certaines modalités alternatives d'accès à un jeu peuvent représenter plus de développement que le jeu original lui-même. Pour dépasser ce problème [GSS07] propose une méthode de conception unifiée adaptée au jeu et dérivée de la méthode de conception d'interfaces utilisateur unifiée développée par [SS04].

Une autre approche que nous proposons consiste à construire un framework d'accessibilité prenant pleinement en considération les contraintes spécifiques des jeux vidéo et des interfaces de type jeu. Cela sera détaillé dans le chapitre 3 (3.4.2.3).

---

<sup>18</sup><http://audiogames.net>

# Chapitre 3

## Contributions

Promouvoir la *Conception pour tous* — *d4a*, « *Design for all* » en anglais — ne signifie pas que les utilisateurs, en fonction de leurs besoins particuliers, n'ont pas besoin d'interfaces spécifiques. Tous les utilisateurs doivent pouvoir accéder aux mêmes contenus, ou aux mêmes fonctionnalités, quelle que soit la ou les modalités qu'ils utilisent. On dira qu'un produit ou service respecte les règles du *d4a* s'il est possible de l'utiliser avec des moyens alternatifs, c'est-à-dire si les nécessités techniques de ces moyens alternatifs ont été pris en compte.

Considérons par exemple un distributeur de billets. Pour le rendre accessible aux aveugles, il n'est pas nécessaire de le munir d'un haut parleur, ce qui pourrait être d'ailleurs fort gênant. Par contre si l'on munit chaque appareil d'une prise mini-jack, à peu près au même endroit par rapport à la fente d'insertion de la carte bancaire, alors les personnes aveugles pourront l'utiliser de façon autonome avec leur casque audio personnel. Notre travail concerne donc essentiellement cette interface (dans cet exemple ce serait la prise jack et le dispositif à mettre en œuvre pour produire les instructions à diffuser sur le casque à partir de l'appareil) entre le système et l'interface-utilisateur particulière (le casque audio), ainsi que les implications de cette conception sur le modèle (ici des sons enregistrés seront probablement nécessaires, et s'il s'agit d'un guichet automatique de banque avec de nombreuses fonctions, on pourra avoir besoin de synthèse vocale), mais aussi sur l'interface spécifique (le casque) ainsi qu'on va le voir tout de suite.

Notre travail sur l'accessibilité comporte donc plusieurs aspects complémentaires :

- le premier consiste à réfléchir à des interfaces utilisateur adaptées, c'est-à-dire des interfaces qui leur permettront de tirer au mieux parti des modalités qu'ils utilisent pour accéder aux contenus. Ceci aura des implications sur les modèles de représentation des contenus que nous aborderont plus loin ;
- le second concerne la collaboration entre personnes handicapées et valides sur le même contenu, afin de leur permettre d'échanger, de travailler ou de jouer ensemble. De même cela aura des implications sur les modèles ;
- le troisième consiste à transcrire des informations depuis la représentation interne dans une modalité particulière. Ceci aura aussi des implication sur les modèles de représentation des contenus. En effet ces modèles devront contenir toute les données nécessaires à la transcription dans différentes modalités ;
- enfin le quatrième aspect concerne un travail sur les modèles de représentation. Comment faire pour que ces modèles soient accessibles. Un certain nombre de propriétés seront nécessaires, qui découleront des 2 précédents points.

### 3.1 Des interfaces utilisateurs spécifiques

Ces interfaces sont donc destinées à permettre à l'utilisateur de tirer au mieux parti des modalités d'accès à l'information auxquelles il peut accéder, de suppléer aux manques dus aux limitations créées par un handicap ou par une situation d'utilisation particulière.

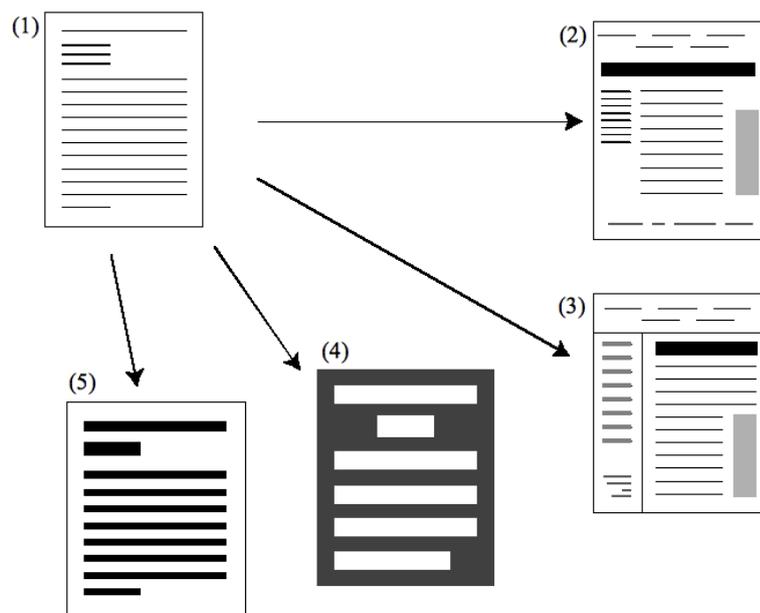


FIG. 3.1 – MultiSite : principe général. Le document stocké sur le serveur (1) est mis en page multiples façons en fonction du souhait de l'utilisateur : pages (2) à (5).

Comme on l'a vu plus haut en effet (*cf.* 2.2.2), fournir à un utilisateur l'intégralité d'un document texte de grande taille, par exemple, sans lui fournir de moyens de naviguer et de rechercher une information à l'intérieur constitue une façon négligente de considérer l'accessibilité. S'il faut à l'utilisateur des heures pour trouver une information qu'il cherche quand une personne ayant des perceptions dans la moyenne aurait besoin de quelques secondes, on ne peut pas parler de contenu accessible.

### 3.1.1 Documents électroniques structurés (MultiSite [29])

Le premier type de document structuré sur lequel nous nous avons travaillé est celui des sites Web. On a vu (2.2.2) que l'un des problèmes fréquemment rencontrés concerne la structure des pages Web. Si la modalité visuelle guide l'utilisateur vers le titre et le contenu de façon quasi instantanée, un utilisateur d'une modalité purement linéaire n'a aucun moyen immédiat d'arriver à ce contenu et doit lire tout ce qui se trouve avant. Dans la plupart des cas il aura des difficultés pour identifier le contenu pertinent de la page.

En accord avec les recommandations du W3C, nous avons toujours été opposés à la solution consistant à faire un site spécial pour les aveugles, avec une mise en page adaptée. En effet cette méthode n'est pas une vraie solution car dans la pratique les mises à jour ne sont pas faites sur les deux sites en même temps, et bien souvent avec beaucoup de retard sur la version spécifique — quand elles ne sont pas simplement oubliées.

En 1999, nous avons proposé de différencier les mises en page en fonction des utilisateurs, réalisées à partir de documents sources uniques sur le serveur. Ainsi les mises à jour du site ne doivent pas être dupliquées, mais le formatage du site peut être adapté à chaque utilisateur. Nous avons utilisé notre *Livre blanc* de l'accessibilité « *Le Web plus accessible pour les aveugles et les malvoyants* », pour construire une petite démonstration<sup>19</sup>. Le système implémenté, intitulé *MultiSite* [29] permet à l'utilisateur de choisir le formatage de sa page. Les réglages comprennent à la fois la mise en forme des caractères (couleurs, contrastes, *etc*), la présence ou non d'éléments graphiques décoratifs, et l'organisation de la page (présence ou non d'outils de navigation, ainsi que le choix du positionnement de ces derniers).

<sup>19</sup><http://chezdom.net/livreblanc>

D'un point de vue technique l'expérimentation MultiSite est basée sur un script CGI programmé en Perl. L'avantage d'utiliser CGI est que le traitement est effectué sur le serveur, ainsi n'importe quel navigateur peut afficher ces pages, qu'il supporte ou non les applets et les scripts, et sans installer aucun plug-in ou application spécifique. Une page de configuration permet de modifier l'aspect du site. Les changements sont aussitôt effectués et affectent la page de configuration elle-même. Un cookie permet de conserver la configuration par la suite. Bien sûr le lien vers la page de configuration est proposé dès le début de la page d'accueil « standard » de façon à ce que les utilisateurs en ayant besoin ne restent pas bloqués sur une page inaccessible pour eux. En fait toutes les mises en page proposées sont elles-mêmes accessibles au sens de WCAG [WAI99], mais le formatage de la page diffère pour améliorer l'utilisabilité selon les modalités utilisées. Chacune des pages du site est ensuite formatée en fonctions des préférences de l'utilisateur. Le contenu de chaque document en revanche n'est pas dupliqué sur le site et peut donc être mise à jour sans souci. Des copies d'écran sont proposées en annexe B, page 67.

Cette méthode permet de la même façon de reformater les documents Web pour un usage différent : impression (sur une feuille de papier, les outils de navigation deviennent inutiles), téléphone mobile (l'écran est réduit), *etc.* La démonstration de *MultiSite* propose de plus ce document dans les plusieurs langues<sup>20</sup> avec la même technique pour le choix de la langue que pour le choix de la mise en page.

### 3.1.2 Accès aux expressions mathématiques

#### 3.1.2.1 Lecture et compréhension d'expressions mathématiques [8] (MaWEn, première partie)

Dans le cadre du projet Européen Micole (voir annexe A, page 65), nous avons travaillé sur des méthodes pour faciliter la compréhension des formules mathématiques en braille. À partir des travaux de Doug Gillan [GBKP04] et des idées développées par Arthur Karshmer pour son *MathGenie* vocal [KBS04] (voir page 22), nous avons essayé de donner le même type d'information en braille, c'est-à-dire de donner aux lecteurs braille un aperçu de la structure d'une expression, puis de même des différents tronçons cohérents, en utilisant des notations braille mathématiques.

L'idée de départ est de considérer l'arbre sémantique d'une équation, et de permettre d'en remplacer les branches par des nœuds simples : des feuilles ayant comme étiquette le mot  $\langle block \rangle$ . Prenons un exemple concret, l'expression (3.1), page 28, dont l'arbre sémantique est représenté dans la figure 3.2. Sur la figure, les simples feuilles sont représentées avec un fond gris clair, tandis que les nœuds ont un fond gris plus foncé. L'expression (3.2) correspond à la situation où le nœud racine a été fermé. Les expressions suivantes, de (3.3) à (3.6), correspondent aux fermetures de chacun des nœuds possibles. Ainsi on peut explorer une expression à différents niveaux : de la structure de surface au les détail, en passant par tous les niveaux intermédiaires.

Pour construire l'arbre et donc implémenter cette navigation, nous avons construit un modèle de représentation, que nous appelons simplement le modèle *MaWEn*, basé sur la représentation MathML de l'expression dans sa version *présentation*, qui sera décrit dans la section 3.4.3, page 44. Le problème auquel nous nous sommes heurtés dans la pratique vient du nombre très important de niveaux auxquels on peut accéder. L'arbre présenté dans la figure est une version construite manuellement, et l'arbre généré à partir du MathML aurait beaucoup plus de nœuds, mais celui-ci suffit à notre propos pour l'instant. Nous avons décidé de sélectionner un ensemble de nœuds que nous appelons éligibles et qui seront ceux que l'utilisateur pourra ouvrir ou fermer, afin de réduire le nombre d'opérations nécessaires. Pour cela nous avons attaché ce type de propriétés aux nœuds. Les nœuds éligibles sont sélectionnés par un algorithme que nous avons mis au point. Ces nœuds éligibles sont représentés avec un double cercle sur la figure 3.2. Au final le lecteur n'aura pas accès à toutes les représentations intermédiaires et celles qui lui sont vraiment accessibles ont été encadrées — expressions (3.4) et (3.6), à gauche de la figure.

---

<sup>20</sup> Notre *Livre blanc* est disponible en français, anglais, espagnol et allemand.

$$L_1 = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (3.1)$$

$$\langle block \rangle \quad (3.2)$$

$$L_1 = \langle block \rangle \quad (3.3)$$

$$\boxed{L_1 = L_0 \cdot \langle block \rangle} \quad (3.4)$$

$$L_1 = L_0 \cdot \sqrt{\langle block \rangle} \quad (3.5)$$

$$\boxed{L_1 = L_0 \cdot \sqrt{1 - \langle block \rangle}} \quad (3.6)$$

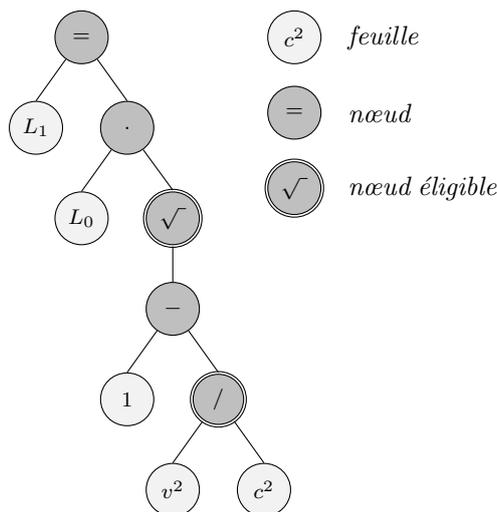


FIG. 3.2 – Semantic tree from equation 3.1

Examinons un exemple d'utilisation : dans l'expression (3.4) l'utilisateur a accès à la structure de surface de l'expression, qui est une égalité entre un terme simple et un produit d'un autre terme simple et d'un bloc. Une fois cette structure acquise, il a la possibilité d'entrer dans le bloc pour l'examiner plus en détail. En actionnant la commande ad-hoc, par exemple en pressant le bouton associé à une des cellules du mot  $\langle block \rangle$  sur son afficheur braille, il arrive à la représentation présentée en 3.6. Ajoutons que l'utilisateur peut choisir entre cette représentation complète de l'expression ou bien l'examen du seul bloc, dans ce cas seul le tronçon correspondant à ce bloc est affiché :  $\sqrt{1 - \langle block \rangle}$ .

Ensuite, pour améliorer la compréhension de l'utilisateur, nous avons attribué un titre à chacun des tronçons, de sorte qu'au lieu de voir le mot  $\langle block \rangle$ , il peut lire un mot-clé correspondant au type de structure contenue dans ce bloc. Ce peut être « somme », « fraction », « racine carrée », etc. Enfin, dans le but de réduire la longueur de l'expression braille correspondante, ce mot-clé possède lui même une abréviation mnémotechnique : « S » pour une somme, « F » pour une fraction, « Q » pour une racine carrée, etc. Ainsi les expressions précédentes ((3.4) et (3.6)) peuvent être représentées comme suit (respectivement (3.7) et (3.8)). Des copies d'écran sont fournies dans l'annexe D, page 71.

$$L_1 = L_0 \cdot Q \quad (3.7)$$

$$L_1 = L_0 \cdot \sqrt{1 - F} \quad (3.8)$$

Afin de les différencier d'une éventuelle variable portant le même nom (comme  $F$  qui pourrait représenter une force par exemple en mécanique) nous avons 2 possibilités : l'une consiste à utiliser le point 7 pour les différencier (en effet on a vu que les codes braille mathématiques sont très majoritairement des codes à 6 points (2.3.3)). Une autre technique consiste à faire précéder le symbole mnémotechnique par un préfixe (un symbole braille donné).

Nous avons du adapter notre modèle de représentation des expressions mathématiques. De même les convertisseurs permettant de transformer ces expressions en braille mathématique, qui seront évoqués dans la section 3.3.1, ont été adaptés à la présence de tronçons ou de leurs mnémotechniques.

### 3.1.2.2 Manipulations d'expressions mathématiques [17] (MaWEn, seconde partie)

L'étude présentée dans la section précédente permet de faciliter la compréhension d'une expression mathématique, mais cela n'est pas suffisant et nous avons voulu aller beaucoup plus loin dans le projet MaWEn. En effet, comme nous l'avons évoqué dans la section 2.3.3, s'il est bien sûr indispensable de pouvoir comprendre la sémantique d'une expression mathématique, il est

tout aussi indispensable de pouvoir manipuler ces formules, afin de réaliser des calculs. Le même type de problème, dû au manque de vision globale de l'expression, se pose dans ce cas.

Avec Bernhard Støger<sup>21</sup>, au sein de notre équipe franco-autrichienne, nous avons conduit des études de cas de manipulations « classiques » réalisées couramment sur des expressions. Par exemple le développement du produit de deux sommes de termes, la simplification qui suit généralement ce développement, ou la simplification de fractions *etc.* [17] présente en particulier une analyse de la manière dont les personnes n'ayant pas de handicap lié à la lecture procèdent pour développer un tel produit, comme  $(3a + 5b + 6c) \times (4a + b - 3c)$ , puis le simplifier. Les problèmes rencontrés par les étudiants aveugles sont ensuite étudiés. Cette étude nous a permis d'isoler un certain nombre de difficultés auxquelles l'utilisateur doit faire face, comme par exemple la nécessité de faire des « sauts » continuellement entre la ligne contenant le problème et celle du résultat.

À partir de cette analyse, nous avons proposé des fonctionnalités permettant d'apporter aux utilisateurs une assistance technique, portant sur les contraintes liées au système de notation mathématique, sans pour autant résoudre le problème mathématique à leur place. Nous avons ensuite implémenté ces fonctionnalités dans des prototypes d'assistants afin de les évaluer en présence d'utilisateurs aveugles. Dans le cadre du projet Micole ces prototypes ont été évalués avec des élèves de lycée en Autriche. Le protocole d'évaluation comprenait des tâches similaires à effectuer avec les outils traditionnels ou avec nos prototypes. Le protocole comprenait des questionnaires pour les élèves et leurs enseignants, ainsi que des mesures du temps nécessaire à la résolution des tâches proposées. Les résultats ont montré que pour les tâches simples, pour lesquelles il est aisé de mémoriser l'ensemble du problème à résoudre, les prototypes n'ont été d'aucune utilité. Ils ont même ralenti le processus chez certains sujets. En revanche pour les expressions plus complexes, les temps de résolution ont été fortement diminués. Tous les résultats ainsi que le détail des expressions et des protocoles ont été publiés dans un livrable du projet Micole [45] et seront intégrés dans le manuscrit de thèse de Bernhard Støger.

Un exemple d'une telle fonctionnalité consiste à permettre à l'utilisateur de sélectionner un terme dans une somme et à le déplacer vers la droite ou vers la gauche, tout en gérant les signes (de façon à ne pas se retrouver avec des « +- », ou avec des termes non séparés par un signe par exemple). Un fois que les termes qui peuvent être simplifiés ont été regroupés par l'utilisateur, ce dernier pourra les additionner. C'est bien l'utilisateur qui déplace les termes, et qui effectue l'addition, et le système n'offre qu'une fonction de support. Une autre façon de faire face à ce problème consiste à proposer à l'utilisateur de pouvoir marquer les termes qui ont déjà été traités. En fait ces deux options ne sont pas contradictoires et nous sommes convaincus qu'elles devraient être présentes conjointement dans un logiciel d'aide au calcul destinées aux personnes ayant un handicap lié à l'écrit.

### 3.1.3 Adaptations d'interactions de jeux vidéo [4, 5]

Dans le domaine des jeux vidéo la première partie de notre démarche a consisté à développer des jeux accessibles, à partir de jeux ou de concepts de jeux existants. Dans le cadre du projet Européen TiM (voir annexe A, page 63), nous avons construit un moteur de jeu adapté, la *Blindstation*, permettant de développer de tels jeux. L'idée était de proposer des modélisations de chaque type d'interaction de jeu d'une façon qui puisse être restituée au joueur en utilisant des périphériques alternatifs. Nous avons mis au point un système de *widgets* permettant de présenter les interactions qu'ils implémentent sur différents périphériques. Nous décrivons la *Blindstation* dans la section 3.4.1. Dans ce projet nous avons travaillé sur une dizaine de jeux, dont nous allons citer 2 exemples : *Mudsplat* et *Lapin Malin-Maternelle 1*. Le travail effectué sur les jeux TiM nous a permis de tirer un certain nombre de conclusions sur les caractéristiques nécessaires à l'accessibilité d'un jeu vidéo qui ont été publiées dans [4, 5, 23].

---

<sup>21</sup> dans le cadre de son travail de thèse.

### 3.1.3.1 Adapter un jeu

L'adaptation consiste à rendre un jeu utilisable par un groupe de joueurs qui ne peuvent pas y accéder dans sa version originale, à cause de limitations qu'il subissent, ces limitations étant ici dues au manque de vision. Il faut donc pour chaque type d'interaction de jeu proposer une interaction alternative, utilisant la ou les modalités auxquelles ces joueurs peuvent avoir accès. Mais cela suppose de respecter deux règles.

**L'adaptation d'un jeu doit conserver l'intention du jeu original.**

*Lapin Malin* est un jeu destiné à de très jeunes enfants. Il est composé d'une dizaine d'activités parmi lesquelles nous en avons adapté quatre en utilisant les ressources originales du jeu, qui nous avaient été fournies par l'éditeur lui-même. Ce chiffre paraît faible et pour plusieurs des activités que nous n'avons pas adapté, nous avons trouvé des solutions permettant d'utiliser ces mêmes ressources originales et de faire un jeu accessible. Mais ce dernier n'aurait pas été pertinent car trop éloigné de l'esprit du jeu initial. Il nous est apparu que l'adaptation d'un jeu doit rester fidèle au jeu original. Rien n'empêche bien sûr de construire un autre jeu accessible à partir de ces ressources mais cela sort du cadre de l'adaptation.

**Un jeu adapté doit d'abord être un jeu !**

Cette phrase paraît d'une évidence rare et pourtant elle mérite qu'on s'y arrête un instant. Dans d'autres situations d'adaptation, on n'a pas forcément la même exigence. Dans une situation de travail, des adultes vont accepter d'importantes contraintes concernant l'utilisabilité des outils qu'ils utilisent afin de pouvoir travailler directement sur les mêmes documents que leurs collègues. Pour prendre un exemple simple, la façon la plus aisée pour une personne aveugle de présenter des documents est certainement d'utiliser un format comme  $\text{\LaTeX}$ . En effet lorsqu'on édite du code  $\text{\LaTeX}$  les attributs de mise en forme demeurent en clair dans le code. Par exemple pour mettre en gras le mot « jeu », on doit écrire `\textbf{jeu}`. En revanche dans un traitement de texte de type WYSIWYG, ces attributs n'apparaissent plus que de façon graphique sur l'écran. Dans l'exemple précédent le mot est affiché en gras, et une personne n'ayant pas accès à l'écran ne peut pas retrouver ces informations de façon simple (il lui faut sélectionner le mot puis aller dans la boîte de dialogue « Format de caractères » pour voir quels sont ses attributs). Néanmoins, à moins qu'ils ne travaillent dans un milieu scientifique où  $\text{\LaTeX}$  est largement utilisé, les utilisateurs handicapés visuels font de gros efforts pour utiliser les mêmes logiciels de traitements de texte que leurs collègues, c'est-à-dire finalement pour que les personnes valides autour d'eux n'aient pas à faire d'efforts pour partager des documents avec eux.

Dans le cas de jeunes enfants jouant à un jeu vidéo, la motivation d'utiliser le même logiciel que les autres n'est pas aussi forte, et même si on peut trouver des solutions techniques pour adapter chaque type d'interaction de jeu, ces adaptations doivent conserver les caractéristiques d'un jeu, et en particulier être aussi intéressant, aussi amusant et aussi facile à utiliser.

### 3.1.3.2 Compenser le manque d'information visuelle

A partir des ressources originales de *Lapin Malin* nous avons fait plusieurs prototypes que nous avons été testé avec des enfants aveugles et malvoyants, dont certains ont des handicaps associés, au sein des établissements spécialisés dans lesquels ils sont accueillis. Dans l'une des premières versions jouables, c'est-à-dire qui permettait de réussir les différentes activités, la restitution sonore était strictement celle du jeu initial et les commandes avaient été adaptées pour être effectuées sur une planche tactile (on trouvera sur la figure 3.3 une reproduction de l'écran original de *Lapin Malin* et l'interface tactile que nous avons développé pour ces tests). À la fin d'une période de test (de 15-20 minutes) une petite fille qui avait réussi les différentes activités a demandé : « *Est-ce que le test est terminé ? Est-ce que je peux aller jouer maintenant ?* ». Constat d'échec cuisant !



FIG. 3.3 – *Lapin Malin*, l'interface originale et la planche tactile adaptée

La raison à cela était que tout ce qui se trouvait sur l'écran, et qui n'avait pas été transposé de façon tactile car ce n'était pas nécessaire à l'interaction, manquait pour en faire un jeu. Il s'agissait essentiellement d'animations vidéo. Or l'une des deux principales règles de l'adaptation de jeux, que nous avons évoqué dans la section précédente, est qu'un jeu adapté doit bien évidemment être avant tout un jeu. Ce n'était manifestement pas le cas. Par la suite nous avons demandé à un auteur de littérature enfantine de rédiger des petits textes d'accompagnement, que nous avons fait enregistrer en studio par des acteurs professionnels. Pour compléter l'anecdote précédente ajoutons que l'année suivante tous les enfants ayant testé nos jeux voulaient les ramener chez eux !

### 3.1.3.3 Pertinence des sons

Un autre problème d'adaptation concerne la pertinence des sons. En effet nous avons constaté que le contexte visuel aide énormément à la compréhension d'un son. Par exemple si un lion est présent sur l'écran, quasiment n'importe quel borborygme émis sur le haut parleur pourra être reconnu par le joueur comme étant un rugissement majestueux. Par contre de nombreux enfants ne parviennent pas à le reconnaître sans la vue.

Une solution à ce problème peut consister à remplacer certains des sons du jeu original par des sons de même type mais de meilleure qualité, ce que nous avons fait dans le cas de *Lapin Malin*. Néanmoins cette solution a des limites. Il n'est pas acquis par exemple qu'un enfant aveugle de 6 ans soit capable de différencier un rugissement de lion par rapport à un rugissement de tigre (ce qui ne fut pas un problème dans le cas de *Lapin Malin* car les animaux à reconnaître étaient très différents). Ceci nous amène à une seconde solution, que rien n'empêche d'ailleurs de combiner avec la première, qui consiste à fournir un contexte d'une autre façon que la façon visuelle originale. Cela peut être un accompagnement sonore, ou bien d'autres choses, comme par exemple une histoire ou un poème. Néanmoins la qualité sonore des jeux reste un point très important dans le cas d'un public ayant un handicap visuel !

### 3.1.3.4 Viser

Le concept de viser peut être, dans différents jeux, « décoré » de façons très diverses. Que ce soit un jeu pour très jeunes enfants dans lequel un ours en peluche doit jeter des bonbons aux autres jouets, un jeu de sport dans lequel un basketteur doit lancer un ballon dans un panier ou un jeu de guerre dans lequel l'avatar doit tirer sur tout ce qui bouge, le principe est toujours de viser et de déclencher un tir. Pour illustrer ce type d'interaction de jeu, nous avons développé *Mudsplat*, un jeu d'arcade basé sur le principe du jeu d'arcade classique *Space Invaders*. Dans ce jeu le joueur dispose d'un canon qui se déplace latéralement en bas de l'écran et est confronté à des ennemis arrivant par lignes depuis le haut. Plus le temps passe et plus le nombre d'ennemis présents au même moment est important. De plus des objets *Bonus* apparaissent et permettent d'obtenir plus de points, ou des vies supplémentaires, ou un armement amélioré *etc.* Nous avons

étudié la transposition de ce jeu de façon purement sonore. Dans *Mudsplat* le joueur se trouve face à des monstres boueux. Équipé d'une lance d'arrosage il doit les repousser en les aspergeant. Les monstres sont situés sur une ligne face au joueur et celui ci peut les entendre plus ou moins fort, à sa droite ou à sa gauche — en utilisant un effet stéréophonique, et estimer leur distance. Il peut alors se déplacer latéralement et actionner sa lance d'arrosage lorsqu'il se trouve face à un ennemi. Nous avons conservé les caractéristiques des jeux d'arcade : nombre d'ennemis simultanés croissant, objets bonus, organisation en niveaux, groupes de niveau terminés par un *Boss* c'est-à-dire un ennemi plus puissant et plus difficile à combattre que les autres.

Nous avons fait des tests avec des utilisateurs afin de déterminer le nombre d'objets sonores discernables simultanément, selon différents modèles. Nous avons constaté au cours de ces tests qu'on augmentait considérablement les résultats en décalant légèrement l'attaque du son représentant chaque monstre dans le temps, de façon à ce qu'ils ne démarrent pas tout à fait au même moment. Ce dernier point est confirmé par [MB04] dans une étude sur les *earcons*, qui montre que plusieurs *earcons* simultanés peuvent être correctement identifiés si cette condition est respectée. Les *earcons* sont des sons abstraits et synthétiques, auxquels les sons de nos monstres, même si ces derniers ne sont pas tout à fait abstraits — ce sont des sons enregistrés et modifiés de façon à les rendre un peu inquiétants —, ils peuvent leur être assimilés, au moins en ce qui concerne cette propriété.

Les niveaux de jeux successifs suivent une progression qui permet au joueur d'apprendre à reconnaître les objets qui lui sont présentés, à les localiser et à les viser. Au début du jeu seul un objet sonore se trouve face au joueur, mais très vite les monstres arrivent à plusieurs (jusqu'à 5), et des objets bonus se déplacent à l'arrière. À la fin de chaque série de 5 niveaux un *Boss* arrive, il est beaucoup plus difficile à éliminer que les autres car il se déplace et nécessite d'être atteint plusieurs fois. Au fur et à mesure de la progression dans le jeu, la musique de fond évolue aussi. Au début elle est très discrète, pour devenir de plus en plus présente au fur et à mesure du jeu et augmenter la difficulté.

### 3.1.3.5 Représentation linéaire d'un plateau de jeu à deux dimensions [16, 48]

Avec Alexis Sepchat<sup>22</sup>, nous avons étudié la façon dont on peut représenter un plateau de jeu à deux dimensions sur un afficheur braille linéaire [16, 48]. Deux jeux classiques basés sur le principe du labyrinthe et sur celui du serpent ont été développés. L'idée de départ est de représenter une ligne (respectivement une colonne) sur l'afficheur braille. L'utilisateur, à l'aide de touches dédiées peut alors déplacer verticalement (resp. horizontalement) cette ligne (resp. cette colonne). Le principal problème rencontré par les joueurs est le manque d'information sur les cellules contiguës verticalement, alors qu'on a un accès direct aux cellules contiguës horizontalement (et *vice versa* dans le cas d'une présentation par colonnes). Nous avons exploré différentes solutions, utilisant le son d'une part — mais la précision n'est pas suffisante —, et d'autre part utilisant des agencements différents des cellules du plateau sur l'afficheur. Des solutions très prometteuses permettant de représenter, plutôt qu'une ligne ou une colonne, la zone autour de l'avatar sur le terminal braille ont été mises au point. On trouvera sur la figure 3.4 les zones du plateau représentées sur l'afficheur braille dans les trois situations suivantes : une ligne, une colonne, et enfin les huit cellules autour de la position courante de l'avatar.

Dans ce dernier cas il y a différentes façons de projeter ce groupe de cellules sur l'afficheur braille. La figure 3.5 montre plusieurs solutions testées. On a représenté à chaque fois la position relative de chaque cellule braille (0 indiquant la première) sur la zone d'affichage. La première consiste en le simple affichage de trois lignes de trois cellules successivement sur le terminal, ce qui pose le problème que peu de cellules contiguës dans l'espace le sont sur le terminal. Les suivantes ne montrent pas la position de l'avatar lui même qui est inutile car le principe n'est pas de localiser l'avatar dans l'environnement complet mais de donner un aperçu de son

---

<sup>22</sup> dans le cadre de son projet de fin d'études à l'école Polytech'Tours.

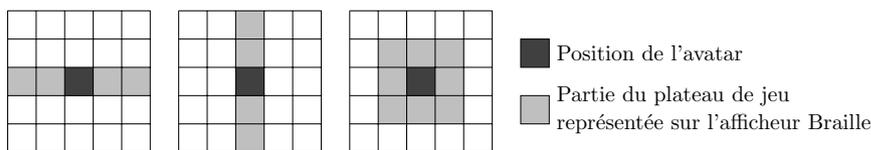


FIG. 3.4 – Représentation d'un espace 2D sur une ligne braille

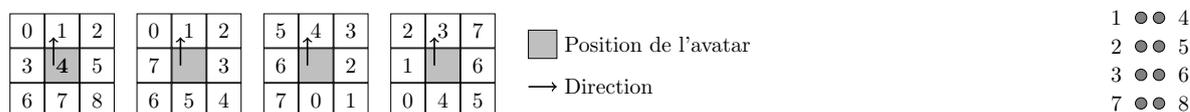


FIG. 3.5 – Ordre de représentation

Agencement des points braille

environnement. Les secondes et troisièmes représentent l'espace environnant de façon circulaire. Différentes solutions ont été testées dans les deux sens possibles, et en commençant à différentes positions par rapport au sens de déplacement de l'avatar. Enfin, le dernier exemple de la figure a été construit en observant la façon dont les personnes aveugles explorent une image tactile avec leurs deux index, en partant du centre vers les côtés. En partant du centre de l'afficheur, l'index gauche explore ce qui est supposé être devant l'avatar puis sur le côté gauche, en tournant vers l'arrière alors que l'index droit explore ce qui est derrière l'avatar puis sur le côté droit en tournant vers l'avant.

Enfin la possibilité de n'utiliser qu'une partie de la cellule braille (de huit points, voir l'agencement des points braille, figure 3.5) pour représenter une cellule, et de réserver certains points pour donner des informations sur l'environnement de la zone représentée a été proposée. Par exemple la ligne courante est représentée par les quatre points au centre de la cellule braille (points 2, 3, 5 et 6) alors que les points du haut (points 1 et 4) représentent avec un codage différent la ligne supérieure, et de même les points du bas (7 et 8) représentent la ligne inférieure.

Différents tests ont été effectués, avec des utilisateurs de différents contextes. Tout d'abord la validation du modèle de représentation braille a été effectuée par des spécialistes du domaine : des professionnels ayant une connaissance du braille et de l'interaction non visuelle, et des brailleuses ayant un niveau très avancé en informatique. Enfin la « jouabilité » des jeux eux mêmes, avec des joueurs aveugles de différents âges.

### 3.1.3.6 Adaptation du principe d'auto-apprentissage dans les jeux audio [35, 11]

Dans sa thèse [Gau08], Thomas Gaudy s'est intéressé au principe d'auto-apprentissage des jeux vidéo. En effet dans les jeux vidéo classiques, les instructions sont incluses, sous forme implicites dans les premiers niveaux de jeux qui servent ainsi d'entraînement et qui doivent être attractifs pour inciter le joueur à continuer de jouer [Nat04]. L'un des défauts des jeux spécifiques, principalement des jeux audio, réside dans l'absence ou la faiblesse de système d'auto apprentissage, ce qu'il place à l'origine du fait que nombre d'utilisateurs handicapés visuels ne parviennent pas à bien prendre en main ces jeux, tandis que le public « voyant », souvent demandeur de nouvelles expériences, ne parvient pas à s'y intéresser non plus.

Nous nous sommes demandé s'il est « possible d'inclure un système d'auto apprentissage permettant un démarrage rapide de la partie dans un jeu sonore accessible pour les personnes non voyantes ? » [35]. Le joueur doit être en mesure de comprendre le jeu, et d'y progresser, sans avoir à passer par une phase d'apprentissage préalable ou de consignes venant interrompre l'interactivité. En fait la phase d'apprentissage doit être intégrée au début du jeu, de façon implicite. Après avoir étudié de façon approfondie les principes du jeu vidéo et les jeux audio existant [34], plusieurs jeux originaux ont été développés, afin d'expérimenter ces méthodes et en d'évaluer l'efficacité grâce à un protocole expérimental.

Dans le jeu *Pyvox, musical maze*, Aliou le lutin doit gravir, d'étage en étage la *tour des rêves* pour trouver au sommet (au 70<sup>ème</sup>) un trésor musical. Comme dans beaucoup de jeux ce scénario n'est qu'un prétexte pour fournir un cadre justifiant les principes d'interaction utilisés par ce jeu. Chaque étage correspond à un niveau ayant une entrée et une sortie que le joueur doit trouver pour passer au niveau suivant. Pour cela il doit déplacer le lutin en utilisant un déplacement absolu à quatre touches correspondant aux quatre directions, et les sorties émettent un son particulier. Les niveaux sont de difficultés croissantes et les premiers ne comportent pas d'obstacles. Plus le joueur avance plus les niveaux sont complexes avec l'apparition de murs, d'obstacles puis de pièges, *etc.* On trouvera en annexe quelques exemples de niveaux proposés (voir Annexe C, page 69).

Dans le premier niveau par exemple, quelque soit la direction dans laquelle le joueur se déplace, il trouvera une sortie en deux mouvements. Le deux suivants sont sur le même principe mais la distance est plus grande. Le joueur entendra donc le son émis par les sorties de façon de plus en plus faible au second puis au troisième niveau. Ensuite arrivent des niveaux dans lesquels le labyrinthe n'est qu'un couloir, orienté de façons différentes. Puis viennent des coudes, *etc.* Ainsi le joueur peut progresser dans le jeu sans avoir à étudier un manuel au préalable. Enfin les bruitages et mélodies évoluent tout au long du jeu de façon à ne pas lasser le joueur, et à augmenter encore la difficulté.

Dans le premier protocole d'expérimentation, une comparaison est menée entre des joueurs ayant des explications verbales et des joueurs n'ayant aucune explication verbale. Le résultat est que les premiers réussissent beaucoup mieux que les second, c'est-à-dire vont beaucoup plus loin dans le jeu avant d'être bloqués par un niveau et d'abandonner. Néanmoins en améliorant le système, et en analysant finement les problèmes rencontrés par les joueurs, une seconde version du jeu, *Pyvox 2, more musical mazes* [11] montre qu'un système d'auto apprentissage non explicite est possible. Même si tous les joueurs cette fois encore n'atteignent pas tous le même niveau, il semble que l'ensemble des joueurs ait correctement compris les règles du jeu.

D'un point de vue concret les deux aspects qui nous semblent les plus importants, et qui corroborent des aspects observés dans le projet TiM sont le feedback immédiat et explicite sur les mouvements du joueur (la modification de l'environnement sonore induite par le déplacement n'est pas suffisante, il faut des bruits de pas ou un son spécifique apportant cette information), et d'autre part la richesse des sons proposés en guise d'encouragement à chaque réussite est extrêmement importante, comme on l'a vu il y a quelques pages à propos de *Lapin Malin*.

Par la suite une troisième version de ce jeu a été développée, introduisant une dimension multi-joueur de type collaboratif. Deux joueurs partagent le même environnement et donc se retrouvent face aux mêmes difficultés pour comprendre le jeu, l'absence de consignes explicites favorise alors les échanges directs entre eux et ainsi leur compréhension du jeu.

## 3.2 Collaboration et Interfaces transmodales synchronisées

De tous temps les personnes handicapées aspirent à participer aux mêmes activités que les personnes valides, et la technologie peut les y aider. Ce n'est bien sûr pas suffisant (voir chapitre 4, page 45) mais nous espérons que les outils auxquels nous travaillons peuvent y contribuer. L'un des aspects essentiels de notre travail, que nous avons implémenté dans nos applications mathématiques, réside dans la notion de transmodalité synchronisée qui permet à plusieurs utilisateurs d'accéder de façon simultanée au même contenu et d'agir sur ce contenu de façon perceptible aux autres utilisateurs en temps réel.

### 3.2.1 Affichage et pointage transmodal des expressions mathématiques [9]

Pour permettre à un élève braille de suivre une scolarité en école ordinaire, il est nécessaire de proposer des outils permettant à l'entourage de cet élève d'accéder à son travail. Les enseignants

de classe ordinaire, les autres élèves, et même les parents<sup>23</sup> ne sont pas supposés connaître le braille mathématique. Les prototypes que nous avons développés (voir section 3.1.2.1) proposent deux vues simultanées et synchronisées dans deux modalités différentes, l'une sur afficheur braille et l'autre sur l'écran graphique.

Dans le cas de l'élève, les avantages d'utiliser un afficheur braille sont multiples :

- d'abord contrairement à la synthèse vocale il ne perturbe ni la classe (dans le cas d'une diffusion sur un haut-parleur) ni l'interaction entre l'élève handicapé et la classe (dans le cas où celui-ci utilise un casque, l'isolant des autres élèves) ;
- il permet d'éditer de façon beaucoup plus aisée que la voix ;
- même si cela reste une modalité globalement linéaire, le braille permet une vue — limitée — dans l'espace (le lecteur peut aller et venir sur la ligne) ;
- enfin les boutons de curseur permettent de pointer un symbole de façon très précise.

En ce qui concerne le code braille à utiliser, il est important d'utiliser le code le mieux connu de l'élève. En général l'apprentissage d'un code mathématique braille est difficile et il serait franchement déloyal de les obliger à apprendre une nouvelle notation. De même pour la vue destinée à l'entourage « voyant » de l'élève aveugle, il est important de proposer une représentation graphique correspondant à leur représentation naturelle des expressions, c'est-à-dire une représentation graphique standard, bi-dimensionnelle.

Ces deux vues doivent être totalement synchronisées, ce qui implique qu'elles soient mises à jour simultanément en cas de modification, et que les sélections puissent être visibles sur chacune des deux vues. Étant donné la limitation de taille des afficheurs braille (30 à 40 cellules le plus souvent comme on l'a vu en introduction), seule une vue partielle de l'expression est le plus souvent affichée en braille, le lecteur doit déplacer la zone qu'il perçoit pour parcourir l'expression, à l'aide de touches dédiées. Il est important que dans ce cas la partie de l'expression présente sur l'afficheur braille soit matérialisée clairement sur l'écran graphique. Dans le prototype MaWEn, nous affichons cette zone sur un fond de couleur différente.

Bien que les questions d'intimité ne soient pas pertinentes en situation d'enseignement, l'enseignant à de même accès à tous les cahiers des autres élèves, il convient que cette synchronisation puisse être désactivée, afin de permettre le bon déroulement des contrôles par exemple.

Le prototype permet aussi de synchroniser la position du pointeur, ce qui permet à l'élève de montrer un symbole sur l'écran, en activant simplement le bouton de curseur correspondant sur son afficheur braille. Le symbole est immédiatement matérialisé sur l'écran, avec un encadré de couleur. À l'inverse l'enseignant peut pointer un symbole avec la souris sur l'écran, qui sera de même matérialisé sur le terminal braille, grâce à un soulignement clignotant (les points clignotants sur l'afficheur braille sont en général à proscrire car ils sont difficiles à lire, mais dans ce cas l'avantage est que le mouvement vertical des picots dans leur matrice émet un son qui permet à l'élève de les localiser facilement) Ce système de pointage, que nous appelons pointage transmodal, est illustré dans l'annexe D, page 71.

La synchronisation est bien sûr compatible avec les fonctions de fermeture/ouverture de branches de l'expression mentionnées en section 3.1.2.1. D'autre part bien sûr ces fonctions de synchronisation et de pointage transmodal sont supportées grâce au modèle *MaWEn* (3.4.3).

### 3.2.2 Jeux collaboratif et compétitifs [12]

Dans le cas des jeux vidéo, il s'agit de permettre à des joueurs porteurs de handicap et à des joueurs valides, ou à des joueurs porteurs de handicaps différents de participer au même jeu. En considérant un jeu pour lequel différentes adaptations ont été réalisées, il reste très difficile de les faire jouer ensemble dans le même jeu, car la nature de l'interaction reste souvent très différente, et du coup il devient très difficile d'adapter les niveaux pour que le jeu soit équitable. Pour

---

<sup>23</sup>Si la plupart d'entre eux sont capables de lire du braille littéraire intégral, très peu accèdent à l'abrégé et encore moins au braille mathématique.

le même type de raisons d'ailleurs, dans le domaine du sport « réel », les athlètes handicapés concourent dans des épreuves différentes, et il y a bien souvent une catégorie pour chaque type de handicap<sup>24</sup>.

L'une des solutions est de faire jouer les joueurs de façon collaborative plutôt que compétitive. En effet dans ce cas il n'est pas nécessaire d'essayer d'étalonner les niveaux des différentes interfaces. [GSGS06] propose le concept d'univers de jeu parallèles (« *Parallel Game Universes* »). Les joueurs jouent en fonction de leurs capacités, par l'intermédiaire d'interfaces adaptées, dans des univers de jeu parallèles, qui sont finalement affichés dans la même interface graphique. Une idée séduisante est aussi de construire un jeu dans lequel des compétences diverses de plusieurs joueurs sont nécessaires, incluant des compétences pouvant être spécifiques à des personnes handicapées. Cette idée n'est néanmoins pas facile à appliquer, et il faut un scénario de jeu construit sur mesure.

À partir de ces idées, nous proposons dans [12] un modèle combinant compétition et collaboration. Le jeu *Tampokme*<sup>25</sup> peut être manipulé par différents joueurs (jusqu'à quatre), avec le clavier ou un simple contacteur<sup>26</sup>. Le jeu est accessible à des joueurs pouvant avoir un handicap visuel ou d'importantes limitations motrices, voire les deux à la fois, et reste intéressant pour des personnes valides, grâce au travail des étudiants de l'ENJMIN<sup>27</sup> qui ont implémenté le jeu et en ont amélioré le gameplay, le rendant plus attrayant pour les personnes valides et handicapées.

L'aspect compétitif de *Tampokme* réside dans le fait que les joueurs ont un décompte de points individuels, et peuvent comparer leurs résultats entre eux, s'émuler mutuellement. Le gameplay, très simple, permet aux utilisateurs de concourir de façon équitable qu'ils soient porteur de handicap ou non, et quelque soit leur handicap. Dans le même temps les joueurs doivent collaborer et s'entraider pour passer les niveaux. Les joueurs sont tous dans le même espace de jeu et chaque niveau ne peut être passé que lorsque tous les joueurs l'ont terminé.

Le jeu a été testé par de nombreux joueurs et il est aujourd'hui distribué. De nombreux témoignages favorables et très favorables ont été laissés et il a permis à des joueurs aveugles, malvoyants, handicapés physiques et valides de jouer ensemble et d'y prendre beaucoup de plaisir. En appliquant les principes étudiés dans la section 3.1.3.6, les joueurs peuvent apprendre à jouer sans avoir à lire un manuel au préalable. Ils reçoivent des instructions progressivement pendant les premières minutes de jeu, néanmoins ces instructions sont langagières et doivent donc être traduites et enregistrées pour chaque langue. Le nombre de phrases à traduire est cependant très faible (une quinzaine). À ce jour il existe des versions française et anglaise.

### 3.3 Transcriptions

Comme on l'a vu dans la section 2.1.4, les modalités non visuelles utilisées par les interfaces utilisateurs spécifiques ne permettent pas toujours de présenter les contenus désirés à partir des mêmes données que les interfaces standard. Dans certains cas il est nécessaire d'effectuer une transcription, afin de convertir les données disponibles et généralement préparées pour être formatées selon une modalité standard, souvent purement graphique, en données susceptibles

---

<sup>24</sup> Sinon, en prenant l'exemple de la course à pied, les aveugles arriveraient en dernier, alors qu'au delà de 800 mètres, les athlètes en fauteuil roulant sont plus rapides que les valides (le record du monde de marathon est d'1h21 en fauteuil contre un peu plus de 2h pour les valides).

<sup>25</sup> Tampokme — The Audio Multi Players One Key Mosquito Eater — a été développé à l'occasion du concours « *The 2006 DonationCoder.com Accessibility Game Programming Contest* ». Les jeux présentés à ce concours devaient être accessibles à des personnes handicapées visuelles en utilisant seulement le son ou à des personnes handicapées motrices en n'utilisant qu'un seul bouton. *Tampokme* répondait à la fois aux deux catégories.  
<http://www.donationcoder.com/Contests/age>

<sup>26</sup> Un contacteur ou *switch* est un périphérique très simple qui permet à un utilisateur ayant une capacité motrice restreinte d'interagir par pression. La sensibilité est réglable et peut être extrêmement fine, et la forme circulaire et très large permet de le placer à l'endroit le plus adapté pour l'utilisateur (le genou, l'arrière de la tête, etc).

<sup>27</sup> École Nationale du Jeu et des Médias Interactifs Numériques. <http://www.enjmin.fr>

d'être reproduites selon la modalité spécifique. La définition de *transcription* donnée dans le trésor de la langue française<sup>28</sup> est la suivante : « *Reproduction exacte par écrit à l'aide d'autres signes, d'un système de notation différent, d'un autre code* ». Dans le cas du braille, on parle de transcription en braille lorsqu'on produit un document en braille à partir d'un ouvrage en noir.

Cette reproduction doit donc, par définition, être exacte, c'est-à-dire qu'on ne devrait pas perdre d'information. Dans le cas de texte pur, comme un poème ou un roman, la transcription est quasi immédiate. Mais dans la pratique ce n'est malheureusement souvent pas aussi simple et ne pas perdre d'information n'est pas toujours possible. Par exemple lorsqu'un ouvrage contient des illustrations, elles peuvent toujours être décrites mais il n'est souvent pas possible de refléter toute la richesse d'une photographie ni de décrire parfaitement un graphique. Le travail du transcripateur est de s'attacher à la fonction de l'illustration, et d'en donner une description très contextualisée. En ce sens une même photographie présentée dans des documents relatifs à des sujets différents pourrait avoir des descriptions différentes. Un aspect qui est pratiquement systématiquement perdu lors d'une transcription braille est la présentation.

Dans le cas des codes braille mathématiques la transcription se doit d'être très précise, afin de ne pas altérer le sens mathématique. Cela implique parfois des concessions. Un exemple courant concerne la distinction entre produit et application de fonction. Considère l'expression suivante :  $a(x + 1)$ . Elle peut aussi bien être comprise comme le produit de la constante  $a$  par la somme  $x + 1$  que comme l'application à  $x + 1$  d'une fonction d'accélération  $a$ . Dans le cas du braille mathématique cela ne pose pas de problème, car l'ambiguïté est maintenue et les deux cas s'écrivent de la même façon aussi bien en braille qu'en noir. Par contre si l'on souhaite faire une transcription en vue de faire prononcer cette expression par une synthèse vocale, on aimerait pouvoir les distinguer en proposant selon le cas « *a facteur de x plus un* » ou « *a de x plus un* ». On se contentera bien souvent de proposer « *a, début de parenthèse, x plus un, fin de parenthèse* », laissant au lecteur le soin de choisir, mais c'est plus long et la compréhension est moins immédiate.

### 3.3.1 Braille Mathématique [1, 3]

Lors du projet Vickie (voir section A, page 64) [26, 27], nous avons commencé à travailler sur un transcripateur multilingue permettant de transcrire des documents MathML vers les codes braille mathématiques des pays participant à ce projet : le code français, le code italien et le code britannique. À l'occasion de la conférence HCI'2003, où nous présentions la première version de ce transcripateur [38], nous avons constitué avec des collègues Européens et Américains un groupe de recherche, intitulé *International Group for Universal Maths Access*<sup>29</sup>. L'année suivante nous avons démarré le projet UMCL — *Universal Maths Converter Library* [1]. Il s'agissait de généraliser notre transcripateur à toutes les notations mathématiques existantes, en laissant à chaque membre le soin de s'occuper du code braille utilisé dans son pays.

La motivation à l'origine d'UMCL réside dans le fait que de nombreux projets ont été réalisés dans le domaine de l'accès au mathématiques depuis une dizaine d'années, mais tous les projets qui concernent le braille mathématique sont limités à un code braille spécifique. Par exemple [BMS98] présente un excellent transcripateur de documents  $\text{\LaTeX}$  vers braille, capable de traiter des documents complets incluant texte et expressions mathématiques. Il n'est malheureusement utilisable qu'à l'intérieur de la zone d'influence du braille allemand *Marburg*<sup>30</sup>, car les expressions mathématiques sont transcrites dans ce code. Ce transcripateur répond parfaitement aux besoins exprimés localement lors de son développement. Si les auteurs avaient disposé d'une librairie

---

<sup>28</sup>Le trésor de la langue française informatisé, CNRS, Université Nancy 2. <http://atilf.atilf.fr>

<sup>29</sup>Le groupe iGUMA était composé à l'origine de : UPMC-Paris 6, Johannes Kepler Universität Linz — Autriche, Dublin City University, New Mexico State University, University of Texas at Dallas, University of South Florida at Lakeland. L'université de Kyushu — Japon et l'Université de San Francisco les ont rejoint depuis.

<sup>30</sup>Soit une partie de l'Allemagne et de l'Autriche — il existe en effet plusieurs codes brailles mathématiques en langue allemande.

comme UMCL, ils auraient pu découpler la partie mathématique du reste et implémenter leur transcription en *Marburg* au sein de cette librairie, puis utiliser cette librairie dans leur application. Ainsi sans frais supplémentaires, l'application aurait pu fonctionner pour tous les codes mathématiques présents dans la librairie.

L'architecture d'UMCL, présentée dans [22], consiste en un module principal dont le rôle est de sélectionner les éléments à utiliser, et d'effectuer les opérations de codage/décodage nécessaires. La librairie est articulée autour d'un code central, le MathML. Des modules d'entrée et de sortie permettent de transcrire les expressions respectivement d'un code d'entrée donné vers MathML et de MathML vers un code de sortie. Le système est conçu pour supporter n'importe quel code en entrée comme en sortie.

Dans [39], nous avons étudié les similitudes et les différences d'un certain nombre de codes braille (français, britannique, italien, *Marburg* et *Nemeth*), et commencé à développer un modèle, basé sur MathML, permettant de simplifier l'implémentation de transcodeurs vers les codes brailles. En effet si ces codes ont des grammaires différentes, basées sur des philosophies très diverses et très liées à la langue dont ils sont issus, ils ont aussi des points communs importants. Nous avons intitulé ce code CMathML pour « *Canonical MathML* » [3] parce qu'il impose, contrairement à MathML, pour chaque structure mathématique, une représentation unique, dite canonique. Ce code est en fait un sous-ensemble de MathML, tous les documents CMathML sont des documents MathML valides, mais le contraire n'est pas vrai. C'est en fait ce code qui est au cœur du modèle de représentation *MaWEn* (cf. 3.4.3) et les transcriptions faites par UMCL supportent pleinement le modèle MaWEn, en particulier les tronçons et entités que nous avons évoqué dans la section 3.1.2.1. D'un point de vue pratique les conversions de CMathML vers le braille sont très rapides, alors que la canonisation d'une expression peut prendre de une à plusieurs secondes, selon sa longueur.

Nous avons développé le module principal, les modules d'entrée pour MathML (permettant de *canoniser* du code MathML en CMathML) et les modules de sortie braille français et braille italien dans le cadre du projet Vickie. Depuis, le module de sortie *Marburg* a été développé par l'Université de Linz et le module de sortie braille britannique par l'Université de Dublin. Finalement avec Pierre Ndiaye<sup>31</sup> nous avons développée le module de sortie *Nemeth*. Enfin nous avons mis au point un module d'entrée pour L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, basé sur Tralics<sup>32</sup>.

UMCL est *Open Source* et les API pour son utilisation comme pour le développement de modules d'entrée et de sortie ont été publiées. Le module principal est développé en C standard et des wrappers permettent de l'utiliser dans différents langages. De même les modules d'entrée et de sortie peuvent être développés dans différents langages, mais les modules actuellement disponibles sont implémentés sous la forme de feuilles XSLT, appelées depuis un module C.

### 3.3.2 Bibliothèque numérique Hélène [13]

Toujours dans le cadre du projet Vickie, nous avons travaillé sur le serveur Hélène, bibliothèque numérique de l'association BrailleNet, dédiée aux personnes aveugles et malvoyantes. L'objectif de ce serveur est de disposer d'une bibliothèque contenant des ouvrages directement accessibles aux utilisateurs handicapés visuels. Étant donné la grande variété de handicaps visuels, les utilisateurs n'ont pas tous besoin de la même présentation pour accéder aux contenus. Dans le serveur, les ouvrages sont tous stockés à un format pivot, et des outils de transcription automatiques permettent de produire les formats de sortie adaptés aux utilisateurs. L'association BrailleNet a signé des accords avec plus de 80 éditeurs français lui permettant, grâce à un système sécurisé, de placer dans le serveur des ouvrages sous copyright. Le format pivot retenu est le format DTBook.

---

<sup>31</sup> dans le cadre de son stage de Master d'Informatique de l'UPMC-Paris 6.

<sup>32</sup> Tralics : a LaTeX to XML translator, INRIA. <http://www-sop.inria.fr/miaou/tralics>

A partir des ouvrages stockés sur le serveur Hélène à ce format pivot, les utilisateurs peuvent demander de recevoir les ouvrages dans le format qui convient le mieux à leurs possibilités de lecture : des formats d’embossage en braille permettant de produire immédiatement les livres en braille papier, des fichiers PDF à imprimer, que les utilisateurs peuvent paramétrer en fonction de leur vue (taille des caractères, type de police, interlignes, orientation du papier, et un grand nombre d’autres réglages sont possibles), des documents XHTML à consulter en ligne sur un afficheur braille ou en synthèse vocale, des livres audio DAISY. Un ensemble de feuilles XSLT de conversion a été développé pour répondre à ces besoins .

Pour générer les documents au format DTBook, nous avons travaillé dans deux directions. La première, principalement destinée aux éditeurs, consiste à proposer d’inclure la production d’une version DTBook dans la chaîne de production des ouvrages, qui est aujourd’hui fortement basée sur les formats XML. Un certain nombre d’éditeurs ont accepté de fournir au serveur Hélène des ouvrages à un format XML facilement transformable en DTBook. Pour les autres ouvrages, [13, dBB03] décrit une chaîne de production basée sur des outils inclus dans Ms Word (feuilles de style, macros) et feuilles XSLT permettant de convertir automatiquement les fichiers RTF importés sur le serveur.

### 3.3.3 odt2dtbook [7]

Avec Vincent Spiewak<sup>33</sup> nous avons développé une extension d’OpenOffice.org 3.0 permettant d’exporter des documents texte au format DTBook. Cette extension est multi-environnements et a été testée à la fois sous Linux, MacOS, OpenSolaris et Windows.

odt2dtbook est constituée de 2 éléments :

- une librairie indépendante d’OpenOffice.org, capable de convertir un document ODT en DTBook (Du fait de son indépendance cette librairie peut être utilisée par des applications tierces, comme par exemple le *DAISY pipeline*<sup>34</sup>);
- l’extension proprement dite, utilisant ladite librairie, qui installe un item de menu « *Exporter en DAISY* » dans le menu *Fichier* d’OOo. Une fois la commande lancée, le système demande un nom de fichier et un emplacement, puis effectue la conversion.

Le principe de fonctionnement d’odt2dtbook est d’utiliser les styles présents dans le document pour structurer le document au format DTBook. Il est bien évident que l’utilisateur doit avoir utilisé les styles pour marquer au moins la structure (titres de sections, de sous-sections *etc.*). Un certain nombre de styles d’OpenOffice.org sont mappés vers des éléments (*tags*) DTBook. Des styles supplémentaires spécifiques au format DTBook sont ajoutés lors de l’installation (par exemple : *producer note*). L’extension supporte aussi les listes, les notes de bas de page et de fin de document, les numéros de pages, les liens, les images (qui doivent avoir reçu un contenu alternatif<sup>35</sup>) ainsi que les expressions mathématiques qui sont incluses dans le fichier DAISY conformément à la spécification MathML-in-DAISY.

odt2dtbook<sup>36</sup> fournit donc conjointement avec OpenOffice.org une solution complète *Open Source* pour produire des documents DTBook à partir d’un traitement de texte WYSIWYG.

---

<sup>33</sup> dans le cadre de son PSTL (projet en Science et Technologie du Logiciel) au Master d’Informatique de l’UPMC-Paris 6.

<sup>34</sup><http://www.daisy.org/pipeline>

<sup>35</sup> Champ « texte alternatif » disponible dans la boîte de dialogue de format d’image.

<sup>36</sup> odt2dtbook a reçu en septembre 2008 un *Gold Award* du concours international *OpenOffice.org Community Innovation Program* (sponsorisé par SUN Microsystems). Publié en *Open Source*, cette extension a été reprise par l’université de Louvain dans le cadre du projet Européen ÆGIS (<http://www.aegis-project.eu>) et est maintenant connue sous le nom odt2daisy. <http://odt2daisy.sourceforge.net>

## 3.4 Modèles et Accessibilité

Cette dernière partie concerne les modèles de représentation des contenus de type complexe et leur accessibilité. Nous avons vu les types de modalités que nous pouvons utiliser dans des interfaces accessibles à des utilisateurs ayant un handicap lié à l'écrit. Il faut la plupart du temps procéder à une transcription pour permettre de présenter les contenus désirés en fonction de ces modalités. La transcription automatique n'est pas toujours possible et il est souvent nécessaire de disposer de données redondantes pour alimenter chacune des modalités nécessaires. Par exemple un enregistrement audio, fut-il dans une vidéo sur une page Web ou dans un jeu multimédia ne sera pas accessible aux sourds via la modalité audio. Les techniques de reconnaissance de la parole ne permettent pas de transcrire en texte n'importe quel type d'enregistrement, surtout s'il est bruité. Pour permettre de proposer des sous-titres aux utilisateurs concernés il est donc nécessaire que dans les données relatives à cet enregistrement, le texte, se trouve aussi présent dans le document au format texte. Ce qui signifie que le modèle de représentation concerné doit le prendre en compte, d'une façon utilisable par les interfaces spécifiques.

D'autre part, dans le cas des jeux vidéo ou de l'accès aux expressions mathématiques, des contraintes liées à l'interactivité nécessitent elles aussi d'enrichir les modèles. On a vu dans la section 2.2.1 que dans le cas d'un jeu vidéo l'accès à toute l'information présente dans un écran de jeu n'était pas suffisante pour permettre au joueur de réussir car le temps d'accéder à toute cette information et de la comprendre, dans le cas d'un jeu d'action, il aura perdu !

### 3.4.1 Blindstation [15]

L'un des objectifs opérationnels du projet TiM [20] était de développer un outil permettant de créer facilement des jeux adaptés à notre groupe d'utilisateurs : les enfants aveugles ou malvoyants. Nous avons développé un moteur de jeu spécialisé, la *Blindstation*, qui a la particularité d'être indépendant de la modalité [25]. Les scénarii des jeux sont indépendant des périphériques utilisés par le joueur, c'est à dire qu'il y a une séparation totale entre scénario de jeu et ressources multimédia (voir architecture figure 3.6). Les concepts manipulés dans les scénarii sont totalement abstraits et reliés aux périphériques réels par des feuilles de style, qui associent ces ressources aux périphériques réellement utilisés au moment du jeu. Les feuilles de styles sont en fait des documents XML, correspondant à notre DTD (`bs.dtd`, la DTD *Blindstation*). C'est là

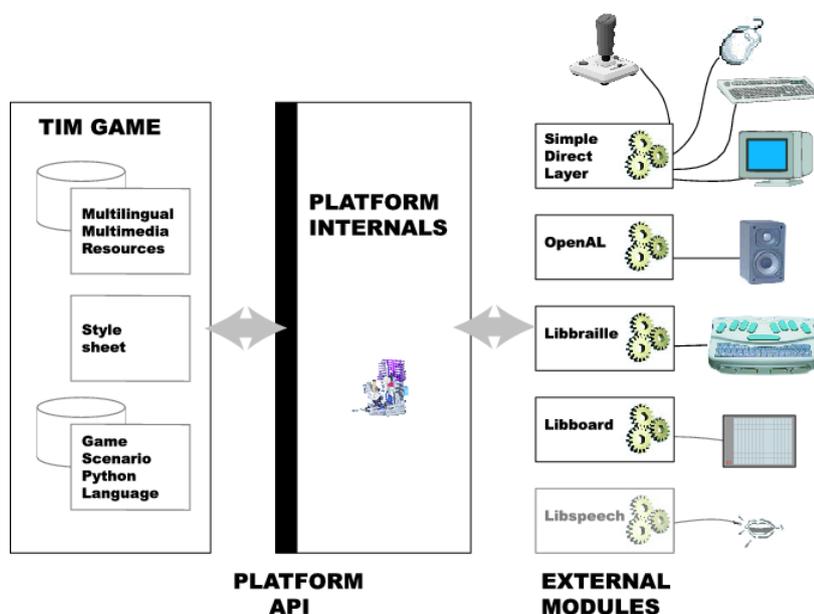


FIG. 3.6 – *Blindstation* — architecture

que les données relatives à toutes les modalités nécessaires sont regroupées : contenus des textes, images, sons, alternatives diverses, propriétés de ces informations (couleur, position, taille *etc.*). De plus les feuilles de style permettent de localiser chaque ressource, ce qui facilite le développement de jeux multilingues.

Considérons par exemple un bouton de commande. Le scénario du jeu manipule un composant abstrait de type bouton. Il peut l'insérer dans l'interface ou le retirer, le rendre actif ou inactif, et implémenter les actions à réaliser lorsque celui-ci est pressé. Par contre ni sa forme, ni ce qui est écrit dessus ou sa couleur, ni même sa position ne sont connus du scénario. Lorsque le moteur de jeu exécute le jeu il va chercher dans la feuille de style, grâce à un identificateur, les données correspondant aux périphériques utilisés : le texte ou l'image qui doit être affiché sur le bouton, un texte alternatif pour le braille, éventuellement un autre pour le zoom, des informations d'ordre graphique pour l'afficher sur l'écran (position, couleur, police et couleur des caractères, *etc.*). Dans la feuille de style il n'est pas nécessaire de renseigner tous les champs (un bouton peut ne pas avoir de texte et seulement une image pour l'écran, mais il ne pourra pas se passer dans ce cas d'alternatives, par contre un autre bouton ayant un simple texte court, facile à afficher en braille ou à agrandir ne devra pas nécessairement renseigner les champs d'alternatives). D'autre part, un système d'états permet de définir plusieurs formes pour chaque composants, afin de pouvoir en changer l'aspect ou le texte facilement et rapidement, en fonction de situations de jeux variées. On trouvera en annexe E, page 73 un extrait de code XML correspondant à un bouton.

Les scénarii sont écrits en langage *Python*, et utilisent une API que nous avons développé en *C* et en *Python*, et qui implémente les différents composants. Nous avons aussi développé des bibliothèques de programmation dédiées aux périphériques dont nous avons besoin, et pour lesquelles rien n'existait alors (libbraille<sup>37</sup> est un système de pilotes d'afficheurs braille, libboard est l'équivalent pour les tablettes tactiles).

Différents types de composants sont disponibles et leur point commun est l'indépendance de leur représentation :

- composants fondamentaux : *widget* (correspond aux composants classiques d'une interface graphique : boutons, labels, canevas *etc.*), *source* (sources sonores, qui peuvent être placées dans l'espace et auxquelles on peut envoyer des sons ou des files de sons) et *timer* ;
- composants de haut niveau : ils correspondent à des entités fréquemment utilisées dans les jeux vidéo, comme par exemple *player* ou *navigator* ;
- composants de scénario : *scene*, *game*.

Pour donner un autre exemple, le composant de type *navigator* peut être utilisé aussi bien pour diriger un avatar que pour se déplacer dans un menu. Il supporte les entrées depuis le clavier, la souris ou tous types de manettes de jeux.

La *Blindstation* nous a permis de réaliser un certain nombre de jeux de test<sup>38</sup> et de valider le modèle en testant ces jeux avec d'une part des experts (adultes aveugles ayant de bonnes connaissances techniques, éducateurs et enseignants spécialisés, *etc.*) et d'autre part avec des enfants concernés, dans différents lieux (et pays).

Par la suite, avec Arnaud Puret<sup>39</sup> [14] nous avons proposé un générateur de jeux audio/-tactiles permettant de créer des contenus pour l'un des jeux de TiM : *FindIt!*. Il s'agit d'un jeu d'association, dans lequel on demande au joueur d'associer un son avec une représentation tactile ou visuelle (voir figure 3.7). Dans l'exemple présenté, les sons sont des enregistrements de chats : l'un ronronne, l'autre souffle, *etc.* Des enregistrements de voix ajoutent des commentaires

---

<sup>37</sup>libbraille [47] propose une API permettant d'accéder à une cinquantaine de modèles d'afficheurs braille différents via une quinzaine de pilotes, la majorité des afficheurs est détectée automatiquement. libbraille est multiplateforme et distribué en *Open Source*. <http://libbraille.org>

<sup>38</sup>L'un de ces jeux, *Mudsplat* est disponible dans 4 langues (français, anglais, suédois et néerlandais). Il est distribué gratuitement et a été téléchargé plusieurs milliers de fois. <http://tingames.org/mudsplat>

<sup>39</sup>dans le cadre de son projet de fin d'études puis de son DEA à l'école Polytech'Tours.

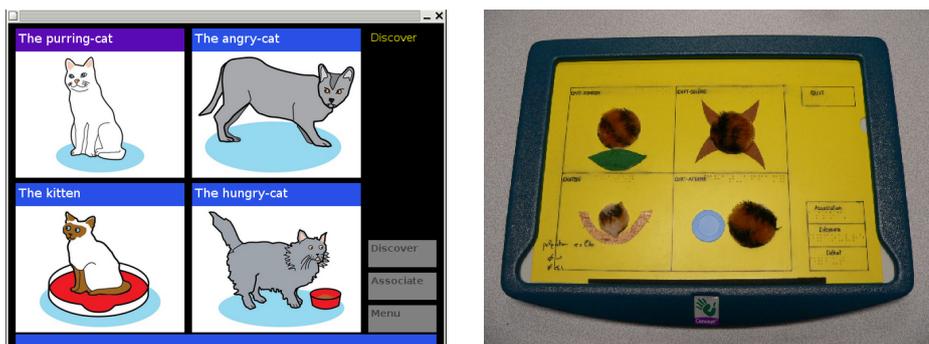


FIG. 3.7 – *FindIt!* – les chats — l’interface graphique et la planche tactile adaptée

comme « *Le chat est content, il ronronne* » ou « *Écoute comme celui-ci est en colère !* ». Dans un premier temps l’enfant découvre la planche tactile, puis le jeu lui demande de retrouver la représentation tactile ou visuelle correspondant à un son. Ce jeu est très apprécié des enfants mais chaque planche tactile est utilisée pendant un temps relativement bref. L’intérêt du jeu réside essentiellement dans la multiplicité des planches tactiles disponibles. Le générateur proposé permet à des éducateurs, des enseignants spécialisés ou des parents de constituer des contenus pour ce jeu d’une façon très simple<sup>40</sup>. Une fois la planche tactile réalisée de façon artisanale, une interface graphique leur permet de définir les zones tactiles, d’assembler les images, de saisir les textes et d’enregistrer les messages audio. La feuille de style XML est alors générée et le jeu immédiatement disponible.

### 3.4.2 Vers une mise en accessibilité des jeux vidéo

#### 3.4.2.1 Recommandations

À partir des résultats du projet TiM, nous avons tenté de recenser les caractéristiques nécessaires pour qu’un jeu soit accessible aux enfants aveugles et malvoyants [4, 5]. Puis nous avons commencé à étendre ces résultats à d’autres handicaps, en collaboration avec l’université de Linz en Autriche<sup>41</sup> et MediaLT en Norvège. En effet, à partir de nos travaux et de quelques autres effectués dans le contexte de différents autres types de handicaps, nous avons atteint une masse critique de connaissances sur différents types de modalités et il devenait possible de recenser et de formaliser des règles d’accessibilité. L’objectif à terme est dépasser la réalisation de jeux spécifiquement développés pour un type de modalité particulier, pour proposer une solution d’accessibilité pour des jeux développés en direction du grand public.

À la suite de [TL04] et du *Workshop on Game Accessibility* que nous avons organisé à l’Université Johannes Kepler à Linz (Autriche) en novembre 2005, nous avons établi, de façon collaborative, un premier jeu de recommandations pour l’accessibilité des jeux vidéo<sup>42</sup> [40].

#### 3.4.2.2 Conception pour tous

Dans [43], nous avons proposé une méthodologie de développement de jeux conçus pour tous que nous avons appliqué à un jeu *Open Source* existant. L’idée est d’utiliser un langage de description (*DL — Descriptive Language*) introduit dans [40] dont le rôle est de décrire les comportements d’entrée et de sortie du jeu et de les connecter avec les périphériques d’entrée/sortie. L’un des rôles du *DL* est d’aider les concepteurs d’un jeu à respecter les recommandations d’accessibilité

<sup>40</sup> Cela permet de faire des contenus spécifiques pour un enfant, le fait que la voix enregistrée soit celle d’un adulte de l’entourage de l’enfant est aussi très bénéfique pour certains.

<sup>41</sup> En particulier dans le cadre de la thèse de Roland Ossmann.

<sup>42</sup> *Guidelines for developing accessible games*. <http://gameaccess.medialt.no/guide.php>

des jeux en exposant les parties du jeu qui nécessitent des données alternatives. Grâce à ce *DL*, nous avons implémenté de nouveaux moyens d'interaction dans le jeu original et il a été rendu accessible pour des joueurs porteurs de différents types de handicap. Les joueurs ont la possibilité d'accéder à un grand nombre de réglages, aussi bien en ce qui concerne la présentation graphique qu'audio, la possibilité d'interagir avec la souris, le clavier ou un simple contacteur, *etc.*

Dans [42], nous proposons de construire des profils d'utilisateurs à partir d'une catégorisation des différents handicaps et des modalités utilisables dans chaque cas. Un jeu de profils prédéfinis, concernant chaque catégorie de handicap, a été constitué, et chaque utilisateur peut construire son propre profil en personnalisant l'un des profils prédéfinis. De nombreux profils sont disponibles au départ comme : *standard*, *BigFonts*, *ContrastWhite*, *ContrastBlue*, *OneSwitch*, *SoundOutput*, *SpeechOutput*.

Comme nous l'évoquions précédemment dans la section 2.3.4 le développement de jeux conçus pour tous — universellement accessible — est un défi, qui demande d'importants moyens de développement. Ces jeux conçus pour tous montrent la possibilité d'implémenter les interactions de jeux en utilisant des méthodes variées. Pour développer l'accessibilité dans le domaine des jeux vidéo nous proposons une approche plus pragmatique, basée sur la situation existante dans le cas des applications de bureau.

### 3.4.2.3 Vers une accessibilité active [2]

Proposer des recommandations et des exemples de jeux vidéo universellement accessibles est nécessaire mais nous devons maintenant définir un framework d'accessibilité, comparable à ce qui existe pour les applications de bureau, mais adapté aux jeux. En effet, en dehors du marché des jeux vidéo, les interfaces de type jeu (*Game-like Interfaces*) se développent très vite dans le domaine des interfaces humain-machine [KET07]. C'est le cas des interfaces basées sur des avatars comme dans *Second Life*, de nombreuses applications de eLearning [Cha07] (cette tendance semble durable, en effet D'après [May07] « *Games stimulate chemical changes in the brain that promote learning* »), de nombreux produits culturels sur CD-Rom ou DVD-Rom, *etc.* Les applications de type *Serious Game* rentrent aussi dans cette catégorie : simulation, réalité virtuelle, réalité augmentée.

Le *White paper on Accessibility* de l'IGDA<sup>43</sup> (*International Game Developers Association*) [IGD04] montre les premiers signes d'intérêt de l'industrie du jeu vidéo pour l'accessibilité.

Il est nécessaire de distinguer deux niveaux d'accessibilité. Un certain nombre de recommandations simples doivent permettre de résoudre de nombreux problèmes d'accessibilité dans les jeux grand publics. On peut, par exemple, donner aux utilisateurs des possibilités de configuration leur permettant de régler certaines dimensions et couleurs. Cela permettra d'augmenter considérablement le nombre de joueurs ayant un handicap ne nécessitant pas une interface spécifique (malvoyance légère, difficulté à utiliser certains types de périphériques d'entrée, malentendants, *etc.*). Pour ce premier niveau nous proposons de poursuivre le travail de rédaction des recommandations évoqué plus haut et de les diffuser plus largement au sein de la communauté des éditeurs de jeux.

Au second niveau nous trouvons les cas où le développement d'une interface spécifique utilisant une modalité alternative nécessite un travail important : utiliser une modalité non visuelle pour déplacer un avatar ou proposer un avatar en langue des signes. Dans ce cas nous proposons de construire un framework d'accessibilité des jeux (*Game Accessibility Framework*), constitué d'une part d'une interface d'accessibilité et d'autre part d'aides techniques spécialisées que nous appelons *AGI* (*Assistive Game Interface*) [2, 41]. Ces *AGI* correspondent en quelque sorte à des *screen reader* étendus aux fonctions nécessaires pour accéder à un jeu vidéo. Certaines seront généralistes et proposeront d'ajouter une fonctionnalité d'assistance spécifique à tous les jeux implémentant l'interface d'accessibilité, comme par exemple des sous-titres, alors que d'autres

---

<sup>43</sup>[http://www.igda.org/accessibility/IGDA\\_Accessibility\\_WhitePaper.pdf](http://www.igda.org/accessibility/IGDA_Accessibility_WhitePaper.pdf)

pourront être développés de façon spécifique pour un jeu particulier et une modalité particulière (par exemple une aide spécifique permettant à des personnes aveugles de piloter un bolide dans un jeu de course automobile). Les concepteurs de jeux devront simplement implémenter l'interface d'accessibilité de façon à ce que les *AGI* puissent fonctionner. Par exemple pour permettre le développement d'une *AGI* pour insérer des sous-titres, l'interface d'accessibilité devra contenir une méthode permettant d'exposer les textes des phrases prononcées dans le jeu. Il suffirait alors d'inclure cette nécessité dans la chaîne de production du jeu pour que l'ensemble fonctionne.

### 3.4.3 Modèle MaWEn [9]

Le modèle de représentation mathématique que nous utilisons dans les différents prototypes MaWEn est basé sur le code CMathML, le MathML Canonique [3], que nous avons introduit précédemment (*cf.* 3.3.1). Dans les prototypes MaWEn, une expression chargée au format MathML est immédiatement convertie au format CMathML et parsée en objet DOM, chaque nœud reçoit alors un ID, identifiant unique. Par la suite toutes les modifications faites sur cette expression le sont sur le DOM, en lui conservant son caractère canonique. Le DOM — qui est du MathML valide — est restitué de façon graphique par les outils d'affichage de MathML (par exemple le moteur d'affichage de Mozilla). La vue braille est produite par la librairie UMCL. Dès que le DOM est modifié, soit par une opération de navigation (ouverture/fermeture d'un nœud), soit parce que l'expression a été éditée, il est de nouveau transcrit en braille en temps réel. Dans la mesure où le source reste en CMathML, cela ne pose pas de problème de temps de calcul (comme on l'a vu dans 3.3.1, c'est la canonisation qui prend du temps).

Pour implémenter le pointage transmodal décrit précédemment, les transcriptions faites par UMCL conservent l'ID de chaque symbole. La sortie braille d'UMCL est en faite une chaîne de caractères constituée des paires contenant un symbole mathématique, représenté par un ou plusieurs symboles braille codés chacun sur deux chiffres, et son ID, séparés par un caractère « - ». Les paires sont elles-mêmes séparées par des « \* ».

Pour implémenter la navigation dans l'expression nous avons introduit un espace de nommage « **mawen** », dont le rôle est d'identifier les attributs que nous utilisons dans le DOM. Ces attributs indiquent un certain nombre de caractéristiques des nœuds. Un algorithme que nous avons mis au point initialise ces attributs dès que le DOM est parsé. Pour supporter l'ouverture/fermeture d'un nœud, un attribut « **mawen:fold** » indique si la branche dont ce nœud est la racine est ouverte ou fermée, un autre attribut « **mawen:type** » indique le type de nœud à afficher lorsque celui-ci est fermé. En mémoire nous manipulons en fait deux objets DOM, le premier contient l'ensemble de l'expression avec les attributs de l'espace de nom « **mawen** », et l'autre contient ce qui doit être affiché sur l'écran. Une feuille XSLT permet de reconstruire très rapidement l'objet DOM-vue à partir de l'objet DOM-source. C'est bien sûr l'objet DOM-vue qui est transcrite en braille. Dans certains cas lorsqu'on ferme une branche, c'est un nœud parent qui doit être fermé, comme dans le cas où l'on souhaite fermer la seconde somme dans  $a + (b + c)$ , c'est l'ensemble de la parenthèse qui doit être fermée pour obtenir une représentation du type  $a + \text{SOMME}$ . Dans ce cas un attribut « **mawen:foldnode** » indique l'ID du nœud à fermer. D'autres attributs servent à indiquer quels nœuds sont éligibles pour être ouverts ou fermés, etc.

Ce modèle, basé sur le MathML de présentation nous a permis de faire fonctionner différents prototypes et de les évaluer. Le modèle a été conçu pour supporter l'édition, même si ce n'est pas encore implémenté. Nous souhaitons continuer à travailler sur ce modèle et proposer de nouveaux attributs. Par exemple dans le cas d'une expression ambiguë du type de l'expression  $a(x + 1)$  présenté précédemment, nous pouvons stocker dans un attribut une valeur indiquant s'il s'agit d'un produit ou d'une fonction, ou bien si cela n'est pas décidé. Cet attribut serait mis à jour par l'utilisateur. Initialisé à la valeur « non décidé », l'attribut changerait de valeur à la demande de l'utilisateur, et serait conservé ainsi (et pourquoi pas sauvegardé ainsi). En cas de doute l'utilisateur aurait bien sûr une façon de revenir en arrière.

# Chapitre 4

## Accessibilité et TIC

### 4.1 Réalité de l'accessibilité numérique aujourd'hui

Comme nous l'avons énoncé dans le premier chapitre, nous constatons que le besoin d'accessibilité progresse régulièrement au sein de la société. La prise de conscience est lente mais régulière. Par exemple on constate, au moins à Paris, que les places réservées « GIC » sont moins souvent indûment occupées qu'il y a une dizaine d'années. Malheureusement ce besoin d'accessibilité ne s'accompagne pas forcément d'une réelle amélioration de la situation réelle en matière de TIC.

Considérons l'exemple des sites Web. Depuis la publication de WCAG 1.0 en mai 1999, peut on dire que l'accessibilité des sites a progressé? Si l'on s'arrête à une technologie particulière on ne peut que constater des progrès et il est réel que sur de nombreux points la situation s'est améliorée durant les 10 dernières années. Ainsi on ne trouve plus de sites HTML conçus en dépit du bon sens, dans lesquels la moitié des blocs de textes étaient des images et les contenus alternatifs de ces images leur poids en k-octets. Mais parallèlement les technologies utilisées sur le Web ont elles aussi progressé, et finalement on ne trouve quasiment aucun site fait uniquement en HTML. De plus l'utilisation de la technologie flash se généralise alors qu'elle est en réalité très peu accessible. Il est très difficile de mesurer la réalité de l'amélioration ou de la détérioration de l'accessibilité du Web. De multiples études peuvent être trouvées sur ce sujet tous les ans mais, au delà des effets d'annonce qu'elles suscitent, lorsqu'on les examine de près la principale conclusion est qu'on ne peut pas les comparer entre elles. C'est d'ailleurs une piste de réflexion sur laquelle nous envisageons de travailler dans les prochaines années.

Finalement la seule indication fiable que l'on peut trouver vient des utilisateurs. D'un point de vue empirique, en nous basant sur des retours individuels d'utilisateurs le sentiment dominant est que l'on accède à plus de contenus et de services accessibles mais que dans le même temps le nombre de sites inaccessibles a aussi augmenté considérablement ! Il serait intéressant de mener une étude basée sur des interviews qualitatives avec des sujets aveugles, sur leurs usages du Web et les limitations qu'ils attribuent à des problèmes d'accessibilité (à tort ou à raison d'ailleurs).

### 4.2 Imposer le support de l'accessibilité

Parallèlement à la progression de ce besoin d'accessibilité que nous avons constaté de façon empirique, nous pensons qu'il est nécessaire d'imposer le support de l'accessibilité. En effet en l'absence de règle commune, le surcoût dû à l'accessibilité — aussi minime qu'il soit — risque de provoquer un déséquilibre qui avantagerait ceux qui n'y prêtent pas attention. De plus cette règle doit s'appuyer sur des standards d'accessibilité admis de tous. Enfin avec la meilleure volonté du monde les concepteurs d'outils ou de contenus qui sont sensibilisés à l'accessibilité ont besoin de recommandations et de support.

Pour ce qui concerne les interfaces humain-machine le support de l'accessibilité réside dans l'établissement d'un certain nombre de standards [KBE<sup>+</sup>08] qui définissent les conditions se-

lon lesquelles une technologie ou un type de document est accessible, et dans l'implémentation d'interfaces permettant aux technologies d'assistance de communiquer avec les systèmes informatiques impliqués, afin de permettre aux utilisateurs un accès efficace à ces technologies et documents. Ces standards et interfaces d'accessibilité doivent être accompagnés de recommandations permettant à tous les acteurs de produire des contenus et des outils réellement utilisables par les technologies d'assistance.

Nous avons pu observer dans le passé que les textes réglementaires et/ou législatifs peuvent avoir un impact réel au delà des effets d'annonce auxquels ils sont malheureusement souvent réduits. Par exemple en 1997 les gouvernements de deux états étasuniens, le Massachusetts et le Missouri, ont obligé Microsoft<sup>TM</sup> à créer une interface d'accessibilité pour Windows<sup>TM</sup>. L'argument décisif fut le possible refus d'acheter des licences de Windows<sup>TM</sup> avec de l'argent fédéral si ce dernier ne proposait pas cette interface. Par la suite la section 508 du *Rehabilitation Act* de 1973, portant sur l'accessibilité aux personnes handicapées des sites fédéraux et ressources électroniques du gouvernement, a été adoptée en 1998, reprenant cette clause.

Toujours au États-Unis le *Individuals with Disabilities Education Act* (Loi sur l'intégration scolaire des personnes handicapées) permet depuis 2004 à tout élève ou étudiant d'exiger une version accessible de tout document pédagogique remis aux élèves, et cela s'applique aussi bien aux manuels et ouvrages qu'aux photocopies distribuées par les enseignants. C'est le format DTBook dont nous avons parlé dans ce mémoire qui a été retenu comme format accessible.

En France la loi de 2005 *pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées* oblige les ressources numériques publiques à être accessibles, mais ne donne que peu de moyens à ceux qui veulent la faire appliquer. Néanmoins on a pu constater l'apparition de la notion d'accessibilité sur les appels d'offres publics et les prestataires de services ont du se former, ce qui a un effet d'entraînement pour les sites privés conçus par les mêmes personnes. L'association BrailleNet organise des sessions de formation sur ce thème.

### 4.3 Situation éducative en France : peu d'intégration réelle

De nos jours, un nombre croissant d'élèves est intégré dans l'école dite ordinaire. C'est le cas par défaut dans de plus en plus de pays, comme la Suède ou l'Italie, et dans nombre de pays en voie de développement qui, n'ayant pas d'établissements spécialisés, commencent à intégrer sérieusement les enfants handicapés, comme le montre le nombre important d'articles parus sur ce sujet lors de la conférence ICEVI World 2006<sup>44</sup>. La France reste très en retrait.

Il n'est pas étonnant de voir une représentante française à la Conférence Internationale sur l'Éducation de l'UNESCO [Une08], à Genève en 2008, discuter le thème même de la conférence « *Inclusive Education* » traduit en français par « éducation pour l'inclusion ». <sup>45</sup>. En effet le terme d'intégration scolaire telle qu'il est réellement appliquée en France serait mieux traduite par « éducation par l'inclusion ». Ce qui linguistiquement restreint l'objet de cette éducation à l'élève handicapé intégré en milieu ordinaire. C'est lui qu'on éduque à bien se comporter dans la société des autres, afin de pouvoir y être accepté. Dans la traduction adoptée par l'UNESCO au contraire, l'emploi du mot « pour » indique bien que la vraie intégration nécessite une éducation de tous, et que cette éducation de tous va permettre l'inclusion scolaire. Apprendre tous à se connaître, se respecter et vivre ensemble. Cette inclusion scolaire est, en ce sens le premier pas d'une inclusion sociale de chacun, avec ses forces et ses faiblesses, et éventuellement son handicap, et finalement d'une meilleure inclusion sociale de chacun, handicapé ou non.

---

<sup>44</sup>ICEVI, *International Council for Education of People with Visual Impairment* World conference 2006, Kuala Lumpur, Malaisie. Voir articles : [http://www.icevi.org/publications/inclusive\\_educational.html](http://www.icevi.org/publications/inclusive_educational.html)

<sup>45</sup>Rapport général de la 48<sup>e</sup> session de la Conférence Internationale sur l'Éducation présenté par M<sup>me</sup> Tibisay Hung Rico, Vice-Ministre du développement scolaire, Ministère du Pouvoir Populaire pour l'Enseignement Supérieur, République Bolivarienne du Venezuela. « *Une participante a en effet noté que, du moins dans la version française, il était difficile de débattre de 'l'éducation pour l'inclusion'* ». <http://www.ibe.unesco.org/fr/cie>

C'est en cela que la société française est très en retard. Finalement en France l'intégration répond essentiellement à la nécessité économique de réduire le nombre d'élèves en établissement spécialisé — très coûteux — et déprécie la nécessité d'inclusion à un effet de mode international. La réalité est que seuls sont intégrés les élèves qui n'ont pas d'autres besoins que des besoins techniques (transcription de document, aide dans les déplacements). Dans la mesure où les handicaps les plus lourds sont aussi, fort heureusement les moins nombreux, les statistiques restent flatteuses car tous les enfants qui ont un handicap visuel ou moteur « léger » (en comparaison avec les autres car un handicap n'est jamais intrinsèquement léger).

On peut se poser la question de savoir si les outils d'assistance pourront y changer quelque chose. D'une part les outils sur lesquels nous travaillons peuvent être utilisés dans de nombreux pays où la situation est meilleure, et c'est la raison pour laquelle nous avons initié le projet UMCL permettant des transcriptions mathématiques dans les codes mathématiques de plusieurs langues. D'autre part le fait de montrer qu'il est possible avec des contenus accessibles, aux personnes handicapées d'accomplir indépendamment certaines tâches qui semblaient impossibles jusque là contribue probablement à améliorer la situation mais ce n'est certes pas suffisant.

## 4.4 Perspectives

La poursuite de ces travaux est envisagée sur plusieurs niveaux. Au niveau théorique d'une part nous continuons à nous interroger sur les modèles de représentation et les contraintes imposées par les modalités alternatives. Quelles sont les données nécessaires pour supporter différents types d'interaction basés sur ces modalités ? Comment les organiser ?

Dans le domaine des jeux vidéo, nous envisageons de soumettre une proposition de projet (AGA pour *Active Game Accessibility*) en réponse à l'un des prochains appels d'offres nationaux et internationaux, afin d'implémenter le *Game Accessibility Framework* proposé dans la section 3.4.2.3 dans un moteur de jeu expérimental existant. Dans ce projet nous souhaitons pouvoir implémenter plusieurs *Assistive Game Interfaces* associées à des modalités différentes. Des jeux de test seront développés afin d'évaluer d'une part les résultats en termes d'accessibilité, et d'autre part les contraintes engendrées par l'implémentation de l'interface d'accessibilité en termes de développement de jeux.

Dans le domaine de l'accès aux expressions mathématiques nous portons actuellement un projet de conception d'un Atelier de Calcul Scientifique Accessible (ACSA). Cet atelier devra intégrer des outils de support contextuel (sections 3.1.2.2 et 3.1.2.2), permettant d'améliorer sensiblement l'accès aux Mathématiques pour les personnes ayant un handicap lié à l'écrit, mais aussi pour tout étudiant débutant, porteur ou non d'un tel handicap. Il offrira bien sûr des possibilités de collaboration transmodale (section 3.2.1) et sera basé sur le modèle *MaWEn* (section 3.4.3). Cet atelier offrira aussi bien l'accès à des solutions de calcul formel qu'un support pour les fonctions d'aide contextuelle. Il sera évolutif, pour devenir un véritable banc d'essai logiciel facilitant les recherches en didactique mathématique ; en particulier, dans le cas des apprenants ayant un handicap lié à l'écrit, pour comprendre les processus cognitifs de résolution de problèmes de calcul scientifique, mettre au point et évaluer des fonctions de supports adaptées. Silvia Fajardo [FFAAFBLF10] vient de nous rejoindre pour débiter son doctorat en informatique. Elle travaille sur ces sujets et en particulier elle développera la partie vocale que nous avons un peu délaissée, en étudiant le moyen de l'associer au braille de façon redondante ou non, mais toujours dans le but de favoriser le travail collaboratif entre personnes voyantes et aveugles ou malvoyantes au sein d'une même interface multimodale. De plus nous continuons à travailler avec l'Université de Linz où nous suivons le travail de thèse de Bernhard Stöger.

Bien sûr nous continuons de faire avancer le projet UMCL dont nous sommes le coordinateur. Nous sommes sur le point de débiter la diffusion d'un logiciel de transcription de document, dont actuellement les versions bêta sont actuellement en phase de test. Ce logiciel est en quelque sorte une interface graphique pour UMCL. Une version en-ligne est aussi en cours de développement et

nous collaborons avec Design Science et avec Infty pour intégrer UMCL dans leurs applications respectives (voir 2.3.3).

Comme on l'a vu précédemment la rédaction de recommandations pour les concepteurs de contenus est essentielle et nous souhaitons relancer dans le domaine des jeux vidéo l'initiative menée avec Linz et MediaLT.

Pour ce qui est des mathématiques nous avons identifié un important besoin de recommandations aussi auprès des producteurs de documents mathématiques, aussi bien en  $\text{\LaTeX}$  que pour ceux qui utilisent des logiciels de traitement de texte WYSIWYG. En effet en collectant des documents sources dans les centres de transcription à l'université et au niveau secondaire, et en discutant avec les transcrip-teurs nous constatons un problème important lié à la conception des documents source qui empêcheront le bon fonctionnement des transcrip-teurs. En particulier on trouve des expressions mathématiques séparées en plusieurs parties, soit parce que l'auteur a eu un problème d'alignement, soit simplement parce qu'il l'a trouvé plus joli de faire comme cela. Cela peut être par exemple une équation dont deux parties sont séparés en deux blocs mathématiques distincts par un signe égal en mode texte. À l'inverse on trouve des éléments ne faisant pas partie des expressions mathématiques à l'intérieur du texte. Un autre problème fréquent concerne les variables qui sont présentées dans le bloc de texte suivant une expression mathématique. Elles devraient être présentées comme des blocs mathématiques mais bien souvent elles sont au mieux mises en italique. Ce travail de rédaction de recommandations est indispensable en complément des transcrip-teurs et autre ateliers de calcul scientifique accessible.

Un aspect que nous avons le sentiment de ne pas avoir suffisamment développé concerne la diffusion effective de nos réalisations. Bien sûr cela ne concerne pas l'ensemble de nos études mais la partie la plus pratique. L'un des jeux qui a été développé comme jeu de test du projet TiM a été diffusé. Il s'agit de Mudspat, qui a déjà été téléchargé plusieurs milliers de fois. D'autres jeux plus anciens avaient été diffusés en France sur CD-Rom à quelques dizaines d'exemplaires. Le problème est que, pour transformer un prototype fonctionnant dans des conditions de laboratoire, en vue d'évaluations, en produit téléchargeable et qui peut s'installer et fonctionner sur des configurations très différentes, la quantité de travail nécessaire est considérable. Nous avons constaté cela avec Mudspat : le processus a pris plus d'un an. De plus les systèmes d'exploitation des utilisateurs évoluent et il faut éventuellement effectuer des opérations de maintenance pour l'adapter aux nouvelles versions.

Dans le domaine des expressions mathématiques nous regrettons de n'avoir pu jusqu'à maintenant intégrer les fonctionnalités que nous avons favorablement évaluées dans un éditeur de document mathématique, une sorte de *cahier de maths numérique*. C'est d'ailleurs aussi l'un des objectifs d'ACSA, le projet d'atelier de calcul scientifique polyvalent et accessible dont nous avons parlé plus haut, d'être diffusable vers le public concerné. Cela nous permettra de plus de facilement tester de nouvelles fonctions en situation d'enseignement.

Pour terminer ce document il nous semble intéressant d'envisager d'étendre nos travaux aux problèmes d'indexation automatique. En effet les documents numériques accessibles sont de très bons candidats pour des traitements de recherche documentaire et il nous semble qu'il serait intéressant d'établir un pont entre ces deux domaines. La structuration des documents, la présence en leur sein d'informations de type sémantique sont de nature à faciliter les tâches de recherche documentaire. À l'inverse les techniques de recherche documentaire devraient permettre de faciliter les tâches de localisation de l'information pertinente dans un document. D'une certaine manière cet aspect nous ramène à nos premiers travaux. En effet, il se trouve qu'avant de travailler dans ce domaine, mes premiers travaux — lors de mon doctorat — concernaient le domaine de la recherche documentaire. À l'époque nous tentions de localiser des relations que nous appelions lexicales-sémantiques dans des phrases, en utilisant des réseaux de neurones artificiels [18, 31, 32, 21].

# Bibliographie

## Références personnelles

### Références à des publications reproduites dans le document annexe « Sélection de travaux personnels<sup>46</sup> »

- [1] Dominique Archambault, Donal Fitzpatrick, Gopal Gupta, Arthur I. Karshmer, Klaus Miesenberger, and Enrico Pontelli. Towards a universal maths conversion library. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Proc. ICCHP 2004 (9<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 3118 of *LNCS*, pages 664–669, Berlin, July 2004. Springer.
- [2] Dominique Archambault, Thomas Gaudy, Klaus Miesenberger, Stéphane Natkin, and Roland Ossmann. Towards generalised accessibility of computer games. In Zhigeng Pan, Xiaopeng Zhang, Abdennour El Rhalibi, Woontack Woo, and Yi Li, editors, *Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, Third International Conference, Edutainment 2008*, volume 5093 of *LNCS*, pages 518–527. Springer, June 2008. ISBN 978-3-540-69734-3.
- [3] Dominique Archambault and Victor Moço. Canonical mathml to simplify conversion of mathml to braille mathematical notations. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2006 (10<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 1191–1198, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [4] Dominique Archambault and Damien Olivier. How to make games for visually impaired children. In *Proceedings of ACE05 Conference (ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology)*, pages 450–453, Valencia, Spain, June 2005.
- [5] Dominique Archambault, Damien Olivier, and Harry Svensson. Computer Games that work for visually impaired children. In Constantine Stephanidis, editor, *Proceedings of HCI International 2005 Conference (11<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction)*, Las Vegas, Nevada, July 2005. 8 pages (proceedings on CD-Rom).
- [6] Dominique Archambault, Roland Ossmann, Thomas Gaudy, and Klaus Miesenberger. Computer games and visually impaired people. *Upgrade*, VIII(2) :43–53, April 2007. Digital journal of CEPIS. A monograph in spanish was published in Novática.
- [7] Dominique Archambault and Vincent Spiewak. odt2dtbook – openoffice.org save-as-daisy extension. In Pier-Luigi Emiliani, Laura Burzagli, Andrea Como, Francesco Gabbanini, and Anna-Liisa Salminen, editors, *Proc. of AAATE 2009 (Assistive Technology from Adapted Equipment to Inclusive Environments)*, volume 25 of *Assistive Technology Research Series*, pages 212–216, Firenze, Italy, August 2009.
- [8] Dominique Archambault, Bernhard Stöger, Mario Batušić, Claudia Fahrengruber, and Klaus Miesenberger. Mathematical working environments for the blind : What is needed now? In *Proc. of ICALT Workshop on Advanced Learning Technologies for Disabled*

---

<sup>46</sup> Disponible sur <http://chezdom.net/hdr>

*and Non-Disabled People*, 2007. This is a long version of the paper published in ICALT proceedings [30].

- [9] Dominique Archambault, Bernhard Stöger, Mario Batusić, Claudia Fahrengruber, and Klaus Miesenberger. A software model to support collaborative mathematical work between braille and sighted users. In *Proc. ASSETS 2007 (Ninth International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility)*, pages 115–122, Tempe, AZ, USA, October 2007. ACM SIGACCESS.
- [10] Dominique Archambault, Bernhard Stöger, Donal Fitzpatrick, and Klaus Miesenberger. Access to scientific content by visually impaired people. *Upgrade*, VIII(2) :29–42, April 2007. Digital journal of CEPIS. A monograph in spanish was published in Novática.
- [11] Thomas Gaudy, Stéphane Natkin, and Dominique Archambault. Pyvox 2 : an audio game accessible to visually impaired people playable without visual nor verbal instructions. *Transactions on Edutainment II, LNCS 5660*, 2009.
- [12] Thomas Gaudy, Stéphane Natkin, Cécile Le Prado, Thierry Dilger, and Dominique Archambault. Tampokme : a Multi-Users Audio Game Accessible to Visually and Motor Impaired People. In Qasim Mehdi, Pascal Estrailier, and Michel Eboueya, editors, *Proceedings of CGames'07 (11th International Conference on Computer Games : AI, Animation, Mobile, Educational & Serious Games)*, pages 73–78, November 2007.
- [13] Benoît Guillon, Jean-Louis Monteiro, Cédric Chécoury, Dominique Archambault, and Dominique Burger. Towards an integrated publishing chain for accessible multimodal documents. In Joachim Klaus, Klaus Miesenberger, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Proc. ICCHP 2004 (9th International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 3118 of *LNCS*, pages 514–521, Berlin, July 2004. Springer.
- [14] Arnaud Puret, Dominique Archambault, Mohamed Slimane, and Nicolas Monmarché. A simple game generator for creating audio/tactile games. *Technology and Disability*, 18(4) :227–236, 2006. IOS Press, Amsterdam, The Netherlands.
- [15] Sébastien Sablé and Dominique Archambault. Blindstation : a Game platform adapted to visually impaired children. In Ger Craddock, Lisa McCormack, Richard Reilly, and Harry Knops, editors, *Assistive Technology – Shaping the future, Proceedings of the AAATE'03 Conference*, pages 232–236, Amsterdam, The Netherlands, September 2003. IOS Press.
- [16] Alexis Sepchat, Nicolas Monmarché, and Dominique Archambault. Accessible video games for visually impaired children. In *Proceedings of GTDW 2005 (The Third Annual International Workshop in Computer Game Design and Technology)*, Liverpool, UK, November 2005.
- [17] Bernhard Stöger, Klaus Miesenberger, Mario Batusić, and Dominique Archambault. Multimodal interaction with mathematical formulae : Access, communication and support for blind people in doing mathematics. In Constantine Stephanidis, editor, *Proceedings of HCI International 2005 Conference (11th International Conference on Human-Computer Interaction)*, Las Vegas, Nevada, July 2005. 10 pages (proceedings on CD-Rom).

### **Autres références personnelles citées dans ce document**

- [18] Dominique Archambault. *Proposition de réseaux neuro-mimétiques pour des traitements du langage naturel*. Thèse de doctorat, Laboratoire d'Informatique Fondamentale d'Orléans – Université d'Orléans, January 1995.
- [19] Dominique Archambault. Free software and Open source in the field of Assistive Technologies. In Ger Craddock, Lisa McCormack, Richard Reilly, and Harry Knops, editors, *Assistive Technology – Shaping the future, Proceedings of the AAATE'03 Conference*, pages 969–973, Amsterdam, The Netherlands, September 2003. IOS Press.

- [20] Dominique Archambault. The TiM Project : Overview of Results. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Proc. ICCHP 2004 (9<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 3118 of *LNCS*, pages 248–256, Berlin, July 2004. Springer.
- [21] Dominique Archambault and Jean-Claude Bassano. A neural network for supervised learning of natural language grammar. In *Proc. of ICTAI'94 (6<sup>th</sup>) International Conference on Tools for Artificial Intelligence*, La Nouvelle Orleans, Louisiane, November 1994. IEEE.
- [22] Dominique Archambault, Mario Batusić, Frédéric Berger, Donal Fitzpatrick, Klaus Miesenberger, Victor Moço, and Bernhard Stöger. The universal maths conversion library : an attempt to build an open software library to convert mathematical contents in various formats. In Constantine Stephanidis, editor, *Proceedings of 3rd International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (joint with HCI International 2005)*, Las Vegas, Nevada, USA, July 2005. 9 pages (proceedings on CD-Rom).
- [23] Dominique Archambault, Aurélie Buaud, Sylvain Lerebourg, and Damien Olivier. Adapting mainstream multimedia games for severely visually impaired children. In *Proceedings of Game-on'2004 Conference (5<sup>th</sup> European Conference on Simulation and AI in Computer Games)*, Ghent, Belgium, November 2004.
- [24] Dominique Archambault and Dominique Burger. Tim (tactile interactive multimedia) : Development and adaptation of computer games for young blind children. In *Proceedings of ERCIM WG UI4ALL & i3 Spring Days 2000*, Athens, Greece, March 2000. Joint workshop on “Interactive Learning Environments for Children”.
- [25] Dominique Archambault and Dominique Burger. From Multimodality to Multimodalities : the need for independent models. In Constantine Stephanidis, editor, *Universal Access in HCI – Towards an Information Society for All*, pages 227–231, New-Orleans, Louisiana, USA, August 2001. Lawrence Erlbaum Associates. Proceedings of the UAHCI'01 conference – Universal Access in Human-Computer Interaction (joint with 9th International Conference on Human-Computer Interaction).
- [26] Dominique Archambault and Dominique Burger. The vickie project. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Wolfgang Zagler, editors, *Proceedings of ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 2398 of *LNCS*, pages 90–97, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [27] Dominique Archambault, Dominique Burger, Antonio Quatraro, Cristian Lai, Siobhàn Bermingham, and Gilles Bronner. VICKIE : Visually Impaired Children Kit for Inclusive Education. Technical Annex to Project funded by the European Commission – Information Society Technologies, ref. IST-2001-32678, May 2001.
- [28] Dominique Archambault, Dominique Burger, Krister Svensson, Phil Ellis, Harry Svensson, Diane Stacey, Philippe Claudet, and Damien Olivier. TIM : Tactile Interactive Multimedia computer games for visually impaired children. Technical Annex to Project funded by the European Commission – Information Society Technologies, ref. IST-2001-25298, May 2000.
- [29] Dominique Archambault, Sylvie Duchateau, and Dominique Burger. Multisite : Build HTML documents according to the user needs. In Roland Vollmar and Roland Wagner, editors, *Proc. ICCHP 2000 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, pages 29–34, Universität Karlsruhe, Germany, July 2000. Österreichische Computer Gesellschaft.
- [30] Dominique Archambault and Bernhard Stöger. Mathematical working environments for the blind : What is needed now ? In *Proc. of the 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technics*, pages 915–916, Niigata, Japan, July 2007.
- [31] Jean-Claude Bassano, Dominique Archambault, Gilles Desrocques, and Abdelouahab Me-kauouche. Utilisation des systèmes experts dans des interfaces pour la recherche documen-

- taire. In *Bringing down the Barriers to Information Transfer, AGARD Conference (Advisory Group for Aerospace Research & Development)*, pages 3.1–3.14, Madrid, Spain, October 1991. OTAN.
- [32] Gilles Desrocques, Dominique Archambault, and Jean-Claude Bassano. An associative neural experts system for information retrieval. In *Intelligent Text and Image Handling, RIAO'91 (Recherche d'Information Assistée par Ordinateur)*, pages 546–566, Barcelone, Espagne, April 1991.
- [33] Sylvie Duchateau, Dominique Archambault, and Dominique Burger. The accessibility of the World Wide Web for visually impaired people. In Christian Bühler and Harry Knops, editors, *Assistive Technology on the Threshold of the New Millenium*, pages 34–38, Amsterdam, The Netherlands, November 1999. IOS Press. Proceedings of AAATE'99 (5th European Conference for the Advancement of Assistive Technology).
- [34] Thomas Gaudy, Stéphane Natkin, and Dominique Archambault. Classification des jeux sonores selon leur type de jouabilité. In *Proceedings of Handicap 2006 Conference*, pages 221–226, Paris, June 2006.
- [35] Thomas Gaudy, Stéphane Natkin, and Dominique Archambault. Playing audiodames without instructions for uses : To do without instruction leaflet or without language itself? In Qasim Mehdi, Fred Mtenzi, Bryan Duggan, and Hugh McAtamney, editors, *Proceedings of CGAMES'06 Conference (9<sup>th</sup> International Conference on Computer Games)*, pages 263–268, November 2006.
- [36] George Kersher, Markus Gylling, and Dominique Archambault. Open source software for daisy - today and in the future. In *Proc. CSUN'09 (24th Annual Conference "Technology and Persons with Disabilities"*, Los Angeles, California, USA, March 2009.
- [37] Stephane Lazzaroni, Philippe Claudet, Pierre-Alain Loichot, and Dominique Archambault. Tom's 3d : a new technology to deposit braille on any support. In Alain Pruski and Harry Knops, editors, *Assistive Technology : From Virtuality to Reality, Proceedings of the AAA-TE'05 Conference*, pages 294–298, Amsterdam, The Netherlands, September 2005. IOS Press.
- [38] Victor Moço and Dominique Archambault. Automatic translator for mathematical braille. In Constantine Stephanidis, editor, *Inclusive Design in the Information Society – Proceedings of Universal Access in HCI*, volume 4, pages 1335–1339, Mahwah, New Jersey, USA, June 2003. Lawrence Erlbaum Associates.
- [39] Victor Moço and Dominique Archambault. Automatic conversions of mathematical braille : A survey of main difficulties in different languages. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Proc. ICCHP 2004 (9<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 3118 of *LNCS*, pages 638–643, Berlin, July 2004. Springer.
- [40] Roland Ossmann, Dominique Archambault, and Klaus Miesenberger. Computer game accessibility : From specific games to accessible games. In Qasim Mehdi, Fred Mtenzi, Bryan Duggan, and Hugh McAtamney, editors, *Proceedings of CGAMES'06 Conference (9th International Conference on Computer Games)*, pages 104–108, Dublin, Ireland, November 2006.
- [41] Roland Ossmann, Dominique Archambault, and Klaus Miesenberger. Accessibility issues in game-like interfaces. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Computers Helping People with Special Needs, 11th International Conference, ICCHP 2008, Linz, Austria, July 9-11, 2008. Proceedings*, volume 5105 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 601–604. Springer, 2008.
- [42] Roland Ossmann, Klaus Miesenberger, and Dominique Archambault. User profiles in computer games designed for all. In Qasim Mehdi, Pascal Estrailier, and Michel Eboueya,

editors, *Proceedings of CGames'07 (11th International Conference on Computer Games : AI, Animation, Mobile, Educational & Serious Games)*, pages 144–148, November 2007.

- [43] Roland Ossmann, Klaus Miesenberger, and Dominique Archambault. A Computer Game Designed for All. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Computers Helping People with Special Needs, 11th International Conference, ICCHP 2008, Linz, Austria, July 9-11, 2008. Proceedings*, volume 5105 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 585–592. Springer, 2008.
- [44] Roope Raisamo, Arto Hippula, Stephen Brewster, Sile O’Modhrain, Benoît Martin, Gunnar Jansson, Charlotte Magnusson, Eva-Lotta Sallnäs, Vidas Lauruska, Constantine Stephanidis, Klaus Miesenberger, Dominique Archambault, Sophie Zijp-Rouzier, and Stefan Bindzau. Multimodal collaboration environment for inclusion of visually impaired children. Technical Annex to Project funded by the European Commission, FP6 – Information Society Technologies, ref. IST-2003-511592STP, 2004.
- [45] Kirsten Rasmus-Gröhn, Charlotte Magnusson, Eva-Lotta Sallnäs, Jonas Moll, Fredrik Winberg, Erika Tanhua-Piironen, Roope Raisamo, Thomas Pietrzak, Apostolos Stamou, Bernhard Stöger, Dominique Archambault, and Elka Parvanova. Final evaluation report. Deliverable D15, MICOLE Project, Lund, Sweden, December 2007.
- [46] Sébastien Sablé and Dominique Archambault. Libbraille : A portable library to easily access braille displays. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Roland Wagner, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 2398 of *LNCS*, pages 345–352, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [47] Sébastien Sablé and Dominique Archambault. libbraille : a programming library for easy access to Braille displays. In Ger Craddock, Lisa McCormack, Richard Reilly, and Harry Knops, editors, *Assistive Technology – Shaping the future, Proceedings of the AAATE’03 Conference*, pages 435–440, Amsterdam, The Netherlands, September 2003. IOS Press.
- [48] Alexis Sepchat, Nicolas Monmarché, Mohamed Slimane, and Dominique Archambault. Jeux vidéo tactiles pour enfants non voyants. In *Proceedings Conference Handicap 2006*, Paris, 2006.

### **Autres références personnelles**

- [49] Dominique Archambault. Computers for the development of young disabled children. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Wolfgang Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 2398 of *LNCS*, pages 170–172, Linz, Austria, July 2002. Springer. Introduction to the Special Thematic Session.
- [50] Dominique Archambault. Documents multimodaux et interfaces non visuelles. In *CIDE’6. Actes du 6e Colloque International sur le Document Électronique (conférence invitée)*, Caen, November 2003.
- [51] Dominique Archambault. The tim game engine : Development of computer games accessible to blind and partially sighted children. In *Proceedings of the SCI 2003 Conference (World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics)*, Orlando, Florida, USA, July 2003.
- [52] Dominique Archambault. The tim computer games for visually impaired children. In *Proc. CSUN’04 (19th Annual Conference “Technology and Persons with Disabilities”)*, Los Angeles, California, USA, March 2004.
- [53] Dominique Archambault. A simple game generator to design audio/tactile games for young blind children. In *Proc. CSUN’06 (21th Annual Conference “Technology and Persons with Disabilities”)*, Los Angeles, California, USA, March 2006.

- [54] Dominique Archambault. Computer games for blind children : From specific games to games designed for all. In *Proceedings of DRT4ALL*, Madrid, Spain, April 2007. Invited speech.
- [55] Dominique 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)*, pages 43–52, 2009.
- [56] Dominique Archambault. Preparing accessible documents at the dtbook format using free software. In *Proc. CSUN'09 (24th Annual Conference "Technology and Persons with Disabilities"*, Los Angeles, California, USA, March 2009.
- [57] Dominique Archambault and Jean-Claude Bassano. De l'utilisation de méthodes connexionnistes pour le traitement du langage naturel. *L'informatique documentaire*, 51 :15–30, September 1993.
- [58] Dominique Archambault and Jean-Claude Bassano. Un réseau de neurones pour l'apprentissage supervisé d'une grammaire du langage naturel. In *IE'95 (2nd International Symposium on Economic Informatics)*, Bucarest, Roumanie, 1995.
- [59] Dominique Archambault, Frédéric Berger, and Victor Moço. Overview of the universal maths conversion library. In Alain Pruski and Harry Knops, editors, *Assistive Technology : From Virtuality to Reality, Proceedings of the AAATE'05 Conference*, pages 256–260, Amsterdam, The Netherlands, September 2005. IOS Press.
- [60] Dominique Archambault and Aurélie Buaud. Tactile interactive multimedia games for visually impaired. In *Proceedings of ICOST 2003 (1st International Conference On Smart homes and health Telematics)*, Marne-la-Vallée, France, September 2003.
- [61] Dominique Archambault and Dominique Burger. Development Tools for Non Visual Education Applications. In *Proc. CSUN'99 (14th Annual Conference "Technology and Persons with Disabilities")*, Los Angeles, California, USA, March 1999.
- [62] Dominique Archambault, Dominique Burger, and Sébastien Sablé. The TiM Project : Tactile Interactive Multimedia computer games for blind and visually impaired children. In Črt Marinček, Christian Bühler, Harry Knops, and Renzo Andrich, editors, *Assistive Technology – Added Value to the Quality of Life*, pages 359–363, Amsterdam, The Netherlands, September 2001. IOS Press. Proceedings of the AAATE'01 Conference, Ljubljana, Slovenia.
- [63] Dominique Archambault, Gilles Desrocques, and Jean-Claude Bassano. Application de méthodes connexionnistes à la gestion d'un ensemble d'experts dédiés au langage naturel. In *8ème Congrès RFIA (Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle)*, pages 601–612, Lyon, November 1991. AFCET.
- [64] Dominique Archambault, Roland Ossmann, and Klaus Miesenberger. Towards generalised accessibility of computer games introduction to the special thematic session. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Computers Helping People with Special Needs, 11th International Conference, ICCHP 2008, Linz, Austria, July 9-11, 2008. Proceedings*, volume 5105 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 542–544. Springer, 2008.
- [65] Dominique Archambault and Sébastien Sablé. A game engine for designing adapted computer games for visually impaired children. In *Proc. CSUN'03 (18th Annual Conference "Technology and Persons with Disabilities")*, Los Angeles, California, USA, March 2003.
- [66] Dominique Archambault, Sébastien Sablé, and Aurélie Buaud. Outils tactiles et multimédias pour les jeunes handicapés visuels. In *Adaptations multimodales de jeux multimédia*, Paris, April 2001. BrailleNet et la Cité des Sciences et de l'Industrie de La Villette.
- [67] Dominique Archambault, Claudine Tchang-Ayo, and Sylvie Duchateau. Rendre accessible un site WEB. In *Les enjeux d'Internet pour les personnes handicapées visuelles*, Paris, February 1999. BrailleNet et la Cité des Sciences et de l'Industrie de la Villette.

- [68] Cristian Bernareggi and Dominique Archambault. Mathematics on the web : emerging opportunities for visually impaired people. In *W4A '07 : Proceedings of the 2007 international cross-disciplinary conference on Web accessibility (W4A)*, pages 108–111, New York, NY, USA, 2007. ACM Press.
- [69] Aurélie Buaud, Dominique Archambault, and Benoît Roussel. Ergonomic evaluation of computer games for visually impaired children. In Constantine Stephanidis, editor, *Inclusive Design in the Information Society – Proceedings of Universal Access in HCI*, volume 4, pages 1265–1269, Mahwah, New Jersey, USA, June 2003. Lea.
- [70] Aurélie Buaud, Dominique Archambault, Benoît Roussel, and Patrick Truchot. Evaluation process based on user’s need : ergonomic evaluation of multimedia games for visually impaired children. In Ger Craddock, Lisa McCormack, Richard Reilly, and Harry Knops, editors, *Assistive Technology – Shaping the future, Proceedings of the AAATE’03 Conference*, pages 237–241, Amsterdam, The Netherlands, September 2003. IOS Press.
- [71] Aurélie Buaud, Benoît Roussel, Dominique Burger, and Dominique Archambault. Les enjeux de l’ergonomie pour la conception d’interfaces adaptées aux personnes handicapées visuelles. In *Actes du 8ème séminaire CONFERE, “De la Conception des Produits et des Services Innovants au Développement Local et Durable”*, pages 226–232, Marseille, July 2001. LCPNI, ENSAM.
- [72] Aurélie Buaud, Benoît Roussel, Patrick Truchot, and Dominique Archambault. Proposition d’une approche centrée sur les utilisateurs pour la conception de jeux multimédias : Jeux multimédias adaptés pour les enfants déficients visuels. In *Actes du 9ème séminaire CONFERE*, 2002.
- [73] Aurélie Buaud, Harry Svensson, Dominique Archambault, and Dominique Burger. Multimedia games for visually impaired children. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Wolfgang Zagler, editors, *Proceedings of ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 2398 of *LNCS*, pages 173–180, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [74] Sylvie Duchateau, Dominique Archambault, and Dominique Burger. Braillet campaign for a more accessible web. In Roland Vollmar and Roland Wagner, editors, *Proceedings of ICCHP 2000 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, pages 21–28, Universität Karlsruhe, Germany, July 2000. Österreichische Computer Gesellschaft.
- [75] Sylvie Duchateau, Dominique Archambault, and Dominique Burger. A campaign in France for a more accessible Web. In *Proc. CSUN’2000 (15th Annual Conference “Technology and Persons with Disabilities”)*, Los Angeles, California, USA, March 2000.
- [76] Sylvie Duchateau, Denis Boulay, Claudine Tchang-Ayo, Dominique Archambault, and Dominique Burger. A National Network to promote Web Accessibility in France. In Črt Marinček, Christian Bühler, Harry Knops, and Renzo Andrich, editors, *Assistive Technology – Added Value to the Quality of Life*, pages 667–671, Amsterdam, The Netherlands, September 2001. IOS Press. Proceedings of the AAATE’01 Conference, Ljubljana, Slovenia.
- [77] Antoine Dutot, Damien Olivier, and Dominique Archambault. Tl a language to create games for visually impaired children. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Wolfgang Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 2398 of *LNCS*, pages 193–195, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [78] Toshihiro Kanahori, Dominique Archambault, and Masakazu Suzuki. Universal authoring system for braille materials by collaboration of umcl and infly. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Computers Helping People with Special Needs, 11th International Conference, ICCHP 2008, Linz, Austria, July 9–11, 2008. Proceedings*, volume 5105 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 883–887. Springer, 2008.

- [79] Victor Moço and Dominique Archambault. A transcription tool for mathematical braille. In Ger Craddock, Lisa McCormack, Richard Reilly, and Harry Knops, editors, *Assistive Technology – Shaping the future, Proceedings of the AAATE’03 Conference*, pages 481–485, Amsterdam, The Netherlands, September 2003. IOS Press.
- [80] Claude Moulin, Sylvain Giroux, Dominique Archambault, Davide Carboni, and Dominique Burger. A distributed document oriented architecture for rendering services to visually impaired students”, pages ”329–336. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Wolfgang Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 2398 of *LNCS*, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [81] Roland Ossmann, Klaus Miesenberger, and Dominique Archambault. Tic tac toe - mainstream games accessibility : Guidelines and examples. In Gorka Eizmendi, José Miguel Azkoitia, and Ger Craddock, editors, *Challenges for Assistive Technology – Proc. of AAA-TE’07 Conference (9th European Conference for the Advancement of Assistive Technology in Europe)*, volume 20 of *ATR*, pages 791–795. San Sebastian, Spain, IOS Press, October 2007.
- [82] Arnaud Puret, Dominique Archambault, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. A simple game generator for creating audio/tactiles games. In Alain Pruski and Harry Knops, editors, *Assistive Technology : From Virtuality to Reality, Proceedings of the AAATE’05 Conference*, pages 545–549, Amsterdam, The Netherlands, September 2005. IOS Press.
- [83] Alexis Sepchat, Nicolas Monmarché, Mohamed Slimane, and Dominique Archambault. Semi automatic generator of tactile video games for visually impaired children. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2006 (10<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 372–379, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [84] Harry Svensson and Dominique Archambault. Why computer games ? shouldn’t we concentrated our work on basic skills like reading ? In *11th ICEVI World Conference (International Council for Education of People with Visual Impairment) – New Visions : Moving Toward an Inclusive Community*, Noordwijkerhout, The Netherlands, July 2002.

## Autres références

- [AGG<sup>+</sup>03] A. Annamalai, Deepa Gopal, Gopal Gupta, Hei-Feng Guo, and Arthur Karshmer. INSIGHT : a comprehensive system for converting Braille based mathematical documents to Latex. In Constantine Stephanidis, editor, *Universal Access in HCI – Inclusive Design in the Information Society*, volume 4, pages 1245–1249, Mahwah, New Jersey, USA, 2003. Lea.
- [AGML06] Matthew Atkinson, Sabahattin Gucukoglu, Colin Machin, and Adrian Lawrence. Making the mainstream accessible : What’s in a game ? In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur Karshmer, editors, *Computers Helping People with Special Needs*, volume 4061 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 380–387. Springer Berlin / Heidelberg, 2006.
- [AW92] Nick Ayres and Tom Wesley. Open document architecture – an opportunity for information access for the print disabled. In *Proc. ICCHP 92 (3<sup>rd</sup> International Conference on Computers for Handicapped People*, pages 556–561, Vienna, Austria, 1992.
- [BBV90] Lawrence Boyd, Wesley Boyd, and Gregg Vanderheiden. The graphical user interface : Crisis, danger and opportunity. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 12 :496–502, December 1990.

- [BE00] Paul Blenkhorn and Gareth Evans. Architecture and requirements for a windows screen reader. In *IEE Seminar on Speech and Language Processing for Disabled and Elderly People*, London, UK, April 2000.
- [BEE<sup>+</sup>94] Bart Bauwens, Jan Engelen, Filip Evenepoel, Chris Tobin, and Tom Wesley. Increasing access to information for the print disabled through electronic documents in sgml. In *Proceedings of the first annual ACM conference on Assistive technologies*, Assets '94, pages 55–61, New York, NY, USA, 1994. ACM.
- [Bél97] F. Bélanger. Sgml document access : une approche originale pour favoriser la conversion des documents électroniques en braille. *Canadian journal of information and library science*, 22(3–4) :37–53, 1997.
- [BF10] Enda Bates and Dónal Fitzpatrick. Spoken Mathematics using Prosody, Earcons and Spearcons. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2010 Part II (11<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 6180 of *LNCS*, pages 407–410, Vienna, Austria, July 2010. Springer.
- [Ble93] Paul Blenkhorn. Requirements for screen access software using synthetic speech. *Journal of Microcomputer Applications*, 16(3) :243 – 248, 1993.
- [BMa06] Cristian Bernareggi, Klaus Miesenberger, and al. @Science : Towards an Accessible Science – Annex 1 Description of Work. Technical Annex to Project funded by the European Commission. – eContentPlus – ref ECP-2005-CULT-038137, 2006.
- [BMS98] Mario Batušić, Klaus Miesenberger, and Bernhard Stöger. Labradoor, a contribution to making mathematics accessible for the blind. In Alistair Edwards, Andras Arato, and Wolfgang Zagler, editors, *Proc. ICCHP 98 (6<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, Oldenbourg, Wien, München, 1998.
- [Bra01] Braille mathematics notation. RNIB, Peterborough, UK, 2001.
- [CB06] Andrew Crossan and Stephen Brewster. Two-handed navigation in a haptic virtual environment. In *CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems*, CHI '06, pages 676–681, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [Cha07] Ralph Chatham. Games for training. *ACM Communications*, 50(7) :36–43, jul 2007.
- [CLMB04] David Crombie, Roger Lenoir, Neil McKenzie, and Alison Barker. math2braille : Opening access to mathematics. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Proc. ICCHP 2004 (9<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 3118 of *LNCS*, pages 670–677, Berlin, July 2004. Springer.
- [Com01] Notation mathématique braille. INJA and AVH, Paris, France, 2001.
- [Cou91] Joëlle Coutaz. Prospects in Software Design with Multi-modal Interactive Systems. In *Proceedings of SITEF International Symposium on Cognitive Interactions*, pages 47–63, Toulouse, France, 1991.
- [dBB03] Guillaume du Bourguet and Dominique Burger. Conversion tools for DAISY 3.0/NISO Z39.86-2002. In Ger Craddock, Lisa McCormack, Richard Reilly, and Harry Knops, editors, *Assistive Technology – Shaping the Future, Proceedings of the AAATE'03 Conference, Dublin, Ireland*, pages 446–450, Amsterdam, The Netherlands, September 2003. IOS Press.
- [EBMS86] Helmut Epheser, Karl Britz, and Friedrich Mittelsten Scheid. Neufassung und vervollständigung des systems der internationalen mathematikschrift für blinde.

Marburg/L. : Ständige Arbeitsgemeinschaft “Mathematikschrift”, Deutsche Blindenstudienanstalt e.V., 1986. 140 pages.

- [EER04] Grigori Evreinov, Tatiana Evreinova, and Roope Raisamo. Mobile games for training tactile perception. In Matthias Rauterberg, editor, *Entertainment Computing – ICEC 2004*, volume 3166 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 468–475. Springer Berlin / Heidelberg, 2004.
- [Eng10] Jan Engelen. E-books and audiobooks : What about their accessibility? In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur Karshmer, editors, *Computers Helping People with Special Needs*, volume 6179 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 69–73. Springer Berlin / Heidelberg, 2010.
- [ES07] Jan Engelen and Christophe Strobbe. The Open Document Format and its Impact on Accessibility for Persons with a Reading Impairment. In *Proceedings ELPUB2007 Conference on Electronic Publishing*, Vienna, Austria, June 2007.
- [FFAAFBLF10] Silvia Fajardo-Flores, Maria Andrade-Arechiga, Alfonso Flores-Barriga, and Juan Lazaro-Flores. Mathml to ascii-braille and hierarchical tree converter. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur Karshmer, editors, *Computers Helping People with Special Needs*, volume 6180 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 396–402. Springer Berlin / Heidelberg, 2010.
- [Fit06] Dónal Fitzpatrick. Mathematics : How and What to Speak. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2006 (10<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 1199–1206, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [Gau08] Thomas Gaudy. *Etude et développements de jeux vidéo sonores accessibles aux personnes aveugles*. PhD thesis, Centre de Recherche en Informatique du CNAM, July 2008.
- [GBKP04] Douglas Gillan, Paula Barraza, Arthur Karshmer, and Skye Pazuchanics. Cognitive Analysis of Equation Reading : Application to the Development of the Math Genie. In Joachim Klaus, Klaus Miesenberger, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Proc. ICCHP 2004 in Paris (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 3118 of *LNCS*, pages 630–637, Linz, Austria, July 2004. Springer.
- [GHH<sup>+</sup>04] John Gardner, Christian Herden, Gaby Herden, Carl Dreyer, and Galina Bulatova. Simultaneous braille tactile graphics and ink with tiger ink attachment and duxbury. In *Proc. CSUN’04 (19th Annual Conference “Technology and Persons with Disabilities”)*, Los Angeles, California, USA, March 2004.
- [Gol96] Charles Goldfarb. The roots of sgml – a personal recollection. <http://www.sgmlsource.com/history/roots.htm>, 1996.
- [GSGS06] Dimitris Grammenos, Anthony Savidis, Yannis Georgalis, and Constantine Stephanidis. Access invaders : Developing a universally accessible action game. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2006 (10<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 388–395, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [GSS05] Dimitris Grammenos, Anthony Savidis, and Constantine Stephanidis. Ua-chess : A universally accessible board game. In Gavriel Salvendy, editor, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, Las Vegas, Nevada, July 2005.

- [GSS07] Dimitris Grammenos, Anthony Savidis, and Constantine Stephanidis. Unified design of universally accessible games. In *Proceedings of the 4th international conference on Universal access in human-computer interaction : applications and services*, UAHCI'07, pages 607–616, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer-Verlag.
- [Ham99] Jenny Hammarlund. Computer play for children who are severely visually impaired : Using an alternative keyboard with tactile overlays. Technical Report 20, Tomtebodas resource centre, Stockholm, Sweden, 1999.
- [Hol00] Andreas Holzinger. *Basiswissen Multimedia 2 : Mensch*. Vogel, 2000.
- [IGD04] IGDA (International Game Developers Association). Accessibility in games : Motivations and approaches, 2004.
- [JL99] Anders Johansson and Joakim Linde. Using simple force feedback mechanisms as haptic visualization tools. In *In Proc. of the 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pages 24–26, 1999.
- [KAS96] Shiro Kawai, Hitoshi Aida, and Tadao Saito. Designing interface toolkit with dynamic selectable modality. In *Proceedings of the second annual ACM conference on Assistive technologies*, Assets '96, pages 72–79, New York, NY, USA, 1996. ACM.
- [KBE<sup>+</sup>08] Erkki Kemppainen, Kjell Age Bringsrud, Jan Engelen, Chiara Giovannini, Tony Shipley, and Hajime Yamada. Standardisation and legislation with regard to ambient intelligence and accessibility. published electronically by COST219ter [<http://www.tiresias.org/cost219ter/amileg.htm>], February 2008.
- [KBG09] Peter Korn, Evangelos Bekiaris, and Maria Gemou. Towards open access accessibility everywhere : The ægis concept. In Constantine Stephanidis, editor, *Universal Access in Human-Computer Interaction. Addressing Diversity*, volume 5614 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 535–543. Springer Berlin / Heidelberg, 2009.
- [KBS04] Arthur Karshmer, C. Bledsoe, and Paul Stanley. The Architecture of a Comprehensive Equation Browser for the Print Impaired. In Joachim Klaus, Klaus Miesenberger, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Proc. ICCHP 2004 in Paris (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 3118 of *LNCS*, pages 614–619, Linz, Austria, July 2004. Springer.
- [Ker02] George Kersher. Structured access to documents, digital talking books, and beyond : The daisy consortium. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Wolfgang Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 2398 of *LNCS*, pages 1–2, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [KET07] Wendy Kellogg, Jason Ellis, and John Thomas. Towards supple enterprises : Learning from n64's super mario 64, wii bowling, and a corporate second life. In *CHI 2007 Workshop Supple Interfaces : Designing and evaluating for richer human connections and experiences*, 2007.
- [KG03] Arthur Karshmer and Douglas Gillan. How well can we read equations to blind mathematics students : some answers from psychology. In Constantine Stephanidis, editor, *Universal Access in HCI – Inclusive Design in the Information Societ*, volume 4, pages 1290–1294, Mahwah, New Jersey, USA, 2003.
- [KGG02] Arthur Karshmer, Gopal Guta, and Douglas Gillan. Architecting an auditory browser for navigating mathematical expressions. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Wolfgang Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International*

*Conference on Computers Helping People with Special Needs*), volume 2398 of *LNCS*, pages 477–485, Linz, Austria, July 2002. Springer.

- [KGGW98] Arthur Karshmer, Gopal Gupta, S. Geiger, and C. Weaver. Reading and writing mathematics : The mavis project. *Behavior and Information Technology*, 18(1) :2 – 10, 1998.
- [KP06] C. Koch and C. Pallier. *À la recherche de la conscience : une enquête neurobiologique*. Sciences (Ed. O. Jacob). O. Jacob, 2006.
- [LD97] Nathalie Lewi-Dumont. *L'apprentissage de la lecture chez les enfants aveugles : difficultés et évolution des compétences*. Atelier National de Reproduction des Thèses, 1997.
- [LMPV96] Lila Laux, Peter McNally, Michael Paciello, and Gregg Vanderheiden. Designing the world wide web for people with disabilities : a user centered design approach. In *Proceedings of the second annual ACM conference on Assistive technologies*, Assets '96, pages 94–101, New York, NY, USA, 1996. ACM.
- [May07] Merrilea Mayo. Games for science and engineering education. *ACM Communications*, 50(7) :30–35, jul 2007.
- [MB04] David McGookin and Stephen Brewster. Applying auditory scene analysis principles to concurrent earcon recognition. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 1(2) :130–155, October 2004.
- [MW94] Elizabeth Mynatt and Gerhard Weber. Nonvisual presentation of graphical user interfaces : contrasting two approaches. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems : celebrating interdependence*, CHI '94, pages 166–172, New York, NY, USA, 1994. ACM.
- [Nat04] Stéphane Natkin. *Jeux Vidéo et Médias du XXIe Siècle - Quels modèles pour les nouveaux loisirs numériques ?* Vuibert, 2004.
- [Nem72] Abraham Nemeth. The nemeth braille code for mathematics and science notation, 1972 revision. American Printing House for the Blind, USA, 1972.
- [Por96] Serge Portalier. Recherches en déféctologie, approche épistémologique. In *Actes du colloque PCH'96 (Perception cognition handicap recherches en déféctologie)*, pages 121–128, Lyon, 1996.
- [Por99] Serge Portalier. Analyse différentielle des processus vicariants : application à l'étude des stratégies de lecture du braille chez les aveugles. In M. Huteau, editor, *Approches différentielles en psychologie*. Presses universitaires de Rennes, 1999.
- [Ram94] T. V. Raman. *Audio Systems for Technical Reading*. PhD thesis, Department of Computer Science, Cornell University, NY, USA, May 1994.
- [RG94] T. V. Raman and D. Gries. Interactive audio documents. In *Proceedings of the first annual ACM conference on Assistive technologies*, Assets '94, pages 62–68, New York, NY, USA, 1994. ACM.
- [RLC<sup>+</sup>05] Xavier Rodet, Jean-Philippe Lambert, Roland Cahen, Thomas Gaudy, Fabrice Guedy, Florian Gosselin, and Pascal Mobuchon. Study of haptic and visual interaction for sound and music control in the phase project. In *Proceedings of the 2005 conference on New interfaces for musical expression*, NIME '05, pages 109–114, Singapore, Singapore, 2005. National University of Singapore.
- [RPHP07] Roope Raisamo, Saija Patomäki, Matias Hasu, and Virpi Pasto. Design and evaluation of a tactile memory game for visually impaired children. *Interact. Comput.*, 19 :196–205, March 2007.

- [SBJ<sup>+</sup>06] Waltraud Schweikhardt, Cristian Bernareggi, Nadine Jessel, Benoit Encelle, and Margarethe Gut. LAMBDA : a European System to Access Mathematics with Braille and Audio Synthesis. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2006 (10<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 1223–1230, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [SK06] Paul Stanley and Arthur Karshmer. Translating mathml into nemeth braille code. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2006 (10<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 1175–1182, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [SKOY04] Masakazu Suzuki, Toshihiro Kanahori, Nobuyuki Ohtake, and Katsuhito Yamaguchi. An Integrated OCR Software for Mathematical Documents and Its Output with Accessibility. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Proc. ICCHP 2004 (9<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 3118 of *LNCS*, pages 648–655, Berlin, July 2004. Springer.
- [Soi05] Neil Soiffer. Advances in accessible web-based mathematics. In *Proc. CSUN’05 (20th Annual Conference “Technology and Persons with Disabilities”)*, Los Angeles, California, USA, March 2005.
- [SRG99] Calle Sjöström and Kirsten Rasmus-Gröhn. The sense of touch provides new interaction techniques for disabled people. *Technology & Disability*, 10(1), 1999.
- [SS04] Anthony Savidis and Constantine Stephanidis. Unified user interface design : designing universally accessible interactions. *Interacting with Computers*, 16(2) :243 – 270, 2004.
- [TL04] Morten Tollefsen and Magne Lunde. Entertaining software for young persons with disabilities. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Dominique Burger, editors, *Computers Helping People with Special Needs*, volume 3118 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 626–626. Springer Berlin / Heidelberg, 2004.
- [Une08] Unesco. Rapport final. In Unesco, editor, *Conférence Internationale de l’Éducation, 48e session, Genève, Suisse, L’éducation pour l’inclusion : la voie de l’avenir.*, Paris, 2008.
- [Uza05] Gérard Uzan. *Ergonomie cognitive du handicap visuel : une contribution à la conception d’aides informatiques*. Thèse de doctorat, Laboratoire d’Ergonomie Informatique – Université René Descartes-Paris 5, December 2005.
- [Van99] C. Vandendorpe. *Du papyrus à l’hypertexte : essai sur les mutations du texte et de la lecture*. Boréal, 1999.
- [VC96] Gregg Vanderheiden and Wendy Chisholm. Design of html pages to increase their accessibility to users with disabilities : strategies for today and tomorrow. *SIGWEB Newsl.*, 5 :9–20, February 1996.
- [vHE06] Kris van Hees and Jan Engelen. Non-visual Access to GUIs : Leveraging Abstract User Interfaces. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2006 (10<sup>th</sup> International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 1063–1070, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [WAI99] WAI. Web Accessibility Initiative — Web Content Accessibility Guidelines 1.0. W3C Recommendation, May 1999. <http://www.w3.org/WAI>.

- [WAI02] WAI. XML Accessibility Guidelines. W3C Recommendation, October 2002. <http://www.w3.org/WAI>.
- [WAI08] WAI. Web Accessibility Initiative — Web Content Accessibility Guidelines 2.0. W3C Recommendation, December 2008. <http://www.w3.org/WAI>.
- [Wes04] Thomas Westin. Game accessibility case study : Terraformers – a real-time 3d graphic game. In *In Proc. of the The Fifth International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, pages 95–100, 2004.
- [WLP06] Qi Wang, Vincent Levesque, Jerome Pasquero, and Vincent Hayward. A haptic memory game using the stress<sup>2</sup> tactile display. In *CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems, CHI '06*, pages 271–274, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [YKKS08] Katsuhito Yamaguchi, Toshihiko Komada, Fukashi Kawane, and Masakazu Suzuki. New features in math accessibility with infty software. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur I. Karshmer, editors, *Computers Helping People with Special Needs, 11th International Conference, ICCHP 2008, Linz, Austria, July 9-11, 2008. Proceedings*, volume 5105 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 893–900. Springer, 2008.

# Annexe A

## Projets Européens

### A.1 TiM : Tactile Interactive Multimedia computer games for visually impaired [28]

- FP5 — IST (Information Society Technologies) — Systems and Services for the Citizen/ Persons with special needs — réf. IST-2000-25298.
- Coordinateur : **Dominique Archambault**.
- Début : Janvier 2001, durée : 36 mois, 8 partenaires de 3 pays.
- Financement communautaire : 1 540 k€ (340 mois/homme), dont UPMC : 385 k€.
- **Projet terminé le 31 décembre 2003 avec la mention « *Successful completion* ».**

#### Participants

- Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, Inserm U483/INOVA (France) — **coordinateur**,
- Les Doigts Qui Rêvent (France),
- Université du Havre (France),
- Association BrailleNet (France),
- Royal Institute of Technology, Stockholm International Toy Research Centre (Suède),
- Sunderland University (Royaume-uni),
- The Swedish Institute for Special Needs Education, Resource Centre Vision Stockholm (Suède),
- Virtua Ltd (Royaume-uni).

#### Résumé

Il s'agissait de développer une interface de conception et d'adaptation de jeux pour des enfants aveugles et déficients visuels. Ces jeux sont destinés aux enfants d'âges pré-élémentaire et élémentaire, avec ou sans handicap associé, et doivent leur permettre une utilisation autonome. L'étude de l'apport éducatif et pédagogique est pris en compte de même que les aspects thérapeutiques dans le cas d'enfants très lourdement handicapés.

Ce projet fut le support de différents travaux de recherche différents thèmes (traités par les différentes équipes participantes) :

- les interfaces spécifiques aux enfants aveugles et celles spécifiques aux enfants malvoyants ;
- les problèmes d'adaptation de scénarios destinées à un terminal graphique pour des périphériques différents ;
- les interfaces multimodales et en particulier les problèmes de ressources associées aux différents types de modalités, ainsi qu'aux problèmes de synchronisation ;
- l'apport éducatif des jeux multimédia pour un groupe d'enfants qui n'a pas ou peu eu l'occasion d'en utiliser auparavant ;
- les problèmes juridiques que posent l'utilisation de ressources provenant de jeux existants.

## A.2 Vickie : Visually Impaired Children Kit for Inclusive Education [27]

- FP5 — IST (Information Society Technologies) — Systems and Services for the Citizen/ Persons with special needs — réf. IST-2001-32678.
- Coordinateur : **Dominique Archambault**.
- Début : Octobre 2001, durée : 45 mois, 6 partenaires de 3 pays.
- Financement communautaire : 1 500 k€ (290 mois/homme), dont UPMC : 360 k€.
- **Projet terminé le 30 juin 2005 avec la mention « *Successful completion* ».**

### Participants

- Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, Inserm U483/INOVA (France) — **coordinateur**,
- Association BrailleNet (France),
- Regina Margherita National Library for the Blind in Monza (Italie),
- Centro di Ricerca, Sviluppo e Studi Superiori in Sardegna (Italie),
- St-Joseph's School for the Visually Impaired (Irlande),
- EuroBraille (France).

### Résumé (extrait du rapport final, août 2005)

The overall objective of the Vickie Project was to promote a global scheme for the production/adaptation/distribution of accessible learning material for VISP (Visually Impaired Students and Pupils). This scheme involves different types of organisations : schools, resource centres, governmental organisations, students and their families, and publishing companies whose commitment is essential.

Vickie has produced a demonstration of this global scheme that consists in a computer environment facilitating the production, the adaptation, the distribution and the reading of accessible learning documents for visually impaired students and pupils. It shall be noticed that the main problem addressed by Vickie is about producing/adapting/ distributing/accessing learning documents, rather than distance learning or e-learning. Learning documents are defined as any document used to support education in schools (teacher notes, courses, school books, text books, ...).

### A.3 MICOLE : Multimodal collaboration environment for inclusion of Visually Impaired Children [44]

- FP6 — IST (Information Society Technologies) — réf. IST-2003-511592STP.
- Coordinateur : **Roope Raisamo** (*University of Tampere*).
- Début : Septembre 2004, durée : 36 mois, 13 partenaires de 8 pays.
- Financement communautaire : 2 100 k€, dont UPMC : 144 k€.
- **Projet terminé fin 2007 avec la mention « *Successful completion* ».**

#### Participants

- University of Tampere (Finland) — **coordinateur**,
- University of Glasgow (Royaume-uni),
- Media Lab Europe (Irlande),
- Université de Metz (France),
- Uppsala University (Suède),
- Lund University (Suède),
- Royal Institute of Technology (Suède),
- Siauliai University (Lituanie),
- ICS-FORTH (Grèce),
- Johannes Kepler Universität Linz (Autriche),
- Université Pierre et Marie Curie-Paris 6 — INOVA/UFR919 (France),
- France Telecom (France),
- Reachin Technologies AB (Suède).

#### Résumé

The work in the MICOLE project aims at developing a system that supports collaboration, data exploration, communication and creativity of visually impaired and sighted children. In addition to the immediate value as a tool the system will have societal implications through improved inclusion of the visually disabled in education, work, and society in general. While the main activity is the construction of the system, several other supporting activities are needed, especially empirical research of collaborative and cross-modal haptic interfaces for visually impaired children.

Empirical experiments are carried out to find out how to use different senses to partially replace missing visual capabilities, especially in tasks that are central in the system being constructed. MICOLE includes two work packages with different empirical foci to feed critical knowledge into the central iterative construction-evaluation cycle of the system development and evaluation work packages.

The project begins with stakeholder involvement and requirements gathering tasks. The intended users are involved throughout the project in participatory design and evaluations. The consortium has been set up with partners that have existing contacts and experience in working with local and national organizations for the visually disabled to facilitate user involvement.

The software architecture and applications will be multimodal, that is, they make use of hearing and touch to complement different levels of visual disability. The project participants include European and world leaders in the area of haptics and multimodal human-computer interaction to ensure that the best possible expertise is used. In addition to the system built in MICOLE, the project produces theoretical and empirical results and guidelines for developers generally improving the conditions for inclusion and participation of the visually disabled in the Information Society.

*Les tâches confiées à UPMC, en étroite collaboration avec l'Université de Linz concernent l'accès aux contenus scientifiques, et tout particulièrement aux formules mathématiques.*

## A.4 @Science : Towards an Accessible Science [BMa06]

- eContentPlus — réf. ECP-2005-CULT-038137.
- Coordinateur : **Cristian Bernareggi** (*Università degli Studi di Milano*).
- Début : Octobre 2008, durée : 24 mois, 6 partenaires de 6 pays.
- Financement communautaire : 350 k€, dont UPMC : 25 k€.

### Participants

- Università degli Studi di Milano (Italie) — **coordinateur**,
- Johannes Kepler Universität Linz (Autriche),
- Katholieke Universiteit Leuven (Belgique),
- Faculty of Physics and Informatics, Comenius University (Slovaquie),
- Unione Italiana Ciechi – Sezione Provinciale di Verona (Italie),
- Université Pierre et Marie Curie-Paris 6 — INOVA/UFR919 (France).

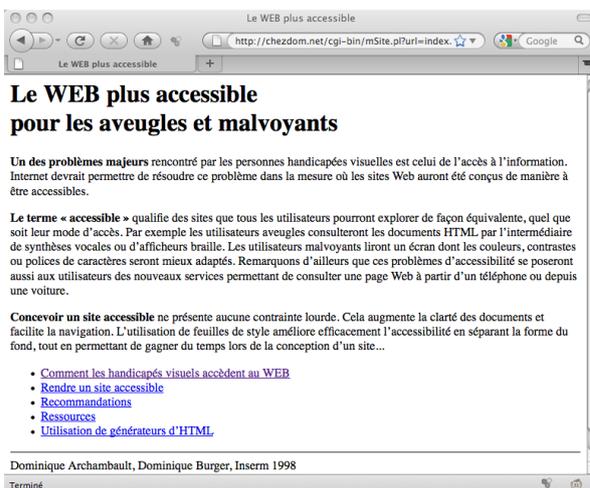
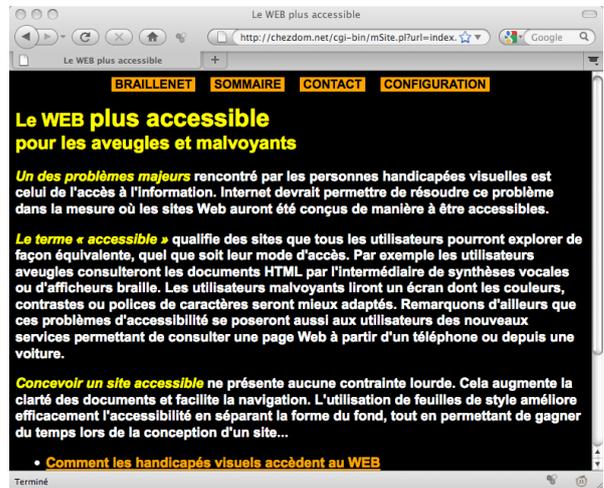
### Résumé

Vers une science accessible : faciliter l'accès aux documents scientifiques numériques pour les étudiants handicapés visuels.

Le projet @Science vise à faciliter l'accès aux documents scientifiques numériques pour les étudiants et les chercheurs handicapés visuels. Les principaux obstacles sont la très faible accessibilité des ressources scientifiques pédagogiques, en particulier en ce qui concerne les expressions mathématiques ; la difficulté d'obtenir des représentations graphiques, comme les diagrammes ou les dessins techniques sous forme tactile ou dans une autre format alternatif ; le manque d'information sur les outils efficaces d'accès aux contenus scientifiques. Une solution consiste à partager l'expérience acquise lors d'expérimentations passées, les recommandations et guides de bonnes pratiques. Les acteurs principaux sont les fournisseurs de contenus scientifiques, les étudiants, les tuteurs, les enseignants, les développeurs de technologie d'assistance, et les services universitaires d'aide aux étudiants handicapés. Le point d'accès au réseau @Science est le site Web qui diffuse cette expérience, et qui propose des forums et une liste de diffusion.

# Annexe B

## Copies d'écran de Multisite (cf. 3.1.1, page 26)





## Annexe C

### Niveaux de *Pyvox*, *Musical Maze* (cf. 3.1.3.6, page 33)

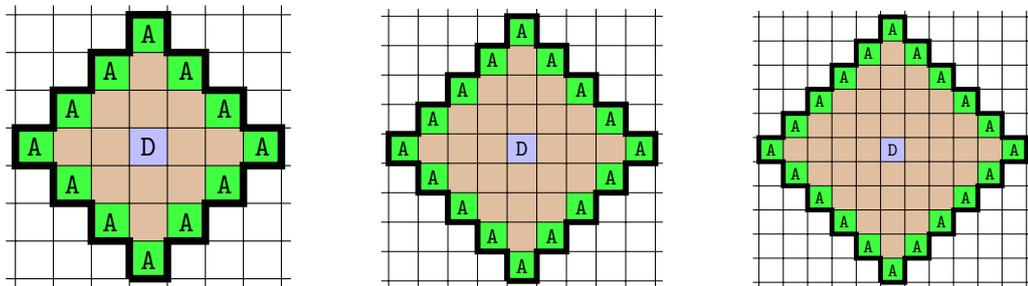


FIG. C.1 – Niveaux 1, 2 et 3

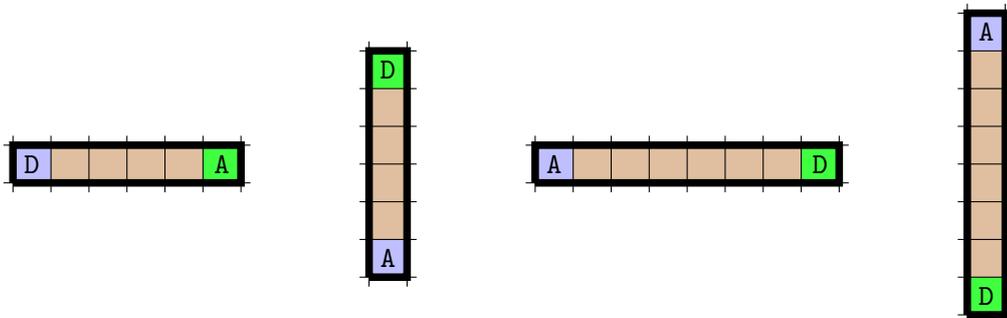


FIG. C.2 – Niveaux 4 à 7

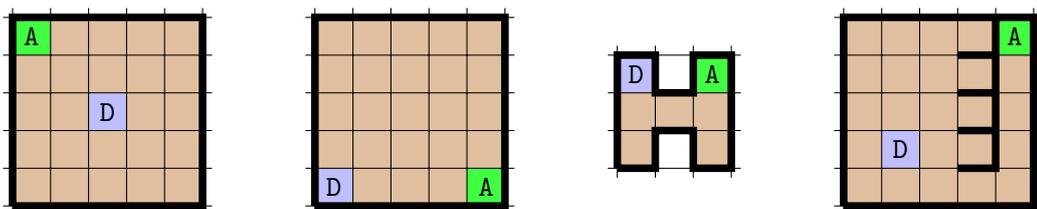


FIG. C.3 – Niveaux 12, 15, 20 et 25

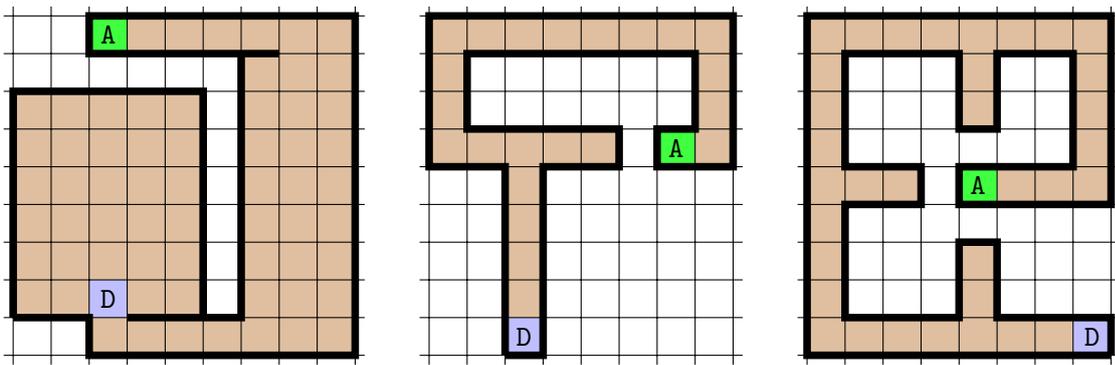


FIG. C.4 – Niveaux 51, 55, 61

## Annexe D

# Copies d'écran de MaWEn (*cf.* 3.1.2.1, 3.1.2.2, 3.2.1, 3.4.3)

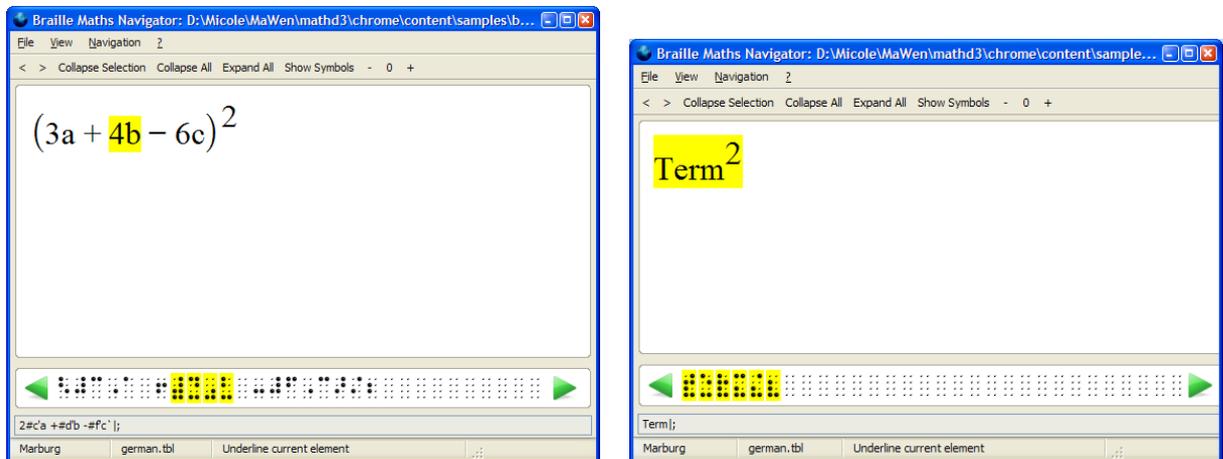


FIG. D.1 – Copies d'écran avec une sélection (en braille allemand *Marburg*). Dans la fenêtre de droite, le terme «  $(3a + 4b - 6c)$  » a été fermé.

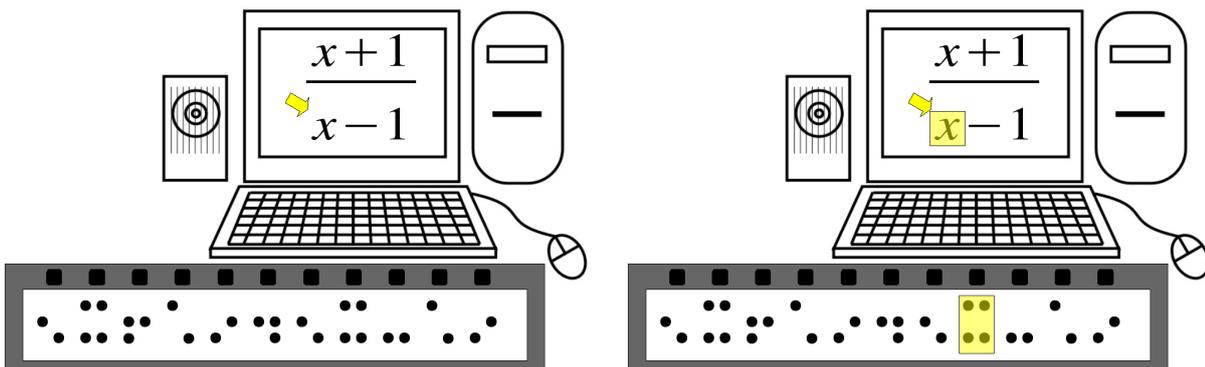


FIG. D.2 – Pointage initié par l’enseignant : lorsqu’il clique sur le «  $x$  » au numérateur, celui-ci est matérialisé à la fois sur l’écran, en inversion vidéo, et sur l’afficheur braille.

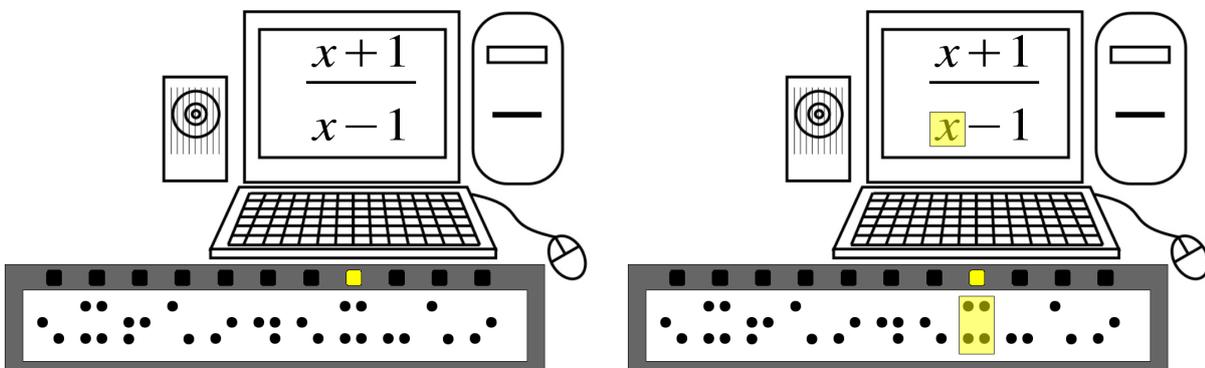


FIG. D.3 – Pointage initié par l’élève braille, en activant un bouton de curseur. Le «  $x$  » est matérialisé de la même façon sur les deux vues.

## Annexe E

# Feuille de style Blindstation (*cf.* 3.4.1, page 40)

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <!DOCTYPE blindstation SYSTEM "bs.dtd">
3
4 <blindstation>
5 ...
6   <widget name="HelpButton">
7     <state name="init">
8       <text lang="en">HELP [H]</text>
9       <text lang="fr">AIDE [A]</text>
10      <text lang="sv">HJÄLP [H]</text>
11      <font file="arial.ttf" size="28"/>
12      <rect h="48" w="490" x="77" y="344"/>
13      <color a="255" b="255" g="255" r="255"/>
14      <focus_color a="255" b="255" g="255" r="255"/>
15      <flexikeys>20,21,22</flexikeys>
16      <shortcuts lang="en">H</shortcuts>
17      <shortcuts lang="fr">A</shortcuts>
18      <shortcuts lang="sv">H</shortcuts>
19    </state>
20
21    <state name="active">
22      <text_color a="255" b="0" g="0" r="128"/>
23      <focus_text_color a="255" b="0" g="0" r="255"/>
24      <accept_focus value="1"/>
25    </state>
26
27    <state name="inactive">
28      <text_color a="255" b="128" g="0" r="0"/>
29      <focus_text_color a="255" b="255" g="0" r="0"/>
30      <accept_focus value="0"/>
31    </state>
32  </widget>
33 ...
34 </blindstation>
```

