



UNIVERSITÉ
FRANÇOIS RABELAIS TOURS



ÉCOLE DOCTORALE SST
LABORATOIRE D'INFORMATIQUE : EA2101
EQUIPE HANDICAP ET NOUVELLES TECHNOLOGIES

THÈSE présentée par :

Alexis SEPCHAT

soutenue le : 24 novembre 2008

pour obtenir le grade de : Docteur de l'université François Rabelais Tours

Discipline / Spécialité : Informatique

Jeux vidéo accessibles pour personnes en situation de handicap

THÈSE DIRIGÉE PAR :

SLIMANE Mohamed

Professeur des Universités, Université François Rabelais de Tours

THÈSE CO-ENCADRÉE PAR :

MONMARCHÉ Nicolas

Maître de conférences, Université François Rabelais de Tours

RAPPORTEURS :

NATKIN Stéphane

Professeur des Universités, CNAM, Paris

PISSALOUX Edwige

Professeur des Universités, Université de Rouen

JURY :

ARCHAMBAULT Dominique

Maître de conférences, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6

MIESENBERGER Klaus

Professeur, Université de Linz (Autriche)

MONMARCHÉ Nicolas

Maître de conférences, Université François Rabelais de Tours

NATKIN Stéphane

Professeur des Universités, CNAM, Paris

OLIVIER Damien

Professeur des Universités, Université du Havre

PISSALOUX Edwige

Professeur des Universités, Université de Rouen

SLIMANE Mohamed

Professeur des Universités, Université François Rabelais de Tours

Résumé :

Les jeux vidéo sont un acteur important des loisirs numériques et jouent un rôle toujours croissant dans notre société de l'information et de la communication. Outre leur aspect ludique, ils représentent un remarquable outil d'intégration et un excellent support pédagogique. L'accès des personnes en situation de handicap aux jeux vidéo est devenu un enjeu éthique, légal et financier. Ces travaux présentent la problématique générale de l'accessibilité aux jeux vidéo et proposent une classification des problèmes associés selon deux axes : les problèmes d'interaction et les problèmes de niveau de difficulté. Des solutions sont apportées pour chacun de ces problèmes respectivement à l'aide de la multimodalité et d'un moteur d'intelligence artificielle auto adaptatif. Finalement, ces travaux constituent un nouvel apport en faveur de l'accessibilité au sein des jeux vidéo en proposant des solutions pour souligner la faisabilité de leur intégration dans des jeux vidéo « grand public ».

Mots clés :

Accessibilité, Jeux vidéo, conception pour tous, handicap, intelligence artificielle, fournis artificielles, jeux audio, jeux haptiques, jeux tactiles, multi modalité

Abstract :

Computer games are one of the main elements of the digital entertainment and their role is growing in our society of information and communication. Indeed, more than a play aspect, they are a notable social integration tool and a very good pedagogical tool. The disabled players' access to the computer games' universe is become an ethical, legal and financial issue. These works introduce the computer games accessibility outcome and propose to separate the associated problems into two clusters : the interaction ones and the level of difficulty ones. They also propose to solve these problems with auto adaptive artificial intelligence and thanks to multi modality. Finally, these works are a new contribution in support of the computer games accessibility. They propose some solutions to underline the feasibility of the integration of the computer games accessibility mechanisms in the bosom of the mainstream game universe.

Keywords :

Computer game accessibility, design for all, artificial intelligence, artificial ants, audio games, haptic games, tactile games, multi modality

Remerciements

Mes travaux de recherche ont été menés au sein de l'équipe Handicap et Nouvelles Technologies du Laboratoire d'Informatique de l'Université François Rabelais de Tours. J'ai commencé ces travaux au cours de ma formation au sein du département informatique de l'école polytechnique universitaire de Tours dans le cadre d'un projet de fin d'études.

Mes premiers remerciements vont spontanément vers mon directeur de thèse Mohamed Slimane et mon codirecteur Nicolas Monmarché. Ils m'ont permis de réaliser mes recherches dans des conditions idéales en gérant une grande partie des aspects organisationnels de cette thèse et en me faisant part de leur expérience dans les différents domaines mis en œuvre dans ces travaux. Ensemble, ils ont su encadrer efficacement mes travaux, tout en me laissant développer mes propres idées.

Je remercie les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail. Je remercie les rapporteurs de cette thèse : Edwige Pissaloux et Stéphane Natkin, et les examinateurs : Dominique Archambault, Klaus Miesenberger et Damien Olivier.

Je remercie tous les enseignants, doctorants et étudiants du Département Informatique de Polytech'Tours pour leur accueil et leur confiance. Je remercie en particulier les membres de l'équipe Handicap et Nouvelles Technologie qui m'ont soutenu durant ces trois années. Je remercie également l'ensemble des étudiants que j'ai eu l'occasion d'encadrer lors de stages ou de mini projets au cours de leur formation au sein de cette école et dont les travaux ont pu être intégrés, directement ou indirectement, à cette thèse.

Je remercie Jean Desmazes, directeur de l'Institut d'Administration des Entreprises de l'Université de Tours, pour sa participation au montage financier m'ayant permis de mener ce projet et son soutien durant mes trois années durant lesquelles j'ai dû gérer la charge de travail liée à mon poste d'administrateur réseau de l'IAE de Tours conjointement à mes travaux de recherches. Je remercie également Jean Philippe Réau et Stéphane Bourliataux-Lajoinie pour leurs collaborations concernant l'évolution du réseau de l'IAE de Tours.

Je remercie l'ensemble des personnes ayant acceptées de participer aux tests de nos applications et nous ont ainsi permis de les améliorer en particulier Marylène Jabely qui a accepté de participer régulièrement à ces évaluations.

D'un point de vue plus personnel, je remercie les membres de ma famille qui m'ont apportés tout leur soutien dans l'accomplissement de ce projet.

Enfin, je remercie tous ceux que je n'ai pas encore cités et qui ont contribué au bon déroulement de mes études vers le doctorat : le personnel administratif du Département Informatique de Polytech'Tours et du Laboratoire d'Informatique de l'Université François Rabelais de Tours.

Table des matières

Table des figures	v
Liste des tableaux	xiii
1 Introduction	1
2 La déficience visuelle	5
2.1 Introduction	6
2.2 L’oeil et la vue	6
2.2.1 La structure anatomique de l’œil	6
2.2.2 Le mécanisme de la vision	7
2.3 La déficience visuelle	8
2.3.1 La définition de la déficience visuelle	8
2.3.2 La situation actuelle	8
2.3.3 Les différentes formes de déficience visuelle	9
2.3.4 Le projet VISION2020 : le droit à la vue	11
2.4 Les conséquences sociales de la déficience visuelle	12
2.4.1 La communication	12
2.4.2 Le déplacement	12
2.4.3 Le développement de l’enfant	12
2.4.4 L’apprentissage de la lecture et l’importance du Braille	14
2.4.4.1 Une écriture accessible : le braille	14
2.5 La déficience visuelle et l’informatique	19
2.5.1 L’accès des malvoyants à l’information numérique	19
2.5.2 L’accès des non voyants à l’information numérique	19
2.6 Conclusion	23
3 Accessibilité aux jeux vidéo	25
3.1 Introduction	26
3.2 Les jeux vidéo	26
3.2.1 La définition des jeux vidéo	26
3.2.2 La classification des différents types de jeux vidéo	26
3.2.3 La définition de la notion de « gameplay »	27
3.3 La place des jeux vidéo dans notre société	28
3.3.1 Les jeux vidéo au sein de notre société	28
3.3.2 Les enjeux de l’accès aux jeux vidéo	29
3.3.2.1 Les jeux vidéo comme support pédagogique	29
3.3.2.2 Les jeux vidéo comme outil d’intégration sociale	31
3.3.2.3 L’enjeu des jeux vidéo chez le joueur en situation de handicap	31
3.4 La définition à l’accessibilité des jeux vidéo	33
3.5 Pourquoi les jeux standards ne sont ils pas accessibles ?	34
3.5.1 La classification des problèmes de l’accessibilité aux jeux vidéo	34
3.5.1.1 Les problèmes d’interaction	34
3.5.1.2 Les problèmes de niveau	35

3.5.2	Les difficultés rencontrées et les solutions apportées en fonction du type de handicap	37
3.5.2.1	Le handicap moteur	37
3.5.2.2	Le handicap cognitif	40
3.5.2.3	Le handicap auditif	41
3.5.2.4	Le handicap visuel	41
3.6	Les jeux vidéo accessibles, les outils et les projets qui les entourent	45
3.6.1	Jeux partiellement accessibles ou jeux accessibles universels?	46
3.6.2	Une liste non exhaustive des principaux projets en relation avec l'accessibilité aux jeux vidéo	48
3.6.3	Les outils associés à la conception de jeux accessibles pour personnes déficientes visuelles	55
3.6.3.1	La synthèse vocale	56
3.6.3.2	La transcription braille	56
3.6.3.3	La spatialisation du son	58
3.7	Comment rendre un jeu vidéo accessible?	59
3.7.1	Généralités	59
3.7.2	Les recommandations pour la conception de jeux accessibles	61
3.7.2.1	Le livre blanc du « GA-SIG IGDA »	61
3.7.2.2	Les directives pour le développement de jeux accessibles	61
3.7.3	L'évaluation de l'accessibilité d'un jeu vidéo	62
3.7.4	La notation de l'accessibilité d'un jeu vidéo	63
3.7.5	L'évaluation du flow dans les jeux vidéo	63
3.7.6	Les recommandations pour la conception de jeux	65
3.8	Bilan et perspectives sur l'accessibilité aux jeux vidéo	65
4	Modèle biologique et fourmis artificielles	67
4.1	Introduction	68
4.1.1	Des fourmis naturelles	68
4.1.2	. . . aux fourmis artificielles	69
4.2	La recherche de nourriture	69
4.3	La division du travail et de l'allocation de tâches chez les fourmis et sa modélisation	72
4.3.1	La modélisation du problème de la division du travail et de l'allocation de tâches	72
4.3.2	Analyse du modèle et des paramètres	76
4.4	Conclusion	79
5	Fourmis artificielles et Jeux vidéo accessibles	81
5.1	Introduction	82
5.2	Les fourmis artificielles et la recherche de chemin : Premiers pas pour l'intégration d'algorithmes à base de fourmis artificielles dans des jeux vidéo	82
5.2.1	La recherche du plus court chemin	83
5.2.2	L'orientation des ennemis	83
5.3	Fourmis artificielles, division du travail et jeux vidéo accessibles	84
5.3.1	Les jeux possibles	84
5.3.2	Les pré requis à la mise en œuvre	85
5.3.2.1	Les stratégies de sélection d'une tâche	85
5.3.2.2	Les stratégies de déplacement des fourmis artificielles	87
5.3.3	Le jeu simple du restaurant	91

5.3.4	Les évaluations	92
5.3.4.1	Le premier jeu de paramètres	93
5.3.4.2	Le second jeu de paramètres	97
5.3.5	L'intégration de ce moteur d'intelligence artificielle dans un jeu plus évolué : BosWars	102
5.4	Conclusion	104
6	Jeux vidéo multi-modaux	107
6.1	Les principes de la multimodalité	108
6.1.1	Introduction	108
6.1.2	La structure d'une application multimodale	108
6.2	Les jeux audio	109
6.2.1	L'intégration des mécanismes de spatialisation du son dans les jeux accessibles	109
6.2.1.1	Le labyrinthe simple	110
6.2.1.2	Le Taxi	110
6.2.1.3	La fermière et les lapins	111
6.2.1.4	Le Pong	112
6.2.1.5	Le jeu de combat aérien : FlightFight	113
6.2.2	Les synthèses vocales	115
6.2.3	Les jeux sur baladeurs multimédia	115
6.2.3.1	Les baladeurs numériques et les micrologiciels alternatifs	116
6.2.3.2	Les jeux audio accessibles et le système Rockbox	120
6.2.3.3	Extensions des jeux audio accessibles sur baladeur multimédia	123
6.3	Les jeux vidéo tactiles	124
6.3.1	Les jeux sur terminal braille	124
6.3.1.1	La représentation simple d'un jeu de labyrinthe sur un terminal braille	125
6.3.1.2	La représentation enrichie d'un jeu de labyrinthe sur un terminal braille	127
6.3.1.3	Extension de ces modes de transcription au jeu du serpent sur terminal braille	131
6.3.1.4	Extension de ces modes de transcription à un jeu de Bataille navale sur terminal braille	132
6.3.1.5	Extension de ces modes de transcription à un jeu de Pong sur terminal braille	134
6.3.2	Évaluations de ces jeux tactiles	135
6.4	Le besoin de personnalisation : Profil Utilisateur	136
6.4.1	La mise en œuvre des mécanismes de personnalisation dans une plateforme de jeux de cartes accessibles	136
6.4.2	Le jeu de Black Jack	137
6.4.3	Le jeu Citadelles	137
6.4.4	Les mécanismes de personnalisation	138
6.5	Les outils d'aide à la conception de jeux accessibles	143
6.5.1	Le générateur automatique de jeux tactiles et de transcriptions braille	144
6.5.2	La génération de grille de jeu	147
6.5.3	Une proposition de structure de jeux de cartes accessibles intégrant les mécanismes de gestion de profils utilisateur et les communications réseau multi joueurs.	147

6.5.4	Les mécanismes d'intégration de l'intelligence artificielle dans des jeux accessibles	148
6.5.5	La surcouche à la librairie sonore OpenAL pour faciliter la mise en œuvre des mécanismes de spatialisation des sons	148
6.5.6	La surcouche aux librairies graphiques JAVA	148
6.6	La plateforme de jeux accessibles	149
6.7	Conclusion	149
7	Conclusion et Perspectives	151
7.1	Conclusion	152
7.2	Perspectives	155
Annexe		157
A	Le choix des paramètres du modèle proposé par BONABEAU ET AL.	158
B	Les règles des jeux de Black Jack et de Citadelles	160
B.1	Le jeu de Black Jack	160
B.2	Le jeu Citadelles	160
C	La génération automatique de jeu	163
C.1	Un exemple de DTD associée à un jeu vidéo tactile accessible	163
C.2	Exemple de fichier XML de jeu tactile	164
C.2.1	Le jeu de labyrinthe	164
C.2.2	Le jeu de serpent	164
Bibliographie		171

Table des figures

1.1	Répartition de la population française en situation de handicap en fonction des déficiences (en millions de personnes - estimation de l'enquête HID 2001). . .	3
2.1	Structure anatomique de l'œil	7
2.2	Mécanisme de la vision	7
2.3	Répartition mondiale des personnes en situation de déficience visuelle en millions (source Organisation Mondiale de la Santé - 2002)	9
2.4	Diagramme de répartition des non voyants dans le monde (source Organisation Mondiale de la Santé - 2002)	9
2.5	Diagramme de répartition géographique des mal et non voyants dans le monde (en millions - source Organisation Mondiale de la Santé - 2002)	10
2.6	Diagramme de répartition des différentes causes de cécité dans le monde . . .	11
2.7	Objectifs du projet VISION2020 proposés par l'OMS	11
2.8	Exemple système de LANA	14
2.9	Portrait de LOUIS BRAILLE	15
2.10	Alphabet Braille (extrait de www.mirophile.org/braille.php)	16
2.11	Distance Braille	17
2.12	Logos des deux principaux logiciels de revue d'écran	20
2.13	Exemple d'afficheurs braille de différentes marques (ONCE, Eurobraille, Pappenmeier, Alva, Vario). L'afficheur ONCE ECO 20 (afficheur principal de cette illustration) est celui utilisé durant ces travaux de thèse (images personnelles ou extraites du site Libbraille : http://libbraille.org/)	21
2.14	Exemple d'utilisation conjointe d'un afficheur braille avec un PC ou un portable (images extraites du site Libbraille : http://libbraille.org/)	21
2.15	Exemple de terminaux braille (Brailnote, Braillelite, Voyager)(images extraites du site Libbraille : http://libbraille.org/)	22
2.16	Exemple d'embosseuses (images extraites de http://www.cecias.com/	22
3.1	Ontologie des jeux proposée par NATKIN [Nat06].	27
3.2	Répartition des joueurs par tranche d'âge	28
3.3	Répartition des plate formes de jeu (en pourcentage)	29
3.4	Exemples d'aides à la navigation pour les personnes aveugles : la canne blanche électronique (a.Teletact, b.TomPouce, c.GeoTact)(images extraites du site du laboratoire Aimé Cotton, Paris).	32
3.5	Le projet : lunettes intelligentes ISIR Paris 6	33
3.6	Captures d'écran des Classiques « Pong », « Space Invaders »et « PacMan »(Captures d'écran extraites des sites web : www.nintendo-master.com , www.c-sharpcorner.com et www.games-creators.org)	35

3.7	Évolution des différents contrôleurs de jeu (a.Atari(1972), b.Nes(1985), c.SuperNes(1992), d.PlayStation1(1995), e.PlayStation2-3(2000-2007), f.XBox(2001), g.WII(2006))	36
3.8	Notion de « Flow » dans les jeux par Jenova	36
3.9	Exemple de contrôleurs accessibles (a.« head »tracker, b.contrôleur lié au souffle, c.contrôleur Nintendo « Hand Free », d.« PlayStation Control Center »(images extraites du site http://www.oneswitch.org.uk/) e. OCZ Neural Impulse Actuator (image extraite du site http://www.matbe.com/actualites/40171/ocz-nia/)	38
3.10	Exemple de contrôleur basé sur l'utilisation de « Switch »(image extraite du site http://www.oneswitch.org.uk/)	40
3.11	Capture d'écran du jeu Half Life 2 (extrait du site http://www.half-life-2.org/)	42
3.12	Captures d'écran du jeu Dropheads auquel une simulation des différentes déficiences visuelles a été appliquée : vision normale, daltonisme, dégénérescence maculaire, rétinopathie et cécité. (captures d'écran extraites de http://www.gameaccessibility.com/index.php?pagefile=visual)	42
3.13	Pourquoi les joueurs ne jouent ils pas aux jeux audio?	44
3.14	Captures d'écran des jeux de sport « F355 Ferrari Challenge », « Destruction Derby »et « Everybody's Golf 2 »	46
3.15	Capture d'écran du jeu de combat « Mortal Kombat »	46
3.16	Capture d'écran du jeu d'aventure « Zork Grand Inquisitor »	46
3.17	Capture d'écran du jeu UA-Chess	47
3.18	Captures d'écran du jeu Access Invaders : adaptation de l'interface graphique	47
3.19	Captures d'écran du jeu Terrestrial Invaders : adaptation de l'interface graphique (Extrait du site : http://www.ics.forth.gr/hci/ua-games/)	48
3.20	Logo des UA-Games proposé par HCI-ICS-FORTH	48
3.21	Logo du projet AGRIP et capture d'écran du jeu « Quake »rendu accessible (image extraite de wikipédia)	48
3.22	Approche tripartite de l'accessibilité numérique	49
3.23	Exemple de fichier XML généré par Audio Games Maker	49
3.24	Équipement du jeu Demor (image extraite du site du projet http://www.demor.nl/)	51
3.25	Capture d'écran du jeu Doom3 rendu accessible grâce à un mécanisme de « Close Captioning »(image extraite du site www.d3hq.com)	51
3.26	Capture d'écran du jeu Tachido (image extraite du site de l'agglomération de Montbeliard, région d'origine de Tsunami Factory la société développant le jeu http://www.agglo-montbeliard.fr/kiosque_puissance28.php?id_article=446)	52
3.27	Capture d'écran du jeu Terraformers (image extraite du site du FileFront http://software.filefront.com/Terraformers)	52
3.28	Approche multimodale du projet TiM (images extraites du site du projet http://inova.snv.jussieu.fr/tim/)	53
3.29	Méthodologie du projet TiM (images extraites du site du projet http://inova.snv.jussieu.fr/tim/)	54
3.30	Le jeu « MudSplat » : exemple de jeu conçu durant le projet TiM (images extraites du site du projet http://inova.snv.jussieu.fr/tim/)	54
3.31	Captures d'écran du jeu Wheelkid (l'accueil et les trois différents jeux proposés)	55
3.32	Captures d'écran des « plugs-in » du jeu « Half-Life » : « Counter strike » et « Day of defeat »	55

3.33	Représentation schématique du cône de confusion : ensemble des points situés sur un cercle dans le plan frontal, et pour lequel il n’y a pas différence temporelle interauriculaire	59
3.34	Classification des méthodes d’évaluation des jeux	64
4.1	Recherche du plus court chemin chez les fourmis : travail collectif et dépôt de phéromones.	70
4.2	Représentation de l’espace deux dimensions dans lequel évolue la fourmi et des huit directions possibles l’entourant et formant son voisinage I.	70
4.3	Extension du modèle de la recherche de nourriture à l’aide d’une fenêtre de perception et d’un champs visuel proposée par JASON DUNN [Dun05].	71
4.4	Représentation de la première fonction proposée par BONABEAU <i>et al.</i> pour le calcul de la probabilité d’action ($n = 2$) en fonction de l’intensité du stimulus et pour différentes valeurs du seuil de réponse	73
4.5	Influence du paramètre n pour la première fonction proposée par BONABEAU <i>et al.</i> ($\theta_{i,j} = 5$)	74
4.6	Représentation de la seconde fonction proposée par BONABEAU <i>et al.</i> pour le calcul de la probabilité d’action en fonction de l’intensité du stimulus et pour différentes valeurs du seuil de réponse	74
4.7	Comparaison des deux fonctions proposées par BONABEAU <i>et al.</i> pour $\theta_{i,j} = 5$	75
4.8	Représentation sous forme d’automate du comportement des fourmis dans le cadre de la division du travail et de la répartition des tâches. Ici deux fourmis peuvent envisager de traiter trois tâches dont les différentes courbes représentent l’évolutions des niveaux de stimulus associés ; les arcs correspondent aux probabilités de transition entre les différentes actions possibles des fourmis	75
4.9	Exemples d’atteinte d’un régime pseudo-stationnaire pour a. $\alpha = 25$ ($N = 50$, $\delta_i = 7, \forall i \in \{1, 2, 3\}$, $p = 0.5$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$) et d’augmentation continue pour b. $\alpha = 20$ ($N = 50$, $\delta_i = 7, \forall i \in \{1, 2, 3\}$, $p = 0.5$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$)	77
4.10	Influence de la taille de la colonie - $N \in \{1, 3, 10, 500\}$ ($\alpha = 25$, $\delta_i = 7$, $\forall i \in \{1, 2, 3\}$, $p = 0.5$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$)	78
4.11	Influence de l’efficacité : $\alpha \in \{25, 30, 40\}$ ($N = 10$, $\delta_i = 7$, $\forall i \in \{1, 2, 3\}$, $p = 0.5$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$)	78
4.12	Influence de la probabilité d’arrêt p : $p \in \{0.1, 0.5, 0.9\}$ ($N = 10$, $\alpha = 25$, $\delta_i = 7$, $\forall i \in \{1, 2, 3\}$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$).	78
4.13	Influence du mécanisme de spécialisation : $\xi = 1$, $\varphi = 1$ et $\xi = 5$, $\varphi = 1$ ($N = 10$, $\alpha = 25$, $\delta_i = 7$, $\forall i \in \{1, 2, 3\}$ et $p = 0.5$).	79
5.1	Principe du déplacement des ennemis influencés par la trace de phéromones déposée par le joueur	84
5.2	Principe des jeux basés sur l’allocation de tâches. Chaque tâche est représentée par un tampon. Le joueur tente de remplir ces tampons tandis que la colonie se charge de les vider. Le niveau de remplissage de ces tampons représente l’intensité du stimulus associé à la tâche correspondante	85
5.3	Synoptique du comportement d’une fourmi inactive à l’instant t_0 . Une fourmi inactive sélectionne une tâche pour l’évaluer à l’aide de la fonction de probabilité d’action. Si elle décide de traiter la tâche elle sera active durant la période suivante $t_0 + 1$. Sinon, elle sélectionne et évalue une nouvelle tâche si besoin. Si toutes les tâches ont été sélectionnées, évaluées et refusées ou si la politique de sélection consiste à ne sélectionner qu’une unique tâche et que celle ci a été refusée alors la fourmi restera inactive durant la période suivante $t_0 + 1$	86

5.4	Influence de la stratégie de déplacement : (a) et (b) stratégie initiale proposée par BONABEAU <i>et al.</i> ne prenant pas en compte les distances avec la possibilité, ou non, de stopper son activité durant le déplacement ; (c) et (d) stratégie pondérant la probabilité d'action, au niveau de la sélection ou de l'évaluation, à partir des distances ; (e) et (f), stratégie prenant en compte indépendamment la probabilité d'action calculée et les distances.	88
5.5	Évolution de l'état d'une fourmi au cours de la simulation. Une fourmi passe successivement de l'état active à l'état inactive en fonction des probabilités d'action des différentes tâches et de la probabilité d'arrêt commune à toutes les tâches. Dans ce graphe les probabilités de passage de l'état inactif au traitement de la tâche i sont approximées par la probabilité d'action $T_{\theta_{i,j}}$. Cependant cet automate est une simplification puisqu'il est en réalité nécessaire de faire intervenir les probabilités de sélection. Dans le cas d'une stratégie de sélection basée sur des probabilités cumulées, la probabilité de passage de l'état inactif au traitement de la tâche i est égale à $T_{\theta_{i,j}} \times \frac{T_{\theta_{i,j}}}{\sum_{q \in Q} T_{\theta_{q,j}}}$	89
5.6	Principe de calcul de la distance maximale basé sur une fenêtre englobante contenant la fourmi et l'ensemble des tâches à traiter	90
5.7	Capture d'écran du jeu du Restaurant. Le joueur évolue dans l'espace situé à gauche des comptoirs tandis que les clients évoluent dans l'espace à droite des comptoirs.	92
5.8	Transcription Braille du jeu du Restaurant lors de la capture d'écran donnée figure 5.7 : chaque comptoir dispose d'une représentation sur cinq cellules Braille : la première cellule permet de créer une nette séparation entre les différentes informations issues des transcriptions des différents comptoirs. Les cellules deux et trois donnent le taux de remplissage du comptoir ; la cellule cinq donne le nombre de clients présents sur le comptoir. La cellule quatre assure la séparation entre information relative au nombre de clients et information relative au taux de remplissage. Enfin, la position du personnage est transcrite grâce à l'utilisation d'un curseur sur la dernière ligne de picots des cellules deux et trois.	92
5.9	Résultats obtenus en mode Easy : scores minimum, maximum, moyenne et écart type (jeu de paramètres 1 (Cf. tableau 5.1)	95
5.10	Résultats obtenus en mode Medium (jeu de paramètres 1 Cf. tableau 5.1)	95
5.11	Résultats obtenus en mode Hard (jeu de paramètres 1 Cf. tableau 5.1)	96
5.12	Évolution du nombre de joueurs en jeu (jeu de paramètres 1 Cf. tableau 5.1) : la partie pouvant éventuellement être interrompue suite à un défaut de points de vie.	96
5.13	Variation moyenne du score en fonction des différents modes (moyenne et écart type - jeu de paramètres 1 Cf. tableau 5.1). À noter : le score moyen est calculé en fixant à zéro le score courant des joueurs ayant déjà perdu du fait d'un défaut de points de vie.	98
5.14	Résultats obtenus en mode Easy (jeu de paramètres 2 cf tableau 5.2)	99
5.15	Résultats obtenus en mode Medium (jeu de paramètres 2 cf tableau 5.2)	99
5.16	Résultats obtenus en mode Hard (jeu de paramètres 2 cf tableau 5.2)	100
5.17	Évolution du nombre de joueurs en jeu (jeu de paramètres 2 cf tableau 5.2)	100
5.18	Variation moyenne du score en fonction des différents modes (jeu de paramètres 2 cf tableau 5.2)	101
5.19	Captures d'écran du jeu Boswars avant ajout de notre moteur d'intelligence artificielle.	102

5.20	Capture d'écran du jeu Boswars après l'ajout de notre moteur d'intelligence artificielle. Comme on peut le constater, l'ajout du moteur d'intelligence artificielle est totalement transparent. Quelques ajouts sur l'interface graphique ont été mis en place pour mieux comprendre les décisions du moteur d'intelligence artificielle et le comportement de la colonie contrôlée par l'ordinateur (1 : Ajout du niveau des ressources de l'IA ; 2 : Ajout des messages d'action de l'IA). Ces ajouts peuvent être désactivés.	104
6.1	Structure des jeux accessibles	109
6.2	Logo du projet OpenAL	109
6.3	Exemple de labyrinthe simple où le joueur doit à partir d'une position de départ, notée D, trouver une sortie, notée A (pour Arrivée).	110
6.4	Exemple de labyrinthe simple où le joueur, représenté par un taxi, peut faire appel à une aide ponctuelle sonore et graphique (étoiles) exprimant la direction à suivre pour atteindre la sortie, le client. Le chemin est calculé à partir d'un algorithme à base de fourmis artificielles présenté dans le chapitre précédent.	111
6.5	Exemple de labyrinthe sonore où le joueur, une fermière, doit récupérer des objets, des lapins, avant de sortir du labyrinthe, un jardin. Un son est associé à la sortie du labyrinthe et à chacun des objets.	111
6.6	Illustration des différents modes de déplacement proposés : a. le mode multidirectionnel - b. le mode avant, arrière, pivot (les lettres H, B, G, D correspondent respectivement à une demande d'action vers le Haut, le Bas, la Gauche et la Droite)	112
6.7	Capture d'écran du jeu Pong accessible. Le joueur se situe en bas et l'ordinateur contrôle l'adversaire situé en haut	113
6.8	Capture d'écran du jeu « FlightFight » accessible	114
6.9	Différents cas de figures dans le cadre du jeu « FlightFight » accessible	114
6.10	Marché des baladeurs multimédia en millions d'unités (iSuppli, 2006)	116
6.11	Exemple de lecteur équipé de puce S1MP3	117
6.12	Logo du projet IPodLinux (Extrait du site officiel)	117
6.13	Logo du projet Rockbox (Extrait du site officiel)	118
6.14	Captures d'écran de différents jeux disponibles sur Rockbox sur différents équipements (couleur ou non, haute ou basse résolution) - extrait du site « Rockbox »	120
6.15	Capture d'écran des jeux Sudosan et Soundoku, deux versions accessibles du jeu jeu de sudoku disponibles sur PC (extraits des sites officiels)	121
6.16	Captures d'écran du jeu de Sudoku accessible : SudoKid sur un lecteur SansaE200 (version standard - version zoomée - version enfant)	122
6.17	Captures d'écran du jeu de Sudoku animalier accessible : SudoKid sur un lecteur SansaE200 (version standard - version zoomée - version enfant)	122
6.18	Configurations de picots associées aux états du Labyrinthe : Personnage, Vide, Hors Jeu, Obstacle, Ennemi, Objet, Sortie.	125
6.19	Différentes fenêtres utilisées pour l'extraction des secteurs à représenter.	125
6.20	Fenêtre 3x3 centrée sur le personnage.	126
6.21	Représentation linéaire par concaténation de la fenêtre 3x3 centrée sur le personnage.	126
6.22	Représentation cyclique de la fenêtre 3x3 centrée sur le personnage.	126
6.23	Mécanisme de lecture sur le terminal braille issu d'observations de personnes déficientes visuelles.	126
6.24	Représentation issue de l'observation du mécanisme de lecture sur le terminal braille.	127

6.25 Configurations de picots associées aux états du Labyrinthe : Personnage, Vide, Hors Jeu, Obstacle, Ennemi, Objet, Sortie.	127
6.26 Enrichissement de la représentation en ligne.	127
6.27 Configurations de deux picots associées aux classes d'états : Classe 1 : Vide - Classe 2 (Bloquant) : Hors Jeu, Obstacle - Classe 3 (Intéressant) : Objet, Sortie - Classe 4 (Danger) : Ennemi	128
6.28 Structure d'une cellule braille dans le cas de la représentation enrichie.	128
6.29 Capture d'écran du jeu de Labyrinthe et transcription braille correspondante.	129
6.30 Détails de la transcription braille du jeu de labyrinthe.	129
6.31 Images associées aux différents objets du Labyrinthe : Personnage, Obstacle, Ennemi, Objet, Sortie.	130
6.32 Exemple de transcription braille après ajout supplémentaire de contraintes issues des tests du jeu auprès de personnes non voyantes.	130
6.33 Configurations de picots associées à chaque état : Vide - Serpent - Pomme - Hors Jeu.	131
6.34 Fenêtre initiale dans le cadre du jeu du Serpent.	131
6.35 Structure de la cellule braille.	131
6.36 Capture d'écran du jeu du serpent et transcription braille correspondante.	132
6.37 Détails de la transcription braille du jeu du serpent.	132
6.38 Capture d'écran du jeu de bataille navale audio (2005) : le perroquet joue le rôle du compagnon personnifiant la synthèse vocale	133
6.39 Captures d'écran de notre jeu de bataille navale tactile (phase de placement des bateaux et phase de jeu).	134
6.40 Configuration de picots associée aux trois états possibles du jeu de bataille navale (tir raté, tir réussi, non tiré) et au secteur courant.	134
6.41 Exemple de transcription braille dans le cadre du jeu de Pong.	134
6.42 Capture d'écran du Black Jack.	137
6.43 Capture d'écran du jeu Citadelles.	138
6.44 Capture d'écran du menu du jeu Citadelles.	139
6.45 Capture d'écran du menu d'options.	139
6.46 Capture d'écran du sous menu de gestion des profils.	139
6.47 Capture d'écran du sous menu de gestion des textes et des sons.	140
6.48 Capture d'écran du sous menu de gestion des raccourcis.	141
6.49 Capture d'écran du sous menu de gestion des cartes.	141
6.50 Capture d'écran du sous menu de gestion de l'affichage braille.	141
6.51 Capture d'écran du sous menu de gestion de l'affichage graphique.	141
6.52 Capture d'écran du sous menu de consultation des règles du jeu.	142
6.53 DTD du fichier de ressources.	142
6.54 Extrait du fichier XML contenant le listing exhaustif des éléments de l'application.	143
6.55 Premier formulaire du générateur.	144
6.56 Second formulaire du générateur.	145
6.57 Troisième formulaire du générateur.	145
6.58 Quatrième formulaire du générateur.	146
6.59 Mécanisme de génération automatique de jeux tactiles accessibles.	146
6.60 Fichier de description d'une grille de jeu.	147
6.61 Architecture des jeux de cartes accessibles multi-joueurs.	148
6.62 Capture d'écran de la plateforme hANTgames.	149
6.63 Capture d'écran de l'utilisation conjointe de plusieurs modalités.	150

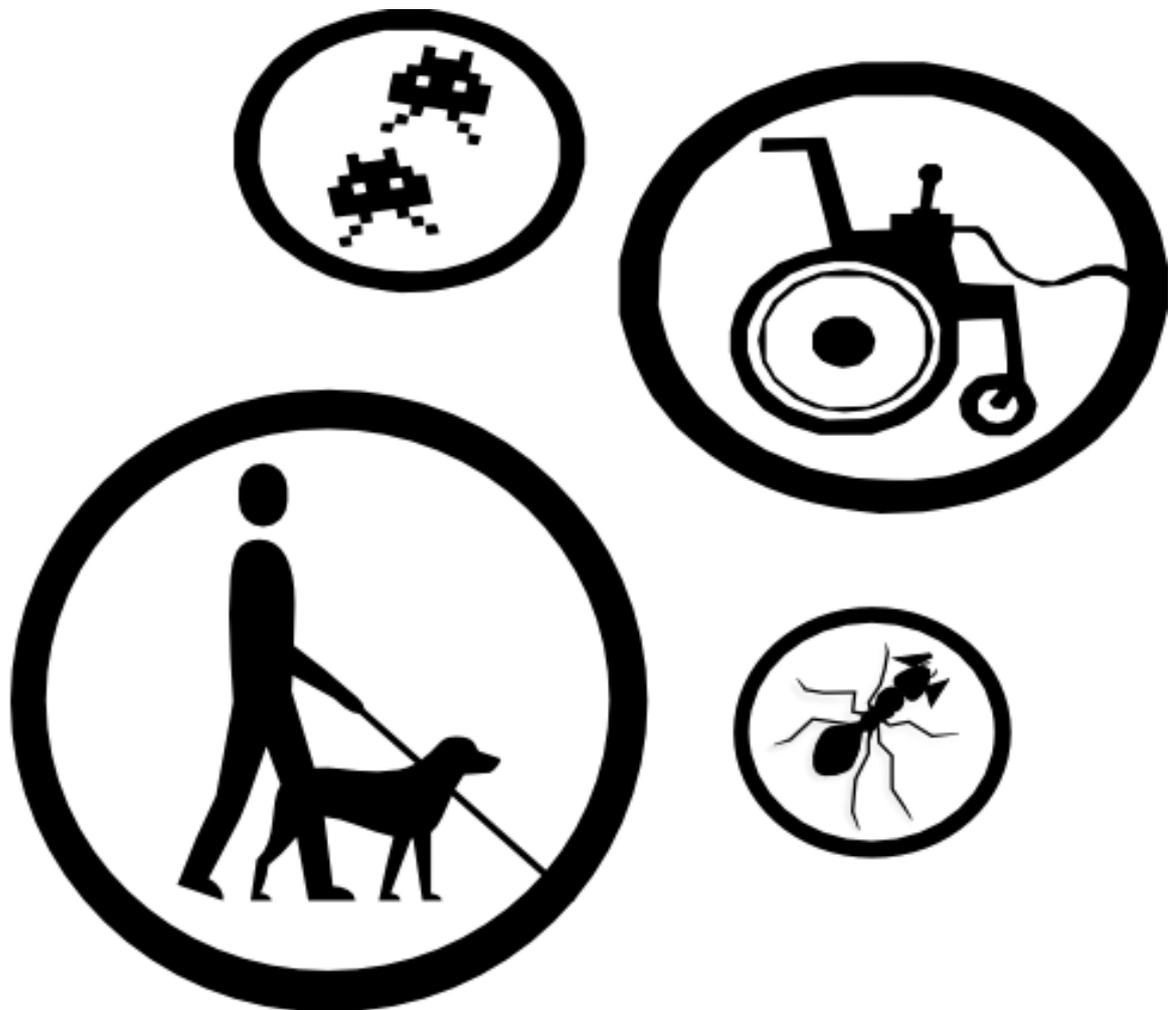
7.1	Challenge national « Handicap et Nouvelles Technologies 2007 » - Catégorie « Jeux et Jouets »(a. photographie de Nicolas Monmarché et b. extraite du site web de la manifestation).	155
7.2	Illustrations d'une carte quartier (château) et personnage (magicien).	161
7.3	DTD associée à un jeu tactile.	163
7.4	Exemple de fichier XML pour un jeu de labyrinthe : Définition de la structure de la transcription braille.	165
7.5	Exemple de fichier XML pour un jeu de labyrinthe : Définition des objets du jeu et de leur comportement.	166
7.6	Exemple de fichier XML pour un jeu de labyrinthe : Définition des objets du jeu et de leur comportement (suite).	167
7.7	Exemple de fichier XML pour un jeu de labyrinthe : Définition de la structure de la transcription braille.	168
7.8	Exemple de fichier XML pour un jeu de Serpent : Définition des objets du jeu et de leur comportement.	169

Liste des tableaux

3.1	Caractéristiques des jeux vidéo et leur contribution dans l'implication des joueurs	30
3.2	Bienfaits et méfaits de la motivation	30
3.3	Liste des pilotes disponibles et des terminaux braille compatibles avec la librairie Libbraille (extraits du site du projet)	57
3.4	Exemples de problèmes rencontrés par des joueurs en situation de handicap .	61
5.1	Jeu de paramètres 1	93
5.2	Jeu de paramètres 2	97
6.1	Liste des sons nécessaires pour le jeu « FlightFight »	114
6.2	Spécifications génériques des lecteurs S1MP3	116
6.3	Chronologie des iPods et leur support par iPodLinux	118
6.4	Comparaison des technologies embarquées dans quelques lecteurs supportés par Rockbox	119

Chapitre 1

Introduction





Au sein de notre société d'informations, les médias de communications et les nouvelles technologies ont pris une place prépondérante. L'informatique et Internet sont devenus un mode de communication majeur. Néanmoins, nous ne sommes pas tous égaux vis à vis de la communication et de l'utilisation de ces nouveaux médias.

Rendre accessible ces informations par tous et pour tous, et notamment pour les personnes en situation de handicap, est un véritable challenge que les scientifiques et les politiques tentent actuellement de relever. Des preuves de cette volonté se retrouvent aux différents niveaux du monde politique :

Niveau national : la loi sur « l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées » dont l'un des aspects majeurs est « l'accessibilité généralisée pour tous les domaines de la vie sociale (éducation, emploi, cadre bâti, transports...) » (source : <http://www.handicap.gouv.fr>) a été publiée au Journal officiel samedi 12 février 2005 ;

Niveau européen : l'année 2003 a été proclamée « Année Européenne des Personnes Handicapées (AEPH) » par la Commission Européenne. Le principal objectif de cette année était de faire avancer le programme politique visant la pleine et entière intégration des personnes handicapées. Le programme a été défini en 2001 dans la communication de la Commission intitulée « Vers une Europe sans entraves pour les personnes handicapées ». La loi nationale du 12 février 2005 pouvant être considérée comme un résultat de cette orientation politique européenne ;

Niveau international : même si il est plus difficile de trouver des orientations en terme de politique sociale internationale, il est possible de souligner les actions d'organismes internationaux tels l'Organisation Mondiale de la Santé et son projet VISION2020, que nous détaillerons plus tard dans ce document.

Les notions d'intégration des personnes en situation de handicap et d'accessibilité numérique sont, du fait de la place des nouvelles technologies dans notre société, fortement liées. En effet, l'informatique et les nouvelles technologies sont de plus en plus présentes dans la vie de tous les jours. L'intégration des personnes en situation de handicap passe donc par l'accès à ces technologies.

Les études démographiques montrent que le nombre de personnes en situation de dépendance ou de handicap ne cessera de croître à court et moyen terme. Cela n'est que le reflet d'un fait marquant : l'accroissement du nombre de personnes de plus de 60 ans. Cet accroissement est fortement lié aux progrès médicaux et à une espérance de vie de plus en plus importante.

Afin de mieux cerner la typologie de la population française touchée par un handicap, l'INSEE a lancé une vaste enquête : l'enquête HID - Handicaps - Incapacités - Dépendances - sur la période 1998 - 2001. Cette enquête couvre l'ensemble de la population, de tous âges, de toutes origines socio-culturelles, de tous lieux d'habitat (domicile privé ou institutions) et atteint de différents types d'incapacités. Pour cela, différentes étapes ont été menées :

- HID 1998 : Enquête en institutions (15 000 personnes) ;
- HID 1999 : Enquête auprès des particuliers à domicile. Cette seconde étape a été menée en parallèle de l'enquête VQS (Vie Quotidienne et Santé) qui, sur 360 000 particuliers, a permis d'en retenir 20 000 ;
- HID 2000 : Seconde enquête en institutions ;
- HID 2001 : Seconde enquête auprès des particuliers ;
- HID-Prisons 2001 : Enquête dans 32 établissements carcéraux.

Cette enquête a permis de mettre en avant cinq classes d'incapacités :

1. Mobilité réduite ;
2. Entretien personnel ;



3. Souplesse et manipulation ;
4. Orientation dans le temps et dans la communication ;
5. Vue et audition.

Ces cinq classes d’incapacité peuvent être affectées dans quatre classes de déficience :

1. Visuelle : malvoyant ou non voyant. En France, est considéré comme malvoyant toute personne dont les corrections classiques ne suffisent pas pour compenser la déficience ;
2. Auditive : sourd et malentendant ;
3. Motrice : hémiplégie, tétraplégie, etc ;
4. Cognitive : ce handicap recouvre les problèmes liés au langage mais aussi à l’apprentissage, la compréhension et la communication avec l’entourage.

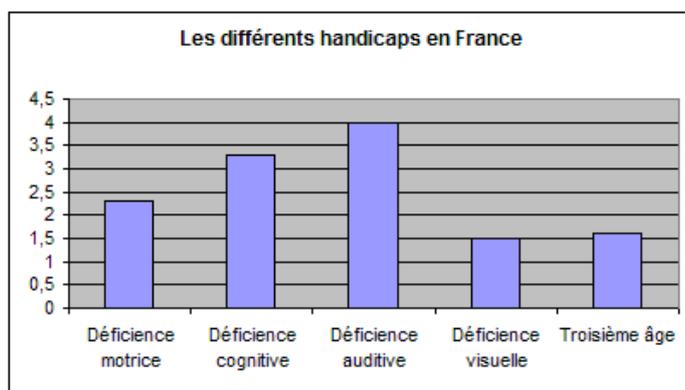


FIGURE 1.1 – Répartition de la population française en situation de handicap en fonction des déficiences (en millions de personnes - estimation de l’enquête HID 2001).

Cependant, ces différents handicaps se recouvrent malheureusement fréquemment. On parle alors de polyhandicaps (exemples : sourds et muets, problèmes liés au vieillissement, etc.).

L’enquête HID a permis de mettre en place une estimation du nombre de personnes en situation de handicap en France (Cf. résultats figure 1.1). Les personnes en situation de handicap représentent donc une part non négligeable de la population française et ces conclusions restent vraies au plan international.

Cette situation favorise le développement d’aides techniques.

Une définition de la notion d’aide technique est proposée par la norme internationale ISO 9999 :

Définition 1 (Aide technique) *Tout produit, instrument, équipement ou système utilisé par une personne atteinte d’un handicap ou d’un désavantage social, fabriqué spécialement ou existant sur le marché, destiné à prévenir, compenser, soulager ou neutraliser la déficience, l’incapacité ou le handicap.*

L’informatique, couplée ou non avec d’autres technologies permet la mise au point d’aides techniques de plus en plus performantes. Il est donc important de familiariser les personnes en situation de handicap avec cette technologie.

L’accessibilité à l’informatique pour les personnes en situation de handicap est un sujet très vaste. Dans le cadre de ce document, nous nous intéresserons plus particulièrement à



un domaine bien précis de l'informatique : l'univers des jeux vidéo ; ainsi qu'à un handicap particulier : le handicap visuel.

Les jeux vidéo font partie intégrante de ces nouveaux médias de communication car ils sont devenus l'un des éléments majeurs des loisirs numériques. Leur accessibilité repose sur l'accessibilité de leurs interfaces et indirectement de leurs contenus.

La déficience visuelle et les jeux vidéo peuvent sembler antagonistes du fait du rôle prépondérant de l'interface graphique. En effet, les joueurs déficients visuels ne peuvent pas ou ne peuvent que partiellement acquérir les informations provenant du jeu. La privation du canal de communication principal conduit à une situation particulièrement contraignante pour le joueur déficient visuel. C'est pourquoi, nous avons décidé de concentrer nos travaux sur ce handicap en partant de l'hypothèse que si un jeu vidéo peut être rendu accessible à un joueur déficient visuel grâce à de nouvelles interfaces, il sera possible de créer d'autres interfaces pour les autres handicaps.

Néanmoins, nos recherches nous ont rapidement conduit à identifier un second problème majeur de l'accessibilité aux jeux vidéo : le problème de niveau de difficulté inadapte.

Ce document est articulé de la manière suivante.

Dans un premier temps (Cf chapitre 2), nous dresserons un descriptif de la déficience visuelle et de ses conséquences. Nous nous intéresserons également aux différentes aides techniques permettant à l'utilisateur déficient visuel d'accéder à l'informatique.

Dans le chapitre 3 nous introduirons la notion d'accessibilité aux jeux vidéo en soulignant leur intérêt dans le cadre du handicap, en présentant une décomposition en deux classes des différents problèmes rencontrés par les joueurs en situation de handicap tout en dressant un panorama des recherches dans ce domaine.

Le chapitre 4 présentera la notion de fourmis artificielles et comment à partir de problèmes et de méthodes de résolution issues de l'observation des fourmis naturelles, il est possible de résoudre des problèmes informatiques.

Et le chapitre 5 expliquera notre contribution pour la mise en œuvre de ces méthodes innovantes en faveur de l'accessibilité des jeux vidéo notamment pour résoudre les problèmes de niveau de difficulté identifiés comme l'un des deux éléments mis en cause dans le problème de l'accessibilité aux jeux vidéo.

Dans le chapitre 6 nous présenterons nos travaux concernant la multimodalité afin de résoudre le second type de problèmes identifié comme étant les problèmes d'interaction entre joueurs en situation de handicap et jeux vidéo.

Et enfin, dans un dernier chapitre je conclurai ce document et proposerai différentes perspectives à nos travaux.

Chapitre 2

La déficience visuelle





Résumé

Ce chapitre dresse un descriptif de la déficience visuelle, ses conséquences sur la personne en situation de handicap et les différentes aides techniques permettant d'accéder à l'outil informatique.

2.1 Introduction

Avant de présenter l'interaction entre l'informatique et la personne en situation de déficience visuelle, il est nécessaire de présenter ce qu'est exactement la déficience visuelle et ses conséquences dans le processus de communication. En effet, la déficience visuelle est un handicap très vaste allant des personnes souffrant de daltonisme (défaut de perception des couleurs) aux personnes aveugles (absence totale de vision). Bien sur, en fonction de ces différents degrés de déficience, les conséquences sur la construction sociale et les interactions avec le milieu environnant seront totalement différentes.

2.2 L'oeil et la vue

2.2.1 La structure anatomique de l'œil

L'œil est le principal acteur du mécanisme de la vision [dPdHV02]. Néanmoins, il reste un organe fragile de par son ouverture au monde extra corporel. C'est pourquoi, il est protégé à la fois par la cage osseuse qui l'entoure et par les paupières. Sa mobilité est assurée par six muscles dont l'incoordination peut être responsable du strabisme (convergent ou divergent).

L'œil est composé de dix éléments principaux (Cf figure 2.1) :

Cornée : membrane protectrice de l'œil. Malgré ce rôle de protection, sa transparence lui permet de laisser passer les flux lumineux.

Iris : partie colorée de l'œil. Il forme un disque percé au centre.

Pupille : ouverture située au centre de l'iris. Son rôle est de filtrer la quantité de lumière atteignant la rétine en ayant la capacité de s'élargir ou de rétrécir (sous l'action de deux muscles) en fonction de la quantité de lumière.

Cristallin : lentille bi-convexe répartissant le flux lumineux entrant dans l'œil sur l'ensemble de la rétine.

Humeur vitrée : liquide gélatineux qui remplit l'œil.

Rétine : surface qui recouvre le fond de l'œil et qui se charge de capter les flux lumineux (grâce aux cônes et aux bâtonnets) puis qui transforme cette information lumineuse en flux électrique qui sera acheminé au cerveau via le nerf optique.

Macula (fovéa) : zone particulière de la rétine permettant notamment de distinguer les couleurs et les détails de petites tailles. Cette capacité est due à une densité plus importante de cônes. Ces derniers possédant une distribution spatiale plus concentrée au centre de la rétine qu'à ses bords.

Sclérotique ou « blanc de l'œil » : C'est une surface dure et résistante englobant la quasi totalité de l'œil excepté la cornée et le passage du nerf optique.



Choroïde : réseau de vaisseaux sanguins chargé d'alimenter la rétine.

Nerf optique : nerf permettant d'assurer le transfert du flux électrique généré par la rétine vers le cerveau.

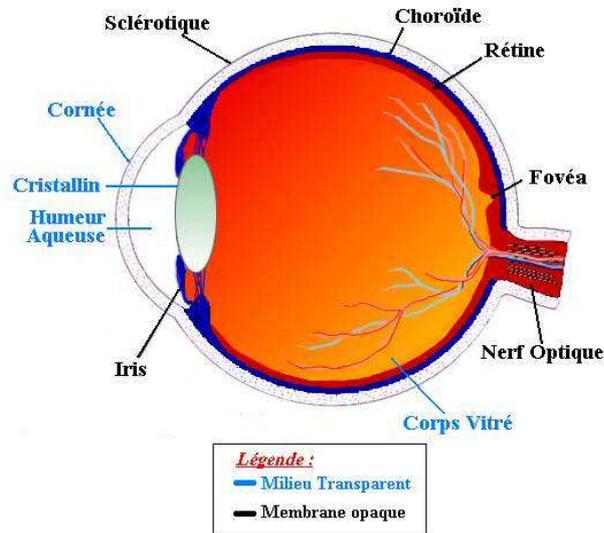


FIGURE 2.1 – Structure anatomique de l'œil

2.2.2 Le mécanisme de la vision

À partir de la description de ces principaux composants de l'œil, le mécanisme de la vision commence à être mis en place. Il peut être affiné par le schéma donné figure 2.2.

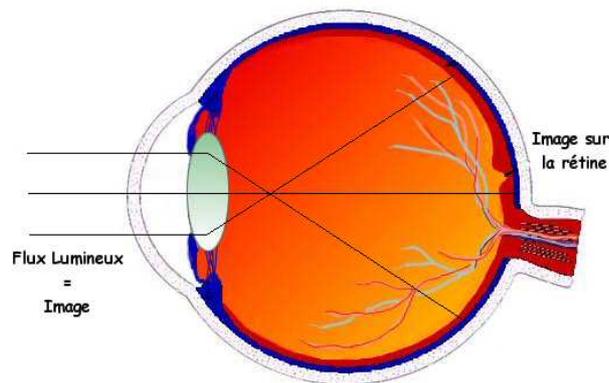


FIGURE 2.2 – Mécanisme de la vision

Le flux lumineux entre dans l'œil en traversant la cornée et la pupille dont le diamètre s'ajuste en fonction de l'intensité du flux lumineux. Lorsque la lumière arrive au niveau du cristallin, elle est répartie ensuite sur l'ensemble de la rétine. En frappant la rétine, l'information lumineuse est traduite en information électrique transmise au nerf optique qui se charge de l'acheminer jusqu'au cerveau.



2.3 La déficience visuelle

2.3.1 La définition de la déficience visuelle

On appelle déficience visuelle tout problème de la vue ne pouvant être corrigé par les moyens habituels (lunettes, lentilles, ...). Elle se définit à partir de deux éléments¹ [dPDHV02] :

acuité visuelle : capacité à discriminer des détails ou des objets de petites tailles. C'est la capacité habituellement mesurée chez l'ophtalmologiste lorsque ce dernier demande de lire une série de lettres plus ou moins grandes sur un tableau. Le résultat de ce test est une note sur 6 ou sur 20 pour chacun des deux yeux (en fonction du système utilisé : métrique - ou l'unité est le mètre - ou impérial - ou l'unité est le pied). Ainsi, une note de 6/12 (ou de 20/40) signifie que le sujet est obligé de s'approcher à six mètres (ou 20 pieds) pour percevoir un objet avec le même degré de détail qu'une personne située à douze mètres (ou 40 pieds) ne souffrant d'aucun trouble visuel.

champs visuel : angle 3D, appelé angle solide, pouvant être perçu par un œil immobile ; un œil normal percevant un angle de 160-170 degrés dans un plan horizontal.

Les notions de mal et non voyance prennent en compte ces deux critères. Selon l'OMS : « La Dixième révision de la Classification statistique internationale des maladies, traumatismes et causes de décès définit la baisse de la vision comme une acuité visuelle inférieure à 6/18 mais égale ou supérieure à 3/60 ou un champ visuel inférieur à 20 degrés pour le meilleur œil et avec la meilleure correction. La cécité est définie comme une acuité visuelle inférieure à 3/60 ou un champ visuel inférieur à 10 degrés pour le meilleur œil et avec la meilleure correction. Les atteintes visuelles englobent la baisse de vision et la cécité. »

2.3.2 La situation actuelle

Depuis 1990, l'observation de la population mondiale a fait apparaître une évolution de la déficience visuelle. En effet, les progrès de la médecine (bien qu'elle ne soit pas accessible par tous) ont permis de réduire le nombre de personnes non ou malvoyantes et en particulier dans les cas de malvoyance ou de cécités dus à une maladie. Cependant, le vieillissement de la population a provoqué une augmentation du nombre de personnes souffrant de déficience visuelle due à l'âge.

L'Organisation Mondiale de la Santé recensait en 2002, plus de 161 millions de personnes dans le monde atteintes de déficiences visuelles : 124 millions souffrant d'une baisse de vision et 37 millions étant aveugles². Bien qu'alarmants, ces chiffres restent encourageants. En effet, une même étude menée près de dix ans plus tôt, en 1990, dénombrait 148 millions de déficients visuels, dont 38 millions d'aveugles. De plus, cette diminution de la population souffrant de déficience visuelle s'opère alors que la population s'est accrue de 18,5% sur cette même période. Cette évolution est bien sûr liée au progrès de la médecine mais aussi et surtout à la facilitation de son accès notamment grâce au projet VISION 2020 (Cf. section 2.3.4).

Néanmoins, tout le monde ne possède pas les mêmes chances face à la déficience visuelle. En effet, plusieurs facteurs sont discriminants :

- l'âge est un facteur important de la déficience visuelle. Plus de 82% des non voyants ont plus de 50 ans alors que la proportion mondiale de cette tranche d'âge par rapport à la population mondiale n'excède pas 20%.
- le sexe possède également une influence sur la déficience visuelle puisque quelques soient l'âge ou la zone géographique considérée, les femmes sont plus exposées aux risques d'atteinte visuelle.

1. Site de l'Organisation Mondiale de la Santé : <http://www.oms.fr>

2. Cf définition de la cécité 2.3.1



- la zone géographique est l'un des facteurs principaux. Les pays en voie de développement représentent 86% des cas de déficience visuelle (manque de soins, mauvaise alimentation, ...) (Cf figures 2.3,2.4,2.5).

	Région africaine	Région des Amériques	Région de la Méditerranée orientale	Région européenne	Région de l'Asie du Sud-Est	Région du Pacifique occidental	Total
Population	672.2	852.6	502.8	877.9	1,590.80	1,717.50	6,213.90
Nbre d'aveugles	6.8	2.4	4	2.7	11.6	9.3	36.9
% sur le nbre total d'aveugles	18%	7%	11%	7%	32%	25%	100%
Nbre de mal voyants	20	13.1	12.4	12.8	33.5	32.5	124.3
Nbre de déficients visuels	26.8	15.5	16.5	15.5	45.1	41.8	161.2

FIGURE 2.3 – Répartition mondiale des personnes en situation de déficience visuelle en millions (source Organisation Mondiale de la Santé - 2002)

Répartition géographique des non voyants

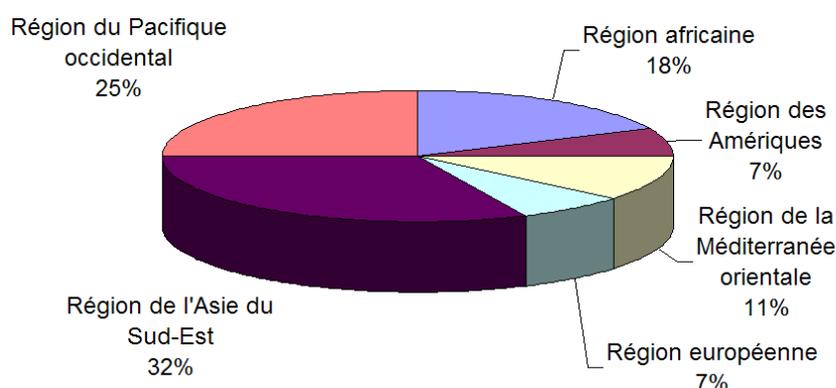


FIGURE 2.4 – Diagramme de répartition des non voyants dans le monde (source Organisation Mondiale de la Santé - 2002)

2.3.3 Les différentes formes de déficience visuelle

Il existe de nombreuses formes de déficience visuelle pouvant provenir de différentes causes : génétiques, congénitales, liées à une maladie ou à un accident.

Nous allons ici lister quelques unes des pathologies les plus fréquemment rencontrées, leur répartition étant donnée figure 2.6 :

Glaucome : maladie de l'œil qui entraîne l'atrophie du nerf optique et une perte du champ visuel.

Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age (DMLA) : dégénérescence du macula qui provoque une perte de la vision centrale.

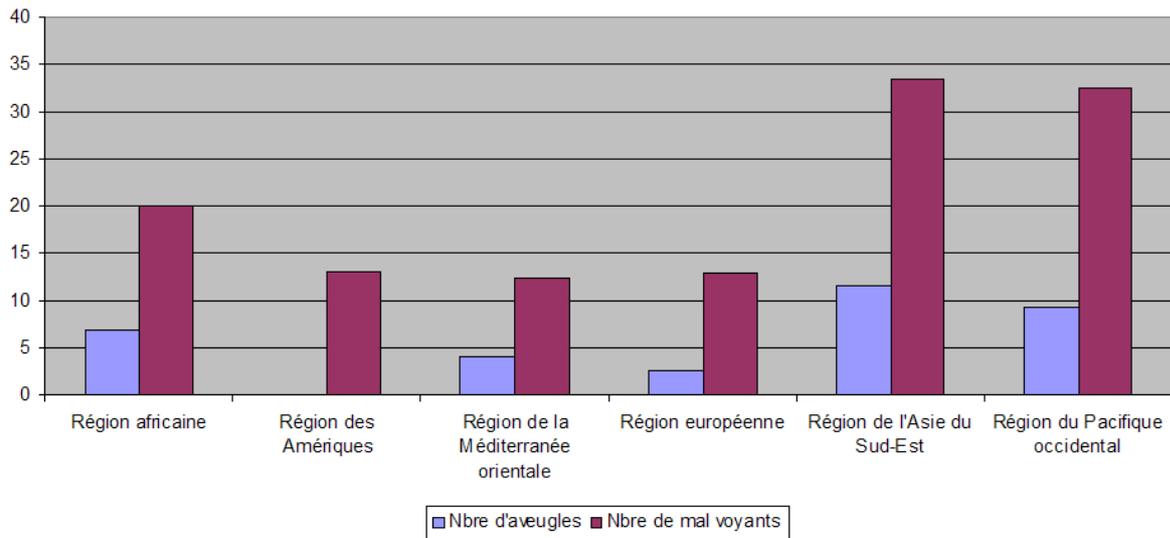


FIGURE 2.5 – Diagramme de répartition géographique des mal et non voyants dans le monde (en millions - source Organisation Mondiale de la Santé - 2002)

Cataracte : opacification complète ou partielle du cristallin qui peut apparaître dès la naissance ou au cours de la vie de la personne.

Opacité cornéenne : opacification complète ou partielle de la cornée.

Rétinopathie diabétique : atteinte de la rétine liée au diabète.

Cécité de l'enfant : ensemble de maladies pouvant intervenir au cours de l'enfance ou de l'adolescence et pouvant entraîner la cécité ou des déficiences visuelles irréversibles.

Trachome : maladie infectieuse et contagieuse de l'œil.

Onchocercose : également appelée cécité des rivières - c'est une maladie provoquée par un parasite vivant le long des rivières (essentiellement africaines).

Autres : amblyopie (ou œil paresseux - diminution de la vision d'un œil résultant de sa non stimulation au cours de jeune âge) ; albinisme ; aniridie (absence d'iris) ; myopie maline ; rétinopathie pigmentaire (dégénérescence de la rétine) ; rétinoblastome (tumeur de la rétine) ; etc.

Ces différentes causes de déficience visuelle sont bien sur fortement liées à la localisation géographique de l'individu ainsi qu'à ses conditions de vie. Par exemple, la cataracte et le glaucome restent les premières causes de cécité dans le monde mais essentiellement dans les pays en voie de développement car la médecine actuelle sait soigner ces maladies ; les maladies infectieuses liées à des parasites telles que le trachome ou l'onchocercose sont caractéristiques des pays en voie de développement. A l'opposé, la dégénérescence maculaire liée à l'âge est la principale cause de cécité dans les pays développés en raison du vieillissement de la population et du nombre croissant de personnes âgées de plus de 70 ans.

De manière générale, la médecine est capable de prévenir ou soigner la majorité des maladies pouvant conduire à la cécité : notamment cataracte, glaucome, opacité cornéenne, rétinopathie diabétique, onchocercose, trachome, cécité de l'enfant. Selon l'OMS, jusqu'à 75% des cécités dans le monde pourraient être évitées grâce à des moyens médicaux adaptés.

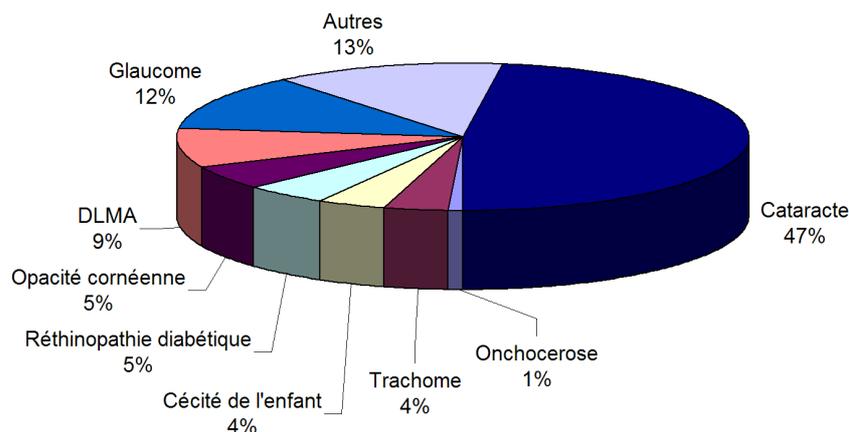


FIGURE 2.6 – Diagramme de répartition des différentes causes de cécité dans le monde

2.3.4 Le projet VISION2020 : le droit à la vue

En 1990, la première estimation de l'OMS sur l'ampleur et les causes des déficiences visuelles dénombrait près de 38 millions d'aveugles à travers le monde. En 1996, le second recensement de la population mondiale de personnes atteintes de cécité comptait près de 45 millions de personnes aveugles. À partir de l'observation de cette évolution, l'OMS a décidé d'agir pour stopper cet accroissement qui, selon les experts risquait de toucher près de 76 millions de personnes d'ici 2020. L'OMS mit alors en place, en 1999, le projet VISION2020³ dont le but est l'élimination de la cécité évitable (qui représente 75% des cécités actuelles) à travers le monde.

« VISION 2020 a pour objectif de supprimer les causes principales de cécité évitable d'ici l'année 2020, en incitant des agences gouvernementales et non gouvernementales à faciliter la planification, le développement et la mise en œuvre de programmes de soins oculaires nationaux et durables, basés sur les trois stratégies principales de contrôle de la maladie, développement des ressources humaines et des infrastructures, selon les principes de soins de santé primaires. »

FIGURE 2.7 – Objectifs du projet VISION2020 proposés par l'OMS

Depuis la mise en œuvre du projet en 1999, des retombées positives commencent à faire leur apparition. Plusieurs facteurs sont à prendre en compte dans cette amélioration notable :

- une remise en question des estimations de 1990 et des projections effectuées. En effet, les études de la population atteintes d'une déficience visuelle, étant plus fiables, les estimations actuelles sont plus précises.
- apparition des résultats du projet VISION2020
 - meilleure communication et sensibilisation du public sur l'importance des soins oculaires
 - progrès de la médecine (soins oculaires plus efficaces et moins onéreux)

3. Site du projet Vision 2020 : <http://www.v2020.org>



- plus grand engagement des politiques, des institutions, et des industriels dans la lutte contre les atteintes visuelles, etc.

Bien que cette introduction dresse un état des lieux sur la cécité dans le monde, il est important de souligner les limites de nos travaux. En effet, nous sommes conscient que l'accès à l'informatique et son aspect ludique ne sont que secondaires dans les pays dont les contextes économiques ou socio-culturels ne sont pas favorables. Néanmoins, des associations militent (« One Laptop per Child »⁴) pour que les écoles des régions défavorisées soient équipées. Pour cela, ils travaillent sur la conception d'un ordinateur portable adapté : solide, peu gourmand en énergie (ou pouvant être rechargé par énergie solaire), prix très faible (moins de 100 dollars), etc. À terme ces travaux sont donc susceptibles de s'étendre à de nouvelles populations.

2.4 Les conséquences sociales de la déficience visuelle

La notion de déficience visuelle est une notion très large. Elle regroupe de nombreuses situations de handicap dont les conséquences sont totalement différentes. Afin de mieux appréhender le développement d'aides techniques pour personnes souffrant de déficience visuelle, il est nécessaire de comprendre certains des problèmes que peut entraîner ce handicap sensoriel : des problèmes de communication, d'interaction avec les personnes ou le milieu environnant, de développement de l'enfant et, de manière générale, de qualité de vie.

2.4.1 La communication

Plus de 80% de la communication est non verbale [qdReSeS]. Ainsi, une personne souffrant de déficience visuelle ne dispose que d'un accès restreint à cette partie de la communication puisque, bien qu'elles perdent les informations relatives aux attitudes, gestes, postures ; elles conservent celles relatives aux intonations, au volume et au timbre de la voix. La déficience visuelle peut donc conduire à des problèmes de communication et de compréhension.

2.4.2 Le déplacement

L'aide au déplacement est un sujet fondamental dans le domaine du développement d'aides techniques pour personnes déficientes visuelles et plus particulièrement pour personnes aveugles. Ce problème peut être découpé en deux sous problèmes :

1. Le problème de la localisation. Informer la personne sur sa position courante.
2. Le problème de déplacement au sens strict. Fournir à la personne suffisamment d'informations provenant du milieu environnant, et plus précisément de son espace péri personnel, afin de lui permettre de se déplacer en toute sécurité et de manière autonome.

2.4.3 Le développement de l'enfant

La déficience visuelle a un impact prépondérant dans le développement de l'enfant. Pour preuve, les conséquences d'une déficience visuelle chez une personne souffrant de déficience visuelle précoce (i.e. une personne n'ayant jamais vu ou n'ayant vu que durant les premiers mois de son existence) et chez une personne souffrant de déficience visuelle tardive (déficience visuelle apparaissant après l'âge de deux ans) montrent des différences fondamentales.

Il se pose la question de savoir si l'acquisition des informations est amodale (indépendante de la modalité mais dépendante de l'apprentissage et/ou de l'utilisation de la modalité) ou

4. <http://laptop.org/index.fr.html>, http://wiki.laptop.org/go/The_OLPC_Wiki



bien spécifique. On cherche finalement à savoir si les informations accessibles naturellement par la vue peuvent elles être acquises de manière similaire par un ou une combinaison d'autres sens, notamment le toucher.

Selon YVETTE HATWELL [Hat], les mains, et donc le toucher, ont deux fonctions principales : une fonction motrice d'exécution des actions et une fonction perceptive permettant de connaître ou reconnaître les différents objets touchés. Les mouvements associés à cette seconde fonction sont appelés : Procédure Exploratoire. Pour chaque propriété d'un objet, il existe une procédure exploratoire permettant de l'acquérir : frottement latéral pour la texture, pression pour la dureté, enveloppement et suivi des contours pour la forme et la taille.

Chez l'enfant aveugle, les réflexes d'agrippement normaux sont présents (la main se ferme sur un objet appliqué à leur paume) mais hormis cette réaction réflexe, les mains des nourrissons aveugles restent, et ceci jusqu'à plus de 6-7 mois, très peu actives du fait du manque de stimulation du milieu environnant. Cette observation permet donc de remettre en cause le principe de la composition sensorielle puisque en théorie les mains du nourrisson aveugle devrait, selon cette théorie, être très actives pour compenser la vue.

D'autre part, la coordination audition-préhension des enfants aveugles est beaucoup plus tardive que la coordination vision-préhension des enfants voyants.

Ce retard dans la coordination audition-préhension a des conséquences sur le développement psychomoteur de l'enfant car celui-ci ne marche qu'après avoir acquis cette coordination (marche entre 20 et 32 mois). En effet, l'enfant aveugle n'ayant pas acquis la construction d'un espace extérieur distinct de lui-même et contenant des objets stables et surtout attractifs, il tardera à se lancer. Finalement, le bébé aveugle base longtemps la construction de l'espace sur un repère ego-centré alors que le déplacement nécessite un repère allocentré.

Contrairement au déplacement, l'apprentissage du langage est très peu affecté par les problèmes de vision. La cécité a cependant une certaine incidence sur la « théorie de l'esprit » i.e. la compréhension par l'enfant de l'état d'esprit des autres.

Une question qui est souvent posée concernant le monde des non voyants est : est-ce que les personnes déficientes visuelles développent des capacités auditives et tactiles supérieures du fait de l'utilisation intensive de ces modalités ? Bien que plausible cette théorie est controversée. En effet, il n'y a en aucun cas un abaissement des seuils de discrimination ou des seuils de détection des informations. C'est le traitement de ces informations qui peuvent être plus performant. Cette affirmation est particulièrement avérée chez les aveugles de naissance puisque l'on assiste à des réorganisations corticales qui conduisent à la spécialisation de zones du cortex, dédiées à la vue chez les voyants, dans le traitement des informations tactiles [Hat]. Elle reste également vraie pour les aveugles tardifs, mais à une échelle moins importante, puisque l'entraînement, la stimulation et l'apprentissage peuvent conduire à des réorganisations corticales du fait de la plasticité du cerveau humain (sous réserve que le patient ne soit pas atteint de maladie telle que la maladie d'Alzheimer). La réponse à cette question dépend donc de la définition même du terme de capacités en fonction qu'il évoque les capacités d'acquisition ou les capacités de traitement.

D'autre part, aveugle précoce, aveugle tardif, et voyant les yeux fermés ne sont pas égaux face à la perception tactiles des objets, formes, textures, courbures, etc. En effet, en dehors de la discrimination des courbures et de la lecture Braille, les performances des aveugles précoces dans la détection de composantes spatiales sont généralement inférieures à celles des aveugles tardifs ou des voyants avec les yeux bandés. Ces difficultés tendent à s'atténuer avec l'âge et portent essentiellement sur la représentation des déplacements dans l'espace : de soi-même, des objets environnants et des conséquences spatiales de ses déplacements.



2.4.4 L'apprentissage de la lecture et l'importance du Braille

2.4.4.1 Une écriture accessible : le braille

Les écritures pour aveugles avant le braille [PJ96] Durant longtemps, les aveugles ne pouvaient pas accéder à la communication écrite de manière autonome. C'est pourquoi seuls les personnes aveugles les plus riches pouvaient se payer l'aide d'un lecteur voyant est ainsi accéder aux écrits. Quelques tentatives de reproductions de l'alphabet latin en relief, sculptées ou gravées dans le bois, la pierre, la cire ou le métal, ont été mises au point mais ceci sans succès de diffusion.

Il faut attendre le XVIIIème siècle et le moine jésuite italien FRANÇOIS LANA TERZI (1631-1687) pour voire apparaître en 1670 les premiers procédés de transcription faisant appel à des symboles en relief autres que ceux de l'alphabet latin et plus simples à interpréter. Ce système se base sur l'utilisation d'une matrice 3x3 contenant les différentes lettres de l'alphabet regroupées comme l'illustre la figure 2.8.

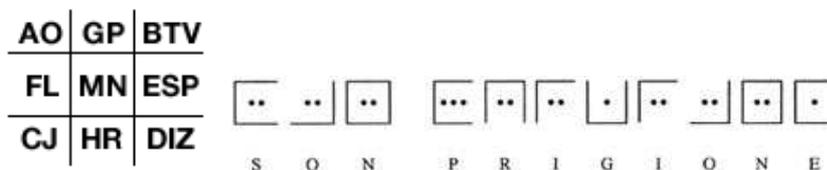


FIGURE 2.8 – Exemple système de LANA

L'utilisation des lignes permet d'indiquer la cellule considérée de la matrice et celle des points permet de préciser la lettre souhaitée dans la cellule. Cette technique est perçue comme étant l'un des ancêtres du système braille.

Le siècle des lumières (XVIIIème) marque un véritable tournant dans l'intégration des personnes déficientes visuelles. En effet, on assiste à la première tentative d'alphabétisation et d'instruction collective ouverte aux handicapés visuels de condition modeste. De plus, les philosophes sont particulièrement intéressés par la position des personnes aveugles dans la société. En 1749, DIDEROT (1713-1784) publie sa « Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient » dans laquelle il exprime ses idées sur les capacités et le comportement des aveugles. Ce texte souligne alors les capacités des personnes non voyantes à accéder à l'écrit via la modalité tactile.

À la même époque, VALENTIN HAÛY (1745-1822), traducteur expert en écriture et dé-cryptage de messages codés, se penche sur le problème de l'accès aux écrits des personnes non voyantes. Influencé par la lettre de DIDEROT et les résultats obtenus par l'abbé CHARLES-MICHEL DE L'EPÉE (1712-1789) qui met au point le langage gestuel pour permettre aux sourds/muets de se faire comprendre, il imagine alors une solution permettant de mettre l'enseignement à la portée de tous les aveugles, quelles que soient leurs origines sociales et leurs possibilités financières. Son système est basé sur l'utilisation des lettres de l'alphabet romain agrandies et en relief. En 1784, il présente cette solution à la société philanthropique qui met en place un plan d'éducation à l'usage des aveugles.

Il fonda alors la première école gratuite pour aveugles et ouverte à tous les aveugles sans distinction de classe. Cette école deviendra par la suite l'Institution Royale des Jeunes Aveugles (actuellement l'Institut National des Jeunes Aveugles).

Le mouvement pédagogique lancé par VALENTIN HAÛY s'étend rapidement en Europe et des établissements d'enseignement spécialisé pour aveugles s'ouvrent partout en Europe : Liverpool (1791), Edimbourg (1792), Londres (1799), Vienne (1804), Berlin (1806), Amster-



dam (1808), Prague (1809), Copenhague (1811), Saint-Petersbourg (1817), Naples (1818), Barcelone (1820), Bruxelles (1834), Bruges (1836), Liège (1837).

L'alphabet Braille [PJ96]

Histoire de l'alphabet Braille LOUIS BRAILLE (1809-1852) né à Coupevay, à 40km de Paris, fils de bourrelier (artisan chargé de la fabrication de harnais, collier, selle, etc. en cuir), devient aveugle à l'âge de 3 ans après s'être affligé une blessure à l'œil qui s'est infectée, avec les outils de son père.



FIGURE 2.9 – Portrait de LOUIS BRAILLE

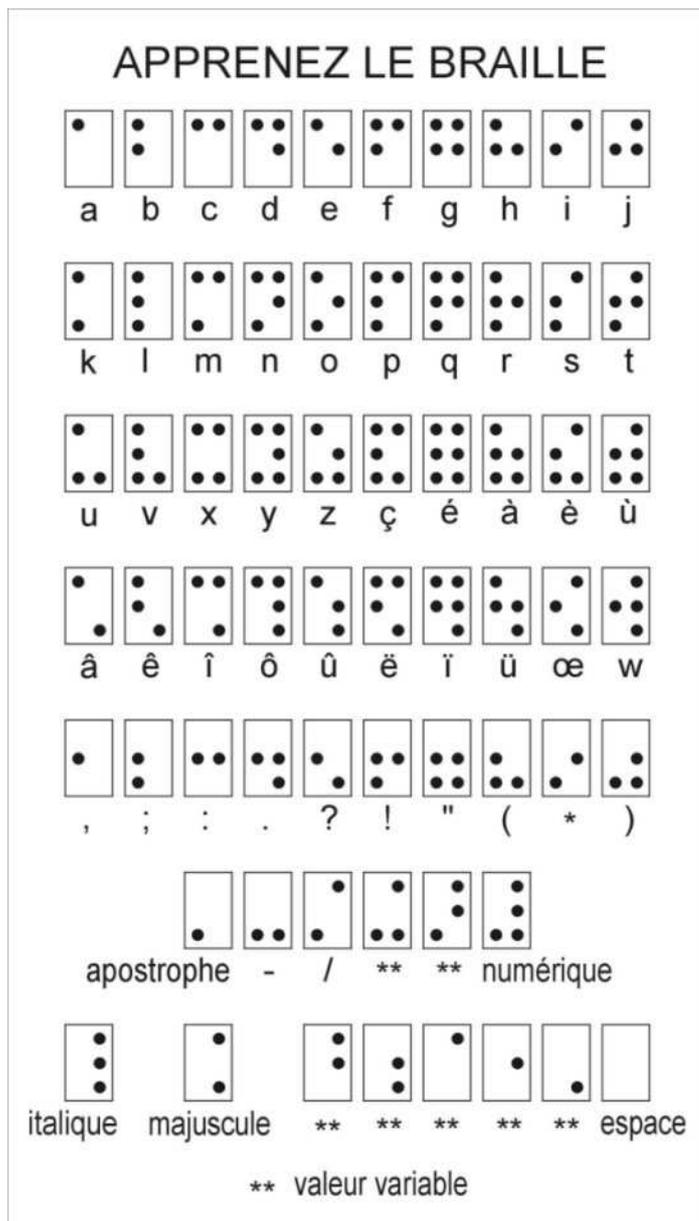
À l'âge de dix ans, ses parents l'inscrivent à l'Institut Royale des Jeunes Aveugles où LOUIS BRAILLE se révéla être un brillant élève. A partir de 1821, CHARLES BARBIER DE LA SERRE (1767-1841), ancien officier de l'armée française à la retraite, ayant mis au point un système, appelé « sonographe », basé sur la représentation des sons sur douze points en relief, initialement destiné aux communications militaires nocturnes, présente son système aux élèves de l'Institution Royale des Jeunes Aveugles dont LOUIS BRAILLE.

Malgré la complexité de ce système et ses imperfections (écriture phonétique qui ne permet donc pas l'apprentissage de l'orthographe, pas de signe de ponctuation, hauteur des symboles trop élevées pour être lus immédiatement avec les doigts, pas de symboles mathématiques, . . .), les résultats furent concluants. BARBIER avait compris la supériorité des caractères formés de points sur ceux qui sont composés de lignes.

LOUIS BRAILLE commença alors à travailler sur une version simplifiée et plus pratique de ce système n'utilisant que six points au lieu de douze. En 1825, il présente une première version de son système au directeur de l'Institution et commence une expérience de traduction : « La grammaire des grammaires ». En 1829, le résultat de cette expérimentation est concluant et LOUIS BRAILLE expose son procédé : c'est la naissance du Braille. En 1837, une seconde version de l'alphabet est présentée : c'est la version définitive de l'alphabet Braille (*Cf.* figure 2.10).

Mais, même si certains pays européens comme la Belgique (1836) ou la France (1854) ont déjà adopté le système braille dans leur éducation spécialisée, la véritable reconnaissance du braille au niveau mondial aura lieu en 1878 à Paris lors du Congrès international pour l'amélioration du sort des aveugles et des sourds-muets au cours duquel le congrès se prononcera en faveur de la généralisation du système Braille. Néanmoins, aux États-Unis, il faut attendre 1917 pour que le braille originel soit reconnu comme système unique !

Et enfin dans les années 50, l'UNESCO lance un programme d'uniformisation internationale du braille (notamment au niveau des distances inter-points comme le présente la figure 2.11).

FIGURE 2.10 – Alphabet Braille (extrait de www.mirophile.org/braille.php)

Principe du système Braille ⁵ Le système braille est un système d'écriture en relief basé sur six points répartis sur trois lignes et deux colonnes. C'est un système alphabétique, c'est à dire qu'il consiste à retranscrire les différentes lettres de l'alphabet souhaité, les signes de ponctuation, les signes mathématiques ou musicaux, etc., sous forme d'une combinaison de points. Chaque transcription peut mettre en œuvre de un à six points ce qui permet de transcrire 63 caractères différents (la combinaison ne comportant aucun point étant réservée pour l'espace).

Il est parfois nécessaire d'associer deux combinaisons de points (un symbole sera alors transcrit sur deux caractères braille successifs). Si théoriquement, cette manipulation permettrait de transcrire jusqu'à $63 \times 63 = 3969$ symboles, son utilisation est totalement différente.

5. Site de la Ligue braille belge : <http://www.liguebraille.be>

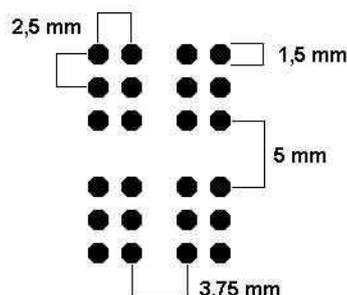


FIGURE 2.11 – Distance Braille

En effet, dans le cas de l'utilisation de cette association de deux combinaisons, la première jouera le rôle de marqueur sémantique et permettra uniquement d'ajouter une information complémentaire au symbole traduit par la seconde : par exemple introduction d'une majuscule, introduction d'un chiffre, italique, etc. Ces informations complémentaires sont connues à priori et fixées dans l'alphabet braille.

L'avantage d'un système alphabétique est de conserver les règles de grammaire et d'orthographe propres au langage initial. Ainsi, le braille est utilisé dans tous les pays du monde, quelques soient le langage et l'alphabet utilisés, et ceci même dans les pays à langue idéographique (il suppose alors une transcription phonétique).

Le problème majeur associé au braille est lié au volume des transcriptions surtout dans la version initiale du braille appelé braille intégral. Afin d'alléger un peu ce volume, une seconde version du braille a été introduite : le braille abrégé. Comme son nom l'indique, elle utilise un système de contractions et de symboles où un caractère braille remplace un mot ou une partie de mot. Bien qu'il soit plus difficile à mémoriser que le braille intégral, le braille abrégé permet un gain de temps et de place conséquent.

La lecture du braille peut se faire de manière uni-manuelle ou bi-manuelle (respectivement avec une ou deux mains) le plus souvent à l'aide de l'index. Dans le cas d'une lecture uni-manuelle, le principe est simple, le lecteur parcourra séquentiellement la ligne braille de gauche à droite. Le principe de la lecture bi-manuelle est plus complexe car elle se base sur un fonctionnement indépendant des deux mains : la main gauche entame le début de la ligne, les deux mains se rejoignent vers le milieu pour un trajet bi-manuel central, puis la main droite termine la ligne tandis que la gauche va à la ligne suivante et parfois commence à la lire avant que la droite n'ait fini la précédente.

Néanmoins les études montrent que, bien que la lecture bi-manuelle permette d'accroître les performances et donc la vitesse de lecture, la lecture tactile reste plus lente que la lecture visuelle (environ 100 mots/minute face à 250 mots/minute). Cet aspect est principalement dû au fait que la lecture tactile implique une lecture obligatoirement séquentielle. En effet, la notion de reconnaissance globale du mot n'existe pas .

L'importance du braille Malgré le développement d'aides techniques permettant de synthétiser oralement des informations écrites, de prendre des notes via un dictaphone, etc. le braille reste aujourd'hui un outil de communication prépondérant pour une personne non voyante.

Cependant, s'il est ponctuellement possible de se passer du braille, la personne non voyante et non brailleuse deviendra alors obligatoirement dépendante de la technologie, de ses aides techniques ou de son entourage.

De plus, le braille, étant un système alphabétique, il est le seul moyen d'assurer une



alphabétisation complète (apprentissage du langage écrit : grammaire, orthographe, ...) pour une personne non voyante. Or, l'alphabétisation est l'une des clés de l'inclusion notamment pour l'obtention d'un emploi.

Le braille est donc la seule solution permettant à une personne déficiente visuelle d'être partiellement autonome face aux écrits (dans la mesure où il existe une version braille du document et cela aussi bien vis à vis de son entourage que de ses aides techniques), de faciliter sa recherche d'emploi (et donc son intégration), etc.⁶

Néanmoins, le choix de l'apprentissage du braille est une étape très importante de l'éducation des jeunes déficients visuels. Si ce choix peut paraître simple pour les parents d'enfants non voyants, il est beaucoup plus difficile pour les parents d'enfants malvoyants. Il doit donc être pris en relation avec des spécialistes en fonction des risques de dégénérescence du résidu visuel de l'enfant même si tous ne partagent pas le même point de vue sur le sujet. Certains prônent une alphabétisation intensive en braille alors que d'autres préfèrent favoriser le développement du résidu visuel de l'enfant.

L'apprentissage de la lecture L'apprentissage de la lecture est une tâche complexe mettant en œuvre à la fois des facultés perceptivo-motrices (à base de modalité visuelle ou tactile) et cognitives. De plus, contrairement aux enfants voyants, les enfants mal ou non voyants ne disposent pas des mêmes stimulations à l'apprentissage de la lecture. En effet, depuis leur plus jeune âge, les enfants voyants perçoivent des mots écrits sur les emballages, les jouets, les publicités, etc. contrairement aux enfants non voyants. Il est donc primordial de stimuler les enfants non voyants le plus tôt possible à l'apprentissage du braille.

Selon NATHALIE LEWI-DUMONT [LD04], l'apprentissage de la lecture en lui-même est très proche quelque soit la modalité perceptive utilisée. La motivation, la connaissance de la langue, la familiarisation avec l'écrit, etc. restent des notions primordiales dans cet apprentissage. Cependant, une préparation spécifique, concernant le développement du sens tactile pour la reconnaissance et la discrimination des caractères braille ainsi que pour l'amélioration de la coordination manuelle, reste nécessaire.

Globalement, l'apprentissage de la lecture en braille s'effectue au cycle deux de l'école primaire tout comme pour les enfants voyants. L'apprentissage de la lecture braille impose néanmoins certaines contraintes. En effet, la méthode utilisée devra obligatoirement être une méthode syllabique (par opposition aux méthodes globales et combinatoires) puisque la lecture braille est obligatoirement séquentielle et prive l'enfant de perception globale du mot. Cette privation entraîne également, par conséquent, une lenteur dans les exercices mettant en jeu l'exploration de documents.

De manière générale, la plupart des exercices utilisés dans les classes de cycle deux peuvent être adaptés de manière à ce que les enfants non voyants puissent participer. Néanmoins, certains exercices restent dépendants de la modalité visuelle. Par exemple :

- travail sur la discrimination visuelle entre les lettres b, d et n ,m qui possèdent en

braille des représentations bien distinctes contrairement aux lettres d, j ($\begin{smallmatrix} \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet \end{smallmatrix}$ $\begin{smallmatrix} \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet \end{smallmatrix}$) et e,i

($\begin{smallmatrix} \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet \end{smallmatrix}$).

- travail à base de graphiques

L'intégration de jeunes aveugles au sein de classes classiques est donc possible mais, il est nécessaire que les méthodes et les exercices utilisés soient alors adaptés [BUR00]. Les temps d'exécution des tâches entre enfants voyants et non voyants doivent également être pris en compte.

6. CNIB (Canadian National Institute for the Blind) ou INCA (Institut National Canadien pour les Aveugles) - <http://www.cnib.ca>



Il est également important de noter que malgré les différences entre lecture visuelle et lecture tactile, les mécanismes d'apprentissage peuvent dans certains cas se compléter pour les enfants voyants ou malvoyants. En effet, comme le souligne EDOUARD GENTAZ dans [Gen04], l'apprentissage de la lecture à partir d'un mécanisme de suivi de contour, en plus de la reconnaissance visuelle, permet de faciliter l'apprentissage de la lecture. Puis, dans une seconde expérience, il montre que les périphériques haptiques peuvent également faciliter l'apprentissage notamment chez les enfants dysgraphiques [HdBGD⁺07].

2.5 La déficience visuelle et l'informatique

L'informatique est la seconde grande révolution (après celle du braille) pour les personnes déficientes visuelles, que ce soit en terme de lecture que d'écriture. En effet, elle a permis d'allier une technique de représentation des informations : le braille, à une technique performante et centralisée de stockage ainsi qu'à des logiciels permettant d'adapter de manière automatique un document classique en document accessible.

Les solutions techniques apportées aux personnes malvoyantes et aux personnes non voyantes sont totalement différentes [OVT94a; SPE92; SPE94].

2.5.1 L'accès des malvoyants à l'information numérique

Pour beaucoup de malvoyants, la simple réorganisation des éléments affichés est suffisante. L'accessibilité repose donc sur une adaptation de l'interface visuelle proposée. Cette réorganisation passe par l'agrandissement de certaines zones de l'écran, l'augmentation de certains contrastes, la suppression des éléments superflus, etc.

Ces modifications sont assurées par des solutions logicielles (regroupées sous le terme de « Screen Magnifiers ») possédant un coût quasi négligeable par rapport aux coûts importants des équipements spécialisés.

2.5.2 L'accès des non voyants à l'information numérique

Pour les personnes non voyantes, la problématique est différente puisque la réorganisation de l'interface graphique n'est plus suffisante, il est nécessaire de récupérer les informations graphiques de manière à les transmettre via un autre canal : sonore ou tactile.

Les périphériques de sortie Les principales modalités utilisées sont la modalité sonore à l'aide de synthèse vocale et la modalité tactile qui transcrit en braille les informations. Néanmoins, avant de pouvoir synthétiser ou transcrire en braille une information, il est nécessaire de l'extraire de l'interface graphique.

Les logiciels de revue d'écran Cette extraction des informations issues de l'interface graphique est assurée par des logiciels dits de revue d'écran. Leur rôle est de permettre à la personne non voyante de naviguer et d'utiliser les applications du système. Pour cela, il doit être capable de trouver, dans les fenêtres des applications, les contrôles, les menus, lire les textes, donner leurs propriétés, etc. en analysant la structure de l'affichage.

Il existe sur le marché plusieurs logiciels de revue d'écran dont les plus utilisés sont certainement : JAWS et Window-Eyes (*Cf.* figure 2.5.2).

Une fois l'information extraite, elle est transmise à un synthétiseur vocal ou à un équipement braille.



FIGURE 2.12 – Logos des deux principaux logiciels de revue d'écran

Les équipements braille On distingue deux types d'équipements braille : les afficheurs braille (Cf. figure 2.5.2) et les terminaux braille (Cf. figure 2.5.2).

Les afficheurs braille (Cf. figure 2.5.2) sont des équipements spécifiques permettant uniquement d'afficher du texte en braille (ils ne permettent pas de saisir des données). Ils sont composés de 20, 40 ou 80 cellules dont les tailles et les distances sont normalisées (Cf. figure 2.11), ce qui permet d'afficher respectivement 20, 40 ou 80 caractères. Ils disposent également de flèches multi-directionnelles, de quelques boutons d'actions et éventuellement de molettes de défilement.

Ces afficheurs braille permettent de naviguer parmi les différents éléments proposés par le logiciel de revue d'écran et sont utilisés conjointement à un ordinateur (Cf. figure 2.5.2).

Les terminaux braille (Cf. figure 2.5.2) sont des équipements similaires aux afficheurs braille mais ils offrent, en plus, la possibilité de saisir des caractères braille grâce à huit boutons représentant les huit picots d'une cellule braille informatique.

Ces terminaux braille peuvent disposer de mémoire interne leur permettant de jouer le rôle de bloc note et peuvent être eux mêmes munis d'outils de synthèse vocale. Ainsi, un terminal braille peut devenir un véritable ordinateur portable ou PDA⁷ accessible.

Étant des équipements spécialisés, les équipements braille restent très onéreux. Il faut compter entre 3 000 et 15 000 euros pour se procurer un tel équipement.

La synthèse vocale De la même manière que l'information extraite du logiciel de revue d'écran peut être transcrite sur un afficheur braille, elle peut également être synthétisée afin d'être transmise oralement.

Concernant les synthèses vocales, il en existe de nombreuses sur le marché à des prix très différents et des qualités également très différentes. De plus, la langue supportée par la synthèse vocale est un élément discriminant car la prosodie utilisée pour la synthèse dépend du langage.

De manière générale, les meilleures synthèses vocales sont bien souvent celle proposant des voix féminines (plus facile à comprendre et plus agréable à utiliser sur une longue durée) et permettant de régler la vitesse de la parole. Plus de détails sur le principe des synthèses vocales sont donnés section 3.6.3.1.

Ces dispositifs de sorties offrent la possibilité à l'utilisateur même non voyants d'accéder aux contenus numériques. Des travaux comme, par exemple le projet DAISY⁸, sont menés

7. selon le site www.futura-sciences.com : « Sigle signifiant Personal Digital Assistant ou assistant personnel ou ordinateur de poche en français. Avant tout agenda et carnet d'adresse, ces appareils intègrent des fonctions de plus en plus élaborées et n'ont presque plus rien à envier aux PC de bureau. Lecture de MP3, de vidéos, auxquels s'ajoutent des programmes qui les transforment en outils de navigation associés à un GPS, par exemple. Deux grandes familles s'opposent, les machines sous Palm OS et celles sous PocketPC, il existe autant de programmes additionnels pour l'une et l'autre. »

8. DAISY (Digital Accessible Information SYstem) - <http://www.daisy.org>



FIGURE 2.13 – Exemple d’afficheurs braille de différentes marques (ONCE, Eurobraille, Pappenmeier, Alva, Vario). L’afficheur ONCE ECO 20 (afficheur principal de cette illustration) est celui utilisé durant ces travaux de thèse (images personnelles ou extraites du site Libbraille : <http://libbraille.org/>)



FIGURE 2.14 – Exemple d’utilisation conjointe d’un afficheur braille avec un PC ou un portable (images extraites du site Libbraille : <http://libbraille.org/>)

pour regrouper un ensemble de transcriptions audio ou braille de livres.



FIGURE 2.15 – Exemple de terminaux braille (Braillette, Braillete, Voyager)(images extraites du site Libbraille : <http://libbraille.org/>)

Les embosseuses Les embosseuses sont des imprimantes braille permettant, comme pour les imprimantes classiques, d’obtenir des sorties papier, en braille, des documents numériques présents sur un ordinateur.



FIGURE 2.16 – Exemple d’embosseuses (images extraites de <http://www.ceciasa.com/>)

Néanmoins, les coûts associés à ce type d’équipement restent particulièrement importants. C’est pourquoi peu de brailleux peuvent s’équiper d’une embosseuse en plus d’un terminal braille. Celles-ci sont bien souvent mises à disposition par les associations de personnes aveugles.

Les périphériques d’entrées Pour pouvoir extraire les informations issues de l’ordinateur, il est nécessaire de fournir à la personne non voyante des périphériques lui permettant de transmettre des commandes.

Les dispositifs de pointage et la souris Tout d’abord, les dispositifs de pointage tels que la souris ne sont pas utilisables par une personne non voyante et difficilement utilisables dans certains cas de malvoyance. En effet, l’utilisation de tels dispositifs suppose l’existence d’un feedback visuel constant permettant de connaître la position exacte du pointeur. De plus, afin d’atteindre un élément particulier, il est nécessaire de connaître sa position spatiale dans la fenêtre : informations difficiles à transmettre et surtout à exploiter.

Néanmoins, des travaux ont été menés afin de concevoir des dispositifs de pointage accessibles mais les résultats obtenus auprès des utilisateurs déficients visuels restent mitigés [JJC06; JP05; JJC05; I.06].

Stylo vibreur : utilisation d’un stylo vibreur et d’un écran tactile. L’intensité des vibrations du stylo dépendant de sa position sur l’écran [Rai05] ;



Souris vibrante et sonore : souris vibrante proposant une représentation sonore des graphique et émettant une vibration lorsque le curseur survole une ligne de contour du graphique http://www.pcinpact.com/actu/news/Souris_vibrantesonore_pour_aveugles.htm.

Le clavier En revanche, les personnes non voyantes ne rencontrent aucun problème à l'utilisation de clavier AZERTY classique. Les utilisateurs de synthèse vocale privilégient même ce type de périphérique. Cette utilisation est rendue possible par apprentissage de la position de chacune des touches et notamment grâce à la présence de marqueurs sur les touches « f » et « j » permettant à la personne non voyante de placer ses mains sur le clavier.

Les équipements braille Comme précisé précédemment, les équipements braille peuvent être perçus à la fois comme périphériques de sortie, étant donné qu'ils permettent d'afficher en braille les informations extraites par le logiciel de revue d'écran, mais également comme des périphériques d'entrée puisque ils proposent un ensemble de boutons de contrôle (flèches multi-directionnelles ou autres) pour les afficheurs braille, voir même des boutons de saisie de braille pour les terminaux.

Bien que les synthèses vocales ou les terminaux braille couplés à un logiciel de revue d'écran, et éventuellement un clavier AZERTY, soient la principale solution utilisée par les déficients visuels, il existe quelques solutions moins courantes pouvant trouver une utilité dans des cas bien précis tels que les jeux vidéo : manette ou joystick à retour d'effort, reconnaissance vocale, etc.

Familiarisation avec l'outil informatique et les aides techniques informatisées

L'informatique propose des solutions, pour les personnes mal ou non voyantes, beaucoup plus larges que la simple utilisation d'un ordinateur. En effet, de nombreuses aides techniques à base d'informatique permettent de faciliter la vie des personnes déficientes visuelles. Parmi ces aides, on peut citer :

- Numérisation à l'aide d'un scanner des pages d'un livre pour pouvoir le transcrire en braille. Par exemple : [ARW06]
- Aide à la navigation à l'aide d'un PDA muni d'une caméra [MELK04] : détection automatique des feux piétons et de leur état (rouge ou vert à partir de la détection du contour du pictogramme).
- Aide à la navigation à l'aide d'un GPS (Canne blanche électronique du laboratoire Aimé Coton, Paris : GeoTact)
- Logiciel permettant la saisie de chèque bancaire (« WINCHECK » - <http://www.cecias.com/index.php?cat=info&page=wincheck>).

Il est donc très important de familiariser avec les nouvelles technologies les personnes souffrant de déficience visuelle, et ceci dès leur plus jeune âge, afin de faciliter l'utilisation des aides techniques mises à leur disposition.

2.6 Conclusion

La déficience visuelle est un handicap face auquel nous ne sommes pas tous égaux (dimension géographique, contexte économique et socio-culturel, âge, sexe). Le développement du braille et des nouvelles technologies ont permis de faciliter l'accès des déficients visuels à notre société de communication. De plus, « de telles solutions à base de nouvelles technologies sont vitales si l'on veut intégrer dans le tissu social et professionnel les déficients de la



vue »[OVT94b]. Les nouvelles technologies ont donc un rôle fondamental à jouer en faveur des personnes en situation de handicap [McC99].

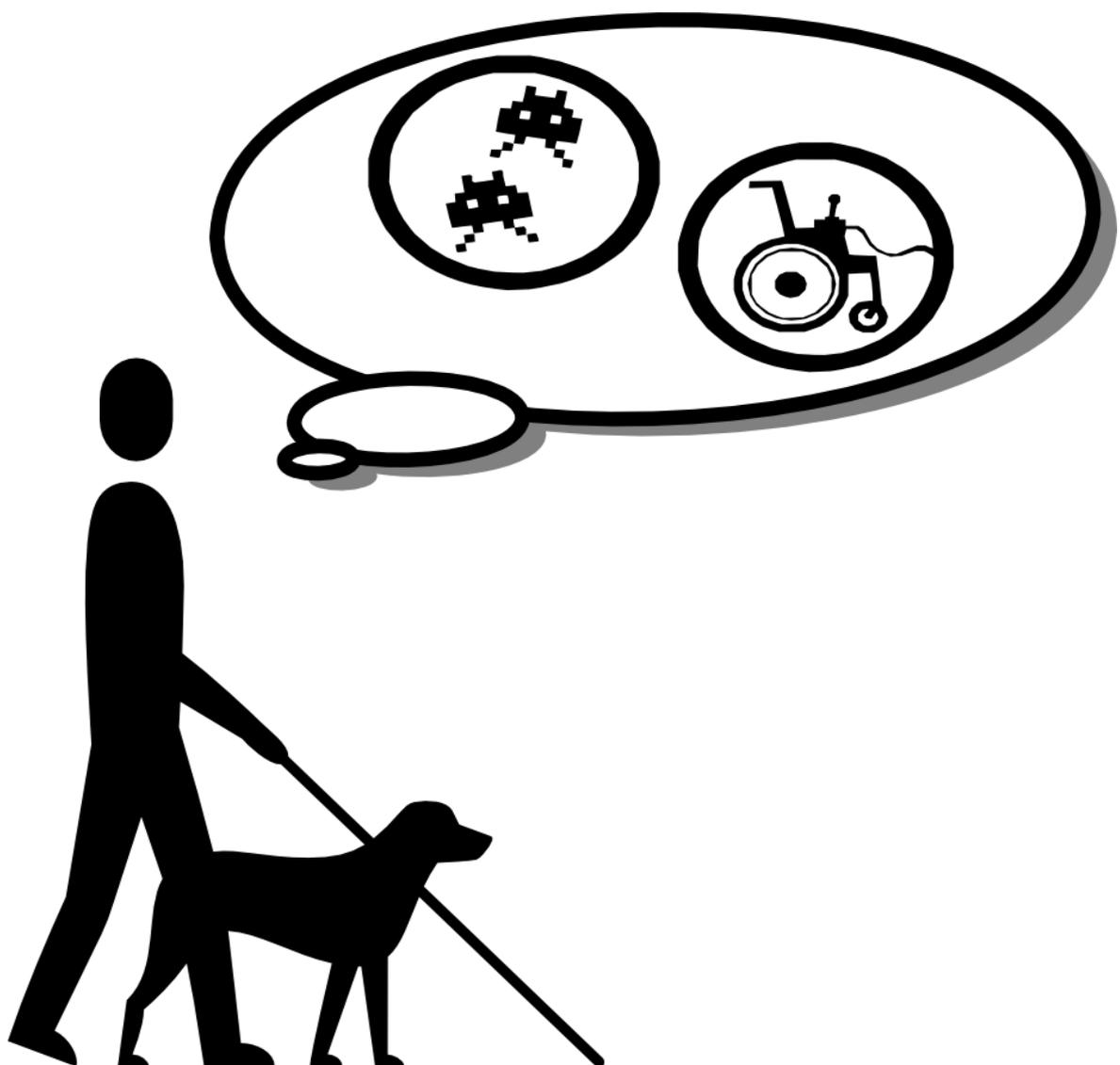
Néanmoins, comme le souligne SAVARY [SAV01; BRBA01],

Citation 1 (SAVARY) *« le potentiel que représentent les nouvelles technologies ne peut se réaliser pleinement que si les interfaces accessibles aux aveugles sont intuitives et conviviales, comme le sont devenues au fil des années les interfaces pour les utilisateurs voyants, et en particulier les interfaces graphiques. »*

Par conséquent, les équipements matériels et/ou logiciels permettant aux personnes en situation de déficience visuelle d'accéder à l'informatique se doivent d'évoluer pour en accroître l'efficacité, la convivialité et l'accessibilité. Cette amélioration nécessite l'intervention de compétences multiples (informatique, psychologie, ergothérapie, etc.). Nos travaux participent à cette amélioration en proposant un cas particulier d'utilisation : celui des jeux vidéo accessibles.

Chapitre 3

Accessibilité aux jeux vidéo





Résumé

Dans ce chapitre, nous présentons la notion de jeu vidéo et les raisons qui nous ont amenées à nous intéresser aux problèmes de l'accessibilité des jeux vidéo. Nous soulignons les éléments qui rendent les jeux vidéo actuels inaccessibles, nous proposons une classification des problèmes rencontrés par les joueurs en situation de handicap et nous introduisons quelques notions sur l'évaluation de l'accessibilité d'un jeu vidéo.

3.1 Introduction

L'accès aux nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) est devenu un aspect fondamental de notre société d'information. Toute personne, quel que soient ses capacités physiques et/ou mentales, souhaitant accéder à ces nouveaux médias de communication doit y être en mesure. Bien sûr, lorsque l'on parle d'accès à l'informatique pour les personnes en situation de handicap, on sous-entend bien souvent accès à l'informatique en tant qu'aide technique pour la vie quotidienne et le travail. Pourtant, les loisirs numériques, et notamment les jeux vidéo, sont devenus prépondérants dans notre société.

3.2 Les jeux vidéo

3.2.1 La définition des jeux vidéo

Selon NATKIN [Nat06], un jeu vidéo peut être considéré comme :

Définition 2 (Jeu vidéo) « une œuvre audiovisuelle interactive dont l'objectif premier est de distraire ses utilisateurs/spectateurs et qui utilise pour sa reproduction un appareil basé sur une technologie informatique. ».

Selon cette définition, contrairement à l'aspect ludique [Spr05; Nar04; Toz02], l'aspect visuel d'un jeu n'est donc pas prépondérant. La notion de jeu vidéo peut donc être considérée comme un abus de langage plus proche du terme de jeu « numérique » que de jeu réellement « vidéo ».

3.2.2 La classification des différents types de jeux vidéo

Différentes classifications plus ou moins précises des jeux vidéo ont été proposées ces dernières années [LDLD98; Gen03; RA03; Nat06]. La précision de certaines de ces études provoque un important cloisonnement des types de jeux et semble difficile à utiliser dans la pratique. C'est pourquoi, nous privilégierons la classification proposée par NATKIN dans [Nat06] (Cf. figure 3.1).

Il propose une décomposition en quatre classes autorisant le recouvrement interclasse. Ainsi un même jeu peut appartenir à plusieurs classes ce que ne permet pas forcément des classifications plus strictes. Cette décomposition est la suivante.

puzzles : jeux issus des jeux de société, des jeux de cartes, de logique, etc.

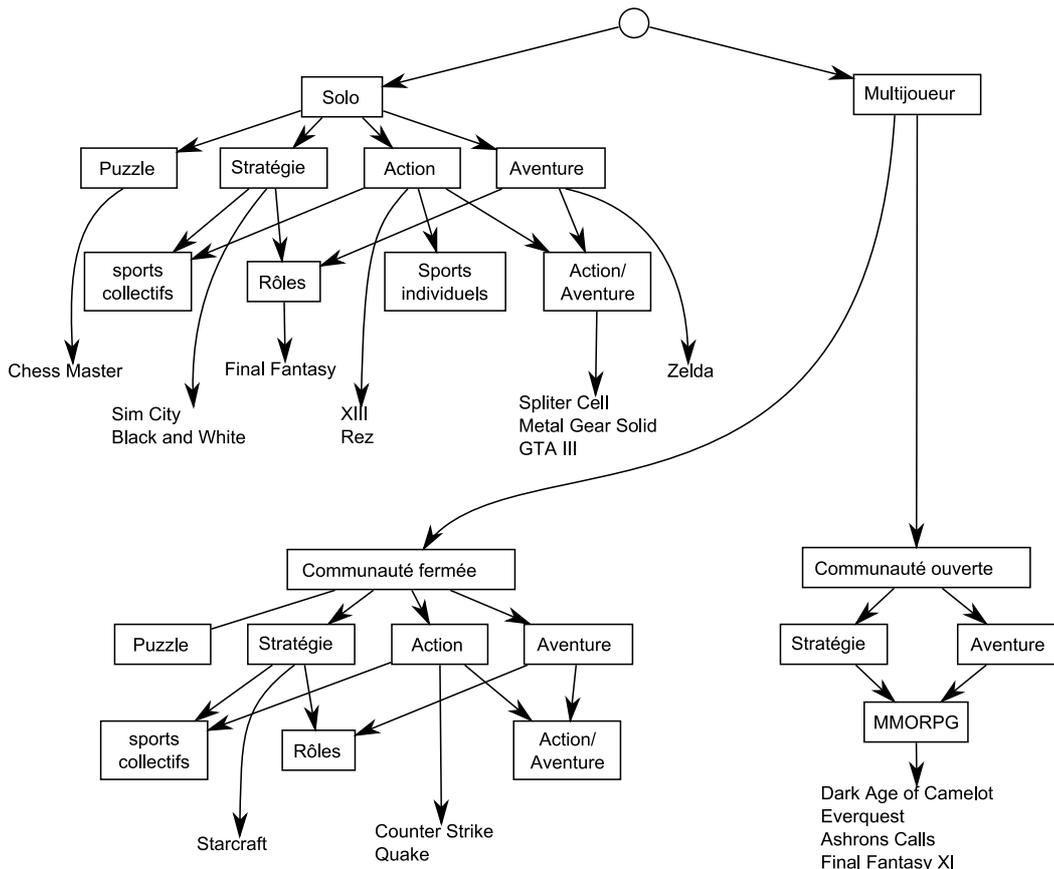


FIGURE 3.1 – Ontologie des jeux proposée par NATKIN [Nat06].

stratégie : jeux où le joueur doit prendre des décisions stratégiques pour voir évoluer son armée, son village, etc. Ce type de jeux possède bien souvent des règles complexes que le joueur va apprendre au fil des parties et est basé sur une carte stratégique. Les parties sont longues et le mode solitaire ne sert bien souvent que de phase d'apprentissage du jeu. L'aboutissant étant de se confronter à d'autres joueurs.

action : jeux issus des premiers jeux d'arcade avec des règles généralement simples, d'une durée relativement courte et d'une difficulté élevée où le joueur doit s'adapter au rythme élevé proposé par l'ordinateur.

aventure : jeux basés sur la résolution d'une énigme ou l'exploration d'un « monde ».

Le mélange de ces différentes classes donne naissance à de nombreuses combinaisons laissant libre cours à la créativité des développeurs.

3.2.3 La définition de la notion de « gameplay »

L'un des éléments majeurs assurant le succès d'un jeu vidéo est son « gameplay ».

Définition 3 (Gameplay) *Le « gameplay » d'un jeu vidéo recouvre deux dimensions. La première est liée au jeu en lui-même : l'histoire du jeu et ses règles. La seconde est liée à l'interaction entre le joueur et le jeu. Le « gameplay » recouvre donc à la fois des critères de jouabilité, de maniabilité et de niveau de difficulté.*



3.3 La place des jeux vidéo dans notre société

3.3.1 Les jeux vidéo au sein de notre société

Bien qu'ils puissent ne paraître que secondaires, les jeux vidéo font parties intégrantes des nouveaux médias de communication. En effet, ils occupent, depuis plusieurs années, une place toujours croissante des loisirs numériques et ceci quelque soit l'âge et les origines socio-culturelles des joueurs. Une récente étude TNS Sofres (2006)¹ a montré que près de la moitié des foyers français joue régulièrement aux jeux vidéo.

L'étude du profil des personnes concernées souligne l'hétérogénéité des joueurs aussi bien en terme de sexe (les femmes représentent près de 40% de joueurs) qu'en terme d'âge (Cf. figure 3.2).

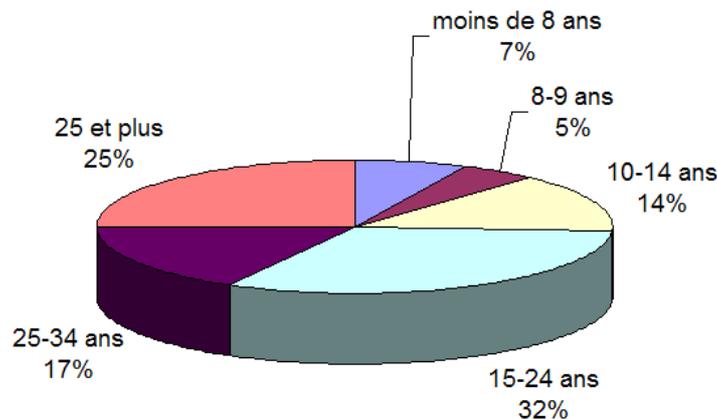


FIGURE 3.2 – Répartition des joueurs par tranche d'âge

Des joueurs de tout âge jouent donc régulièrement aux jeux vidéo et, quelle que soit la tranche d'âge considérée, leur part ne cesse de croître. Bien sûr les jeux varient en fonction de la tranche d'âge : un enfant n'a pas les mêmes attentes vis à vis d'un jeu qu'un adulte. Différents marchés des jeux vidéo sont donc apparus. Parmi ces marchés, on retrouve le marché des jeux pédagogiques (les enfants de moins de 10 ans représentant plus de 10% des joueurs). Mais aussi le marché du « casual gaming² » (jeux de solitaire, démineur, freecell, etc.) qui attire de plus en plus les adultes (35 ans et plus). Moins impliquant, plus simples, ces jeux séduisent une importante partie des joueurs. Plus de la moitié des joueurs sur ordinateur jouent aux jeux disponibles sur leur système d'exploitation comme le démineur ou le solitaire. Et 40% de ces mêmes joueurs jouent à des jeux gratuits sur internet.

D'autre part, l'ordinateur reste la plate forme privilégiée puisque près de 70% des joueurs l'utilisent (dont 30% pour des jeux en ligne). Les consoles de salon ne représentent que 41% des joueurs et les consoles portables 16%. De plus, la démocratisation des nouveaux périphériques mobiles (téléphone, PDA, lecteur multimédia, etc.) a créé l'émergence d'une nouvelle forme de

1. TNS Sofres : Le marché français des jeux vidéo, Association Française pour les Jeux Vidéo (AFVJ), Novembre 2006, http://www.afjv.com/press0611/061122_marche_jeux_video_france.htm

2. Les « casual games » ou « jeux vidéo occasionnels », sont des jeux simples conçus pour prendre du plaisir rapidement lors de parties. Ce sont des jeux utilisables par tous, y compris les enfants, et ceci sans avoir le besoin d'assimiler des mécanismes de jeux compliqués (gameplay). Les casual games sont souvent des jeux vidéo indépendants ou amateurs à petits prix ou gratuits comparés aux jeux vidéo commerciaux traditionnels (source <http://www.relite.org/v3/dico/jargon-du-jeu-video/casual-games.html>)



jeu fortement liée au « casual gaming » (Cf. figure 3.3).

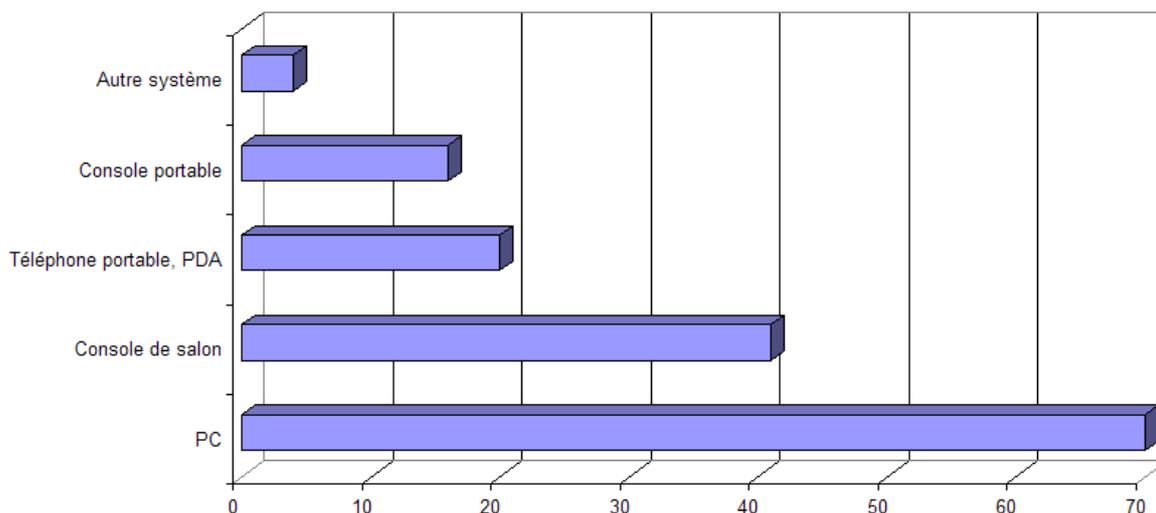


FIGURE 3.3 – Répartition des plate formes de jeu (en pourcentage)

Finalement, la part des jeux simples sur PC ou autres périphériques portables offre une alternative intéressante aux équipements dédiés (consoles de salon ou portables) permettant de réduire le coût et la durée de développement.

3.3.2 Les enjeux de l'accès aux jeux vidéo

Les jeux vidéo jouent un rôle toujours croissant dans notre société d'informations et de communications. Selon JAYAKANTHAN [Jay02], « l'influence des jeux vidéo sur les jeunes est aujourd'hui proche de l'influence culturelle de la musique, des mouvements politiques voir même de la religion » [MSS04].

Si l'aspect ludique est prédominant dans l'univers des jeux vidéo et justifie en partie l'engouement pour ce loisir numérique, il n'est pas le seul intérêt des jeux vidéo. Ces derniers sont aujourd'hui considérés comme des outils pédagogiques et d'intégration sociale pertinents [Kaf06; MSS04; Gee06; Gui06].

3.3.2.1 Les jeux vidéo comme support pédagogique

D'après de nombreuses études [Kaf06; MSS04; Gee06; Gui06], l'intérêt des jeux vidéo comme support pédagogique est réel. L'une des raisons majeures de l'intérêt de ce support pédagogique est l'engagement qu'il suscite de la part de l'élève. En effet, les jeux vidéo représentent un média séduisant et motivant pour le joueur. Ils peuvent faire référence à un univers proche de la réalité (simulation) ou totalement différent (fantastique). Il est donc possible de faire correspondre le jeu aux attentes et aux envies du joueur de manière à accroître son implication.

Outre cette capacité de personnalisation qui rend les jeux vidéo mieux adaptés que les jeux traditionnels, il est également important de souligner le fait que les jeux vidéo peuvent être joués seuls, contre un autre joueur distant mais aussi contre un adversaire virtuel contrôlé par une intelligence artificielle. Ainsi, le jeu vidéo est en permanence disponible pour le joueur, contrairement aux jeux traditionnels, pour lesquels il est bien souvent nécessaire de trouver un adversaire physique à son niveau avant de pouvoir jouer.



Les relations existant entre implication et caractéristiques du jeu ont été étudiées par ATTEWELL ET SAVILL-SMITH dans [ASS03] à partir des correspondances données par PRENSKY dans [Pre01] et permettent de mieux comprendre l’attrait des jeux vidéo. Une synthèse de ces relations est donnée dans le tableau 3.1.

Caractéristique du jeu vidéo	Contribution à l’implication du joueur
Divertissement	Plaisir
Jeu	Implication
Règles	Structure
Objectifs	Motivation
Interaction	Activité
Résultats et retours	Apprentissage
Adaptatif	Flow (notion détaillée section 3.5.1.2)
Victoire	Gratification
Conflit / Compétition / Challenge	Adrénaline
Résolution de problème	Créativité
Interaction	Socialisation
Histoire	Émotion

TABLE 3.1 – Caractéristiques des jeux vidéo et leur contribution dans l’implication des joueurs

De plus, les jeux restent un challenge, une mission à accomplir, une compétition, etc. Ainsi le jeu est nécessairement accompagné d’une motivation personnelle liée à l’esprit de compétition et ceci quelque soit le jeu considéré, du plus simple au plus complexe. Dans [BEC01], le BECTA³ a analysé l’impact de cette motivation sur les joueurs (*Cf.* tableau 3.2).

Qu’est ce qui indique la motivation ?	Travail autonome Persévérance Plaisir d’apprendre
Qu’est ce qui génère la motivation ?	Participation active Retour rapide Challenge concernant des objectifs réalisables
Que génère la motivation ?	Interactions collaboratives Compétitions ou coopérations constructives Équité
Sur quoi repose la motivation ?	Une version de la réalité Pertinence pour le joueur
Quels sont les problèmes liés à cet excès de motivation ?	La motivation peut mener à l’obsession La motivation peut causer des interférences entre monde réel et virtuel

TABLE 3.2 – Bienfaits et méfaits de la motivation

L’intérêt des jeux vidéo comme support pédagogique repose sur la motivation induite et les retours immédiats [Pre01]. Cet intérêt est particulièrement important dans le cadre de

3. Acronyme originel du « British Educational Communications and Technology Agency », groupe de travail du gouvernement britannique appartenant au département de l’enfance, de l’éducation et des familles



l'apprentissage des mathématiques et de la lecture en favorisant la mémorisation des notions traitées [RMWW92].

3.3.2.2 Les jeux vidéo comme outil d'intégration sociale

L'intérêt des jeux vidéo en terme d'outil d'intégration sociale varie en fonction du type de jeu. En effet, on fera la distinction entre jeux mono ou multi joueurs, locaux ou distants, etc. ainsi qu'entre jeux où le (ou les) personnage(s) principal(aux) doit(vent) interagir ou non avec les autres personnages du jeu. Mais, de manière générale, quelque soit le jeu, il est sujet à dialogue à posteriori entre les joueurs pour la participation à une même activité.

Bien sûr, les jeux multi joueurs accroissent l'intérêt des jeux comme outil d'intégration sociale puisque ces interactions émergent dès la phase de jeu. De plus, dans certains cas, la victoire nécessite la collaboration entre les joueurs. Cette coopération oblige donc le joueur à prendre conscience de son allié et implique, par conséquent, une certaine communication.

Afin de tirer, de manière optimale, bénéfice des jeux vidéo en tant qu'outil d'intégration sociale, mais également en tant que support pédagogique, il est préférable d'impliquer les enfants dans la phase de création même du jeu ou du moins pour la personnalisation de celui-ci. Ce questionnement sur l'implication des enfants dans la construction des jeux conduit à deux courants nommés instructionisme et constructionisme [Kaf06] (faut-il les impliquer dans la construction ou juste les laisser apprendre en jouant ?).

Finalement, l'élargissement du rôle des jeux vidéo au sein de notre société souligne ainsi le besoin d'une réflexion sur leur accessibilité.

3.3.2.3 L'enjeu des jeux vidéo chez le joueur en situation de handicap

Les jeux vidéo possèdent de remarquables capacités en tant que support pédagogique et outil d'intégration sociale. Cette conclusion reste vraie quelque soit le joueur, ses capacités physiques et/ou mentales et le jeu considéré. Néanmoins, le handicap renforce l'intérêt des jeux vidéo puisqu'il accroît les besoins liés à l'intégration sociale mais aussi à l'apprentissage et à la familiarisation des aides techniques.

En effet, les problèmes d'intégration sociale sont réels pour les personnes en situation de handicap et ceci pour des raisons diverses : problème de mobilité limitant les possibilités de rencontres, difficulté de la prise de contact, etc. La mise en place d'un univers commun des jeux vidéo permet aux joueurs en situation de handicap de partager une expérience commune avec des joueurs réels tout en gommant éventuellement son handicap vis à vis des autres joueurs.

Mais l'intérêt des jeux vidéo en tant que support pédagogique est également prépondérant. En effet, outre l'apprentissage classique des techniques de lecture, etc., les jeux vidéo peuvent faciliter la familiarisation des personnes en situation de handicap avec les nouvelles technologies composant les aides techniques qui les entourent. Des exemples de jeux purement pédagogiques comme des jeux de mathématiques peuvent être cités [Jok05; BBCJ93]. Mais les jeux vidéo peuvent également être utilisés dans le cadre d'outils facilitant la rééducation, la thérapie, l'évaluation de symptômes, etc. [RARLG06; ACH⁺06; LBG⁺08; SLG08; KCPLCF05]

La mise en place de plateformes coopératives entre personnes en situation de handicap ou non s'illustre à travers des projets tels que le projet MICOLE⁴. L'objectif de ce projet est de

4. MultImodal COLlaboration Environment for inclusion of visually impaired children : <http://micole.cs.uta.fi/>



développer un système permettant la collaboration, le partage de données, la communication et la créativité des enfants déficients visuels ou non. La présentation du projet⁵ souligne le rôle de ce système en tant qu'outil d'intégration social favorisant l'inclusion dans l'éducation, le travail ou la société en général.

Ce projet a conduit à de nombreux résultats proches⁶ de notre domaine d'investigation [PMP⁺07] et plus précisément sur les modalités audio [DL07] et tactile [CZR07; GPZRVC07; Jan07; JR07; MRG07; SMSE07; WB05; CB06; EER06; NM06; SBBWSE96; SMSE06; JP05; Jan05; JJC05; NM05b; NM05a; PMP05a; PMP05b; I.06] utilisées de manière disjointe ou conjointe [RGME07a; RGME07b; JJC06; MDRG06; MRGE06; RGEM06; MB06; RG06; RGME06; MRG05; Mag05; GAJM05; ZRP05]. Mais aussi sur les outils liés à l'apprentissage [GSC06; SJRS05; SS05a], et plus particulièrement l'apprentissage des mathématiques [ASB⁺07a; ASB⁺07b; ABB⁺05; ABM05; AM06; SBMH06; ZRP05], dont les jeux font parties [SSS06; GSS04; GSS05].

Dans le cadre de personnes aveugles, les jeux vidéo représentent un outil facilitant l'apprentissage des aides au déplacement et à la navigation. En effet, une analogie peut être faite entre le déplacement d'une personne aveugle et le déplacement du joueur dans le jeu. Cette application est particulièrement intéressante dans le cadre de joueurs aveugles de naissance. Pour ces derniers, fonctionnant sur le modèle d'un repère ego-centré, il peut être difficile d'appréhender l'environnement comme un espace 2D dans lequel un mouvement provoque un déplacement de l'ensemble des objets présents [Pis06; Pis07]. De la même manière, des aides électroniques au déplacement sont actuellement disponibles sur le marché (cane blanche électronique : Tom Pouce, TeleTact (laboratoire Aimé Coton, Paris <http://www.lac.u-psud.fr/Aide-au-deplacement-des-non>) [DGLF06; VZL⁺08; BF02b; BF02a; FLD⁺03; FLB⁺03; FLLD04; JBFB04; LFL⁺04]) et des recherches sont encore en cours (couplage avec un GPS, etc.) [GMRRDSS99; PMVF06; PV08; BF02c; JFB03] (Cf. figure 3.4). Parmi ces projets de recherches en cours, nous pouvons citer un projet particulièrement pertinent vis à vis de nos travaux sur les jeux vidéo tactiles : le projet Lunettes Intelligentes de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR - Paris 6) [VMP03; FVWP06; FVP07; VPFH07; VPHS08]. Dans ce projet, les chercheurs tentent d'acquérir les informations issues de l'environnement de la personne déficiente visuelle à l'aide de lunettes munies de deux caméras. L'analyse du flux vidéo est ensuite transcrit sur une interface tactile spécialement conçue pour ce projet à l'aide d'Alliage à Mémoire de Forme (Cf. figure 3.5 - image extraite de [VSHP05]).



FIGURE 3.4 – Exemples d'aides à la navigation pour les personnes aveugles : la canne blanche électronique (a. Teletact, b. TomPouce, c. GeoTact)(images extraites du site du laboratoire Aimé Coton, Paris).

5. 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.

6. Les résultats cités sont les résultats les plus pertinents par rapport à nos travaux mais d'autres sont disponibles. Une liste exhaustive peut être trouvée sur le site du projet.

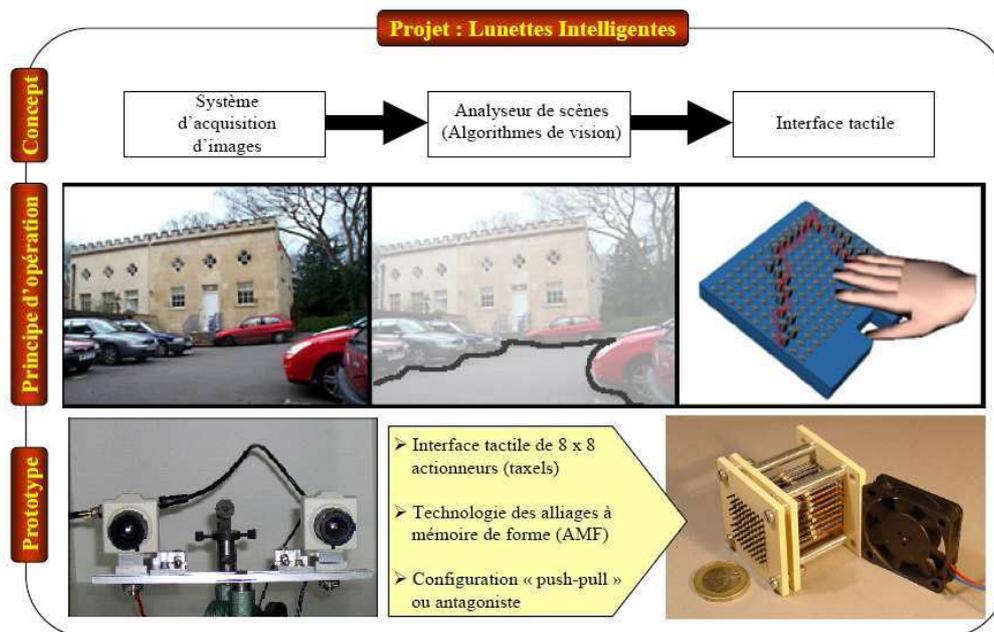


FIGURE 3.5 – Le projet : lunettes intelligentes ISIR Paris 6

3.4 La définition à l'accessibilité des jeux vidéo

De par la place toujours croissante des jeux vidéo dans notre société et la demande actuelle, l'accessibilité aux jeux vidéo est devenue un véritable enjeu éthique, légal et financier [BCE⁺05] profitable à tous puisque la réflexion sur l'accessibilité des jeux vidéo s'accompagnera systématiquement d'une réflexion sur la jouabilité des jeux vidéo.

Néanmoins, l'accessibilité des jeux vidéo ne dispose pas d'organisme fédérateur regroupant les différents acteurs travaillant en sa faveur. Le seul organisme non officiel remplissant officieusement ce rôle est le « GA-SIG » (Game Accessibility Special Interest Group)⁷ appartenant à l'« IGDA » (International Game Developers Association)⁸. Ce groupe de travail, créé en 2003, a pour objectif de « proposer des méthodes permettant de développer des jeux, de tous genres, accessibles par tous quelques soient les capacités »⁹.

Définition 4 (Accessibilité des jeux vidéo) « la possibilité de jouer à un jeu même dans le cadre d'un fonctionnement sous conditions limitantes. Ces conditions limitantes pouvant être d'ordre fonctionnel ou liées à un handicap telles que la non voyance, la surdité ou la mobilité réduite ».

Tout comme l'accessibilité numérique, comprendre l'accessibilité au Web, est une notion beaucoup plus large que celle du handicap, l'accessibilité aux jeux vidéo ne concerne pas uniquement les personnes en situation de handicap.

Définition 5 (Accessibilité du Web) « Mettre le web et ses services à la disposition de tous les individus, quelque soit leur matériel ou logiciel, leur infrastructure réseau, leur langue maternelle, leur culture, leur localisation géographique, ou leurs aptitudes physiques ou mentales. [Min07] ».

7. Site web : <http://www.game-accessibility.com/>

8. Site web : www.igda.org

9. Traduction de l'objectif proposer par le GA-SIG IGDA : « to develop methods of making all game genres universally accessible to all, regardless of disability. »



La définition parle de « conditions limitantes d'utilisation » que tout joueur peut rencontrer notamment du fait du développement des périphériques portables. Par exemple, une personne jouant dans le train, le métro, etc. sur sa console portable, son téléphone, etc. peut se trouver dans un environnement bruyant, sombre, étroit, etc. lui empêchant respectivement d'entendre les consignes audio, de voir l'écran ou d'utiliser les périphériques d'entrée du jeu. Ces contraintes temporaires peuvent être assimilées à une déficience auditive, visuelle ou motrice temporaires [GSS05] ce qui accroît l'intérêt universel de l'accessibilité aux jeux vidéo.

Depuis, la notion a été affinée, notamment par l'équipe de recherche HCI (« Human-Computer Interaction ») du laboratoire d'Informatique (« ICS-FORTH ») de Hellas (Grèce) [GSS05; GSGS06; SSS06; GSS04] pour qui un jeu vidéo accessible est un jeu vidéo :

1. suivant les principes de la conception pour tous (« Design for All ») en étant conçus pour correspondre de manière optimale aux caractéristiques individuelles du joueur et capable de s'adapter dynamiquement sans aucune nécessité d'ajustement complémentaire ou de développement additionnel ;
2. jouable simultanément par tous les joueurs quelques soient leurs capacités ;
3. jouable à partir de différentes plateformes matérielles et/ou logicielles en utilisant des équipements et des configurations standards ou des aides techniques complémentaires.

Néanmoins, la communication autour de l'accessibilité aux jeux vidéo reste difficile. Cette difficulté est fortement liée au manque d'intérêt des grands industriels. Très peu de joueurs ont conscience de la notion même d'accessibilité aux jeux vidéo et beaucoup d'entre eux s'étonnent de l'existence de jeux accessibles aux personnes en situation de handicap (plus particulièrement de jeux pour personnes non voyantes). Seuls quelques articles de magazines en ligne [AS05; Bau05; Wil03; O'Ma; Ell; D'A01; And02] ou quelques sujets sur des forums de discussion¹⁰ de jeux vidéo permettent de sensibiliser le « grand public ».

3.5 Pourquoi les jeux standards ne sont ils pas accessibles ?

Les causes de l'inaccessibilité d'un jeu vidéo, et les solutions à apporter pour le rendre accessible, sont bien sûr relatives au handicap considéré. On distingue trois types de handicap : handicap physique, sensoriel (déficiences visuelles ou auditives) et cognitif. Lorsqu'une personne en situation de handicap tente d'accéder à un jeu vidéo standard, elle est confrontée, quelque soit son handicap, à un ou des problèmes d'accessibilité que nous proposons de regrouper de la manière suivante : les problèmes d'interaction et les problèmes de niveau.

3.5.1 La classification des problèmes de l'accessibilité aux jeux vidéo

3.5.1.1 Les problèmes d'interaction

Les problèmes d'interaction traduisent les problèmes rencontrés par le joueur afin d'acquérir les informations provenant du jeu. Par exemple, une personne aveugle ne pourra utiliser l'interface graphique qui, par définition même du jeu vidéo, est la principale modalité ; une personne sourde ne pourra accéder aux informations sonores du jeu. Finalement, en fonction de son handicap, un joueur pourra ne pas être en mesure d'exploiter une modalité sensorielle particulière (essentiellement la vue ou l'ouïe). Ainsi, il ne pourra pas ou difficilement acquérir les informations du jeu provenant de ce canal.

Mais les problèmes d'interaction ne se limitent pas au problème de l'acquisition des informations du jeu. Ils s'étendent également aux difficultés rencontrées pour la transmission

10. Être aveugle ne veut pas dire ne pas jouer à des jeux vidéos (<http://www.infos-du-net.com/forum/1620-33-etre-aveugle-veut-dire-jouer-jeux-vidéos>)



des commandes au jeu. Par exemple, une personne possédant un handicap moteur pourra rencontrer des difficultés pour utiliser une souris ou une manette standard ; une personne non voyante ne pourra pas utiliser la souris ou autre dispositif de pointage.

Finalement, ces problèmes d'interaction prennent en compte simultanément les problèmes d'acquisition et de transmission d'informations entre le joueur et le jeu.

L'industrie des jeux vidéo est une industrie relativement récente. Créée au début des années 70, elle a subi de nombreuses mutations qui ont progressivement conduit à une diminution de l'accessibilité [GLPNV02; DW02; LDLD98; Ken01; Ich04; Gau08]. En effet, l'aspect visuel et réaliste des jeux n'a cessé de croître et ne cesse encore de croître aujourd'hui grâce à l'évolution conjointe des méthodes de représentation et des technologies matérielles.

L'évolution des dispositifs de commande illustre également le renforcement des problèmes d'interaction¹¹. Nous sommes bien loin des premiers jeux d'arcade style « Pong »(1972), « Space Invaders »(1978), « Pac Man »(1980) d'utilisation intuitive et pour lesquels trois ou quatre boutons étaient suffisants (Cf. figure 3.6). Les manettes actuelles du type « PlayStation », les plus couramment utilisées, disposent de dix boutons en plus des quatre flèches multi-directionnelles pour la première version (sortie en 1994) et éventuellement des deux joy-pads supplémentaires pour les nouveaux modèles (depuis 1997). L'utilisation de ces nouveaux contrôleurs devient donc de plus en plus complexe et demande de plus en plus de dextérité (Cf. figure 3.7).

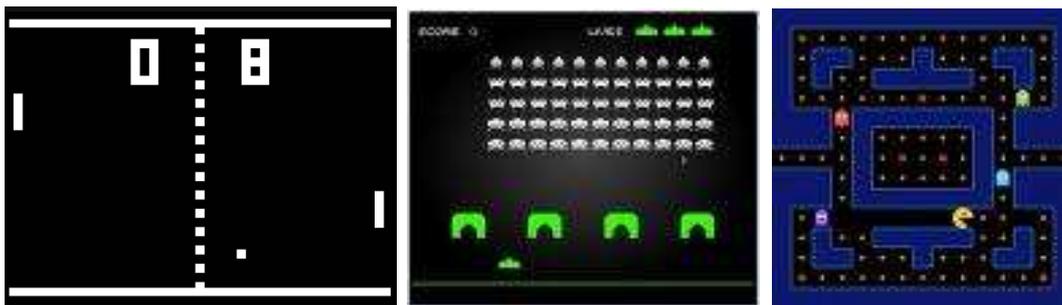


FIGURE 3.6 – Captures d'écran des Classiques « Pong », « Space Invaders »et « PacMan »(Captures d'écran extraites des sites web : www.nintendo-master.com, www.c-sharpcorner.com et www.games-creators.org)

Néanmoins, évolution des contrôleurs et accessibilité ne sont pas toujours contradictoires. De nouvelles technologies, comme par exemple les manettes dites « dual shock », *i.e.* ayant la possibilité de vibrer et dont le but premier était d'accroître l'immersion du joueur dans le jeu, se sont avérées être un support pour améliorer l'accessibilité. Elles ont permis d'introduire un nouveau canal de communication facilitant l'accès à certaines informations pour les personnes malvoyantes ou malentendantes et ceci à faible coût. Plus récemment, la sortie de la WiiMote et de la NunChuck (les deux contrôleurs indépendants de la nouvelle console Wii de Nintendo, Cf. figure 3.7.g) apparaît comme un élément d'accessibilité prometteur.

3.5.1.2 Les problèmes de niveau

Les problèmes de niveau sont bien souvent associés au handicap cognitif. Pourtant, ils couvrent un panel beaucoup plus large et prennent, par exemple, en compte une vitesse de jeu trop importante pour une personne souffrant de handicap moteur, pouvant être plus

¹¹. Photographies des contrôleurs issues des sites web : cpicchio.free.fr, fr.wikipedia.org, nintendoforever.free.fr, www.planete-pes.com, www.infos-du-net.com



FIGURE 3.7 – Évolution des différents contrôleurs de jeu (a.Atari(1972), b.Nes(1985), c.SuperNes(1992), d.PlayStation1(1995), e.PlayStation2-3(2000-2007), f.XBox(2001), g.WII(2006))

lente et moins précise dans ses gestes ; ils soulignent le problème de la complexification des contrôleurs ; etc.

De plus, ils sont plus difficiles à aborder que les problèmes d’interaction car la notion de niveau de difficulté est double au sein de l’univers des jeux vidéo. En effet, le niveau peut être perçu comme un problème puisqu’il empêche certains joueurs d’accéder au jeu. Mais il doit également être perçu comme l’un des intérêts majeurs des jeux. En effet, la phase d’apprentissage d’un nouveau jeu engendre automatiquement une étape de compréhension (compréhension des contrôles, du contrôleur, des éléments de la représentation, du rôle des personnages, des objectifs du jeu, etc.). Or cette étape fait partie intégrante de l’univers des jeux vidéo. Par conséquent, un jeu accessible ne doit pas devenir un jeu trop simple au risque de perdre son aspect ludique. Il faut donc faire la distinction entre difficulté propre au jeu et difficulté propre à l’accessibilité de manière à ce qu’un jeu accessible reste un jeu à part entière [AOGM07].

Comme le cite [AOGM07], afin d’illustrer l’importance du niveau au sein des jeux vidéo, Chen Jenova intègre la notion de « flow » issue du domaine de la psychologie. Le « flow », défini en 1975 par le psychologue Csikszentmihalyi [Csi90], est l’état mental dans lequel la personne se trouve lorsqu’elle est en total immersion dans son activité [Jen01; Jen07]. Dans le cadre des jeux vidéo, c’est en atteignant cet état mental que le joueur prend plaisir à jouer. Néanmoins, pour atteindre cet état, deux éléments sont à prendre en compte : le niveau de difficulté du jeu et les capacités du joueur (Cf. figure 3.8).

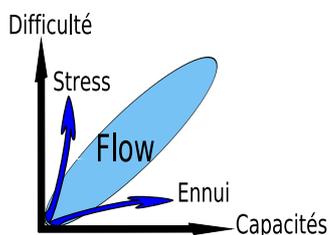


FIGURE 3.8 – Notion de « Flow » dans les jeux par Jenova

Finalement, pour qu’un jeu soit accessible, intéressant et ludique pour tous les joueurs, il est nécessaire que son niveau de difficulté s’adapte aux capacités du joueur et non l’inverse. Ces méthodes d’auto-adaptation du niveau de jeu sont regroupées autour de la notion



d'« intelligence artificielle adaptative »¹².

L'intelligence artificielle d'un jeu vidéo peut intervenir à trois niveaux distincts liés à des décisions de court, moyen et long termes [Spr05] :

niveau opérationnel : gestion des mouvements et des actions individuelles des différents agents présents dans le jeu.

niveau tactique : définition des séquences d'actions devant être entreprises par les agents du jeu.

niveau stratégique : planification à long terme des décisions devant être prises par les agents.

Le niveau stratégique peut être considéré comme commun à tous les joueurs quelles que soient leurs capacités. En effet, les décisions de long terme intègrent essentiellement les objectifs généraux du jeu. Or, c'est la manière d'atteindre ces objectifs qui permettent de rendre le jeu accessible en prenant ou non en compte le niveau de jeu du joueur courant. Cette prise en compte se fait lors des décisions de moyen et court terme.

Selon PIETER SPRONCK dans [Spr05], l'intelligence artificielle adaptative dans les jeux peut être définie comme une intelligence artificielle capable d'auto-correction et capable de créativité. Différentes techniques d'apprentissage peuvent être mises en œuvre :

apprentissage hors ligne : l'intelligence artificielle attend que le joueur humain ait terminé de jouer pour réaliser un apprentissage à partir de la partie précédente, d'exemples ou de situations particulières.

apprentissage en ligne supervisé : apprentissage ayant lieu pendant que le joueur humain joue. Cet apprentissage s'effectue en interaction avec le joueur puisque c'est ce dernier qui contrôle les éléments « appris » par le moteur d'intelligence artificielle.

apprentissage en ligne non supervisé : apprentissage s'opérant également pendant que le joueur humain joue mais de manière totalement transparente pour le joueur.

Différents outils peuvent alors être utilisés pour réaliser un tel apprentissage : algorithmes évolutionnaires, réseau de neurones, apprentissage par renforcement.

3.5.2 Les difficultés rencontrées et les solutions apportées en fonction du type de handicap

L'une des difficultés majeures du développement de jeux accessibles est l'aspect universel que doivent posséder ces jeux. Cette notion d'universalité implique la prise en compte exhaustive des différents problèmes rencontrés quelles que soient les capacités physiques et/ou mentales du joueur.

3.5.2.1 Le handicap moteur

Dans le cas du handicap moteur, et plus particulièrement lorsque le handicap atteint les membres supérieurs, le principal problème rencontré par les joueurs est le problème d'interaction. Ne pouvant pas ou difficilement utiliser les contrôleurs standards, le joueur se doit de trouver un contrôleur alternatif adapté à ses capacités physiques. Mais le problème de niveau est également présent puisque ce handicap peut également conduire à une augmentation du temps de réaction, réduction de la précision des mouvements, etc. Il est alors nécessaire d'adapter la vitesse du jeu, d'activer des systèmes d'aide.

12. Traduction de l'anglais « Adaptive Game AI »



Recherche de contrôleurs adaptés Tout d’abord, la multiplication des contrôleurs standards disponibles a permis aux personnes en situation de handicap moteur d’utiliser des équipements classiques. Ces derniers présentent l’avantage d’être nettement moins onéreux que les équipements spécialisés. Ainsi, chacun tente de trouver le contrôleur standard le mieux adapté à son handicap : manette d’arcade ou joystick, manette à une main, « Head » ou « Eye tracking », reconnaissance vocale, etc. (Cf. figure 3.9)



FIGURE 3.9 – Exemple de contrôleurs accessibles (a.« head »tracker, b.contrôleur lié au souffle, c.contrôleur Nintendo « Hand Free », d.« PlayStation Control Center »(images extraites du site <http://www.oneswitch.org.uk/>) e. OCZ Neural Impulse Actuator (image extraite du site <http://www.matbe.com/actualites/40171/ocz-nia/>)

Néanmoins, malgré ce large choix, de nombreuses personnes ne parviennent toujours pas à trouver de contrôleurs standards répondant à leurs besoins ou à leurs envies. S’offrent alors à elles, deux possibilités : l’adaptation d’un contrôleur standard ou l’achat d’équipement spécifique nettement plus onéreux.

Adaptation de contrôleurs standards L’adaptation de contrôleurs standards consiste à personnaliser un contrôleur standard de manière à le rendre « plus » accessible ou de manière à mieux répondre aux attentes du joueur. Cette adaptation peut être mise en œuvre à l’aide de différentes manipulations :

1. adaptation du contrôleur de manière à faciliter l’utilisation des boutons (pression, déplacement entre les boutons) ou du joypad. Les joypads sont considérés comme étant plus facile d’utilisation que les boutons multi-directionnels. Bien souvent trop courts et par conséquent trop sensibles, leur adaptation passe par la mise en place d’un pommeau plus ergonomique et/ou d’un manche plus long.
2. ajout de nouveaux ports aux contrôleurs standards permettant de connecter de nouveaux actionneurs (ou branchement direct). Cette méthode consiste à utiliser le circuit interne d’un contrôleur standard, et la connectique qui permet de le relier au système souhaité (console, PC, etc.), afin d’y brancher de nouveaux actionneurs accessibles. Ces nouveaux actionneurs, appelés « switch », peuvent ainsi être placés en fonction des capacités du joueur afin d’être actionné par une pression du genou, de la tête, des coudes.

Quelques sites Internet ou forums de discussions proposent des tutoriaux permettant d’apporter soi même les modifications nécessaires pour rendre un contrôleur standard accessible. Il faut néanmoins souligner que ces modifications nécessitent quelques connaissances en informatique et en électronique ainsi que des capacités physiques particulières. Les personnes



souhaitant adapter ces contrôleurs peuvent donc être confrontées à des problèmes d'autonomie.

Contrôleurs spécialisés Pour les personnes ne parvenant pas à trouver un contrôleur standard adapté et ne pouvant, ou ne souhaitant pas réaliser les modifications permettant d'en adapter un, il est possible d'acheter des contrôleurs accessibles « prêt-à-l'emploi ». Parmi ces contrôleurs commerciaux ou en cours de développement, il est possible de trouver :

1. contrôleurs simplifiés. Ces contrôleurs prennent bien souvent l'aspect de contrôleurs d'arcade mais peuvent aussi prendre la forme de contrôleurs plus classiques, type manette, comme le « Playstation Control Center » (Cf. figure 3.9).
2. contrôleurs par actionneurs : boîtiers configurables permettant de connecter différents actionneurs. Cette technique est très proche de celle exposée dans l'adaptation de contrôleurs standards [LVV07].
3. « Head » ou « Eye tracking » [Jön03] (Cf. figure 3.9).
4. reconnaissance vocale
5. contrôleurs liés au souffle. Nintendo a été la première industrie du jeu vidéo à proposer ce type de contrôleur en commercialisant, en 1988, le premier contrôleur accessible « hand-free » pour sa console NES. Depuis, le principe lié à l'utilisation du souffle a été amélioré et de nouveaux contrôleurs commercialisés (ex : « QuadController ») (Cf. figure 3.9).
6. interface cerveau-ordinateur : contrôleur spécialisé sur lequel de nombreuses recherches sont encore menées aujourd'hui [VLBN06; DMH⁺07; VLBC07] mais qui tend à devenir standard avec la récente sortie (2008) de l'OCZ NIA (Cf. figure 3.9).

Il est également nécessaire de noter que si il existe un contrôleur adapté aux besoins du joueur, aucune compatibilité n'est garantie quant à sa prise en compte pour d'autres jeux voir pour d'autres plateformes. Ce problème de compatibilité est omniprésent dans l'univers des jeux vidéo, comme dans celui des aides techniques en général. Mais, la mise en place d'un standard de contrôleurs remettrait en cause la notion même de concurrence et d'innovation dans l'industrie du jeu vidéo.

Le « switch gaming » De manière générale, les contrôleurs accessibles par actionneurs sont regroupés sous le terme de « switch interfaces » en référence au « swich » : éléments simples qui jouent le rôle d'actionneurs pouvant être déportés pour être utilisés à partir de n'importe quelle partie du corps (genou, tête, coude, etc.) en fonction des capacités du joueur. L'utilisation de ce type d'actionneurs est relativement courante, simple et ne se limite pas qu'à l'univers des jeux vidéo. C'est pourquoi, les contrôleurs spécialisés et les conceptions d'adaptation de contrôleurs font souvent appel à ce type d'équipements.

Néanmoins, ces actionneurs possèdent un important inconvénient lié à l'impossibilité d'interfacer des jeux basés sur l'utilisation de contrôleurs analogiques. Seul le principe de flèches multi-directionnelles peut être implanté à moins de coupler ces « switches » à un système type JoyPad accessible.

Cette notion de « switch gaming » a même été renforcée via la création de courants tels que le « one-switch gaming » dont l'objectif est de créer des jeux accessibles n'utilisant qu'un seul et unique bouton¹³.

13. Liste de téléchargement de jeux basé sur l'utilisation de swich : Cf. <http://www.oneswitch.org.uk/2/switch-downloads.htm>



FIGURE 3.10 – Exemple de contrôleur basé sur l'utilisation de « Switch » (image extraite du site <http://www.oneswitch.org.uk/>)

L'émulation Un émulateur est : « un artefact logiciel qui remplace une base existante ou ayant existée. Typiquement un émulateur sera un système qui simulera un système électronique (ordinateur, console de jeux vidéo etc.) ou un système logiciel (système d'exploitation etc.) par un autre qu'il soit logiciel ou matériel »¹⁴. L'utilisation de ce type d'artefact offre de nombreux intérêts. Tout d'abord, il permet de configurer pleinement le ou les différents contrôleurs utilisés ainsi que les événements associés. Ainsi, le joueur peut adapter facilement sa manette de contrôle en fonction de ses besoins et/ou capacités. De plus, il permet de choisir la vitesse du jeu ce qui permet de la ralentir si besoin. Et enfin, il offre la possibilité d'utiliser des astuces, des sauvegardes, etc. permettant de faciliter le jeu si le joueur le souhaite.

Il existe un important nombre d'émulateurs disponibles, pour la plupart gratuitement, et permettant d'émuler la quasi totalité des consoles de jeux existantes ou ayant existées. Par exemple, le site Wikipédia propose des émulateurs pour environ 30 consoles différentes, des plus anciennes au plus récentes, de l'ATARI2600 à la Microsoft XBox.

Les jeux utilisables par ces émulateurs sont stockées dans des fichiers appelés ROM (en référence à la mémoire ROM dans laquelle ils étaient stockés dans les machines originales). Il est néanmoins nécessaire de mettre en garde sur l'aspect légal de cette technologie. En effet, il n'est pas légal pour un utilisateur de posséder un jeu sous forme de ROM si ce dernier ne l'a pas été acheté légalement ou copié à partir d'un jeu original qui lui appartient.

3.5.2.2 Le handicap cognitif

Le handicap cognitif est un handicap très vaste, pouvant aller de la dyslexie à l'autisme en passant par l'hyper-activité, la dysgraphie, les problèmes de concentration ou de mémoire. Il ne concerne donc pas uniquement le retard mental. Il conduit à la fois à des problèmes d'interaction : compréhension de la représentation du jeu et/ou des contrôleurs mais également à des problèmes de niveau.

Une condition nécessaire pour qu'un jeu soit accessible pour une personne en situation de handicap cognitif peut dépendre du fondement même du jeu dans le cadre d'un retard mental. En effet, un jeu dont le « gameplay » lui même est trop compliqué ne pourra être rendu accessible quelles que soient les adaptations proposées. Par exemple si l'histoire elle même est trop compliquée : histoire, nombre de personnages, etc. En revanche, il est toujours possible de simplifier le jeu dans la mesure où ces simplifications n'affectent pas le « gameplay ». Par exemple, une adaptation de la vitesse du jeu, du niveau de difficulté ou des interfaces peuvent nettement faciliter et améliorer la jouabilité du jeu.

Mais cette situation reste très limitée au vue de la variété des pathologies propres au handicap cognitif. Néanmoins, certaines solutions peuvent être profitables à tous comme no-

14. Source Wikipédia



tamment la réduction des écrits au profit de pictogrammes. La mise au point de tutoriaux complets, de mode « entraînement », etc. permettent également de faciliter la compréhension et la prise en main du jeu.

Afin de montrer l'intérêt des jeux comme support pédagogique, on peut également citer les travaux [HdBGD⁺07] où l'introduction d'un nouveau périphérique : un stylet à retour d'effort, peut être introduit en tant qu'outil thérapeutique chez les enfants dysgraphiques.

De manière générale, le jeux standards restent accessibles pour les personnes en situation de handicap cognitif léger. Dans le cadre d'un handicap cognitif plus sévère, des jeux ou des contrôleurs spécialisés peuvent être utilisés. Parmi ces jeux on retrouve les « one switch game », précédemment cités dans le cadre du handicap moteur, qui du fait de la simplicité de leur contrôleurs et des actions à réaliser sont plus facilement utilisables.

Il est également important de citer le rôle tenu par les emballages des jeux et notamment par la mention « À partir de ». En effet, cette mention est bien souvent utilisée par les parents d'enfants en situation de handicap cognitif pour sélectionner un jeu.

3.5.2.3 Le handicap auditif

Le handicap auditif empêche le joueur d'utiliser les clés audio du jeu. Bien que le joueur conserve les principales facultés d'interaction avec le jeu : interface graphique et utilisation des contrôleurs standards, les informations audio sont souvent nécessaires à la terminaison des jeux (avertissement des dangers, orientation dans le jeu, dialogue entre les personnages, etc.). Par conséquent, il est important que les informations audio possèdent un équivalent accessible depuis une autre modalité : graphique ou haptique (via les capacités de certaines manettes dites « dual shock » par exemple).

Néanmoins, handicap auditif n'est pas synonyme de surdité. Ainsi, une simple filtration des informations sonores peut permettre aux personnes malentendantes d'utiliser les informations audio du jeu. Cette filtration peut consister à une simple suppression ou nette réduction des sons non pertinents (musique de fond, son offrant une information redondante à l'interface graphique, etc.).

L'un des événements majeurs de l'accessibilité aux personnes souffrant de déficience auditive est l'adaptation du célèbre jeu « Half life ». En effet, après la sortie du premier opus, un groupe de développeurs sourds a contacté « Valve Software », la société ayant développé le jeu, pour les alerter sur la nécessité d'accéder aux informations audio du jeu pour pouvoir le terminer. En réponse à cette requête, ces derniers leurs ont fourni les sources du jeu de manière à ce qu'ils puissent eux-mêmes corriger ce problème d'accessibilité. Le résultat de cette collaboration, un module évolué de « Close Captioning¹⁵ », a été intégré dans le second opus du jeu sorti en 2004. Cet événement a permis de montrer la faisabilité du développement de jeux standards accessibles aux personnes en situation de handicap auditif et a été suivi par d'autres projets comme « Doom3CC », etc.

3.5.2.4 Le handicap visuel

La déficience visuelle conduit à d'importants problèmes d'interaction avec le jeu (Cf. figure 3.12). Le joueur ne pouvant pas, ou de manière dégradée, se servir de la principale représentation du jeu - la représentation graphique - ainsi que des dispositifs de pointage tels que la souris.

Les jeux à base de texte Le développement des technologies permettant l'accès à l'informatique des personnes déficientes visuelles a indirectement permis la conception de jeux

15. Mécanisme de sous titrage intelligent



FIGURE 3.11 – Capture d’écran du jeu Half Life 2 (extrait du site <http://www.half-life-2.org/>)

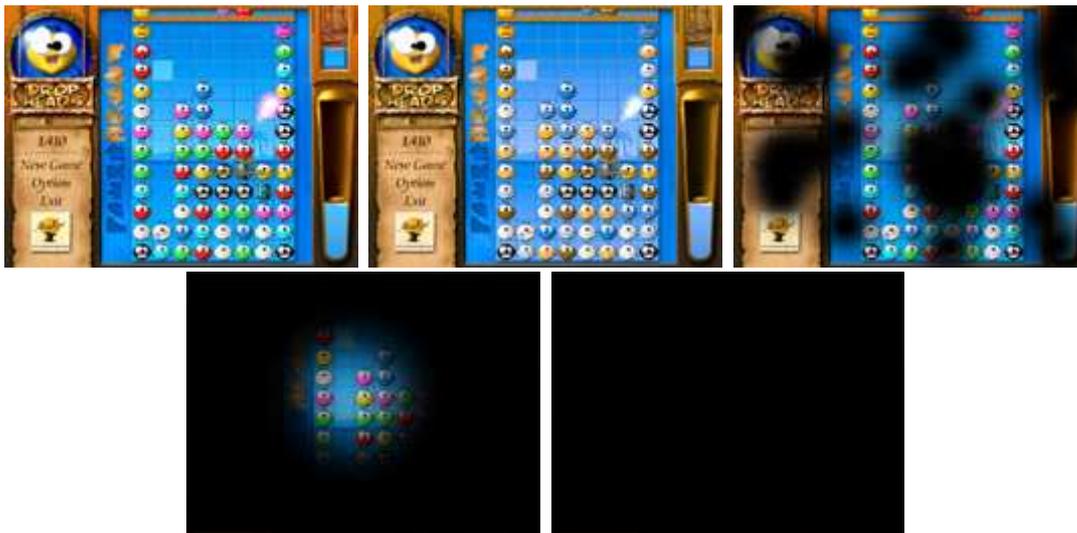


FIGURE 3.12 – Captures d’écran du jeu Dropheads auquel une simulation des différentes déficiences visuelles a été appliquée : vision normale, daltonisme, dégénérescence maculaire, rétinopathie et cécité. (captures d’écran extraites de <http://www.gameaccessibility.com/index.php?pagefile=visual>)

accessibles aux personnes déficientes visuelles. En effet, la mise en place des logiciels de revues d’écran, des synthèses vocales ou des transpositeurs braille, offrent la possibilité aux joueurs d’accéder aux informations textuelles. Parmi ces jeux à base de texte on peut notamment citer les « MUD » ou « Multi User Dungeon ». Les MUD sont des jeux en ligne apparus en 1978, basés sur une architecture client/serveur, où les joueurs évoluent dans un univers souvent fantastique et accèdent à des descriptions textuelles des lieux dans lesquels ils se trouvent. Ils peuvent interagir avec les environnements grâce à des commandes textuelles prédéfinies.

L’essor du Web et l’amélioration de l’accessibilité numérique, ont également permis de favoriser l’émergence de jeux simples basés sur les technologies de l’Internet : jeux à base de courrier électronique, jeux se présentant sous forme de pages web, etc. Parmi ces jeux nous pouvons citer des jeux d’élevage d’animaux virtuels tels que des moutons¹⁶, des jeux de guerre tels que travian¹⁷, etc.

Mais, l’évolution de ces technologies de l’Internet est telle qu’elle ne se limite plus aux informations textuelles. En effet, la technologie « Flash¹⁸ » a permis la mise au point de jeux

16. <http://www.moutonking.com/>

17. www.travian.fr

18. Définition Wikipédia : « Adobe Flash (anciennement Macromedia Flash ; nom original FutureSplash



mettant en œuvre des interfaces graphiques et des animations¹⁹. Bien que l'émergence de cette nouvelle technologie ait conduit à une réduction de l'accessibilité des jeux basés sur les technologies de l'Internet du fait de l'introduction d'un aspect graphique, certaines équipes de recherche l'utilise pour concevoir des jeux accessibles [TF06; Krü08; CGMR08].

Le principal avantage d'un tel développement est la facilité d'utilisation. En effet, aucune installation propre n'est nécessaire puisque la technologie dépend du navigateur web classique. Les interfaces graphiques étant plus évoluées, elles sont plus attrayantes pour les utilisateurs non déficients visuels. Le partage entre les joueurs déficients visuels ou non est donc facilité.

Adaptation de l'interface graphique La première solution, dédiée aux personnes malvoyantes, est d'adapter l'interface graphique en fonction du résidu visuel du joueur :

1. système de grossissement ;
2. suppression des animations par des objets statiques : les objets animés pouvant provoquer des difficultés pour les personnes malvoyantes : augmentation des difficultés de perception, fatigue visuelle, etc. Il est alors préférable d'utiliser des objets statiques ;
3. ajustement des contrastes ;
4. différenciation des couleurs : de nombreux jeux standards utilisent les couleurs pour différencier les différents éléments du jeu. Ainsi, en fonction de sa couleur un même élément peut avoir des significations différentes. Il est donc important que la différenciation des éléments ne se fasse pas uniquement à partir des couleurs mais aussi grâce aux formes, tailles, etc.²⁰

De plus, parmi les personnes malvoyantes, il est important de prendre en compte le fait que pour bon nombre d'entre elles, l'utilisation de jeux vidéo même graphiquement adaptés peut conduire à une fatigue rapide des yeux. C'est pourquoi certaines privilégieront les jeux utilisant d'autres modalités.

Les jeux audio et la spatialisation du son Parmi les modalités alternatives, la plus communément utilisée est la modalité sonore. Les jeux audio deviennent de plus en plus populaire chez les personnes souffrant de déficience visuelle mais également chez les autres. Cet engouement est lié, d'une part, à l'amélioration de la qualité des mécanismes de spatialisation du son et des synthèses vocales due à l'évolution de la technologie mais aussi à la multiplication des périphériques audio portables. De plus, ce type de jeux nécessite un investissement matériel moindre puisque les périphériques audio sont relativement peu onéreux et des simples écouteurs standards peuvent être utilisés.

Les jeux audio sont apparus quelques années après l'arrivée des jeux vidéo. L'un des premiers jeux audio « wumpus » est apparu dès 1988²¹. Dès 2005, des industriels comme Nintendo ont commencé le développement de jeux audio pour leurs consoles dont le plus connu est « Sound Voyager » jouable à partir de toutes consoles portables compatibles Game Boy Advanced (i.e. GameBoy Advanced, Gameboy Micro et Nintendo DS).

Animator), ou simplement Flash, se réfère à Adobe Flash Player et à un logiciel multimédia utilisé pour créer le contenu de Adobe Engagement Platform (tel qu'une application Internet, jeux ou vidéos). Flash Player, développé et distribué par Adobe Systems (qui acheta Macromedia en 2005), est une application client fonctionnant sur la plupart des navigateurs Web. Ce logiciel permet la création de graphiques vectoriels et de bitmap, un langage script appelé ActionScript et un stream bi-directionnel de l'audio et vidéo. »

19. Jeu de combat « la brute » labrute.fr

20. Le daltonisme concerne 8% de la population masculine française et 0,45% de la population féminine - Source : Syndicat National des Ophtalmologistes de France

21. Source : www.oneswitch.org.uk



Le succès de ce type de jeux est visible à travers différents projets. Tout d'abord, le site « AudioGames.net »²². Il propose une plateforme de téléchargement de plus d'une centaine de jeux audio. Initialement conçue pour les personnes en situation de déficience visuelle, elle est désormais utilisée, non seulement par les personnes déficientes visuelles (majoritaires) mais également par des personnes désirant découvrir de nouvelles manières de jouer. Puis, l'adaptation audio (« AudioQuake ») du célèbre jeu « Quake »[AGML02] ou encore celle du jeu « Doom »[LS98] ou la sortie en 2006 d'un jeu audio conçu par Nintendo « sound voyager ».

De nombreux jeux audio ont également été conçus dans le cadre des recherches sur la modalité auditive et la spatialisation du son. L'un des obstacles majeurs des jeux audio est la langue [MCS00]. En effet, ne disposant pas de support visuel, le joueur doit parfaitement maîtriser la langue du jeu pour le comprendre. Des recherches ont récemment été menées sur la conception de jeux audio non langagiers [Gau08]. De la même manière, si un son de mauvaise qualité complété par une image ne porte pas à confusion pour son interprétation, il est important de souligner l'importance de la qualité des sons dans le cadre d'applications sans complément graphique ou d'applications pour déficients visuels [AO05b].

Néanmoins, comme le souligne MARK dans [Mar07], les jeux audio restent difficiles à prendre en main, tout spécialement pour les personnes non habituées à ce type de modalité de jeu et l'univers des jeux audio restent nettement en retard par rapport à celui des jeux vidéo. Une étude menée auprès de personnes non familières avec l'univers des jeux audio a permis de découvrir les raisons pour lesquelles le joueur n'utilisait pas ce type de modalité. Les résultats sont donnés figure 3.13.

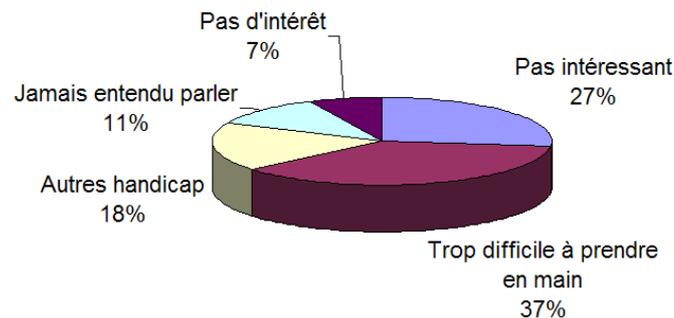


FIGURE 3.13 – Pourquoi les joueurs ne jouent ils pas aux jeux audio ?

Les solutions tactiles et haptiques La seconde modalité pouvant être utilisée est liée au sens du toucher. On distingue alors les solutions haptiques et tactiles. L'haptique regroupe l'ensemble des définitions des procédures d'exploration ainsi que des perceptions des propriétés spatiales. Tandis que le tactile regroupe l'ensemble des perceptions cutanées comme les textures.

De nombreux périphériques utilisent aujourd'hui la solution haptique (manette, bras, volant, joystick à retour d'effort). Ces nouveaux périphériques sont en mesure de transmettre des informations complémentaires ou indépendantes de la modalité graphique au joueur. Néanmoins, actuellement, aucun jeu commercial n'utilise exclusivement cette modalité. Cette dernière est dédiée à l'augmentation du phénomène d'immersion du joueur dans l'univers virtuel : manette qui vibre lorsque la voiture sort du circuit, lorsque le héros saute ou est touché par un ennemi.

22. url : <http://www.audiogames.net/>



Cependant, l'apparition et la démocratisation des interfaces à retour d'effort comme le Phantom (SensAble) ou le Novint (Falcon) offrent de nouvelles perspectives dans l'univers des jeux vidéo (accessibles ou non) et dans l'utilisation des interfaces haptiques [Rai05; AN05; RLC⁺05; SRG99; HdBGD⁺07; CZR07; GPZRVC07; Jan07; JR07; MRG07; SMSE07; WB05; CB06; EER06; NM06; SBBWSE96; SMSE06; JP05; Jan05; JJC05; NM05b; NM05a; PMP05a; PMP05b; I.06; RGME07a; RGME07b; JJC06; MDRG06; MRGE06; RGEM06; MB06; RG06; RGME06; MRG05; Mag05; GAJM05; ZRP05]. Parmi ces nouvelles perspectives on peut notamment citer :

- Suivi de contour d'un élément graphique (mathématique et géométrie [CZR07; GPZRVC07; SMSE07], lettre et chiffre chez les enfants dysgraphiques [HdBGD⁺07]);
- Découverte de l'organisation d'un bâtiment [NM06; JP05; JJC05; I.06];
- Suivi d'une direction : la force exercée peut être augmentée si le joueur s'écarte d'un chemin prédéfini ou s'approche dangereusement d'obstacles

L'utilisation des solutions tactiles est plus limitée. Elle est notamment utilisée au sein de jeux à base de textures [PAMS06] ou bien dans le cadre de jeux basés sur des tablettes tactiles [RPHP07; WLPH06] ou des terminaux braille éphémères [SMSA06a; SMSA06b] (plus de détails sur ces jeux sur terminaux braille seront proposés chapitre 6). L'utilisation de ces derniers montrent une nouvelles fois l'intérêt des jeux vidéo en tant que support pédagogique dans le cadre de l'apprentissage du braille. Les jeux à base de textures peuvent être considérés comme des pré requis aux jeux sur terminal braille. En effet, ils permettent de développer le sens tactile du joueur avant de débiter l'apprentissage du braille. Ils consistent à identifier différentes textures et de les associer à des sons ou des consignes audio.

3.6 Les jeux vidéo accessibles, les outils et les projets qui les entourent

Bien qu'ils ne soient pas initialement prévus à cet effet, certains jeux standards se sont trouvés être partiellement accessibles. On ne peut bien sûr pas parler de véritables jeux accessibles, puisqu'il ne s'agit bien souvent que d'une accessibilité partielle - le jeu n'étant pas intégralement accessible et l'accessibilité n'étant que ponctuelle vis à vis d'un type de handicap - cela montre qu'il est possible de faire des jeux qui soient à la fois accessibles et « grand public ».

Parmi ces exceptions, des jeux de différents genres (action, aventure, sport, stratégie, combat, etc.) et fonctionnant sous différentes plateformes (console ou PC) peuvent être cités [BCE⁺05; Ell06]. Tout d'abord les premiers jeux d'arcade (Pong, Space Invaders, Pac Man, etc.) qui, par leur simplicité (tant au niveau du « gameplay » que des contrôles), pouvaient facilement devenir accessibles (*Cf.* figure 3.6).

Viennent ensuite quelques jeux de sport tels que ceux de courses automobiles (F355 Ferrari Challenge (1999), Destruction Derby (1995), etc.) dont la simplicité des circuits (ovoïdaux, arènes, etc.) et les systèmes d'aide à la conduite (ABS, stabilisateur etc.) accroissent l'accessibilité; des jeux de golf (Everybody's Golf 2 (2000))(captures d'écran extraits de www.generation-snes.net).

Des jeux de combat (Mortal Kombat (1992)), qui utilisent souvent un univers sonore riche, permettent aux personnes déficientes visuelles d'accéder au jeu (Captures d'écran extraits de www.adventureclassicgaming.com) [Bau05].

Ou encore des jeux d'aventure (Zork Grand Inquisitor (1997)) mettant en œuvre des systèmes de « Close Captioning »²³ permettant aux personnes en situation de handicap auditif

23. Mécanisme de sous titrage intelligent



FIGURE 3.14 – Captures d'écran des jeux de sport « F355 Ferrari Challenge », « Destruction Derby » et « Everybody's Golf 2 »



FIGURE 3.15 – Capture d'écran du jeu de combat « Mortal Kombat »

d'accéder aux informations audio (Capture d'écran extraite de www.adventureclassicgaming.com).



FIGURE 3.16 – Capture d'écran du jeu d'aventure « Zork Grand Inquisitor »

On retrouve également des jeux comme « Tachido » (Cf. section 3.6.2 et figure 3.26), « Terraformers » [Wes04], « AudioQuake » [AGML02], « DoomCC », « HalfLife 2 », etc.

C'est par ces preuves de faisabilité et ces exemples de résultats que les industries du jeu vidéo s'impliqueront dans ce projet.

3.6.1 Jeux partiellement accessibles ou jeux accessibles universels ?

Outre les jeux standards se trouvant être, involontairement, partiellement accessibles, différentes communautés de développeurs (notamment les développeurs du « GA-SIG IGDA »), différents laboratoires de recherche ou différentes sociétés commerciales proposent des jeux dédiés à un handicap particulier.

Bien que rares et loin des jeux vidéo commerciaux actuels, quelques jeux accessibles universels apparaissent. Parmi ces jeux on peut notamment citer un jeu d'échec : « UA-Chess » [GSS05], une variante du jeu « Space Invaders » : « Access Invaders » [GSGS06] ou encore le jeu « Tic



Tac Toe »[OMA07]. Ces jeux universels multi-joueurs offrent la possibilité à toutes personnes de jouer ensemble à un même jeu quelques soient ses capacités.



FIGURE 3.17 – Capture d’écran du jeu UA-Chess



FIGURE 3.18 – Captures d’écran du jeu Access Invaders : adaptation de l’interface graphique

Mais ces jeux soulignent également le besoin d’équité au sein d’un même jeu et l’important besoin de personnalisation. Prenons le cas d’un joueur aveugle jouant à partir d’un terminal braille contre un joueur sourd n’utilisant que l’interface graphique. Les capacités de transcription simultanée d’informations étant beaucoup plus limitées sur terminal braille. Il est fondamental que les informations transmises sur l’interface graphique soient réduites de manière à ne pas avantager le joueur utilisant la modalité graphique. Il est donc important que des ajustements automatiques (ajustement du niveau, ajustement des représentations pour un jeu équitable, etc.) ou volontaires (profil de l’utilisateur : choix des modalités et personnalisation de la représentation, etc.) aient lieu pour adapter au mieux le jeu au(x) joueur(s).

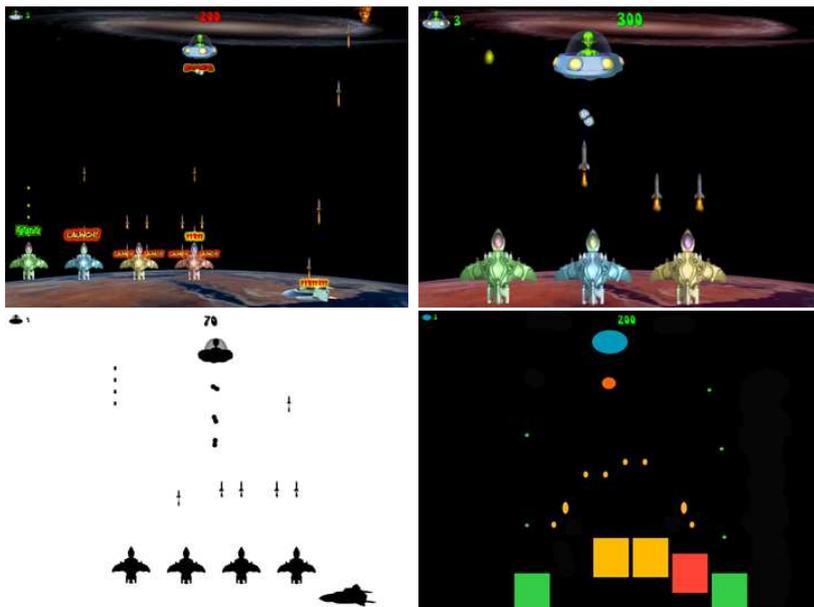


FIGURE 3.19 – Captures d’écran du jeu Terrestrial Invaders : adaptation de l’interface graphique (Extrait du site : <http://www.ics.forth.gr/hci/ua-games/>)



FIGURE 3.20 – Logo des UA-Games proposé par HCI-ICS-FORTH

3.6.2 Une liste non exhaustives des principaux projets en relation avec l’accessibilité aux jeux vidéo

De nombreux projets sont menés par des indépendants, des institutions, pour améliorer l’accessibilité des jeux vidéo. Il est donc difficile de dresser un panorama exhaustif de ces différents projets. Néanmoins, nous allons présenter quelques projets particulièrement pertinents.

AGRIP (2003) le projet AGRIP²⁴ (« Accessible Gaming Rendering Independence Possible ») a pour objectif de rendre accessible un jeu de tir subjectif « grand public » : Quake. Cette adaptation du jeu, appelé AudioQuake, se présente sous la forme d’un MOD *i.e.* une surcouche au jeu original.

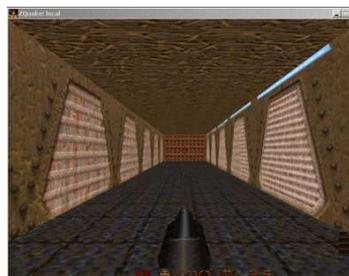
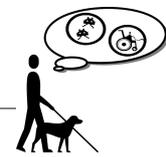


FIGURE 3.21 – Logo du projet AGRIP et capture d’écran du jeu « Quake » rendu accessible (image extraite de wikipedia)

24. <http://www.agrip.org.uk/>



Mais le projet cherche aussi à proposer des outils d'adaptation et de conception de jeux accessibles pour les personnes déficientes visuelles. Cette volonté marquée de proposer des outils de conception en plus des produits finis est issue de l'accessibilité numérique. En effet, dans le cadre de l'accessibilité au Web, le W3C/WAI souligne l'importance des trois éléments clé de l'accessibilité : un contenu accessible, une représentation accessible pour les utilisateurs et des outils de création de contenu accessibles pour les développeurs (cf. figure 3.22).

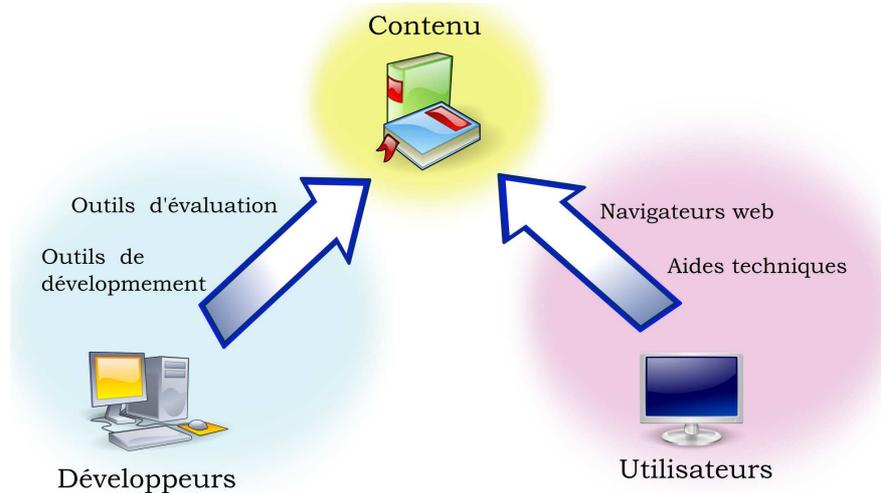


FIGURE 3.22 – Approche tripartite de l'accessibilité numérique

Audio Games Maker (2007) Le projet Audio Game Maker²⁵ est un outil accessible permettant la création de jeux audio par conséquent accessibles aux personnes déficientes visuelles.

Le détail du fonctionnement de ce projet est ici donné car nous y ferons appel dans la suite de ce document. Techniquement, la génération du jeu passe par la création d'un fichier XML contenant la description textuelle structurée du jeu. Lorsque l'utilisateur construit un jeu, il sélectionne plusieurs options qui seront enregistrées dans le fichier XML avec la hiérarchie adéquate. Un exemple de fichier XML est donné figure 3.23.

```
<Game gamecontrol="1" naam="attempt" versie="1">
  <World1 builderrotation="0" builderypos="-1" builderxpos="-2" borderdistance="1" echotype="0">
    <Object0 ypos="-1" xpos="-2" naam="object_timer2">
      <Object0waarden>
        <ObjectClass0waarden0>Xpos,sp_xPos.mp3,Int,xtile,-2,i,i</ObjectClass0waarden0>
        <ObjectClass0waarden1>Ypos,sp_yPos.mp3,Int,ytile,-1,i,i</ObjectClass0waarden1>
      </Object0waarden>
      <Object0reacties>
        <ObjectClass0reactie0>Start,sr_start.mp3,Start_test,Start_aanroep,None.wav,0,,,,</ObjectClass0reactie0>
        <ObjectClass0reactie1>Stop,sr_stop.mp3,Stop_test,Stop_aanroep,None.wav,0,,,,</ObjectClass0reactie1>
      </Object0reacties>
    </Object0>
  </World1>
</Game>
```

FIGURE 3.23 – Exemple de fichier XML généré par Audio Games Maker

Dans cet exemple, la hiérarchie du jeu est facilement compréhensible. La balise principale représente le jeu avec son nom et son type de déplacement. En effet, le déplacement du personnage peut être soit multidirectionnel (haut, bas, gauche, droite), soit le personnage

25. <http://www.audiogamemaker.com/>



ne peut faire qu'avancer, reculer et pivoter sur lui même. Différents mondes peuvent être définis dans le jeu (un seul dans l'exemple) correspondants aux différentes grilles de jeu. Et enfin, les différents objets présents dans les grilles, leur comportements et leur caractéristiques sont précisés. Ces objets peuvent être de douze types :

Timer : objet permettant la création d'un compte à rebours.

Trigger : objet très flexible auquel peuvent être associées différentes réactions.

Portal : zone de téléportation vers une autre position de la grille de jeu ou d'un autre monde.

Item : objet pouvant changer les attributs du joueur ou modifier d'autres objets dans la grille, comme l'ouverture d'un portail, la suppression d'un obstacle, etc.

Player : le joueur.

Game Manager : différentes actions affectant l'environnement.

Obstacle : obstacle empêchant le joueur de passer.

Opponent : adversaires possédant sensiblement les mêmes caractéristiques que le joueur mais non contrôlables par l'utilisateur.

Calculator : objet permettant de calculer certaines valeurs pouvant modifier dynamiquement des objets de l'environnement.

Message : message qui peut être dicté au joueur (grâce à la synthèse vocale notamment) par un simple texte ou par un fichier de son à jouer.

Soundsource : il s'agit simplement d'un fichier de son qui est joué à la position donnée.

Spawnpoint : c'est un endroit où des adversaires peuvent être générés dynamiquement à des intervalles donnés et à des endroits donnés.

Ce fichier XML est, par la suite, interprété pour générer le jeu. Il est donc possible de créer un univers assez complet avec une large panoplie d'options. Néanmoins, comme tout générateur de jeu, il limite le type de jeux pouvant être créés. Par exemple, il ne serait pas possible de créer un jeu de cartes.

Outre l'aspect création de jeu, les développeurs proposent une plateforme de partage et d'échange des jeux ainsi créés par les particuliers sur le site web du projet.

BlindGames (2003) Le projet BlindGames²⁶ a pour objectif de concevoir une application divertissante et pédagogique accessible pour les personnes en situation de déficience visuelle. Cette application se base sur l'utilisation conjointe de la spatialisation du son et de manette retour d'effort.

Demor (2004) Demor²⁷ est un jeu de tir subjectif où le joueur se déplace dans un univers virtuel à l'aide de déplacements dans l'univers réel. En effet, le joueur est équipé d'un GPS et c'est son déplacement dans l'univers réel qui provoque automatiquement son déplacement dans l'univers virtuel. La position des ennemis est ensuite traduite par une représentation audio du jeu. Bien que les équipements nécessaires soient importants (Cf. figure 3.24), les technologies utilisées sont novatrices dans le domaine des jeux vidéo et particulièrement intéressantes. En effet, elles proposent une application directe de l'univers des jeux vidéo pour la conception d'un outil d'aide aux déplacements même si les problèmes liés à la technologie subsistent (manque de précision, encombrement de l'environnement, etc.).

26. <http://www.unc.edu/~rhillman/145/index.html>

27. <http://www.demor.nl/>



FIGURE 3.24 – Équipement du jeu Demor (image extraite du site du projet <http://www.demor.nl/>)

DOOM3CC (2004) Doom3CC²⁸ est une version accessible du jeu « Doom3 », un jeu de tir subjectif, pour les personnes en situation de déficience auditive (Cf. figure 3.25). L'accessibilité est rendu possible grâce à la mise en place d'un mécanisme de « Close Captionning²⁹ ». La mise au point du MOD réalisant ce sous titrage a été rendu possible grâce à la mise à disposition des sources du jeu (ou au moins d'outils permettant de modifier le jeu) par la société créatrice « Id Software ». La réalisation d'une version accessible de ce jeu grâce au Close Captionning a donné naissance à un univers de jeux accessible basé sur cette technologie : les GamesCC³⁰



FIGURE 3.25 – Capture d'écran du jeu Doom3 rendu accessible grâce à un mécanisme de « Close Captionning »(image extraite du site www.d3hq.com)

On peut également noter que si ces travaux ont permis de rendre accessible le jeu Doom3 aux personnes déficientes auditives, d'autres travaux ont quant à eux travaillé sur une version audio accessible, du premier opus de la série Doom, aux personnes déficientes visuelles [LS98]. Il est donc envisageable de croiser les résultats pour obtenir une version encore plus accessible du jeu.

28. <http://doom3cc.planetdoom.gamespy.com/>

29. Système de sous titrage intelligent

30. <http://gamescc.rbkdesign.com/>



Tachido (2004) ce projet consiste à concevoir un jeu d'aventure accessible pour les personnes souffrant de déficience visuelle grâce à un univers sonore complet. Dans ce jeu, le héros, un jeune samouraï, perd progressivement la vue. Cette perte progressive est accompagnée par une diminution de la représentation graphique du jeu pour le joueur (Cf. figure 3.26). Ainsi, au fil du jeu, le joueur est immergé dans un jeu où la modalité auditive remplace progressivement la modalité graphique. Par conséquent, au fur et à mesure de l'aventure, le joueur voyant se voit obligé d'utiliser de plus en plus la modalité auditive jusqu'à n'avoir que celle-ci à disposition. Ce type d'application, fondamentalement accessible aux personnes déficientes visuelles mais également « grand public », joue le rôle de support de communication en faveur de l'accessibilité aux jeux vidéo. Malheureusement, la date de sortie du jeu était prévu en décembre 2004 mais peu de retour ont été fait sur cette sortie.



FIGURE 3.26 – Capture d'écran du jeu Tachido (image extraite du site de l'agglomération de Montbéliard, région d'origine de Tsunami Factory la société développant le jeu http://www.agglo-montbeliard.fr/kiosque_puissance28.php?id_article=446)

Terraformers (2003) le jeu Terraformers³¹ est un jeu accessible pour les personnes mal et non voyantes grâce à un univers sonore complet (Cf. figure 3.27). Une adaptation de l'interface graphique, comme par exemple la modification des contrastes, peut également être mise en place pour faciliter la perception du jeu pour les personnes malvoyantes [Wes04].



FIGURE 3.27 – Capture d'écran du jeu Terraformers (image extraite du site du FileFront <http://software.filefront.com/Terraformers>)

TerraSonica (2001) Le projet TerraSonica³² est l'un des premiers projets de jeu purement audio. Il propose, en plus du jeu final, un outil de création de jeux audio. Malheureusement, le jeu final n'a jamais réellement abouti mais les recherches autour des jeux

31. <http://www.terraformers.nu/>

32. <http://audiogames.net/pics/upload/terrasonica.htm>



audio servent encore aujourd'hui de référence pour la conception de nouveau jeu. Il est important de signaler que ce projet a été mené par les étudiants de l'école des arts de Utrecht (Pays bas) qui quelques années plus tard proposeront le jeu audio « Drive », l'un des jeux audio les plus populaires encore aujourd'hui.

TiM project et BlindStation (2004) le projet TiM (Tactile Interactive Multimedia) est un projet européen financé par la commission européenne. L'objectif de ce projet est de proposer des jeux accessibles aux enfants déficients visuels (avec ou sans déficience supplémentaire). Ces jeux peuvent être issus de l'adaptation de jeux existants ou des créations novatrices. BlindStation est la plateforme issue de ces travaux. L'approche proposée dans le projet TiM est une approche multimodale basée sur les modalités graphique et/ou tactile (*Cf.* figure 3.28) [ABLO04b; ABLO04a; AO05a; AOS05].

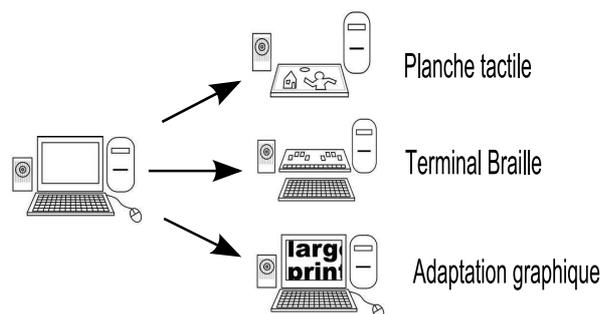


FIGURE 3.28 – Approche multimodale du projet TiM (images extraites du site du projet <http://inova.snv.jussieu.fr/tim/>)

Mais l'objectif du projet TiM n'est pas uniquement la mise à disposition de jeux accessibles pour les enfants déficients visuels (*Cf.* figure 3.30). Il met également à disposition un ensemble d'outils permettant la conception de jeux accessibles [DOA02; PAMS05; PAMS06; BDOP02; BDOP03; SA03](*Cf.* figure 3.29).

Wheelkid (2005) Wheelkid³³ est une plateforme de jeux destinée aux enfants à mobilité réduite âgés de trois à six ans. Il regroupe trois jeux à la fois ludique et pédagogique : un jeu sur la vie quotidienne (déplacement), un jeu de course et un jeu de sport (tennis). Le choix des contrôleurs (clavier ou joystick) peut être adapté en fonction du joueur (*Cf.* figure 3.31).

Depuis quelques années, l'émergence des communautés libres a fait naître un nouveau courant dans le développement de jeux vidéo. En effet, des communautés de développeurs spécialistes du handicap souhaitent intégrer la notion d'accessibilité au sein des jeux vidéo commerciaux. Ces communautés tentent donc d'entrer en contact avec les sociétés de développement de jeux.

Le premier succès issu cette collaboration est né du jeu « Half life » et de l'intégration de critères d'accessibilité permettant de le rendre accessible aux personnes en situation de handicap auditif. Les améliorations développées et proposées par la communauté ayant travaillé avec Valve Software, la société créatrice du jeu, ont été mises en place dans le second opus du jeu. Néanmoins, une telle collaboration nécessite la mise à disposition des sources (ou au moins d'une partie) aux développeurs indépendants.

De plus, si cette collaboration a permis de mettre en place une version accessible du second opus, la mise à disposition des sources du jeu initial a également conduit à la conception de « plugs-in » non accessibles mais ayant fortement contribué au succès du jeu comme

33. <http://www.wheelkid.nl/>

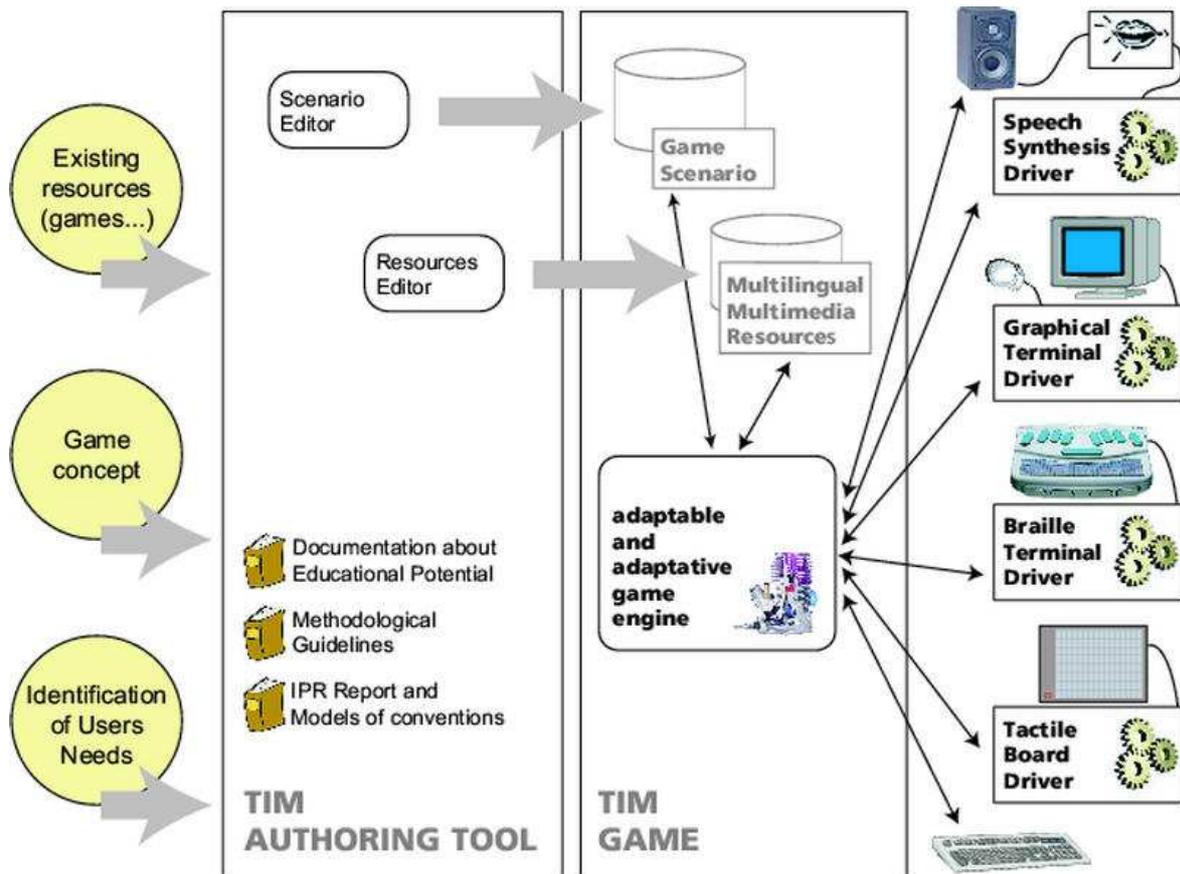


FIGURE 3.29 – Méthodologie du projet TiM (images extraites du site du projet <http://inova.snv.jussieu.fr/tim/>)



FIGURE 3.30 – Le jeu « MudSplat » : exemple de jeu conçu durant le projet TiM (images extraites du site du projet <http://inova.snv.jussieu.fr/tim/>)

notamment « Counter-Strike » (longtemps considéré comme la référence des jeux en réseau) ou « Day of Defeat » (Cf. captures d'écran figure 3.32 extraites de gamekult.com).

Cette première collaboration a été suivie par d'autres et a permis de rendre accessibles d'autres jeux commerciaux comme Doom3 (2004) ou Quake (1996). Cependant, les versions commerciales de ces jeux n'ont malheureusement pas intégré de manière systématique les éléments d'accessibilité proposés. Il est nécessaire d'installer un « plug-in » ou MOD, supplémentaire pour les prendre en compte et ainsi rendre, a posteriori, le jeu accessible.

Les collaborations entre sociétés de développement de jeux vidéo commerciaux, constructeurs de consoles et communautés de joueurs ne cessent de croître. De nombreux jeux pro-

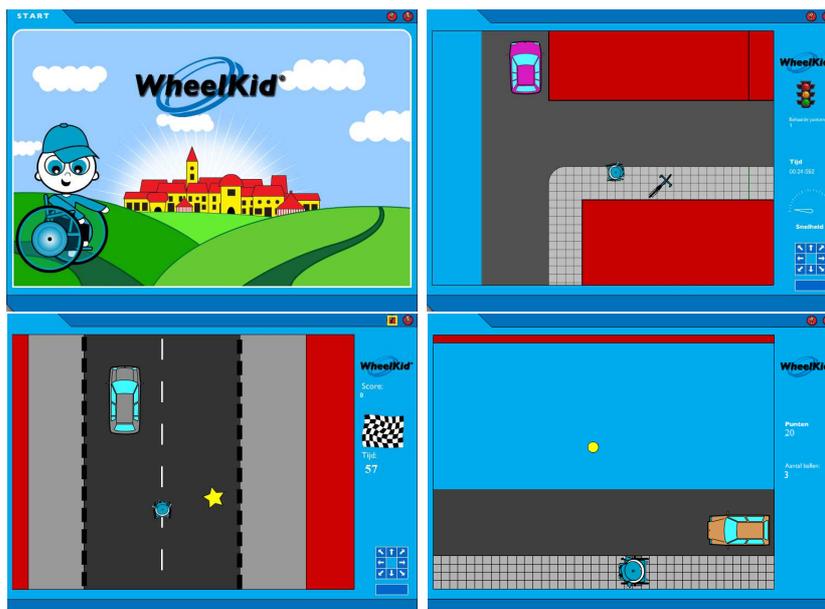


FIGURE 3.31 – Captures d’écran du jeu Wheelkid (l’accueil et les trois différents jeux proposés)



FIGURE 3.32 – Captures d’écran des « plugs-in » du jeu « Half-Life » : « Counter strike » et « Day of defeat »

posent aujourd’hui des outils permettant aux joueurs de développer de nouveaux éléments dans le jeu : création de cartes de navigation personnelle pour recréer un lieu connu, création de personnage à son image, etc. Cette volonté de collaboration entre les joueurs et les constructeurs de console (et non plus seulement les société développant des jeux) a même été renforcée lors de la sortie de la console Xbox360 pour laquelle Microsoft propose gratuitement un kit de développement appelé XNA (« Xbox Next-Generation Architecture »)³⁴.

3.6.3 Les outils associés à la conception de jeux accessibles pour personnes déficientes visuelles

Les outils permettant la conception de jeux accessibles sont très variés. En effet, bien que l’« accessibilisation » d’un jeu repose essentiellement sur une structure interne appropriée acceptant la multi modalité, cette dernière repose sur des outils propres : outils assurant la synthèse vocale, la spatialisation du son ou la transcription braille dans le cadre de jeux

34. une présentation complète de cette plateforme et un tutorial est proposé à l’adresse internet <http://nicoboo.developpez.com/articles/xna/presentation/?page=sommaire>. Le site officiel de cette plateforme peut être trouvé à l’adresse <http://msdn.microsoft.com/en-us/xna/default.aspx>



accessibles pour personnes déficientes visuelles mais pouvant être étendus aux outils de reconnaissance vocale, de sous titrage intelligent, etc.

Les logiciels de revue d'écran (Jaws, windows-eyes, etc.) proposent initialement des fonctionnalités de synthèse vocale et de transcription braille qu'il est possible d'exploiter lors du développement d'applications accessibles.

3.6.3.1 La synthèse vocale

La synthèse vocale consiste en la lecture par une voix synthétique d'un texte proposé par un ordinateur. La synthèse d'une telle voix se découpe en trois étapes :

1. pré-traitement : Cette étape consiste à épurer le texte des éléments pouvant être considérés comme des « anomalies » tels que les abréviations, les chiffres, etc ;
2. phonétisation du texte : Cette étape consiste à décomposer le texte épuré en phonèmes et à calculer la prosodie (pauses, courbes mélodiques, accentuation, durée des phonèmes). Le calcul de cette prosodie dépend d'une analyse morphologique de la phrase à énoncer (déterminer les mots contenus dans la phrase) puis d'une analyse syntaxique (le rôle des mots dans la phrase et leur positionnement peuvent jouer sur l'intonation, etc.) et enfin une analyse des topogrammes (signes de ponctuation, etc.) ;
3. restitution sonore : restitution de cette décomposition en liste de phonèmes en son.

L'étape de phonétisation est fondamentale et représente l'un des points clé de la qualité de la synthèse vocale. Elle explique entre autre les problèmes de traduction de la synthèse dans différentes langues.

Parmi les synthèses vocales gratuites, nous pouvons citer les synthèses FreeTTS et SI-VOX.

La synthèse vocale anglophone FreeTTS³⁵ est soutenue par une communauté internationale de développeurs indépendants [WLK02; Ama01]. Même si les membres du projet FreeTTS ont pour objectif la création d'une synthèse vocale gratuite et multi-langue de qualité, l'intégration des voix françaises reste difficile et leur qualité limitée.

La synthèse vocale SI-VOX est une synthèse française développée par l'école polytechnique universitaire de Nice Sophia dans le cadre des projets DeViNT³⁶.

Ces deux synthèses vocales offrent deux solutions gratuites permettant d'obtenir une qualité acceptable, respectivement en anglais et en français. Néanmoins, en terme de synthèse du texte (découpage du texte en graphèmes puis phonèmes et calcul de la prosodie), la synthèse FreeTTS reste plus performante [WLK02; Ama01].

3.6.3.2 La transcription braille

Le mécanisme de la transcription braille est proche de celui de la synthèse vocale. Il consiste en la transcription d'un texte proposé par l'ordinateur sur un terminal braille au lieu d'une voix synthétique (tout de même simplifiée puisque les travaux de pré traitement sont eux mêmes simplifiés et le calcul de la prosodie inutile). La différence entre ces deux outils est donc liée à la modalité de sortie. De plus, bien que la transcription braille ne nécessite pas de calcul de prosodie proprement dite, il est tout de même nécessaire de transcrire le contexte d'utilisation des différents symboles braille pour leur octroyer un sens (lettre, chiffre,

35. La notion de TTS ou de « Text To Speech » est la notion anglophone regroupant les technologies de synthèse vocale

36. Les projets DeViNT ou Déficience Visuelle et Nouvelles Technologies regroupe un ensemble de projets étudiants autour du thème de la déficience Visuelle. Ces projets sont bien souvent en relation avec l'univers des jeux accessibles.



majuscule, etc.) De plus, cette transcription prend en compte à la fois le type de texte en entrée (chiffre, lettre, etc.) et l’alphabet braille à utiliser. En effet, différents alphabets peuvent être utilisés en fonction de la langue et du domaine d’application (braille traditionnel, braille informatique, braille musical, braille mathématique, etc.).

Bien que les logiciels de revue d’écran proposent des fonctionnalités de transcription braille, celles ci possèdent d’importantes limitations les rendant difficilement exploitable dans le cadre du développement de jeux accessibles. En effet, dans ce cadre bien particulier, il peut être utile de mettre en œuvre des configurations de picots personnalisées. Il est donc nécessaire de faire appel à des outils de transcription autres comme la librairie LibBraille³⁷.

Cette librairie, développée dans le cadre du projet TiM, assure, à partir d’un alphabet braille préalablement sélectionné (fonction de la langue), la transcription en braille d’une chaîne de caractères passée en entrée. Mais elle permet également la construction de configurations de picots personnalisées laissant la possibilité aux développeurs de jeux de proposer leurs propres représentations indépendantes des configurations de picots alphanumériques.

De plus, cette librairie permet de faire abstraction du type de terminal braille utilisé puisqu’elle dispose d’un ensemble de pilotes de périphériques permettant de fonctionner indépendamment du matériel connecté. Ce pilote peut se charger et se configurer automatiquement ou être forcée. La liste des terminaux dont les pilotes sont disponibles est donnée tableau 3.3. Ainsi, toutes applications conçues avec la librairie libbraille sera compatible avec cette liste de terminaux braille.

Marque	Modèle
alvausb driver	Alva Satellite 544, 570 Pro, 584 Pro et 544 Traveller avec connexion USB
alva driver	Alva ABT320, ABT340, ABT340 Desktop, ABT380, ABT380 Twin Space, Delphi 420, 440, 440 Desktop, 480, Satellite 544, 570 Pro, 584 Pro et 544 Traveller avec connexion série
baum driver	BAUM Vario / RBT 40 avec connexion série et BAUM Pocket Vario et Super Vario with avec connexion série ou USB
brailelite driver	BrailleLite 18, 40, Millenium 20 et Millenium 40 avec connexion série
brailenote driver	Pulse Data BrailleNote 18 et 32 avec connexion série
combibraille driver	Combibraille 45 et 85 avec connexion série
eurobraille driver	EuroBraille NoteBRAILLE, Clio-NoteBRAILLE, SCRIBA, AzerBRAILLE 4, CLIO-euroBraille 8 et Iris avec connexion série
handytech driver	Handytech 40, 80 et braille Wave avec connexion série
hermes driver	Hermes avec connexion série
mdv driver	MDV MB 408S avec connexion série
once driver	ONCE Eco 20, 40 et 80 avec connexion série
papenmeier driver	Papenmeier Elba 40s avec connexion USB
technibraille driver	TechniBraille Manager 40i et 40s avec connexion série
voyager	Tieman Voyager 44, 44+, 70 et 70+ avec connexion USB

TABLE 3.3 – Liste des pilotes disponibles et des terminaux braille compatibles avec la librairie Libbraille (extraits du site du projet)

Et enfin, cette librairie est sous licence LGPL et donc gratuite ce qui permet de faciliter

37. <http://libbraille.org>



la diffusion des applications l'utilisant.

3.6.3.3 La spatialisation du son

Les technologies de diffusions sonores ont considérablement évolué depuis leur création dans les années 70 [JW97; Pur06; Ber03]. Les diffusions monophoniques, où les sons ne sont enregistrés qu'à partir d'un unique point, ont progressivement laissé place aux diffusions stéréophoniques pour lesquelles la qualité de restitution a été accrue et a permis de restituer des sons sur un segment de droite reliant deux haut-parleurs situés de chaque côté de l'auditeur. Néanmoins, cette technologie ne permet toujours pas de parler de véritable spatialisation du son. Dans les années 90, le système « Surround » basé sur l'utilisation de filtres et de retard a permis de donner l'illusion d'un son tridimensionnel bien qu'il ne provienne en réalité que d'un signal stéréo normal. Cette technique ne permettant pas de restituer un son situé au dessus ou derrière l'auditeur, on ne peut pas parler de véritable son tridimensionnel.

Les techniques de rendu tridimensionnel sont apparues plus tard et peuvent être classées en trois familles :

Technique de pondération d'intensité sur deux canaux Cette technique consiste à spatialiser dans un plan horizontal un son monophonique à l'aide de six à huit haut-parleurs répartis autour de l'auditeur. Elle se base sur une pondération de l'intensité des sons issus de chaque paire de haut-parleur.

Encodage en format B et la technique Ambisonics Cette technique consiste à simuler l'effet d'un dispositif de prise de son composé de plusieurs microphones. La technologie Ambisonic utilise des décodeurs permettant, à partir d'enregistrements en format B (utilisation d'un microphone « Soundfield » permettant un encodage tridimensionnel du champ sonore en un point de l'espace sur quatre canaux audio), une reproduction sonore tridimensionnelle sur diverses configurations de haut-parleurs. L'avantage de cette technologie est de pouvoir être employée à l'aide de simples écouteurs même si cette configuration n'offre pas les meilleures performances (problème de stabilité du son en fonction de l'emplacement de l'auditeur) car elle ne fait pas d'hypothèse sur le nombre de sources ni sur le nombre de haut-parleurs [Dan01].

Synthèse binaurale et transaurale La synthèse binaurale se base sur les capacités de l'oreille et du cerveau humain à spatialiser un son. En effet, ces derniers sont capables d'extraire les informations concernant le son et l'environnement de manière à le localiser précisément. Cette localisation met en œuvre huit paramètres qui sont :

La distance interaural (ITD) : Sachant que le son se déplace dans l'air à une vitesse de 345m/s et que la distance entre nos oreilles est de 20cm environ, une information sonore provenant de la même source n'arrivera pas toujours au même moment aux deux oreilles. Dans le cas le plus défavorable (lorsque le son est totalement à droite ou totalement à gauche), il s'écoule $580\mu s$ entre les deux « réceptions ».

La différence d'amplitude interaural (ILD) : Pour les mêmes raisons, l'amplitude d'un même son perçu par les deux oreilles n'est pas identique. Elle dépend encore de la direction de la source d'émission. Le phénomène d'ombre de la tête amplifie encore ce phénomène en atténuant les signaux.

Bien que fondamentales, ces deux informations ne sont pas suffisante pour déterminer pleinement la position d'un son. Certains cas peuvent rester ambiguës. Notamment, le positionnement de sons appartenant au cône de confusion ou cône d'ambiguïté (ensemble



des points situés sur un cercle dans le plan frontal, et pour lequel il n'y a pas différence temporelle interauriculaire - Cf. figure 3.33).

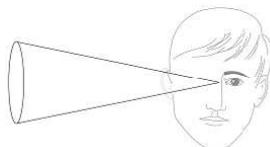


FIGURE 3.33 – Représentation schématique du cône de confusion : ensemble des points situés sur un cercle dans le plan frontal, et pour lequel il n'y a pas différence temporelle interauriculaire

La forme du pavillon de l'oreille : Le pavillon de l'oreille conduit obligatoirement à des distorsions dans les différentes fréquences perçues. Le cerveau se charge de convertir ces distorsions en position et de reconstruire le son. L'influence de la forme du pavillon varie en fonction des fréquences des sons [Bur92]. Mais, la complexité de la forme du pavillon de l'oreille et son unicité, rend difficile les mesures de ces distorsions (même si elles restent possibles) et les résultats obtenus sont propres à l'individu considéré.

Réfléchissement des basses fréquences par les épaules et le corps : (entre 1KHz et 3KHz selon [Bur92]) Ce réfléchissement des basses fréquences induit un délai supplémentaire aux sons et crée un écho. Cela apporte des indications quant à la position avant/arrière des sons. Même si ce phénomène n'est pas prépondérant pour la localisation, il compense certaines limites du pavillon de l'oreille.

Le mouvement de la tête L'orientation de la tête jouant un rôle important sur la discrimination de la position d'un son, les mouvements de tête peuvent faciliter la localisation des sources sonores.

Les échos « rapides » Les échos rapides renseignent sur l'environnement proche.

La réverbération ou échos « tardifs » : La réverbération renseigne sur l'environnement général.

La vision : L'œil entre directement dans le mécanisme de spatialisation des sons chez les personnes voyantes (tests menés dans le cas d'informations contradictoires). Néanmoins, son influence peut être négligée dans le cadre de personnes déficientes visuelles pour lesquelles le cerveau accorde plus d'importance aux informations sonores que visuelles (nulles ou résiduelles).

La synthèse binaurale consiste donc à restituer les sons via des écouteurs simulant les modifications apportées par l'oreille humaine. La synthèse transaurale est une extension du système binaural permettant d'utiliser des haut-parleurs à la place d'écouteurs. Pour ce faire, il est nécessaire d'annuler l'onde acoustique transmise à l'oreille opposée du fait de l'utilisation de haut-parleurs. Cette annulation des effets de l'onde acoustique peut être effectuée à l'aide de filtre HRTF³⁸.

3.7 Comment rendre un jeu vidéo accessible ?

3.7.1 Généralités

Compte tenu des différents types de problèmes présentés ci-dessus, la principale solution permettant de rendre accessible un jeu vidéo est de proposer plusieurs modalités d'entrée et/ou

38. Acronyme de « Head Related Transfer Filter »



de sortie pour un même jeu. Ainsi, en fonction de ses capacités, un joueur sera en mesure de choisir lui-même le type de modalité (représentations et/ou techniques de commande) qu'il souhaite utiliser. Cette notion de multi-modalité est l'un des éléments clés de l'accessibilité aux jeux vidéo. Elle s'accompagne bien évidemment d'une nette séparation entre le contenu et les différentes interfaces du jeu. Cette notion de séparation du contenu et des interfaces peut être retrouvée dans d'autres projets, issus ou non de l'univers du handicap, comme par exemple :

Les recommandations du W3C/WAI : Le W3C/WAI préconise une nette séparation du contenu et de la forme des pages Web grâce à l'utilisation du langage HTML et des feuilles de style CSS, de manière à faciliter l'adaptation de la représentation des pages Web (suppression des éléments de mise en forme, passage à une feuille de style augmentant les contrastes, etc.) et le travail des logiciels de revue d'écran ;

Le projet NEM (Networked and Electronic Media) : Le projet NEM est un projet international dont l'un des objectifs est de proposer l'accès à un même contenu à partir de différents médias. Cet objectif prend notamment en compte le domaine des jeux vidéo. En effet, les membres du projet, et notamment Nokia, proposent d'accéder à un même jeu à partir d'un téléphone mobile (au cours de ses déplacements) ou d'un ordinateur (à son domicile) en fonction des possibilités techniques et géographiques du joueur. Les capacités de calcul dépendant essentiellement du média considéré - les capacités d'un téléphone portable et d'un ordinateur personnel étant très différentes - des représentations du jeu exploitant au mieux ces capacités peuvent être envisagées [EM06].

Malheureusement, la prise en compte de ces nouvelles modalités induit une augmentation du coût de développement. Les entreprises de l'univers des jeux vidéo ne sont, par conséquent, que peu impliquées dans ce problème de l'accessibilité. Néanmoins, malgré un coût de développement supérieur, un tel développement possède des intérêts multiples et ceci quelque soit le public.

D'une part, les joueurs actuels sont à la recherche de nouvelles expériences de jeux. Cette recherche s'exprime notamment par le succès des nouvelles consoles Wii et DS de Nintendo qui, après le lancement mitigé des consoles Gamecube et N64, ont tenté le pari de privilégier ces nouvelles expériences de jeu au détriment des graphismes. L'attente des joueurs est donc réelle.

D'autre part, la conception de ces interfaces multimodales permettrait de créer des jeux accessibles universels (et non plus des jeux accessibles spécifiques à un type de handicap ou dédiés aux personnes en situation de handicap) permettant ainsi d'accroître l'intérêt des jeux vidéo comme outil d'intégration sociale.

La seconde clé de l'accessibilité aux jeux vidéo, très proche de la notion de jouabilité, repose sur les capacités de personnalisation des jeux. Ce besoin de personnalisation touche à la fois les problèmes d'interaction et de niveau. Le joueur doit être en mesure de choisir et/ou personnaliser les représentations et/ou modalités qu'il souhaite utiliser (conjointement ou de manière autonome). Mais il doit également être en mesure d'adapter le niveau du jeu, sa vitesse, d'accélérer les interactions avec le jeu, (des)activer les systèmes d'aide etc. Tous ces paramètres configurables peuvent être intégrés dans un système de « profils » utilisateurs [GSS05; SMS07] permettant au joueur de retrouver sa configuration lors de la connexion suivante ainsi que de partager un même jeu entre plusieurs utilisateurs.

L'absence d'un organisme fédérateur rend difficile le développement de jeux vidéo accessibles et particulièrement de jeux vidéo universels. En effet, peu de directives guident les développeurs dans la conception de telles applications et peu de méthodes d'évaluation existent.



3.7.2 Les recommandations pour la conception de jeux accessibles

Les sources d’informations disponibles traitant du développement de jeux vidéo accessibles restent très limitées. Deux sources majeures peuvent être citées :

3.7.2.1 Le livre blanc du « GA-SIG IGDA »

Le « livre blanc » du « Game Accessibility Special Interest Group of the International Game Developers Association » est une introduction à l’accessibilité des jeux vidéo [GASIGIGDA04]. Il présente le « GA-SIG IGDA », les différents types de handicap, la notion d’accessibilité aux jeux vidéo, etc. De plus, il souligne les trois aspects motivant l’accessibilité au jeu vidéo : éthique (satisfaction de joueurs en situation de handicap), légal (droit à l’égalité des chances) et commercial (prendre en compte un public le plus large possible) ; tout en notant l’intérêt des jeux vidéo comme support pédagogique.

Il propose un listing non exhaustif des problèmes rencontrés (Cf. figure 3.4).

Problèmes rencontrés	Causes (handicap)
Incapacité à suivre l’histoire	<ul style="list-style-type: none"> – absence de sous titres (auditif) – histoire trop complexe (cognitif)
Incapacité à remplir une tâche	<ul style="list-style-type: none"> – absence de sous titres pour des clés sonores (auditif) – toutes les clés sonores ne sont proposées que graphiquement (visuel) – nécessite une dextérité trop importante (moteur) – nécessite un temps de réaction très court (moteur) – absence de tutoriel et/ou de documentation (tous) – documentation trop compliquée(tous)
Impossibilité d’utiliser des aides techniques	<ul style="list-style-type: none"> – le jeu ne supporte qu’un nombre limité de contrôleurs (tous)

TABLE 3.4 – Exemples de problèmes rencontrés par des joueurs en situation de handicap

Ainsi qu’un ensemble de solutions pour y remédier.

1. personnalisation de l’interface graphique : police de caractères, augmentation des contrastes, interface simplifiée, suppression des couleurs, activation/désactivation de la représentation 3D, utilisation de sous titres ;
2. personnalisation de l’interface audio : utilisation d’une synthèse vocale, choix des fichiers sons utilisés ;
3. présentation standard du texte de manière à faciliter le travail des logiciels de revue d’écran et assurer ainsi une plus grande compatibilité ;
4. aide à la localisation et au déplacement : sonar, gps, compas sonore ;
5. personnalisation des contrôles, navigation à partir du clavier avec feedback audio/visuel, compatibilité avec les aides techniques (dispositifs de pointage alternatifs, screen-readers, screen-magnifieurs, reconnaissance vocale, ...) ;
6. personnalisation du niveau de difficulté, tutoriel et aide accessibles.

3.7.2.2 Les directives pour le développement de jeux accessibles

A partir du livre blanc du « GA-SIG IGDA » et des directives d’une société norvégienne, MediaLT, concernant le développement de logiciels pour personnes en situation de handicap



cognitif, ROLAND OSSMANN et KLAUS MIESENBERGER ont mis au point des directives plus générales pour la conception et le développement de jeux vidéo accessibles³⁹ [OMB; OM06]. Ces directives ont la particularité d'être regroupées en cinq catégories et d'être associées à un niveau de priorité en fonction du type de handicap (P1 : obligatoire ; P2 : devrait respecter ; P3 : peut respecter - par analogie à la notation A-AA-AAA du « W3C-WAI » permettant d'évaluer l'accessibilité d'un site web).

1. niveau/progression (9 directives)
2. périphériques d'entrée (8 directives)
3. représentation graphique (5 directives)
4. sons (8 directives)
5. installation et configuration (4 directives)

De plus, la version en ligne de ces directives offre la possibilité de commenter et/ou lire les commentaires portant sur les différents éléments. Ainsi, chaque membre de la communauté de développeurs de jeux vidéo accessibles peut laisser ses impressions, ses remarques et ses expériences, de manière à en faire profiter l'ensemble de la communauté.

Cependant, les sources d'inspiration des développeurs ne peuvent se limiter à ces seules recommandations. Il est nécessaire de prendre en compte, d'une part, les directives plus générales sur la conception d'interfaces accessibles [GSS05; GSC06; SJRS05; SS05a] et de « Design for All » : IBM Software Accessibility Checklist (IBM, 2002), les recommandations du W3C-WAI concernant l'accessibilité numérique (W3C, 2004), les directives du Irish National Disability Authority IT (Irish National Disability Authority, 2001), etc. Mais il est également important de puiser dans les différents projets et travaux de recherche menés dans le domaines des jeux vidéo [EG04; AO05b] et des interfaces accessibles.

3.7.3 L'évaluation de l'accessibilité d'un jeu vidéo

L'évaluation d'une interface, et notamment de son accessibilité, est une étude complexe mettant en œuvre des connaissances diverses et variées issues de domaines très larges. En effet, l'ergonomie, la psychologie, la sociologie, etc. sont de sciences devenues fondamentales dans la conception d'interfaces. Elles permettent de mieux comprendre les attentes, les besoins et les comportements des utilisateurs dès le mécanisme de conception.

Selon RABARDEL [Rab95],

Citation 2 (RABARDEL) « *la connaissance de l'homme, de ses comportements, raisonnements et représentations, doivent être au cœur de la démarche de conception : dans le processus de conception, l'ingénierie doit être centrée sur l'homme (anthropocentrée)* ».

Le développement technique de l'outil informatique (augmentation des vitesses de calcul, des capacités de stockage, etc.) permet aujourd'hui de concevoir des interfaces pour lesquelles la place de l'utilisateur est prépondérante vis à vis des performances technologiques. Par conséquent, la démarche devant être utilisée est une démarche centrée utilisateur et ceci particulièrement dans le cadre d'interfaces accessibles.

L'évaluation d'une interface met généralement en œuvre la notion d'utilisabilité⁴⁰ de l'interface. Cette utilisabilité se mesure en principe à l'aide d'indicateurs tels que :

39. URL : <http://gameaccess.medialt.no/>

40. selon la norme ISO 9241-11 : l'utilisabilité est définie comme « le degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié »



efficacité, productivité : temps nécessaire pour effectuer la tâche, etc.

apprentissage : l'application est-elle facile à prendre en main ?

compréhension : nombre d'erreurs commises, etc.

satisfaction : l'application est-elle agréable à utiliser ?

Néanmoins, ces critères traditionnels de mesure ne sont généralement adaptés ni à l'évaluation des enfants, ni à celle des jeux vidéo [BART; HRCJA02]. Une étude menée par les laboratoires Microsoft [HRCJA02] tend à montrer que, pour les enfants :

Citation 3 (Laboratoires Microsoft) « *l'utilisabilité d'une application informatique relève de dimensions telles que la familiarité, le contrôle et le challenge (...) cette recherche démontre que la facilité d'utilisation est déterminante dans le succès d'un produit pour enfant* ».

De plus, dans le cas d'un jeu vidéo, il est difficile de parler d'utilisabilité en tant qu'efficacité ou productivité, la notion de « flow » étant prépondérante. Finalement, les critères d'utilisabilité seront :

contrôle : les mouvements du personnage sont-ils bien appréhendés par le joueur ?

navigation : le joueur parvient-il à naviguer intuitivement dans le jeu (en terme de déplacement et de localisation) ?

compréhension : le joueur comprend-il facilement ce qu'il doit faire ?

satisfaction : le jeu est-il vraiment ludique ? Le joueur prend-t-il plaisir à jouer ?

De ce fait, de nombreux projets (par exemple le projet TiM) et groupes de travail (par exemple le HCI du ICS-FORTH en Grèce) intègrent des ergonomes, des psychologues dans leurs équipes et proposent des méthodes de conception centrées utilisateur. Il reste néanmoins difficile d'évaluer l'accessibilité d'un jeu vidéo.

3.7.4 La notation de l'accessibilité d'un jeu vidéo

L'évaluation de l'accessibilité d'un jeu vidéo n'est rien sans une méthode de notation associée permettant de représenter le niveau d'accessibilité du jeu. Pourtant, aucune méthode n'existe aujourd'hui notamment faute de l'existence d'un organisme fédérateur. Pourtant, il serait possible de mettre en place une classification proche de celle utilisée par le « W3C-WAI », pour évaluer l'accessibilité des sites web (A, AA, AAA respectivement pour des sites web pas, peu ou entièrement accessibles), en se basant non plus sur les « WCAG » mais sur les recommandations introduites précédemment. En fonction de cette classification, l'ajout d'un pictogramme graphique, en braille ou en relief sur les boîtiers de jeux permettrait d'alerter l'acheteur sur le niveau d'accessibilité du jeu [BCE⁺05]. Ce pictogramme accompagnerait celui déjà existant concernant l'âge possible des joueurs (« à partir de »). Néanmoins, une liste exhaustive des contrôleurs et/ou aides techniques compatibles restera indispensable sans la mise en place d'une normalisation de ces équipements.

3.7.5 L'évaluation du flow dans les jeux vidéo

Outre l'aspect accessibilité des interfaces d'un jeu, il est important de conserver à l'esprit qu'un jeu, même accessible, doit rester un jeu [AGM⁺]. L'aspect ludique et le plaisir pris durant le jeu restent donc prépondérants. Néanmoins, la mesure de ce plaisir est une mesure difficilement quantifiable. En effet, contrairement aux mesures citées précédemment (efficacité, etc.) elle est d'ordre émotionnelle et est liée à la notion de « flow » du jeu [MAI06; Nor02; PKW⁺02].



Les méthodes courantes d'évaluations des technologies liées aux loisirs sont bien souvent des méthodes subjectives alors qu'une analyse objective est nécessaire. Néanmoins, les méthodes subjectives restent plus faciles à mettre en œuvre, notamment par le biais de questionnaires, d'interviews, etc. Si ces méthodes semblent intéressantes pour la compréhension des attitudes des utilisateurs, ces derniers sont bien souvent de mauvais rapporteurs de leurs ressentis durant le jeu (référentiel variable, difficulté pour trouver les mots justes permettant de décrire leur impressions, etc) [FM03; MR99; PKW⁺02; WS00b]. Les méthodes objectives sont quant à elles issues d'une analyse par un observateur extérieur du comportement du joueur pendant le jeu. Mais cette analyse ne peut être menée qu'a posteriori à l'aide de vidéos (analyse des gestes, des postures, des expressions faciales, etc.) pour ne pas agir de manière intrusive dans le jeu et modifier le comportement du joueur [MR99]. Ce type d'analyse vidéo est particulièrement coûteux en ressources. D'après [FS96], il faut compter entre cinq et cent heures d'analyse par heure de vidéo initiale. Quelques heuristiques faisant intervenir des experts du domaine sont en cours de recherche [DCT04a; SW05b].

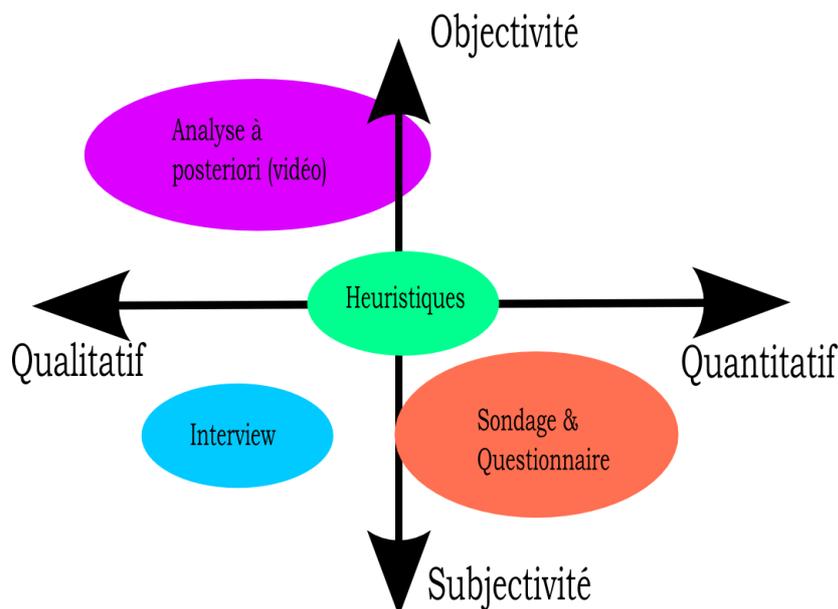


FIGURE 3.34 – Classification des méthodes d'évaluation des jeux

Afin de mesurer, des états mentaux comme le stress et la concentration les psychologues préconisent l'utilisation des indicateurs physiologiques [VT87; MIC06]. Ces mêmes indicateurs peuvent donc être employés pour la mesure du flow dans un jeu [MAI06]. Parmi les indicateurs physiologiques pouvant être cités, on retrouve :

Réponse galvanique de la peau : cet indicateur consiste à évaluer la conductivité de la peau [SRQ01] (mesure électrodermale). Il permet de donner des informations sur les réponses émotionnelles du testeur ainsi que sur son activité cognitive [Bou92; Lan95; WM03; WS00a; WS00b]. Il se mesure en plaçant deux électrodes sur deux doigts d'une même main du testeur.

Mesures cardiovasculaires : de nombreux indicateurs liés au système cardiovasculaire peuvent être utilisés : rythme cardiaque, variation du rythme cardiaque, durée entre les battements, pression sanguine, etc. Ces indicateurs sont mesurés à l'aide d'un électrocardiogramme. Chacun de ces indicateurs jouent un rôle particulier dans la détermination de l'état mental du testeur. Le rythme cardiaque traduit l'activité émotionnelle, sa variation indique un état de stress, etc [PS90; RSI98; WPK84]. L'enregistrement d'un



électrocardiogramme nécessite la mise en place de plusieurs électrodes sur le corps du testeur.

Electromyographie : cet indicateur consiste à évaluer l'activité musculaire du testeur (détection des sourires à l'aide des muscles zygomatiques, etc) [SRQ01; CBL⁺00]. Sa mise en œuvre nécessite le placement d'électrodes sur le muscle à étudier.

L'utilisation des mesures physiologiques dans le domaine de l'évaluation des interfaces homme-machine est une technique récente. Différents travaux sur cette technique ont été menés mais l'interprétation des mesures physiologiques restent difficile [WS00a; WS00b; MIC06; MI04; RSI98; VT87; CV04]. En effet, le corps humain est une machine complexe pour lequel les indicateurs ne peuvent être considérés indépendamment les uns des autres. Il est donc nécessaire d'identifier, dans un premier temps, les différentes émotions pouvant émerger du jeu [CBL⁺00; Ekm99; ELF83; Lev92; Lan95]. Puis, dans un second temps, trouver les corrélations existantes entre les différents indicateurs et les différentes émotions [MI04; MIC06].

3.7.6 Les recommandations pour la conception de jeux

Outre ces aspects évaluations physiologiques permettant de mesurer précisément le plaisir et, par conséquent, la qualité d'un jeu, dans [SW05a], P. SWEETSER et P. WYETH dressent une liste des critères faisant d'un jeu un bon jeu.

Citation 4 (P. SWEETSER et P. WYETH) « *Les joueurs devraient apprendre à jouer aux jeux selon des tutoriaux aussi intéressants que captivants [Fed02] qui les impliquent rapidement et facilement [DCT04b]. Les joueurs doivent avoir assez d'informations pour commencer à jouer une fois le jeu démarré [DCT04b]. Ils ne doivent pas avoir besoin de lire un manuel et ne devraient même pas être supposés devoir en lire un [DCT04b; Fed02; Gee04]. De longues explications peuvent ennuyer le joueur [PKW⁺03]. Les manuels d'instructions ne devraient pas être longs, complexes ni trop s'étendre sur le scénario car ils risqueraient de noyer les informations sur ce qui peut être fait et comment [Cor05].* »

Ces critères restent bien évidemment valables pour des jeux accessibles qui malgré les contraintes d'accessibilité doivent rester des jeux à part entière [AOGM07].

3.8 Bilan et perspectives sur l'accessibilité aux jeux vidéo

La place toujours croissante des loisirs numériques et des jeux vidéo au sein de notre société d'information et de communication soulève le problème de leur accessibilité. En effet, outre les aspects éthiques, légaux et financiers, les jeux vidéo sont devenus un véritable levier de l'intégration sociale. Il est donc fondamental que tout joueur, quelles que soient ses capacités physiques et/ou mentales, ait accès à cet univers. Des solutions techniques existent (notamment la multi modalité). Ces solutions mises au point par des groupes de développeurs indépendants doivent maintenant être intégrées à l'univers « grand public » des jeux vidéo de manière à ce que ces derniers expriment pleinement leur potentiel comme outils d'intégration sociale. De plus, les budgets toujours croissants alloués au développement de jeux⁴¹ et les recettes associées⁴², laissent supposer que les industriels ont le potentiel financier pour les intégrer. Cette intégration, favorable à tous, permettra, en plus de l'intégration des joueurs en situation de handicap, de proposer aux familles de partager activement un même loisir,

41. En 2002 les budgets alloués à la création d'un jeu vidéo variaient entre 300 000 et 30 millions d'euros [AOGM07]

42. Depuis 2004, en France, les recettes des jeux vidéo ont même dépassé celles du cinéma [LVV07]



d'obtenir des jeux dont la jouabilité sera accrue, de proposer de nouvelles interfaces de jeux, etc.

Comme le souligne HILDÈN dans [HS02], l'utilisation des jeux vidéo comme support pédagogique est particulièrement intéressante dans le cadre d'enfants en situation de handicap. Ils favorisent le développement psychomoteur et cognitif. Ils permettent également de familiariser dès le plus jeune âge les enfants en situation de handicap avec les nouvelles technologies. Cette familiarisation précoce permettant par la suite de faciliter la prise en main des aides techniques.

Les perspectives actuelles de l'accessibilité aux jeux vidéo sont multiples. D'une part, bien que la solution de la multi-modalité, permettant de résoudre les problèmes d'interaction, existe, il est nécessaire de continuer les travaux de recherche sur les équipements associés et sur leur intégration dans le cadre de solutions accessibles. D'autre part, l'important besoin de personnalisation et d'auto-adaptation des jeux accessibles soulignent un besoin accru d'outils logiciels facilitant ces aspects. Ces outils peuvent être liés aux mécanismes d'intelligence artificielle interne aux jeux ou liés aux outils d'aide à la décision pour la personnalisation des jeux, des équipements d'interaction et des représentations.

Finalement, comme le souligne MICHAEL FEIR, l'un des créateurs de « Audyssey », une revue en ligne sur les jeux accessibles pour déficients visuels, l'ensemble de ces jeux, prenant d'ores et déjà l'accessibilité en compte, constituent une première étape pour l'engouement des personnes en situation de handicap vis à vis des loisirs numériques [Fei06] et, par conséquent, dans l'intégration de ces critères dans l'univers « grand public » des jeux vidéo.

Néanmoins, le besoin d'un organisme fédérateur officiel et reconnu, comme l'est le W3C-WAI (World Wide Web Consortium - Web Accessibility Initiative) pour l'accessibilité à Internet, se fait ressentir [GSS05]. Son absence conduit à des développements assurés par des communautés nationales ou internationales indépendantes qui se focalisent bien souvent sur un aspect unique d'un handicap particulier :

AudioGames.net : communauté travaillant sur les jeux audio. Ces jeux s'adressent bien sur aux personnes en situation de déficience visuelle mais pas seulement. En effet, l'univers des jeux audio commence également à intéresser les personnes voyantes souhaitant découvrir une nouvelle manière de jouer.

Audyssey : magazine en ligne traitant des jeux accessibles pour déficients visuels

DeafGamers : communauté travaillant sur les jeux accessibles pour personnes déficientes auditives, etc.

Pour preuve de ce retard de l'accessibilité des jeux vidéo vis à vis de l'accessibilité numérique, il a fallu attendre 2004, soit huit années après la création même du « W3C-WAI », pour que le terme d'accessibilité aux jeux vidéo soit défini.

Pourtant, la demande de jeux accessibles est réelle et quelques sociétés commerciales commencent à l'exploiter en proposant des jeux accessibles spécialisés pour un type de handicap :

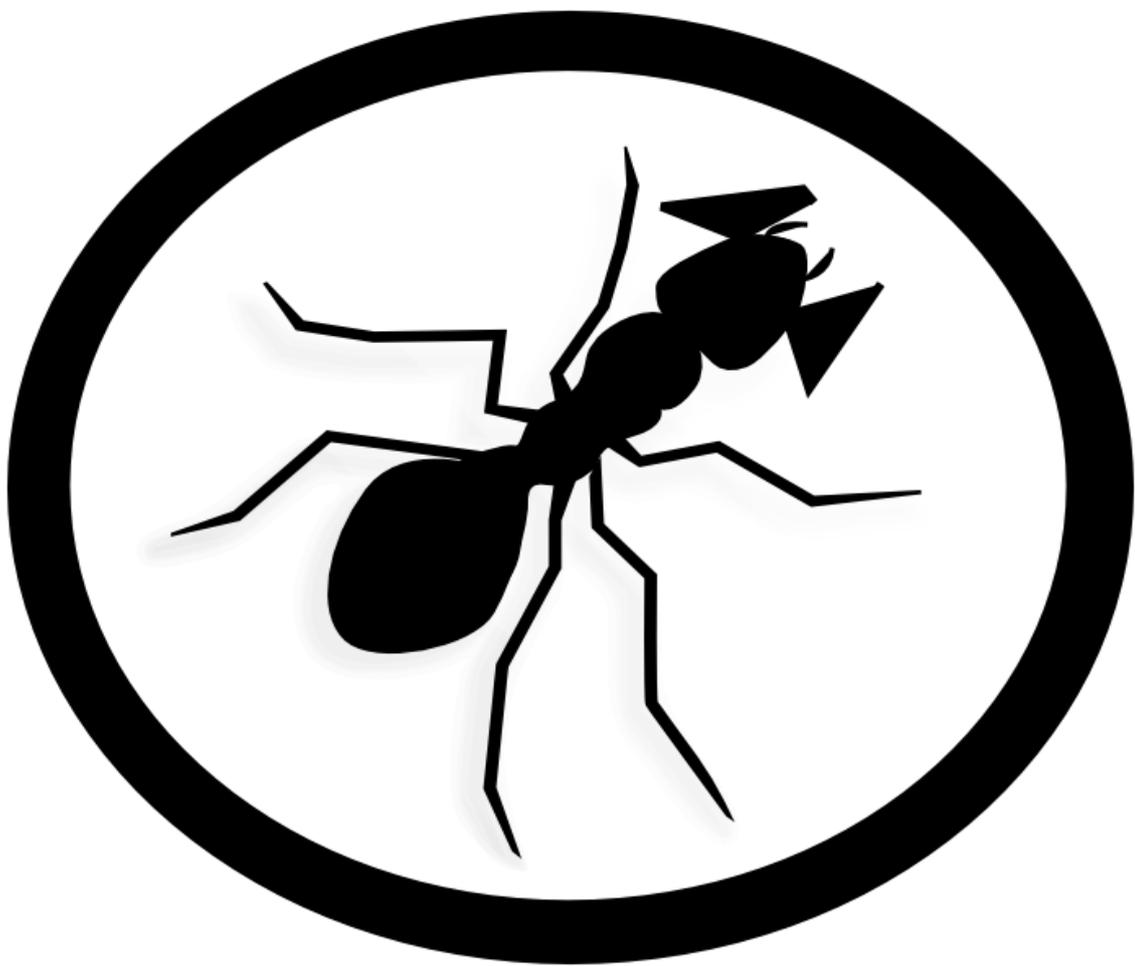
GamesForTheBlind.com et **BSC Games** : sociétés proposant des jeux pour personnes mal et non voyantes

Arcess et **Brillsoft** : sociétés proposant des jeux pour personnes en situation de déficience motrice, etc.

Finalement, de part la place des jeux vidéo dans notre société et la demande actuelle, l'accessibilité aux jeux vidéo est devenue un véritable enjeu éthique, légal et financier [BCE⁺05] profitable à tous puisque la réflexion sur l'accessibilité des jeux vidéo s'accompagnera systématiquement d'une réflexion sur la jouabilité des jeux vidéo.

Chapitre 4

Modèle biologique et fourmis artificielles





Résumé

Dans ce chapitre, nous introduisons différents comportements observés chez les fourmis ainsi qu'une étude des modélisations mathématiques associées. Ces comportements nous intéresseront par la suite pour mettre au point un moteur d'intelligence artificielle proposant une solution aux problèmes de niveau dans le cadre de jeux accessibles.

4.1 Introduction

4.1.1 Des fourmis naturelles ...

Depuis 1990 et l'ouvrage de HÖLLDOBLER ET WILSON [HW90; HW96], les entomologistes¹, et plus particulièrement les myrmécologues², ont souligné l'importance du rôle des fourmis sur l'environnement ainsi que leur remarquable organisation sociétale.

Selon HÖLLDOBLER ET WILSON [HW96], il existe près de 13.500 espèces de fourmis distinctes (nombre relativement faible lorsque l'on sait qu'il existe aujourd'hui plus de 1.000.000 d'espèces d'insectes connues, que de nouvelles espèces continuent à être découvertes et que sur Terre, les insectes représentent plus de trois animaux sur quatre) pouvant posséder des particularités comportementales ou morphologiques très variables. La myrmécologie est donc un domaine vaste et passionnant.

Bien que la notion de « colonie » de fourmis soit le terme utilisé usuellement, dans la pratique, les capacités des colonies de fourmis sont dues à une vie en société et non pas une vie en colonie. La distinction entre ces deux modes est relativement mince mais prépondérante. Une colonie peut être perçue comme un simple regroupement d'individu formant un groupe. Tandis que la vie en société implique des mécanismes de communication entre les individus du groupe [BT94]. Chez les insectes, JAISSON a défini dans [Jai93; Mon00] la notion d'« éosocialité », *i.e.* de socialité avancée, comme étant caractérisée par :

1. la superposition, dans un même groupe social, de plusieurs générations adultes ;
2. la cohésion entre les membres du groupe ;
3. la division des rôles avec spécialisation d'un nombre restreint d'individus dans la fonction reproductrice, les autres étant stériles (au moins partiellement) et engagés dans des actes altruistes ;
4. l'élevage coopératif des jeunes.

Les fourmis, et autres insectes sociaux (termites, abeilles, etc) sont caractérisés par deux aspects fondamentaux. D'une part, des capacités individuelles limitées : une fourmi seule ne peut se représenter l'activité de la colonie dans son intégralité même si certaines espèces sont capables d'apprentissage (par apprentissage de routes dans le cas des fourmis du genre *Cataglyphis*). D'autre part, des capacités évoluées de communication et plus généralement l'influence d'une intelligence collective.

L'intelligence collective des colonies de fourmis met en œuvre des mécanismes évolués de communication, autorisant des interactions sociales entre les individus de la colonie, ainsi que

1. Zoologistes spécialistes des insectes
2. Entomologistes spécialistes des fourmis



des mécanismes simples de réaction aux *stimuli* extraits de l'environnement. Elle conduit à une situation telle que l'efficacité de la colonie est supérieure à la somme des efficacités individuelles de chacun de ses membres.

Différents modes de communication peuvent être mis en œuvre mais le plus communément employé sont les phéromones. Les phéromones sont à la base d'une communication chimique et présente l'avantage d'offrir des possibilités qualitatives (différents types de phéromones) et quantitatives (différentes quantités en fonction du lieu). De plus, elles permettent une communication indirecte (sans contact direct entre les individus) avec une certaine validité temporelle fonction de l'évaporation.

4.1.2 ... aux fourmis artificielles

Étant données les remarquables capacités des fourmis naturelles, et plus particulièrement leur capacités d'adaptation au milieu environnant, les myrmécologues se sont intéressés à la modélisation mathématique de leur comportement. Ces modélisations mathématiques ont par la suite été mises en œuvre en informatique pour résoudre des problèmes complexes tels que l'optimisation combinatoire (heuristiques pour le problème du voyageur de commerce à l'aide de l'algorithme Ant System et de ses extensions) [BDT99a; MDSV98]. Ces techniques ont été regroupées sous l'appellation ACO (« Ant Colony Optimisation ») [DS04a]. Mais aussi tels que l'optimisation continue [MVS00; DS04b], la classification supervisée ou non [LMV02; SS04; AMS⁺03], l'analyse de réseaux [DV07] et la robotique collective. En effet, même si cette application s'éloigne légèrement du domaine informatique, il est important de souligner le fait qu'informatique et robotique sont deux domaines très proches. Les robots ont besoin d'algorithmes issus de l'informatique pour régir leur comportement : ramassage d'objet, déminage, nettoyage, partage du travail, transport collectif.

Il est donc possible de faire des analogies entre les problèmes rencontrés par les fourmis et les problèmes rencontrés en informatique.

Les résultats obtenus sont liés au comportement collectif des fourmis artificielles et à leur capacité à communiquer au sein de leur environnement [AGR06]. De plus, les algorithmes à base de fourmis artificielles permettent d'obtenir simplement des solutions robustes et efficaces.

Dans la suite de ce chapitre, nous détaillerons plus particulièrement deux problèmes rencontrés et résolus par les fourmis naturelles et dont une modélisation mathématique a été proposée.

4.2 La recherche de nourriture

Historiquement, l'une des premières modélisations du comportement des fourmis naturelles est celle concernant la recherche de nourriture. En effet, malgré leurs capacités cognitives limitées, les fourmis sont capables collectivement de déterminer le plus court chemin entre le nid et une source de nourriture. Le principe de l'établissement de ce chemin est relativement simple et se base sur une communication chimique entre les fourmis de la colonie à travers le dépôt de phéromones.

Une fourmi éclaireuse parcourt l'environnement à la recherche de nourriture. Une fois cette source trouvée, elle revient au nid tout en marquant le chemin emprunté à l'aide de phéromones. Alertées de la présence d'une source de nourriture, les fourmis suivantes vont partir pour l'exploiter en suivant la piste de phéromones déposée par la fourmi éclaireuse. Néanmoins, si leur déplacement est influencée par la présence de phéromones, des capacités exploratoires persistent. Ainsi si l'on prend l'exemple d'un obstacle à contourner, une majorité de fourmis vont emprunter le chemin initial marqué par la fourmi éclaireuse tandis que les



autres privilégieront le contournement inverse. En déposant à leur tour des phéromones durant les retours au nid, les fourmis vont progressivement marquer avec plus d'intensité le chemin le plus court reliant le nid à la source de nourriture. En effet, si deux pistes sont possibles pour atteindre la même source de nourriture, celle étant la plus courte sera, dans le même intervalle de temps, parcourue par plus de fourmis que la plus longue. Par conséquent, la piste la plus courte sera de plus en plus renforcée, et donc de plus en plus attractive. Ce phénomène sera renforcé par le mécanisme d'évaporation des phéromones qui vont progressivement disparaître de la piste la plus longue.

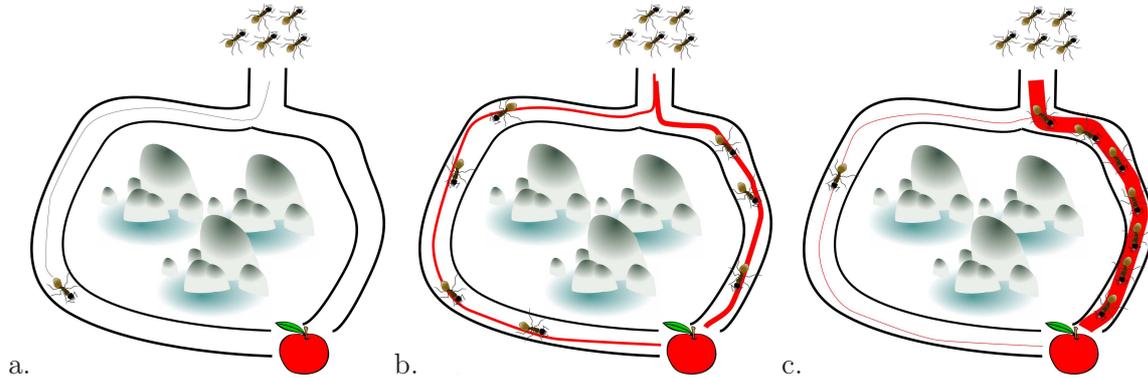


FIGURE 4.1 – Recherche du plus court chemin chez les fourmis : travail collectif et dépôt de phéromones.

Cette capacité observée par des biologistes dans des expériences menées à partir de 1989 [GADP89; DAGP90] a donné naissance à un modèle mathématique permettant de simuler un tel comportement.

Considérons l'environnement des fourmis comme une grille 2D découpée en cellules. Notons $\tau_i(t)$ la quantité de phéromones présente dans la cellule i à l'instant t . À chaque pas de temps, chaque fourmi va sélectionner la direction dans laquelle elle va réaliser son déplacement en calculant pour chacune des directions possibles une probabilité de déplacement (Cf. figure 4.1). Le calcul de cette probabilité de déplacement d'une cellule i vers une cellule j est donné par l'équation 4.1.

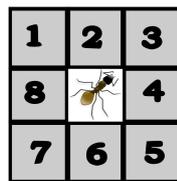


FIGURE 4.2 – Représentation de l'espace deux dimensions dans lequel évolue la fourmi et des huit directions possibles l'entourant et formant son voisinage I.

$$p_{i,j} = \frac{\tau_j}{\sum_{k \in I} \tau_k} \quad \text{où } I \text{ représente le voisinage de la fourmi } i \quad (4.1)$$

Une fois la direction choisie, la fourmi va déposer une quantité prédéfinie $\Delta\tau_i$ de phéromones avant d'effectuer son déplacement.

$$\tau_i(t+1) = \tau_i(t) + \Delta\tau_i \quad (4.2)$$

Une proportion prédéfinie ρ de phéromones s'évapore également à chaque pas de temps.



$$\tau_i(t+1) = \rho \cdot \tau_i(t) \quad \text{où } \rho \in [0, 1] \quad (4.3)$$

Finalement, les capacités du modèle repose sur son aspect probabiliste. En effet, même si le déplacement des fourmis est fortement influencé par la présence de phéromones, elles conservent la possibilité de sélectionner une autre direction et par conséquent de trouver un meilleur chemin que le chemin courant.

Dans [Dun05], JASON DUNN propose d'étendre ce mécanisme et de l'appliquer à l'univers des jeux vidéo et plus particulièrement aux jeux du type MMORPG ou jeux de stratégie en temps réel.

Définition 6 (MMORPG) « Un MMORPG, ou jeu de rôle en ligne massivement multijoueur est un type de jeu vidéo associant le jeu de rôle et le jeux en ligne. Il peut être caractérisé par trois critères objectifs : il se joue en ligne sur Internet, il est massivement multijoueur, permettant à un grand nombre de personnes d'interagir simultanément et le monde virtuel dans lequel les joueurs progressent est persistant, c'est-à-dire qu'il continue à évoluer même lorsque le joueur n'est pas connecté.

Comme dans tout jeu de rôle, le joueur est virtuellement incarné par un avatar, personnage qu'il va créer puis faire progresser dans un monde virtuel (souvent d'inspiration fantastique, mais aussi de science-fiction ou de super-héros) riche en aventure. Ce faisant, il va interagir et avec l'environnement contrôlé par le programme et avec les autres joueurs. » source Wikipédia (<http://fr.wikipedia.org/wiki/MMORPG>)

L'extension de ce modèle se base sur la mise en place d'une fenêtre autour de la fourmi lui permettant de percevoir les phéromones proches et non plus uniquement les phéromones situées juste à ses cotés. Ainsi qu'un mécanisme de champs visuel permettant à la fourmi de ne percevoir que les phéromones situées dans un certain champs visuel (Cf. figure 4.3).

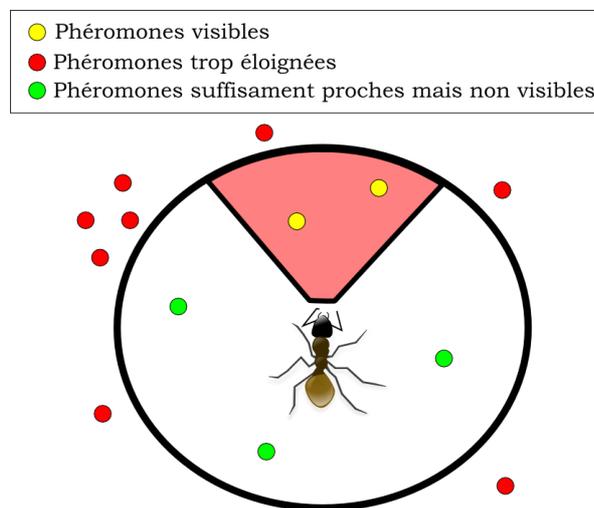


FIGURE 4.3 – Extension du modèle de la recherche de nourriture à l'aide d'une fenêtre de perception et d'un champs visuel proposée par JASON DUNN [Dun05].

Ce type de mécanisme permet d'avoir un déplacement fortement orienté puisqu'il réduit la probabilité que les fourmis réalisent des boucles ou des retours. Ce type de déplacement est justifié par le domaine d'application de l'algorithme. En effet, une fourmi pouvant traduire le comportement visible d'un personnage non joueur, il est important que son déplacement soit le plus rectiligne possible. Une comparaison des performances avec et sans ce système de fenêtrage serait néanmoins souhaitable.



JASON DUNN propose différentes extensions des méthodes « ACO » dans l'univers des jeux vidéo basées sur une analogie entre un personnage non joueur et une fourmi artificielle de la colonie :

- changer l'agressivité des fourmis en fonction de la valeurs des ressources qu'elles rapportent au nid ;
- modifier les vitesses de déplacements en fonction du terrain pour rendre les déplacements plus réalistes ;
- modifier les stratégies de défense en fonction de la concentration de phéromones la plus forte. On voit apparaître ici la notion d'allocation de tâches que nous traiterons par la suite ;
- implanter différents types de phéromones répulsives ou attractives afin d'identifier les différentes tâches ;
- limiter la distance d'exploration des fourmis par rapport au nid ;
- mémoriser la direction du nid lors du déplacement des fourmis. Ce mécanisme est en partie inspiré de phénomènes naturels puisque certaines fourmis utilisent la position du soleil pour déterminer la direction du nid.

Mais l'analogie entre les fourmis artificielles et les personnages non joueur n'est pas indispensable. En effet, il est possible d'envisager d'utiliser régulièrement et de manière transparente ce type d'algorithme pour déterminer à partir d'une colonie de fourmis le plus court chemin entre le personnage et une destination.

4.3 La division du travail et de l'allocation de tâches chez les fourmis et sa modélisation

Les colonies de fourmis sont capables d'effectuer efficacement et simultanément un grand nombre de tâches grâce à un mécanisme performant de partage de charges. Les fourmis, en particulier les ouvrières, sont capables d'adapter leur activité en fonction des besoins de la colonie (recherche de nourriture, construction et entretien du nid, nourrissage des larves, etc.).

4.3.1 La modélisation du problème de la division du travail et de l'allocation de tâches

BONABEAU *et al.* proposent une modélisation mathématique des comportements de division du travail et de l'allocation des tâches [BDT99a]. Leur modèle se base sur le principe des agents réactifs où chaque agent réagit en fonction des informations issues de son environnement direct. Il ne possède, par conséquent, qu'une connaissance locale des besoins de la colonie et ne peut agir par anticipation. Une représentation probabiliste des comportements des fourmis, basée sur les seuils de réponse et l'intensité de *stimulus*, a donc été définie. Cette représentation dépend des paramètres suivants :

Notons Q le nombre de tâches pouvant être choisies.

intensité S_i de *stimulus* : un *stimulus* est associé à chacune des tâches possibles. L'intensité du *stimulus* S_i est une valeur positive ou nulle représentant l'importance de la tâche i .

seuil de réponse $\theta_{i,j}$: chaque fourmi j possède, pour chaque *stimulus* i , un seuil de réponse $\theta_{i,j}$. Ce seuil de réponse représente l'intensité de *stimulus* à partir de laquelle la fourmi va être encouragée à sélectionner la tâche correspondante. Ainsi, si l'intensité S_i d'un *stimulus* i est faible par rapport au seuil de réponse $\theta_{i,j}$, la probabilité de sélectionner la tâche doit être faible. À l'inverse, elle doit être importante si l'intensité S_i d'un *stimulus* i est importante par rapport au seuil de réponse $\theta_{i,j}$.



probabilité d'action $T_{\theta_{i,j}}$: ce paramètre $T_{\theta_{i,j}}$ est une fonction permettant de mesurer la probabilité qu'une fourmi j effectue une tâche i . Cette fonction dépend de l'intensité du *stimulus* S_i associé à la tâche i ainsi que du seuil de réponse $\theta_{i,j}$ de la fourmi j . De manière générale, cette fonction doit répondre aux critères suivants :

- Si l'intensité du *stimulus* est négligeable par rapport au seuil de réponse alors la probabilité d'action doit tendre vers 0

$$S_i \ll \theta_{i,j} \Leftrightarrow T_{\theta_{i,j}} \approx 0 \quad (4.4)$$

- Si le seuil de réponse est négligeable par rapport à l'intensité du *stimulus* alors la probabilité d'action doit tendre vers 1

$$S_i \gg \theta_{i,j} \Leftrightarrow T_{\theta_{i,j}} \approx 1 \quad (4.5)$$

Dans leurs travaux, BONABEAU *et al.* proposent deux fonctions répondant à ces critères. La première est donnée par l'équation 4.6 (*cf.* représentation figure 4.4).

$$T_{\theta_{i,j}}(S_i) = \frac{S_i^n}{(S_i^n + \theta_{i,j}^n)} \quad \text{avec } n > 1 \quad (4.6)$$

où $n > 1$ permet de doser l'influence du seuil de réponse. Dans notre étude, nous utiliserons $n = 2$, mais des comportements identiques seraient obtenus avec $n > 2$ (*cf.* figure 4.5)

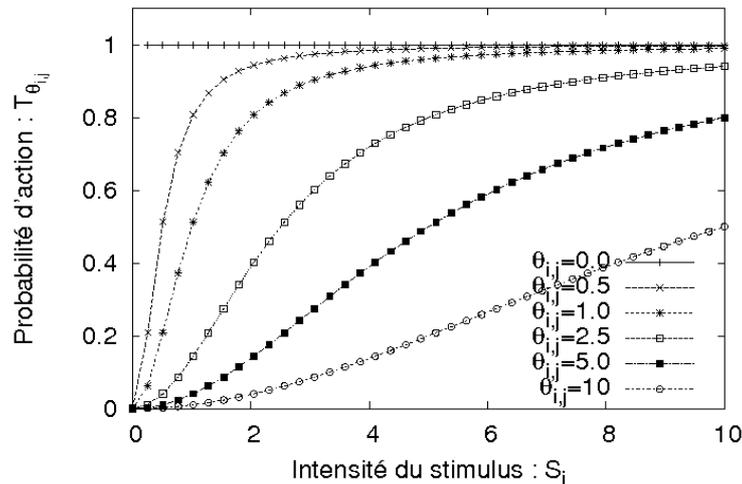


FIGURE 4.4 – Représentation de la première fonction proposée par BONABEAU *et al.* pour le calcul de la probabilité d'action ($n = 2$) en fonction de l'intensité du stimulus et pour différentes valeurs du seuil de réponse

La seconde fonction proposée par BONABEAU *et al.* est donnée par l'équation 4.7 (*cf.* représentation figure 4.6).

$$T_{\theta_{i,j}}(S_i) = 1 - e^{-\frac{S_i}{\theta_{i,j}}} \quad (4.7)$$

Évidemment, ces deux fonctions respectent les conditions 4.4 et 4.5. Néanmoins, on peut noter que pour la première fonction, quand $S_i = \theta_{i,j}^n$, la probabilité est de $1/2$ tandis qu'elle est égale à $1 - e^{-1} \geq 1/2$ pour la seconde. Une comparaison de ces deux

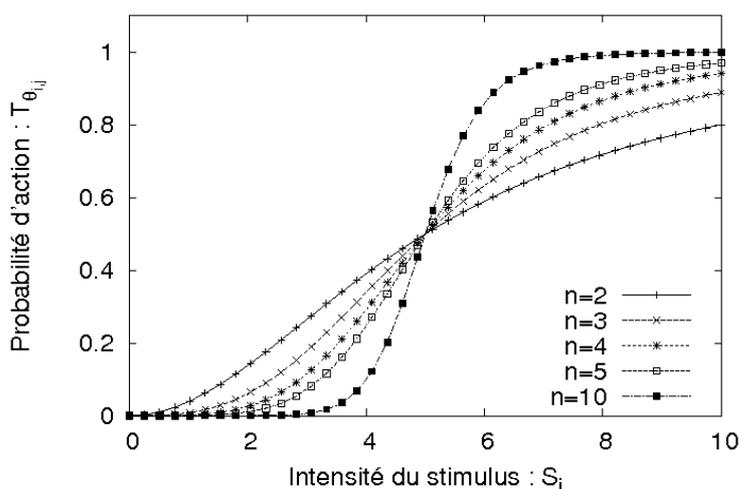


FIGURE 4.5 – Influence du paramètre n pour la première fonction proposée par BONABEAU *et al.* ($\theta_{i,j} = 5$)

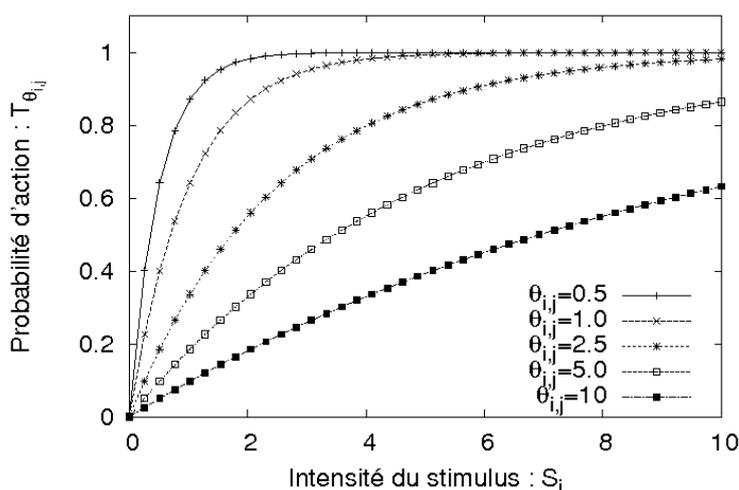


FIGURE 4.6 – Représentation de la seconde fonction proposée par BONABEAU *et al.* pour le calcul de la probabilité d'action en fonction de l'intensité du stimulus et pour différentes valeurs du seuil de réponse

fonctions permet de souligner le fait que la seconde fonction mène à des probabilités d'action supérieures pour des tâches dont l'intensité du *stimulus* est faible (*cf.* figure 4.7).

probabilité d'arrêt p : lorsqu'une fourmi traite une tâche, elle peut, à chaque pas de temps, choisir d'arrêter son travail. Cette probabilité d'arrêt est fournie par le paramètre p commun à toutes les tâches et à toutes les fourmis.

efficacité α : l'efficacité α est un paramètre propre à la colonie et représente son efficacité globale.

À partir de ces paramètres, il est possible de simuler le comportement des fourmis dans le cadre de la division du travail et de la répartition des tâches. Ce comportement est proche de celui d'un automate non-déterministe comme le montre la figure 4.8. Dans cette figure,

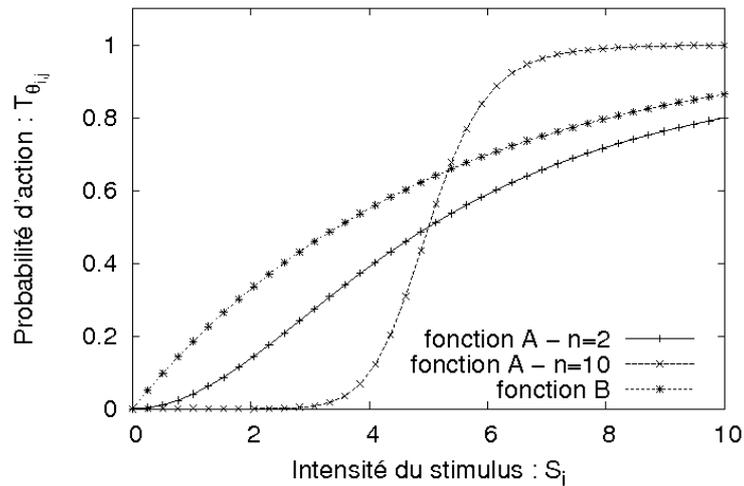


FIGURE 4.7 – Comparaison des deux fonctions proposées par BONABEAU *et al.* pour $\theta_{i,j} = 5$

une colonie composée de deux fourmis doit traiter trois tâches. Les deux fourmis extraient les informations issues de l’environnement à partir des trois intensités de stimulus correspondantes aux trois tâches. À chaque pas de temps, si elles sont inactives elles peuvent choisir de traiter une des tâches. Ce choix se base sur leurs seuils de réponse et les intensités courantes des *stimuli* à travers les probabilités d’action calculées $T_{\theta_{i,j}}$. À l’inverse, si elles sont actives, elles peuvent choisir d’arrêter leur travail en fonction d’une probabilité d’arrêt p identique pour toutes les tâches et toutes les fourmis.

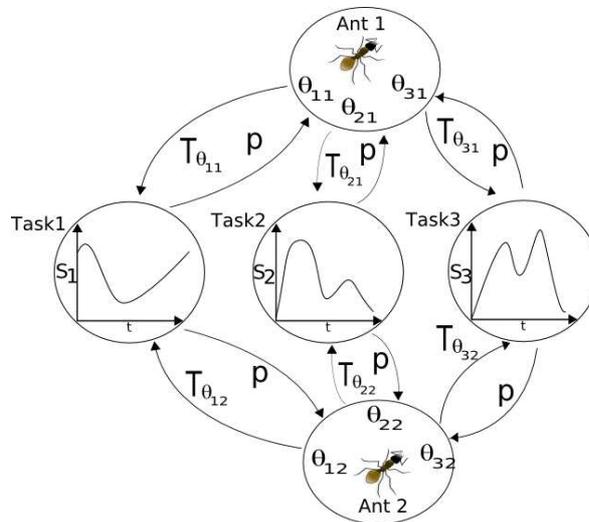


FIGURE 4.8 – Représentation sous forme d’automate du comportement des fourmis dans le cadre de la division du travail et de la répartition des tâches. Ici deux fourmis peuvent envisager de traiter trois tâches dont les différentes courbes représentent l’évolutions des niveaux de stimulus associés ; les arcs correspondent aux probabilités de transition entre les différentes actions possibles des fourmis

La dynamique de cette simulation repose sur une variation des intensités de *stimulus*. Cette variation prend en compte les deux paramètres suivants et suit la relation proposée par



l'équation 4.8.

augmentation naturelle : l'augmentation naturelle traduit la continuité des besoins de la colonie (par exemple, collecter de la nourriture, etc). À chaque pas de temps, l'intensité de chaque *stimulus* i augmente de δ_i .

travail des fourmis : lorsqu'une fourmi traite une tâche, il est nécessaire de prendre en compte son activité en diminuant l'intensité du *stimulus* correspondant. Cette diminution dépend à la fois du nombre $N_{act,i}$ de fourmis traitant la tâche durant la période et de leur efficacité α .

$$S_i(t + 1) = S_i(t) + \delta_i - \alpha \times \frac{N_{act,i}}{N} \quad (4.8)$$

On peut noter qu'il est nécessaire de prendre en compte le nombre total N de fourmis de la colonie pour mesurer le travail effectué par les $N_{act,i}$ fourmis, durant un pas de temps. Les auteurs du modèle associent ce mécanisme au fait que théoriquement plus la colonie est grande plus les besoins sont importants.

De plus, certaines espèces de fourmis disposent, au sein de leurs colonies, d'un phénomène de spécialisation, appelé *caste*. Cette spécialisation peut s'accompagner de différenciations morphologiques et/ou comportementales. Elle conduit à des fourmis plus efficaces dans la réalisation de la tâche pour laquelle elles sont spécialistes ainsi qu'à des fourmis qui chercheront en priorité, à effectuer cette tâche particulière. En plus de cet accroissement de performance, la colonie conserve ses capacités de réaction et d'auto-adaptation.

Afin d'intégrer ce phénomène dans le modèle initial, THERAULAZ *et al.* propose de mettre en œuvre un mécanisme d'apprentissage et d'oubli. L'efficacité étant un paramètre général du modèle, le seul moyen de prendre en compte cette spécialisation est de faire varier la prédilection d'une fourmi pour une tâche par rapport aux autres. Pour cela, une variation du seuil de réponse associée à la tâche va s'opérer. Chaque pas de temps passé à traiter une tâche induira une réduction du seuil de réponse associé à la tâche : c'est la spécialisation (*cf.* équation 4.9) ; tandis que l'inactivité d'une fourmi vis à vis d'une tâche sera sanctionnée d'une augmentation du seuil de réponse : c'est la déspecialisation (*cf.* équation 4.10). Ces variations du seuil de réponse sont mises en œuvre à l'aide de coefficients d'apprentissage ξ et d'oubli φ respectivement pour la spécialisation et la déspecialisation.

$$\theta_{i,j}(t + \Delta t) = \theta_{i,j}(t) - \xi \Delta t \quad \text{avec } \xi \geq 0 \quad \text{le coefficient d'apprentissage} \quad (4.9)$$

$$\theta_{i,j}(t + \Delta t) = \theta_{i,j}(t) + \varphi \Delta t \quad \text{avec } \varphi \geq 0 \quad \text{le coefficient d'oubli} \quad (4.10)$$

Finalement, ce mécanisme de spécialisation permet d'améliorer les performances générales de la colonie notamment en terme de réactivité et ceci à efficacités égales.

4.3.2 Analyse du modèle et des paramètres

Le modèle que nous avons implanté ne possède que six paramètres partagés par l'ensemble de la colonie et constants durant toute la simulation : α (efficacité), N (taille de la colonie), p (probabilité d'arrêt), ξ and φ (coefficients d'apprentissage/oubli) et f (fonction utilisée pour calculer les probabilités d'action). Pour simuler l'évolution des besoins de la colonie, un autre paramètre est utilisé : $\delta_i, \forall i \in \{1, \dots, Q\}$. Il représente l'augmentation naturelle, à chaque pas de temps, des intensités de *stimulus* associées aux Q tâches à traiter .

Par la suite, nous considérerons un problème à trois tâches ($Q = 3$) et la probabilité d'action sera calculée à l'aide de la fonction donnée par l'équation 4.6.



Dans ce modèle mathématiques de la division du travail et de l'allocation des tâches, les valeurs d'initialisation des intensités des *stimulii* et des seuils de réponse ne sont pas fondamentales. En effet, les simulations effectuées montrent que quelques soient les valeurs d'initialisation utilisées, deux comportements sont possibles (*cf.* figure 4.9). Si la colonie de fourmis est suffisamment efficace avec les paramètres utilisés, la simulation conduit à un régime pseudo-stationnaire. Sinon, nous assistons à une augmentation progressive et continue de la somme des intensités des *stimulii*.

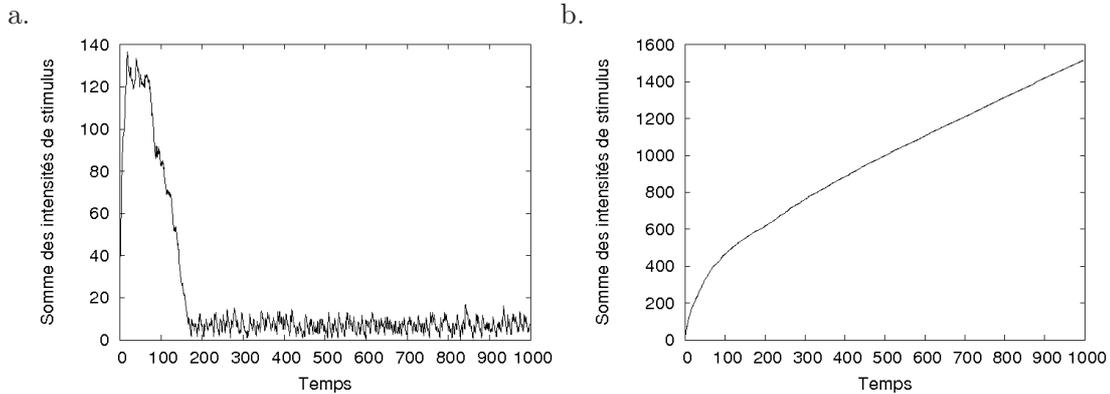


FIGURE 4.9 – Exemples d'atteinte d'un régime pseudo-stationnaire pour a. $\alpha = 25$ ($N = 50$, $\delta_i = 7, \forall i \in \{1, 2, 3\}$, $p = 0.5$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$) et d'augmentation continue pour b. $\alpha = 20$ ($N = 50$, $\delta_i = 7 \ i \in \{1, 2, 3\}$, $p = 0.5$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$)

L'une des raisons possibles permettant d'expliquer cette augmentation continue de la somme des intensités des *stimulii* est le manque d'efficacité. En effet, si l'on considère l'équation 4.8, si $\sum_{i=1}^Q \delta_i \geq \alpha$ alors la colonie de fourmis ne pourra jamais parvenir à stabiliser le système. L'augmentation naturelle globale $\sum_{i=1}^Q \delta_i$ étant plus importante que l'efficacité générale α de la colonie, à chaque pas de temps, l'augmentation de la charge de travail sera plus grande que la diminution possible (même dans le meilleur des cas où toutes les fourmis sont actives). Il est donc normal que la charge de travail augmente de manière à chaque pas de temps au cours de la simulation. Par exemple, dans la figure 4.9, trois tâches, d'augmentation naturelle égale à sept ($\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 7$), doivent être traitées par la colonie. Afin que la colonie puisse assurer la charge de travail, il est nécessaire que son efficacité soit au moins égale à $3 \times 7 = 21$. Dans la pratique, il est même recommandé d'utiliser une efficacité légèrement supérieure à l'augmentation naturelle globale de manière à prendre en compte les fourmis inactives.

Concernant la taille de la colonie, il est naturel de penser que plus la colonie sera grande, plus elle sera efficace. Néanmoins, on observe, notamment figure 4.10 où $N = 500$, que si la taille devient trop importante, le système peut perdre de sa réactivité. Cette situation est due au taux élevé de fourmis inactives qui, couplé aux mécanismes de spécialisation, se dé-spécialisent sur l'ensemble des tâches. Ainsi, elles attendront une augmentation plus importantes des variations des intensités de *stimulus* avant de redevenir actives puisque la dé-spécialisation conduit à une augmentation des seuils de réponse (*cf.* équation 4.10).

Concernant l'efficacité de la colonie, son augmentation permet bien sûr d'obtenir une colonie plus performante, capable d'atteindre le régime pseudo-stationnaire plus rapidement (*cf.* figure 4.11).

La probabilité d'arrêt p joue un rôle important sur la réactivité du système (*cf.* figure 4.12). En effet, plus ce paramètre est petit plus le système sera réactif puisque, une fois une tâche choisie, une fourmi la traite en moyenne durant $1/p$ unité de temps. Si p diminue, la fourmi restera moins longtemps sur une tâche et réitérera son choix plus rapidement. De ce

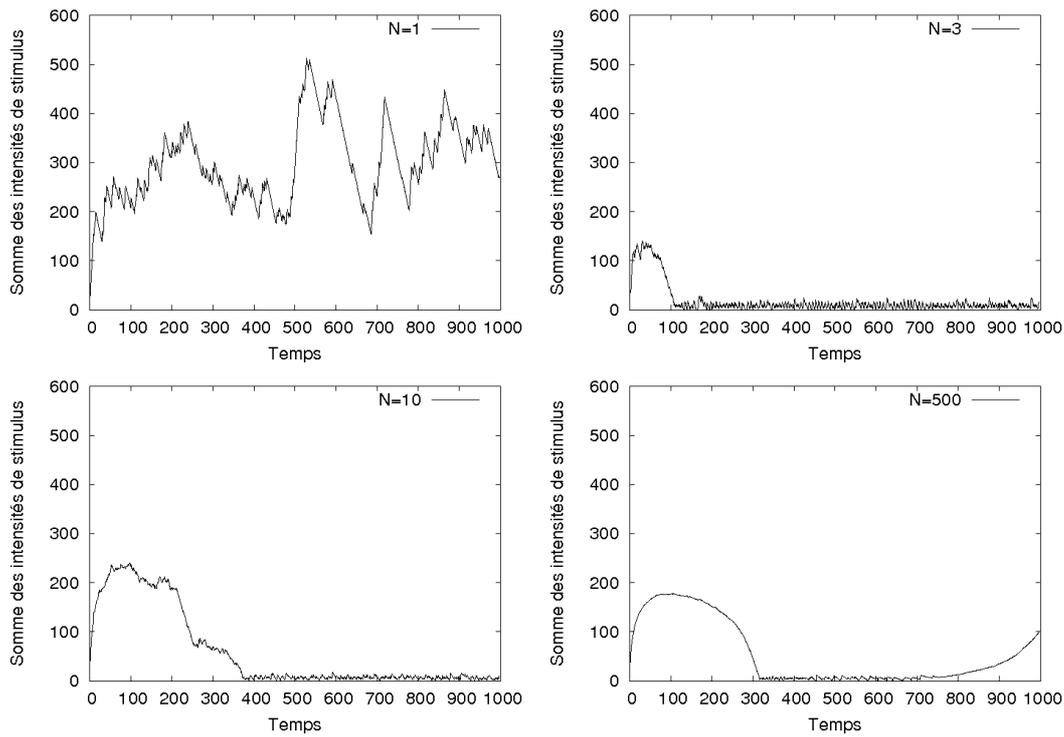


FIGURE 4.10 – Influence de la taille de la colonie - $N \in \{1, 3, 10, 500\}$ ($\alpha = 25$, $\delta_i = 7$, $\forall i \in \{1, 2, 3\}$, $p = 0.5$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$)

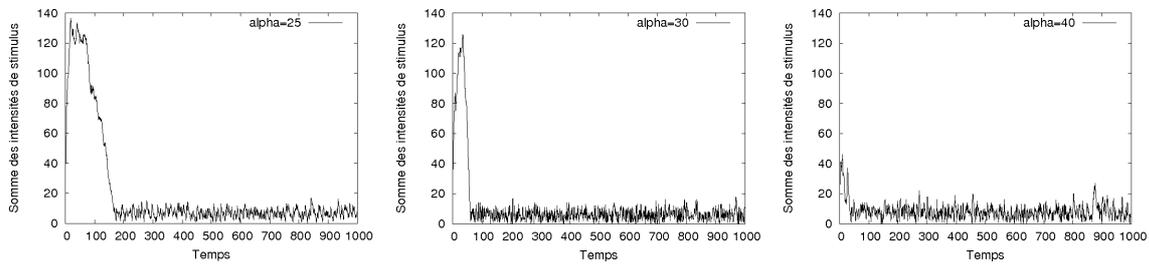


FIGURE 4.11 – Influence de l'efficacité : $\alpha \in \{25, 30, 40\}$ ($N = 10$, $\delta_i = 7$, $\forall i \in \{1, 2, 3\}$, $p = 0.5$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$)

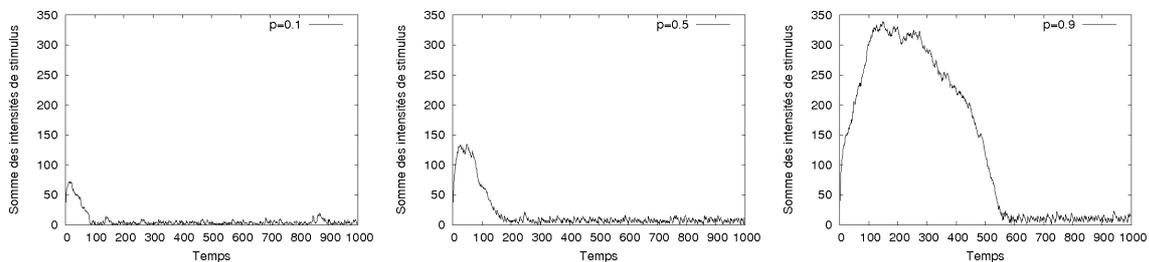


FIGURE 4.12 – Influence de la probabilité d'arrêt p : $p \in \{0.1, 0.5, 0.9\}$ ($N = 10$, $\alpha = 25$, $\delta_i = 7$, $\forall i \in \{1, 2, 3\}$, $\xi = 3$ et $\varphi = 1$).

fait, en cas d'augmentation soudaine d'un des *stimulii*, elle prendra plus rapidement en compte cette variation.

Les coefficients d'apprentissage et d'oubli permettent d'améliorer l'efficacité du système

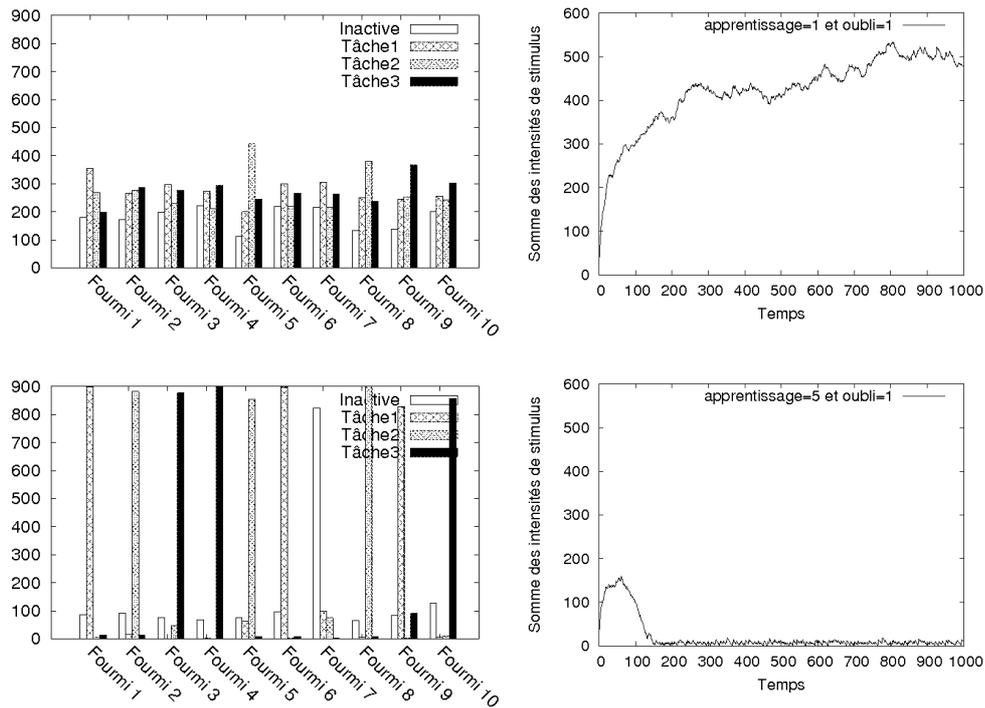


FIGURE 4.13 – Influence du mécanisme de spécialisation : $\xi = 1, \varphi = 1$ et $\xi = 5, \varphi = 1$ ($N = 10, \alpha = 25, \delta_i = 7, \forall i \in \{1, 2, 3\}$ et $p = 0.5$).

en créant des fourmis spécialistes. Ces fourmis sont plus sensibles aux variations d'intensité de *stimulus* de la tâche pour laquelle elles sont spécialistes puisque le seuil de réponse correspondant diminue (cf. figure 4.13). Néanmoins, pour créer des spécialistes, il est nécessaire que le coefficient d'apprentissage soit supérieur au coefficient d'oubli.

4.4 Conclusion

L'utilisation des modélisations mathématiques issues de l'observation du comportement des fourmis dans leur milieu naturel permet la mise au point de méthodes de résolution robustes et efficaces.

Leurs mises en œuvre dans l'univers des jeux vidéo restent rares et se concentrent sur la recherche d'un plus court chemin. Cependant, comme le souligne JASON DUNN dans [Dun05],

Citation 5 (JASON DUNN) « *Les méthodes de type ACO ouvrent de nombreuses opportunités pour la créativité en plus de leur utilisation immédiate dans le cadre de la recherche de nourriture et la collecte de ressources* »

En plus de cette ouverture sur de nombreux problèmes issus de l'univers des jeux vidéo,

Citation 6 (JASON DUNN) « *Une fois les paramètres des phéromones et des fourmis artificielles correctement configurés par rapport à l'environnement du jeu, les résultats sont réguliers et impressionnants* »

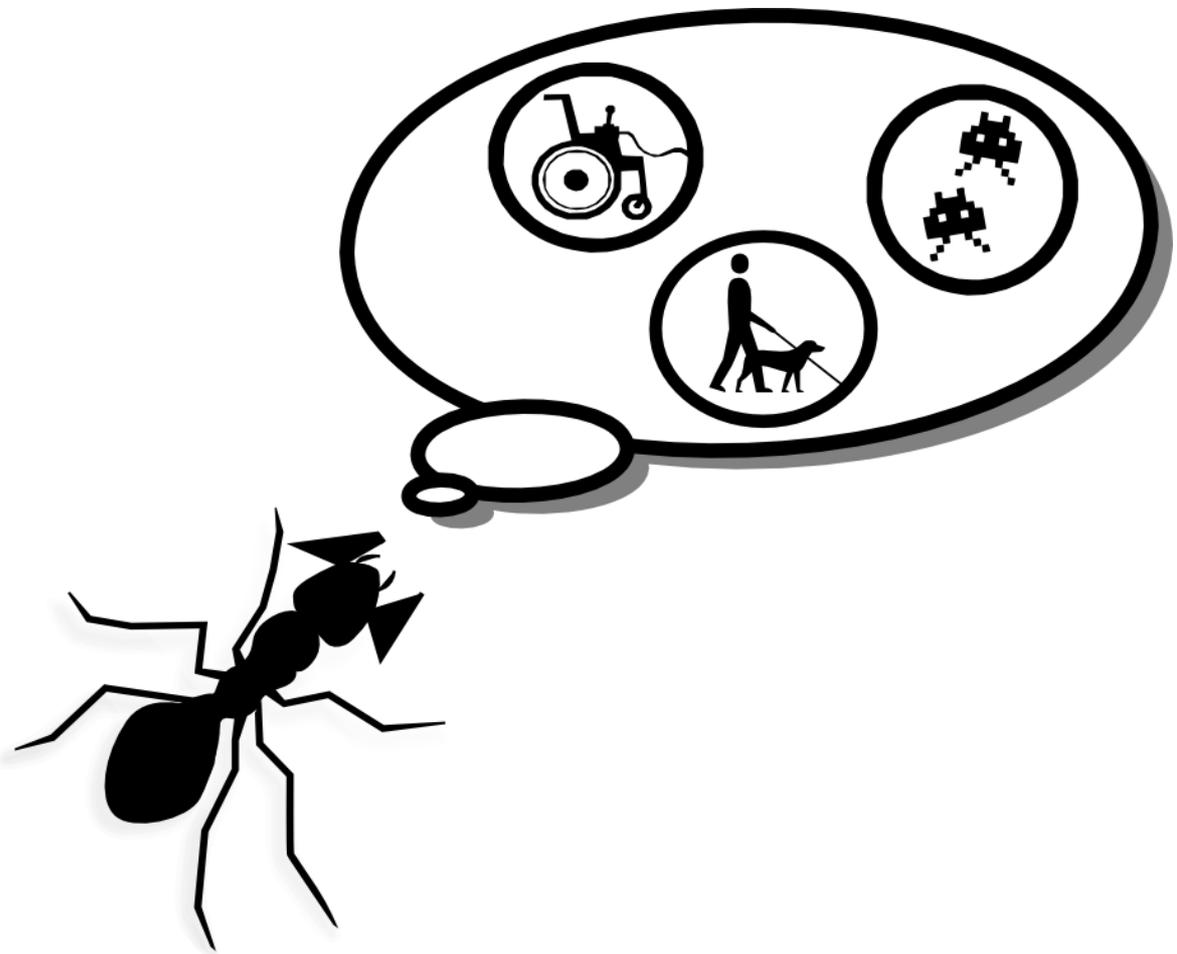
Cependant, les méthodes de résolution basées sur les fourmis artificielles ne se limitent pas aux méthodes de type « ACO ». Le modèle de la division du travail et de la répartition des tâches offre également d'intéressantes opportunités de développement dans le cadre des



jeux vidéo. Les capacités d'auto-adaptation et de spécialisation des fourmis (et donc des algorithmes à base de fourmis artificielles) laissent envisager une importante flexibilité d'une intelligence artificielle basée sur ce principe vis à vis du niveau et des capacités du joueur.

Chapitre 5

Fourmis artificielles et Jeux vidéo accessibles





Résumé

Dans ce chapitre, nous présentons notre contribution pour la résolution des problèmes de niveau liés à l'accessibilité des jeux vidéo. Nous introduisons la mise en œuvre réalisée à partir des différents algorithmes à base de fourmis artificielles présentés dans le chapitre précédent dans le cadre de la conception d'un moteur d'intelligence artificielle pour jeux accessibles.

5.1 Introduction

L'intelligence collective basée sur l'utilisation d'informations provenant de leur environnement assure aux fourmis de remarquables capacités d'auto-adaptation en cas de perturbations du milieu. Les algorithmes à base de fourmis artificielles ont hérité de ces propriétés et sont, par conséquent des algorithmes efficaces et robustes capables de s'adapter dynamiquement aux données d'exécution de l'algorithme.

Cette capacité d'auto adaptation est particulièrement intéressante dans le cadre d'applications accessibles où le besoin de faire correspondre dynamiquement le comportement de l'application à l'utilisateur est primordial. Pourtant, peu de mises en œuvre des algorithmes bio-mimétiques sont aujourd'hui observées dans le domaine du handicap. On peut citer les travaux de Colas *et al.* qui utilisent ce type d'algorithmes pour adapter dynamiquement un clavier virtuel à un utilisateur [CMGS08].

Dans le domaine des jeux vidéo, les algorithmes à base de fourmis artificielles et plus généralement les algorithmes bio-mimétiques sont également peu employés. On les retrouve principalement dans le cadre du déplacement de troupes [Dun05].

Pourtant, l'observation de cette capacité nous a conduit à utiliser les fourmis artificielles en tant qu'intelligence artificielle dans nos jeux. En effet, le joueur peut être considéré comme un élément perturbateur du milieu dans lequel la colonie doit s'adapter de manière à l'empêcher de gagner ou d'atteindre un objectif. Ainsi, plus le *stimulus* est important, plus la colonie est efficace et par conséquent meilleur est le joueur, meilleure sera la colonie. Finalement, grâce aux fourmis artificielles, le niveau du jeu s'adapte automatiquement au niveau du joueur et à ses capacités cognitives ou physiques.

5.2 Les fourmis artificielles et la recherche de chemin : Premiers pas pour l'intégration d'algorithmes à base de fourmis artificielles dans des jeux vidéo

La conception de jeux vidéo accessibles du type « labyrinthe » (Cf. figures 6.3, 6.4, 6.5, 6.29) nous a rapidement conduit à l'expression de deux besoins.

Tout d'abord, les testeurs ont exprimé la volonté d'une aide ponctuelle au déplacement proposant la direction de la sortie du labyrinthe « à vol d'oiseau », *i.e.* sans tenir compte des obstacles, ou en fonction d'un chemin calculé. Ce besoin n'est pas inhérent à l'accessibilité mais peut s'avérer être particulièrement intéressant durant les phases d'apprentissage du jeu.



Le second besoin exprimé est relatif au comportement des personnages non joueur : ennemi (*Cf.* figure 6.29) ou objet mobile à capturer (*Cf.* figure 6.5). En effet, le déplacement totalement aléatoire initialement proposé n'était pas satisfaisant pour susciter un réel intérêt de la part des joueurs. Il a donc été nécessaire de proposer un système capable d'orienter simplement et intelligemment les déplacements.

5.2.1 La recherche du plus court chemin

Le calcul de chemin est une opération importante dans les jeux vidéo. Elle consiste à trouver le meilleur chemin pour pouvoir se rendre à une cible précise et ceci en évitant les obstacles. Bien souvent, cette opération sert à contrôler des personnages non joueur et son résultat est visible par le joueur. Cette visibilité rend essentielle l'efficacité du calcul puisque une imprécision, même légère, dans le calcul du chemin, conduira à des problèmes de crédibilité du jeu et réduira le phénomène d'immersion du joueur. Par exemple, dans un jeu de stratégie temps réel, le joueur ne s'apercevra peut être pas que l'ordinateur n'a pas placé ses bâtiments de façon optimale ou qu'il a attaqué deux minutes trop tard. En revanche, il remarquera immédiatement si ces unités percutent les murs ou font de larges détours pour atteindre la position demandée.

De plus, le calcul de chemins peut être utilisé de manière importante dans un jeu. Par conséquent, le calcul doit être suffisamment léger pour ne pas monopoliser l'unité de calcul et provoquer des ralentissements du jeu.

La méthode de calcul du chemin doit donc répondre à trois besoins : adaptabilité ; efficacité ; rapidité.

Différentes méthodes sont utilisées dans les jeux comme notamment le parcours de graphe en profondeur (ou en largeur), l'algorithme de DIJKSTRA et surtout l'algorithme A* [Alt05; HPNJB68; NJ98; AMS04]. Ce dernier reste l'algorithme le plus utilisé dans l'univers des jeux vidéo. Il reprend l'algorithme de DIJKSTRA en ajoutant une analyse d'orientation de la recherche. Une version dynamique de cet algorithme est également disponible au travers l'algorithme de STENTZ noté D*.

À partir de la réflexion de JASON DUNN sur l'intégration des algorithmes à base de fourmis artificielles pour la recherche de plus courts chemins dans les jeux, nous avons implanté une version de ce mécanisme dans nos jeux pour répondre au besoin ponctuel du joueur concernant la direction de la sortie du labyrinthe.

L'algorithme A* a également été implanté pour comparer les deux méthodes. Néanmoins, les dimensions très restreintes de nos grilles de jeu conduisent à des résultats similaires quelque soit la méthode utilisée. En effet, les résultats étant proposés très rapidement, les différences entre les deux sont négligeables. Une comparaison de ces méthodes et une sophistication de celle à base de fourmis artificielles pourraient éventuellement être menées si le besoin s'en faisait ressentir dans de prochains jeux.

5.2.2 L'orientation des ennemis

La résolution du second problème exprimé par les joueurs, lié au comportement des personnages non joueurs, peut également être associée à un mécanisme issu du principe de la recherche du plus court chemin chez les fourmis. Cette extension du mécanisme de base permet de proposer un comportement relativement intelligent aux déplacements des ennemis. Plutôt que de donner un comportement aléatoire aux ennemis, nous avons mis en place le mécanisme suivant : le personnage dépose des traces de phéromones lors de ses déplacements. Ces phéromones influencent le déplacement des ennemis. Ainsi, s'ils découvrent une piste de phéromones, ces derniers auront tendance à se diriger vers le joueur. Le niveau de difficulté va



donc pouvoir être personnalisé en jouant sur le taux d'évaporation des phéromones déposées et l'influence des phéromones dans le déplacement des ennemis (Cf. figure 5.1).

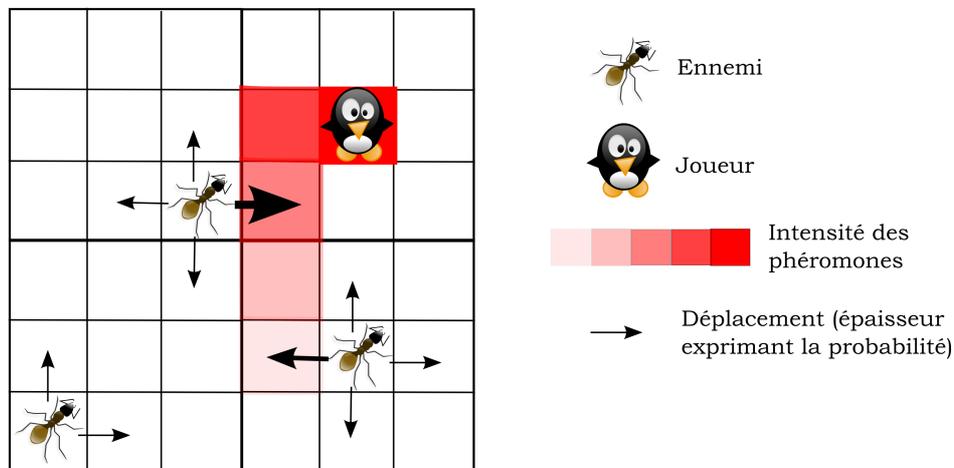


FIGURE 5.1 – Principe du déplacement des ennemis influencés par la trace de phéromones déposée par le joueur

Ces deux mises en œuvre des mécanismes de fourmis artificielles permettent d'illustrer l'utilisation de ce type d'algorithmes pour la conception d'un moteur d'intelligence artificielle. Néanmoins, ces solutions n'étant pas directement liées aux problèmes de l'accessibilité des jeux vidéo, nous n'approfondirons pas leurs comportements et ne sont proposées qu'à titre illustratif des opportunités de développement proposées par les algorithmes biomimétiques.

5.3 Fourmis artificielles, division du travail et jeux vidéo accessibles

5.3.1 Les jeux possibles

À partir du modèle d'allocation de tâches, nous avons décidé de concevoir des jeux pouvant intégrer comme moteur d'intelligence artificielle. L'objectif de ce modèle étant d'adapter l'activité de la colonie au stimulus issus de l'environnement, nous cherchons à mettre en place un système dans lequel le joueur peut être perçu comme un élément perturbateur de l'environnement dans lequel se situe la colonie de fourmis. La colonie cherchera donc à s'adapter au niveau du joueur et, par conséquent, à ses capacités physiques et/ou cognitives.

Dans le modèle de BONABEAU ET AL.[BSTD97; BDT99b], la stimulation de la colonie correspond à l'augmentation naturelle des intensités de stimulus correspondant à l'augmentation constante de la charge de travail associée à chacune des tâches (Cf. section 4.3.1 pour plus de détail sur l'augmentation naturelle). Ce paramètre permet dans les simulations de réaliser une augmentation des intensités de stimulus d'une valeur constante à chaque pas de temps. L'extension de ce modèle de la division du travail et de l'allocation des tâches à l'univers des jeux vidéo conduit à la suppression de cette augmentation naturelle initialement constante durant les simulations. En effet, l'augmentation des intensités de stimulus sera désormais assurée par les actions du joueur.

Les jeux développés sont des jeux basés sur l'utilisation d'un système de tampons. Dans nos jeux, le joueur doit remplir un (ou des) tampon(s) tandis que la colonie de fourmis adverse



tente de l'en empêcher en le (ou les) vidant (l'inverse est également possible - Cf. figure 5.2). Chaque tâche du modèle correspond à un tampon dont le niveau de remplissage représente l'intensité du *stimulus* associé à la tâche.

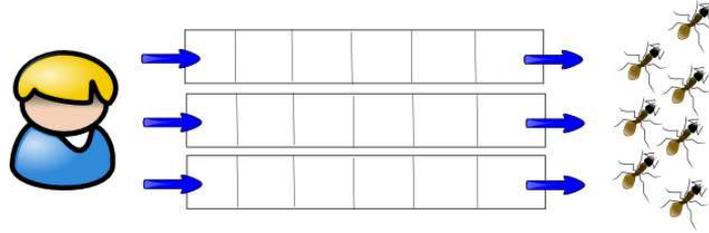


FIGURE 5.2 – Principe des jeux basés sur l'allocation de tâches. Chaque tâche est représentée par un tampon. Le joueur tente de remplir ces tampons tandis que la colonie se charge de les vider. Le niveau de remplissage de ces tampons représente l'intensité du stimulus associé à la tâche correspondante

Le lien entre le jeu et le moteur d'intelligence artificielle est simple. Chaque fourmi artificielle de ce moteur correspond à un Personnage Non Joueur (PNJ ou NPC : « Non Player Character ») de notre jeu. Cette représentation a été implantée pour simplifier la mise en correspondance entre le modèle et le jeu et donc son interprétation. Mais cette mise en correspondance n'est pas nécessaire et peut être indirecte pour étendre ce moteur à d'autres applications : jeux ou répartition des tâches de manière plus générale. En effet, si la mise en correspondance fourmi/PNJ facilite l'interprétation, il est possible d'imaginer un jeu dans lequel le joueur est confronté à un système global et non plus à des individus d'une colonie.

De plus, cette mise en correspondance introduit une contrainte supplémentaire liée aux déplacements des individus de la colonie dans un espace à deux dimensions, il est nécessaire de définir une stratégie de déplacement comme nous le verrons par la suite (cf. section 5.3.2).

5.3.2 Les pré requis à la mise en œuvre

Avant d'implanter un jeu basé sur ce principe de « tampons », il est nécessaire de préciser certaines notions qui, bien que fondamentales pour les performances du système, ne sont pas clairement définies dans le modèle mathématique initial : les stratégies de sélection des tâches et de déplacements des fourmis de la colonie (Cf. figure 5.3).

5.3.2.1 Les stratégies de sélection d'une tâche

Afin de savoir si elles doivent ou non rester inactives pendant la période suivante, les fourmis inactives se doivent d'évaluer la possibilité de traiter les différentes tâches une à une. La stratégie de sélection répond à la question : quelle tâche évaluer à un instant donné ? Cette stratégie possède une forte influence sur le taux global d'inactivité des fourmis et permet de sélectionner la (ou les) tâche(s) devant être évaluée(s). La notion d'« évaluation » consiste à utiliser la fonction $T_{\theta_{i,j}}$ pour déterminer de manière probabiliste si la fourmi accepte ou non de traiter la tâche sur la période suivante. Plusieurs méthodes sont envisageables.

1. il est possible de ne tester qu'une unique tâche. Si la fourmi refuse de la traiter, elle restera inactive durant la période suivante.
2. il est possible de tester toutes les tâches jusqu'à ce que l'une d'entre elles soit acceptée ou que toutes aient été refusées.

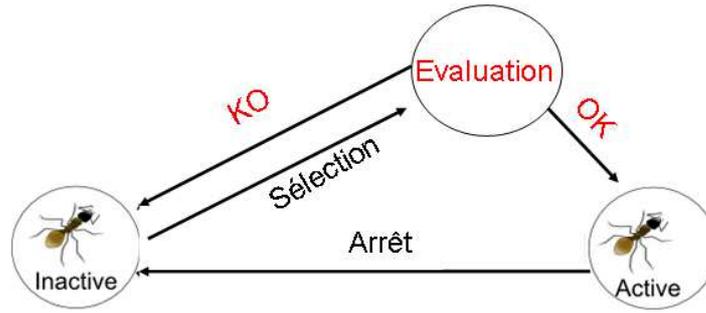


FIGURE 5.3 – Synoptique du comportement d’une fourmi inactive à l’instant t_0 . Une fourmi inactive sélectionne une tâche pour l’évaluer à l’aide de la fonction de probabilité d’action. Si elle décide de traiter la tâche elle sera active durant la période suivante $t_0 + 1$. Sinon, elle sélectionne et évalue une nouvelle tâche si besoin. Si toutes les tâches ont été sélectionnées, évaluées et refusées ou si la politique de sélection consiste à ne sélectionner qu’une unique tâche et que celle ci a été refusée alors la fourmi restera inactive durant la période suivante $t_0 + 1$

Bien sûr la seconde méthode conduira à un taux d’inactivité des fourmis plus faible et donc une forte croissance des performances du système. De plus, elle entraîne systématiquement une réflexion sur l’ordre d’évaluation des différentes tâches.

Soit une fourmi j , posons $T_{\theta_{i,j}}(S_i)$ et $T_{\theta_{[i],j}}(S_{[i]})$ respectivement la probabilité de la fourmi j d’effectuer la tâche i ou la i^{eme} tâche d’une liste de tâches ordonnée. Soient $T'_{\theta_{i,j}}(S_i)$ et $T'_{\theta_{[i],j}}(S_{[i]})$, les probabilités réelles associées. Plusieurs stratégies peuvent alors être utilisées.

Parmi les stratégies pour lesquelles une unique tâche est sélectionnée et évaluée, nous pouvons citer les stratégies suivantes :

Choix aléatoire : une seule tâche, choisie de manière uniformément aléatoire, est proposée à chaque itération.

$$T'_{\theta_{[i],j}}(S_{[i]}) = \frac{T_{\theta_{[i],j}}(S_{[i]})}{Q} \quad (5.1)$$

Dans ce cas, la probabilité réelle dépend de la probabilité individuelle mais aussi du nombre de tâches à traiter. Cette stratégie conduit à un important taux de fourmis inactives puisque la probabilité d’évaluer une tâche ayant une faible probabilité d’être acceptée est égale à la probabilité d’évaluer une tâche disposant d’une forte probabilité d’acceptation.

Plus grande probabilité d’action : méthode similaire à la précédente. Néanmoins, afin de réduire le taux de fourmis inactives, plutôt que de choisir de manière uniformément aléatoire la tâche proposée, on choisira la tâche ayant la plus grande probabilité d’être acceptée c’est-à-dire celle dont la probabilité d’action est la plus élevée. Cette méthode conduit à un taux de fourmis inactives très faible et le modèle perd une partie de son aspect probabiliste puisque la tâche évaluée est systématiquement celle possédant le plus de chances d’être acceptée.

Dans le cas où chaque tâche est sélectionnée puis évaluée jusqu’à ce que chacune d’entre elles ait été refusée, nous pouvons citer la stratégie suivante

Ordre fixé arbitrairement : les tâches sont préalablement ordonnées de manière totalement aléatoire. A chaque itération, les tâches sont proposées aux fourmis jusqu’à ce qu’une tâche soit choisie ou qu’elles aient toutes été refusées. Dans ce cas, nous avons :



$$\begin{aligned}
 T'_{\theta_{[1],j}}(S_{[1]}) &= T_{\theta_{[1],j}}(S_{[1]}) \\
 T'_{\theta_{[2],j}}(S_{[2]}) &= T_{\theta_{[2],j}}(S_{[1]}) \cap \overline{T'_{\theta_{[1],j}}(S_{[1]})} \\
 T'_{\theta_{[3],j}}(S_{[3]}) &= T_{\theta_{[3],j}}(S_{[3]}) \cap \overline{T'_{\theta_{[2],j}}(S_{[2]})} \\
 &= T_{\theta_{[3],j}}(S_{[3]}) \cap \overline{T_{\theta_{[2],j}}(S_{[2]})} \cap \overline{T_{\theta_{[1],j}}(S_{[1]})}
 \end{aligned}$$

Ainsi, les probabilités d'actions réelles sont inférieures ou égales aux probabilités individuelles. De plus, cette différence est d'autant plus importante lorsque l'on progresse dans la liste ordonnée. Finalement, les premières tâches de la liste ordonnée sont favorisées et le taux de fourmis inactives devient très faible.

Dans notre cas, il est préférable d'utiliser une stratégie de sélection n'évaluant qu'une unique tâche. En effet, le fait de tester toutes les tâches jusqu'à ce que l'une d'entre elles soit acceptée provoque une réduction de l'aspect probabiliste du modèle, et ceci quelque soit l'ordre de proposition des tâches, puisque dans le pire des cas toutes seront testées.

Le second point important que doit respecter cette stratégie de sélection à tâche unique est lié au choix de la tâche à tester. En effet, si la méthode sélectionne systématiquement une tâche ayant une forte probabilité d'être acceptée alors le modèle est plus efficace mais perd en capacité d'auto adaptation car le taux de fourmis inactives diminue. Or c'est cet aspect qui nous intéresse dans le cas d'un moteur d'intelligence artificielle auto adaptatif. À l'inverse, si la méthode sélectionne systématiquement une tâche ayant une faible probabilité d'être acceptée, le taux d'inactivité des fourmis va augmenter et l'efficacité du système chuter. Par conséquent, le jeu ne présente plus un challenge suffisant pour intéresser tous les joueurs.

Il est donc impératif de trouver un compromis entre ces méthodes pour obtenir un taux d'inactivité moyen et une efficacité moyenne.

Probabilités normalisées et cumulées : ce compromis est obtenu grâce à la méthode suivante. Au lieu de choisir aléatoirement la tâche à tester ou systématiquement celle ayant la plus grande probabilité d'action, nous utilisons un mécanisme de normalisation et de cumul.

Soit $\|T_{\theta_{i,j}}\|$, la probabilité d'action normalisée associée à la probabilité d'action $T_{\theta_{i,j}}$.

$$\|T_{\theta_{i,j}}(S_i)\| = \frac{T_{\theta_{i,j}}(S_i)}{\sum_{k=1}^Q T_{\theta_{k,j}}(S_k)} \Rightarrow \sum_{k=1}^Q \|T_{\theta_{k,j}}(S_k)\| = 1 \quad (5.2)$$

Ensuite, à l'aide d'un mécanisme de « roue de la chance », une tâche est choisie et proposée à la fourmi. De cette manière, même si les tâches ayant une probabilité d'action plus grande ont plus de chances d'être testées, ceci n'est pas systématique.

Cette dernière stratégie permet d'aboutir, comme nous le verrons plus tard, à un bon compromis concernant le taux de fourmis inactives et sera utilisée pour le reste de notre étude.

5.3.2.2 Les stratégies de déplacement des fourmis artificielles

Le second type de stratégie est la stratégie de déplacement des fourmis artificielles. Dans notre jeu, chaque personnage non joueur traduit le comportement d'une fourmi artificielle. Afin de leur octroyer un comportement le plus réaliste possible, il est important d'intégrer la notion de distance entre la position du joueur et celles des différentes tâches à traiter. Cette prise en compte s'opère durant la phase d'évaluation : la fonction de probabilité d'action est



pondérée par la distance entre la tâche considérée et le joueur. Ainsi, le système est rendu plus réaliste mais également plus réactif au joueur ce qui permet de varier le niveau de difficulté offert par l'intelligence artificielle du jeu.

L'espace deux dimensions est représenté sous forme de grille. Le joueur ou les personnages non joueur ne peuvent appartenir qu'à un unique secteur à un instant donné mais un même secteur peut contenir plusieurs objets. La gestion des collisions étant négligée pour le moment.

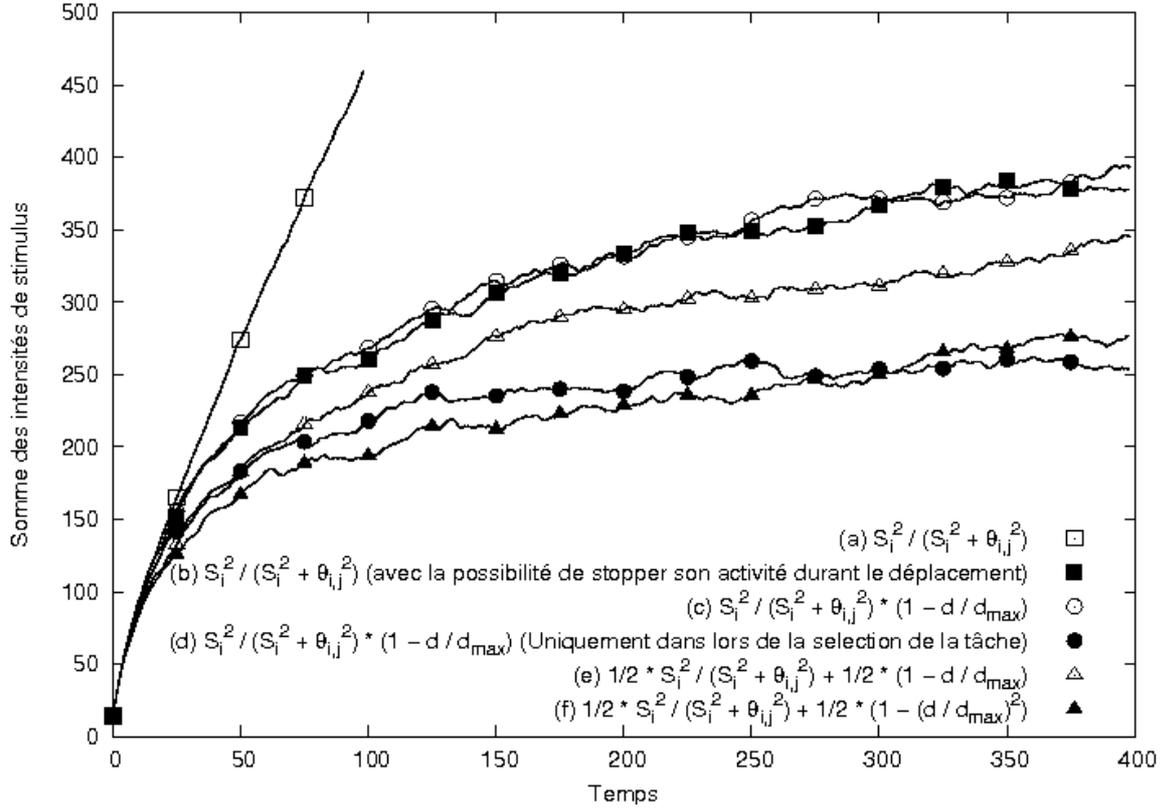


FIGURE 5.4 – Influence de la stratégie de déplacement : (a) et (b) stratégie initiale proposée par BONABEAU *et al.* ne prenant pas en compte les distances avec la possibilité, ou non, de stopper son activité durant le déplacement ; (c) et (d) stratégie pondérant la probabilité d'action, au niveau de la sélection ou de l'évaluation, à partir des distances ; (e) et (f), stratégie prenant en compte indépendamment la probabilité d'action calculée et les distances.

La notion de performance que nous utiliserons pour qualifier ces différentes stratégies est double au sein de ce modèle mathématique. Il est nécessaire de prendre en compte, la capacité du système à faire face à la charge de travail proposée. Pour étudier cette charge de travail nous considérons la somme des intensités de stimulus. Mais il est aussi nécessaire de juger sa vitesse de réaction aux variation des intensités de stimulus.

Parmi les stratégies possibles, nous avons testé les suivantes :

Modèle initial de BONABEAU *et al.* : Dans le modèle initial proposé par BONABEAU *et al.*, aucune prise en compte des distances n'est disponible. La fourmi se contente de sélectionner une tâche, de l'évaluer, et dans le cas d'une évaluation positive, de s'y rendre, de la traiter, et de retourner au nid après avoir décidé de stopper son exécution, comme l'illustre la figure 5.5. L'évaluation s'effectue à l'aide de la fonction de probabilité rappelée équation 5.3.



$$T_{\theta_{i,j}}^{initial}(S_i) = \frac{S_i^n}{(S_i^n + \theta_{i,j}^n)} \quad \text{avec } n = 2 \quad \text{dans notre cas} \quad (5.3)$$

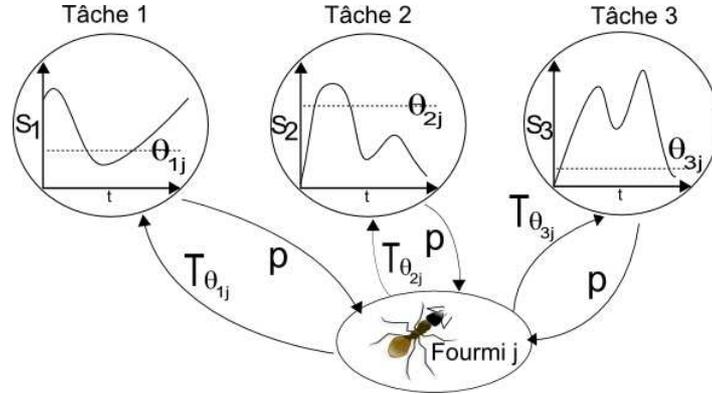


FIGURE 5.5 – Évolution de l'état d'une fourmi au cours de la simulation. Une fourmi passe successivement de l'état active à l'état inactive en fonction des probabilités d'action des différentes tâches et de la probabilité d'arrêt commune à toutes les tâches. Dans ce graphe les probabilités de passage de l'état inactif au traitement de la tâche i sont approximées par la probabilité d'action $T_{\theta_{i,j}}$. Cependant cet automate est une simplification puisqu'il est en réalité nécessaire de faire intervenir les probabilités de sélection. Dans le cas d'une stratégie de sélection basée sur des probabilités cumulées, la probabilité de passage de l'état inactif au traitement de la tâche i est égale à $T_{\theta_{i,j}} \times \frac{T_{\theta_{i,j}}}{\sum_{q \in Q} T_{\theta_{q,j}}}$

La fourmi attend donc d'être au nid pour sélectionner une nouvelle tâche à traiter et ne peut interrompre ses déplacements ou assurer des transitions directes d'une tâche à une autre.

Modèle initial avec interruption possible durant les déplacements : dans cette seconde méthode, même si les distances n'interviennent toujours pas dans la sélection de la tâche, la fourmi possède la capacité de changer son activité sans être obligée de retourner au nid. Cette extension du modèle initial permet d'accroître les durées effectives de traitement des tâches et par conséquent l'efficacité et la réactivité du système. Le calcul de la fonction de probabilité d'action s'effectue donc de la même manière que pour la méthode précédente (Cf. équation 5.3), seule son utilisation varie.

Pondération par la distance : Cette première méthode consiste à prendre en compte la distance en pondérant le calcul de la fonction de probabilité initiale par la distance séparant la fourmi et le lieu de la tâche à traiter. La nouvelle fonction permettant de calculer la probabilité d'action est donnée équation 5.4. Le calcul du poids associé à la distance est assuré grâce au mécanisme illustré figure 5.6. Afin de faire abstraction de la dimension de la grille initiale, le calcul se fait à l'aide de la distance euclidienne entre la position de la fourmi et celle de la tâche à traiter : d ; et à l'aide de la distance maximale possible : d_{max} . Cette distance maximale est exprimée par la diagonale de la grille.

$$T_{\theta_{i,j}}^{ponderation}(S_i) = T_{\theta_{i,j}}^{initial}(S_i) \times \left(1 - \frac{d}{d_{max}}\right) \quad \begin{array}{l} \text{où } d \text{ représente la distance} \\ \text{entre la tâche et la fourmi, et} \\ d_{max} \text{ la distance maximale} \end{array} \quad (5.4)$$

Les résultats obtenus par cette méthode sont limités. En effet, la valeur associée au terme $1 - \frac{d}{d_{max}}$ étant une valeur comprise dans l'intervalle $[0; 1]$, cette méthode provoque

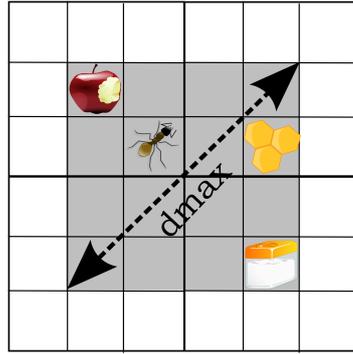


FIGURE 5.6 – Principe de calcul de la distance maximale basé sur une fenêtre englobante contenant la fourmi et l'ensemble des tâches à traiter

systématiquement une diminution des probabilités d'action. De ce fait, l'utilisation de cette méthode tend à accroître le taux de fourmis inactives et donc l'efficacité du système.

Pondération par la distance lors de la sélection uniquement : Afin de résoudre le problème ci-dessus, nous avons décidé de faire une distinction entre fonction de probabilité de sélection et fonction de probabilité d'action. En effet, comme l'illustre la figure 5.3, l'activité de la fourmi dépend de la sélection d'une tâche qui est par la suite évaluée pour savoir si elle doit être traitée. Nous proposons donc de ne prendre en compte les distances que lors de la phase de sélection d'une tâche et d'utiliser la fonction de probabilité d'action initiale pour déterminer si la fourmi doit ou non traiter la tâche sélectionnée.

Prise en compte indépendante probabilité d'action - distances : Un autre concept consiste à accorder autant de poids à la valeur calculée par la probabilité d'action initiale qu'à celle associée à la distance entre la fourmi et le lieu de traitement de la tâche. Chacun de ces termes appartenant à l'intervalle $[0; 1]$, nous pondérons les valeurs par $1/2$ pour rester dans ce même intervalle. La nouvelle fonction de probabilité est donnée équation 5.5.

$$T_{\theta_{i,j}}^{somme}(S_i) = \frac{T_{\theta_{i,j}}^{initial}(S_i)}{2} + \frac{(1 - \frac{d}{d_{max}})}{2} \quad (5.5)$$

Néanmoins, les résultats obtenus sont limités. En effet, bien qu'elle permette d'améliorer légèrement les résultats par rapport au système initial avec interruption possible lors des déplacements, cette méthode ne permet pas d'égaliser les performances issues du modèle pondérant la probabilité d'action par les distances lors de la sélection uniquement. Cette différence provient de la faible influence des distances. Pour accroître les performances du modèle il est nécessaire d'augmenter l'influence du terme $1 - \frac{d}{d_{max}}$.

Prise en compte indépendante probabilité d'action - distances (augmenté) : Il est possible d'augmenter l'influence de la distance en utilisant le carré du terme $\frac{d}{d_{max}}$.

$$T_{\theta_{i,j}}^{somme}(S_i) = \frac{T_{\theta_{i,j}}^{initial}(S_i)}{2} + \frac{1 - (\frac{d}{d_{max}})^2}{2} \quad (5.6)$$

Ainsi, les performances de la méthode sont accrues et sont proches de celles du modèle pondérant la probabilité d'action par les distances lors de la sélection uniquement.

Des conclusions similaires sur la prise en compte conjointes des distances et des couples intensité de stimulus/seuil de réponse sont observées par BONABEAU *et al.* lors de l'application de ce système à un groupe de postiers dans [BDT99b]. Dans cette application, les auteurs



proposent d'intégrer non plus un unique coefficient d'apprentissage ξ mais deux coefficients ξ_0 et ξ_1 ($\xi_0 > \xi_1$). Le second coefficient d'apprentissage est appliqué sur toutes les tâches voisines de la tâche traitée (même si celles ci ne sont pas réellement traitées). L'avantage de cette méthode est qu'elle conduit à la définition de zones de spécialisation en plus de la spécialisation vis à vis d'une tâche.

5.3.3 Le jeu simple du restaurant

Le principe des jeux basés sur l'utilisation de tampons, proche du problème des producteurs/consommateurs, peut être appliqué à de nombreux *scenarios* de jeux. Celui qui a retenu notre attention est le suivant :

Gameplay 1 (Le jeu du restaurant) *un serveur doit assurer seul l'approvisionnement des comptoirs d'un restaurant libre service. Différents plats sont mis à disposition des clients. Chaque comptoir contient un unique type de plats. Le serveur, c'est-à-dire le joueur, doit s'assurer que les clients aient continuellement à leur disposition au moins une assiette sur chacun des comptoirs.*

En début de partie, le joueur dispose de trois vies. À chaque fois que la demande d'un client n'est pas satisfaite, il en perd une. La partie se termine si le nombre de vie atteint zéro. Le score est calculé à partir de la quantité de nourriture présente sur les comptoirs. Chacune des assiettes possèdent un score compris entre un et dix en fonction de son niveau de remplissage (respectivement vide et pleine). Chaque comptoir (quatre dans notre cas mais le nombre peut être augmenté) pouvant accueillir jusqu'à huit assiettes, le score peut varier de zéro à $4 \times 8 \times 10 = 320$. L'objectif du jeu est d'atteindre un taux de remplissage donné (en fonction du niveau) durant une période limitée.

Le joueur à la possibilité de se déplacer d'un comptoir à un autre et d'ajouter des assiettes sur le comptoir situé en face de lui.

Riches de nos expériences dans la conception d'interfaces pour personnes déficientes visuelles comme nous le verrons au chapitre suivant, nous avons orienté les interfaces de ce jeu vers ce handicap : braille et audio.

Chaque comptoir représente une tâche (il y a ici quatre tâches). La représentation Braille propose une transcription séquentielle tâche par tâche (la notion de séquentialité étant fondamentale puisqu'elle est à la base même du Braille). De plus, en Braille classique, la représentation des chiffres et des lettres ne se fait que sur six picots (les chiffres de 0 à 9 et les lettres de a à j étant représentés de la même manière à l'aide des configuration de picots suivantes : $\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot$, $\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot$, $\cdot\cdot\cdot\cdot$, $\cdot\cdot\cdot$, $\cdot\cdot$, \cdot , $\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot$, $\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot$, $\cdot\cdot\cdot\cdot$, $\cdot\cdot\cdot$, $\cdot\cdot$, \cdot).

En braille informatique, et par conséquent sur les terminaux braille éphémères, les cellules braille sont dotées de huit picots. Ainsi, il est possible d'enrichir la représentation braille à l'aide de cette ligne de picots supplémentaires de manière à traduire la position courante du personnage. Cette information se présente sous la forme d'un curseur tactile sur les deux picots inférieurs de la cellule braille indiquant le niveau de remplissage du comptoir devant lequel se situe le joueur.

Comme nous l'avons précisé en début de section, le lien entre le moteur d'intelligence artificielle est simple. Chaque client est en réalité le reflet d'une des fourmis de la colonie.

Un scénario simple associé à des représentations multimodales (graphique, audio et tactile) permet de résoudre le problème de l'accessibilité aux jeux vidéo. En effet, grâce à la multimodalité, les joueurs en situation de handicap visuel peuvent jouer et la simplicité du scénario permet de le rendre compréhensible aussi bien auprès d'enfants que d'adultes.

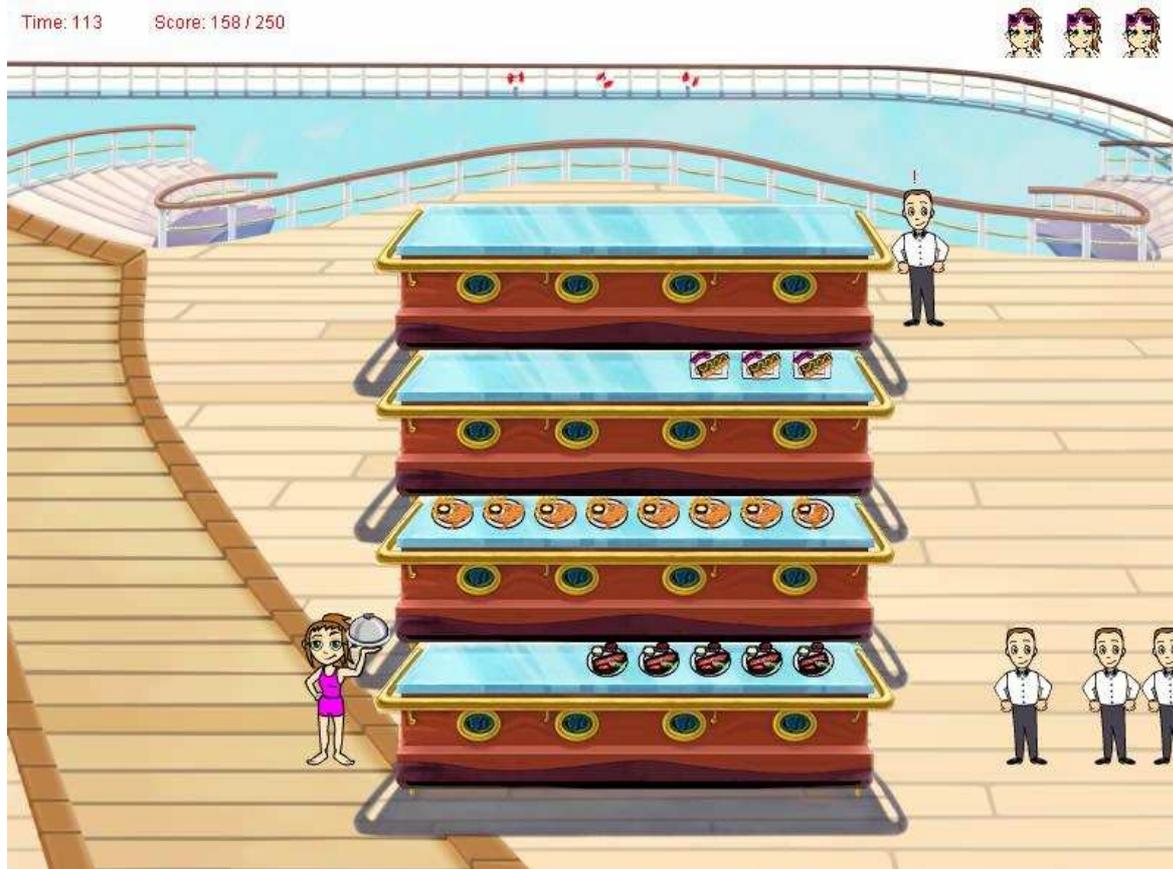


FIGURE 5.7 – Capture d’écran du jeu du Restaurant. Le joueur évolue dans l’espace situé à gauche des comptoirs tandis que les clients évoluent dans l’espace à droite des comptoirs.

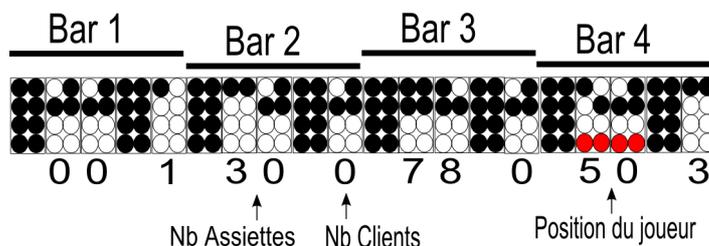


FIGURE 5.8 – Transcription Braille du jeu du Restaurant lors de la capture d’écran donnée figure 5.7 : chaque comptoir dispose d’une représentation sur cinq cellules Braille : la première cellule permet de créer une nette séparation entre les différentes informations issues des transcriptions des différents comptoirs. Les cellules deux et trois donnent le taux de remplissage du comptoir ; la cellule cinq donne le nombre de clients présents sur le comptoir. La cellule quatre assure la séparation entre information relative au nombre de clients et information relative au taux de remplissage. Enfin, la position du personnage est transcrite grâce à l’utilisation d’un curseur sur la dernière ligne de picots des cellules deux et trois.

5.3.4 Les évaluations

Afin d’évaluer notre moteur d’intelligence artificielle, des tests de différentes natures ont été réalisés à partir du jeu du restaurant.

Dans un premier temps, la validation du modèle et l’étude de ses paramètres ont été as-



surées par des tests fictifs pour lesquels une séquence prédéfinie d’actions permet de simuler le comportement d’un joueur. La mise en place d’un tel mécanisme est indispensable pour permettre une étude du comportement du modèle en fonction de différentes valeurs des paramètres. Ces tests et leurs résultats sont identiques à ceux nous ayant permis de réaliser une analyse du modèle et qui sont proposés chapitre 4.3.2.

Puis, des tests auprès d’enfants ont été réalisés. La population ayant participé à ces tests se compose de 21 enfants en classe de ce1/ce2 (c’est-à-dire âgés de 8 à 9 ans). Il est important de noter que cette population ne contient pas d’individu en situation de handicap.

Le protocole expérimental est le suivant : après une explication du jeu, de ses règles et de leur finalité (utilisation des algorithmes à base de fourmis artificielles en tant qu’outil pour la compensation du handicap) auprès des enfants, nous les laissons jouer de manière autonome (lancement du jeu, enregistrement des résultats, etc.). Les consignes sont que chaque enfant doit jouer au jeu une fois dans chacun des niveaux de difficulté (Easy, Medium et Hard). Afin d’augmenter l’intérêt du jeu, nous leur demandons, en plus de satisfaire la demande des clients durant une période fixe de 150 secondes, d’essayer d’atteindre un score de 250 (le détail du calcul du score est donnée section 5.3.3). Pour chaque partie nous enregistrons, l’ensemble des actions du joueur (action ou déplacement), l’ensemble des décisions des fourmis artificielles et à chaque pas de temps le score (somme des intensités de stimulus) courant. Une fois ces trois parties terminées, chaque enfant nous rédige un commentaire sur ses ressentis.

5.3.4.1 Le premier jeu de paramètres

Les paramètres utilisés pour ces tests sont donnés tableau 5.1.

Paramètre	Valeur
Nombre de fourmis N	5
Nombre de tâches Q	4
Probabilité d’arrêt p	0.5
Coefficient d’apprentissage ξ	3
Coefficient d’oubli φ	1
Efficacité α	16

TABLE 5.1 – Jeu de paramètres 1

Les mêmes paramètres sont utilisés quelque soit le niveau de jeu (Easy, Medium, Hard). Le variation du niveau de difficulté est assurée par le choix de la stratégie de déplacement à prendre en compte. En effet, le mode « Easy » correspond au modèle de base proposé par BONABEAU *et al* où seule la fonction de probabilité $T_{\theta_{i,j}}$ est utilisée et pour lequel les distances entre tâches et fourmi ne sont pas prises en compte. De plus, ce modèle de base n’admet pas d’interruption du traitement d’une tâche en cours de déplacement. La fourmi doit donc systématiquement retourner au nid avant de sélectionner une nouvelle tâche. Le mode « Medium » intègre cette possibilité d’interruption en cours de déplacement. Et enfin le mode « Hard » prend en compte les distances tout en admettant les interruptions en cours de déplacement à l’aide de la fonction de probabilité : $T_{\theta_{i,j}}^{somme}(S_i) = \frac{T_{\theta_{i,j}}^{initial}(S_i)}{2} + \frac{1 - (\frac{d}{d_{max}})^2}{2}$. Cette fonction de probabilité permettant de définir la probabilité que la fourmi traite la tâche préalablement sélectionnée.

Ces premiers tests, dont les résultats sont donnés figures 5.9 à 5.13, soulignent le bon comportement du modèle malgré des valeurs de paramètres volontairement élevées. En effet, efficacité, apprentissage, oubli et probabilité d’arrêt ont été configurés de manière à proposer un challenge particulièrement important au joueur.



Tout d'abord, l'efficacité fixée à seize signifie que la colonie de fourmi est plus performante que le joueur (elle est capable de consommer au mieux seize unités de nourriture par pas de temps tandis que le joueur n'est capable d'ajouter qu'une unique assiette soit dix unités). La régulation du niveau de jeu est assurée par l'inactivité des fourmis et les temps de déplacement des fourmis actives.

Il est important de noter qu'une probabilité d'arrêt supérieure ou égale à 0.5, *Cf.* figure 5.1, favorise les défaites du joueur du fait de la perte de ses trois points de vie. Cette caractéristique conduit à deux propriétés importantes :

- plus p est grand, moins le système est réactif. En effet, l'arrêt du traitement d'une tâche est indépendant de la variation de son intensité de stimulus, seule la probabilité d'arrêt p intervient dans cette interruption. D'après l'analyse du modèle faite en section 4.3.2 et plus particulièrement la figure 4.12, lorsqu'une fourmi sélectionne une tâche, elle la traite en moyenne durant $1/p$ unité de temps. Donc plus p est grand, plus la fourmi traitera longtemps sa tâche courante. La probabilité d'arrêt étant indépendante des variations des intensité de stimulus, elle est susceptible de négliger l'augmentation soudaine d'une des intensités de stimulus.
- pour les mêmes raisons, plus p est grand, plus la probabilité que le système parvienne à réduire complètement l'intensité de stimulus d'une tâche, *i.e.* $S_i = 0$ (voir moins si aucune borne inférieure existait sur les intensités de stimulus), devient importante. Dans le cadre du jeu, cela correspond à une demande d'un client non satisfaite et conduit à la perte d'un point de vie.

Ainsi, en fonction du type de jeu souhaité, il est possible de configurer le modèle de manière à répondre à différents scénarios : résister le plus longtemps possible à la consommation des fourmis (p proche de un) ou atteindre un score maximum (p proche de zéro).

De la même manière les coefficients d'apprentissage et d'oubli jouent un rôle important sur l'établissement du scénario de jeu. En effet, ce mécanisme de spécialisation permet de faire varier les seuils de réponses des fourmis artificielles vis à vis des différentes tâches. Sans ce mécanisme (*i.e.* $\xi = 0$ et $\varphi = 0$), un nouveau scénario de jeu pourrait également être mis en place puisque le score moyen serait alors centré sur la somme des valeurs moyennes des différents seuils de réponse de la colonie. Ce nouveau scénario participerait à la suppression des défaites liées à la perte des points de vie disponibles.

Les résultats sont présentés sous trois formes distinctes. Les figures 5.9 à 5.11 introduisent le score moyen obtenu par les différents joueurs. Ce score moyen est calculé de la manière suivante : le score du joueur (somme des intensités de stimulus) est noté à chaque pas de temps. On calcule ensuite la moyenne du score sur toute la partie. Si le joueur perd tout ses points de vie avant la fin du temps imparti, le score est considéré comme nul. Les figures proposent les scores minimum et maximum, le score moyen mais également l'écart type. Ce dernier résultat permet de connaître la stabilité du score durant la partie ou si ce dernier à subit d'importantes variations dûes à une variation brusque du comportement de l'intelligence artificielle ou du comportement du joueur (abandon, démotivation).

Le second type de résultats, *Cf.* figure 5.12, concerne le nombre de défaites pour défaut de point de vie rencontré par les joueurs. Il traduit l'évolution du nombre de joueurs possédant encore des points de vie tout au long du jeu.

Le troisième type de résultats, *Cf.* figure 5.13, concerne l'évolution du score moyen obtenu à chaque pas de temps par l'ensemble des joueurs pour un même jeu (jeu de paramètres identique) et un même mode (niveau de difficulté). Contrairement au premier type de résultat, il offre une vue globale, c'est-à-dire sur l'ensemble des joueurs, des variations des scores.

Sur les figures 5.9 à 5.11, la ligne des 250 points correspond à l'objectif du jeu que nous avons proposé aux enfants. Néanmoins, cet objectif est totalement indépendant du modèle. Il peut être intégré au gameplay du jeu en fonction de la variante du jeu choisi. Cet objectif est

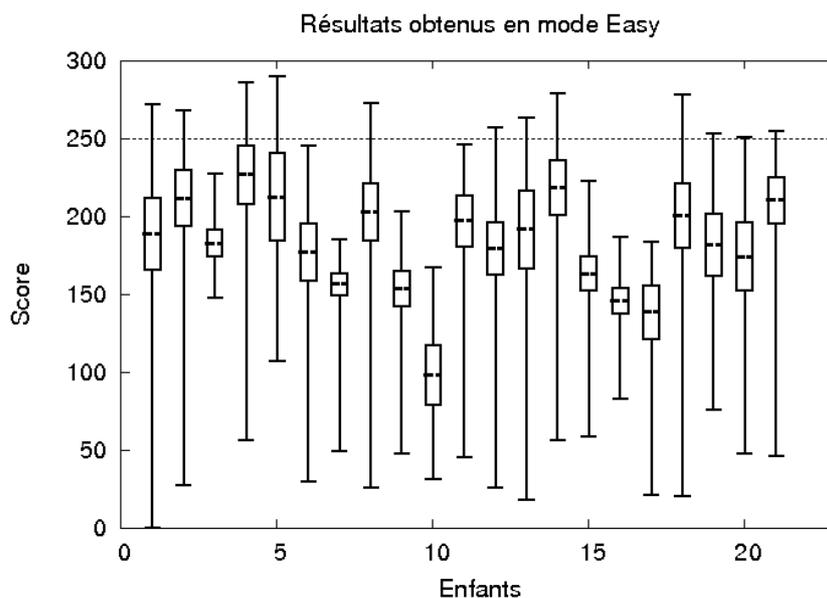


FIGURE 5.9 – Résultats obtenus en mode Easy : scores minimum, maximum, moyenne et écart type (jeu de paramètres 1 (Cf. tableau 5.1)

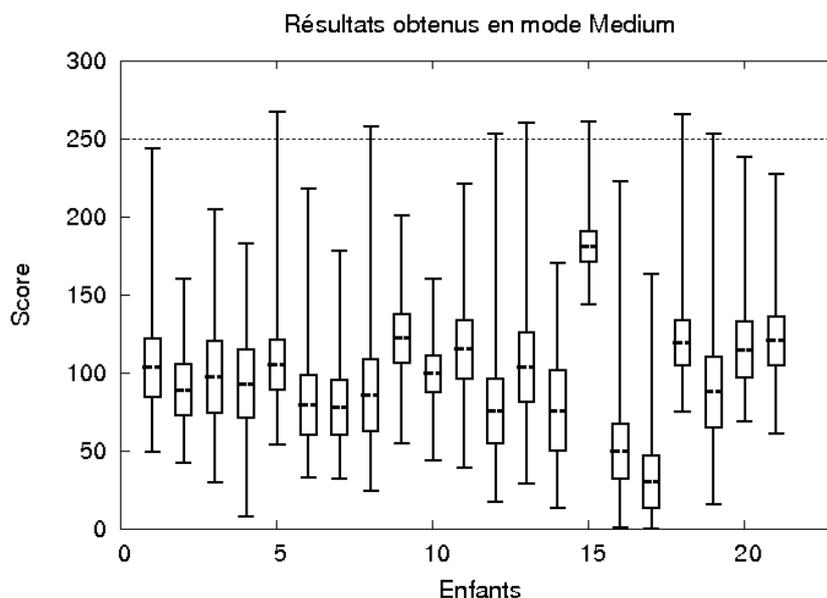


FIGURE 5.10 – Résultats obtenus en mode Medium (jeu de paramètres 1 Cf. tableau 5.1)

atteint douze, sept puis zéro fois en fonction du mode de jeu respectivement facile, moyen et difficile.

Il est important de souligner que, malgré l'aspect auto adaptatif du système, il est nécessaire que le système conserve un certain écart entre les score des différents joueurs. En effet, l'esprit de compétition joue aussi un rôle sur la motivation du joueur et sur son immersion dans le jeu. Par exemple, malgré une prise en main difficile du jeu, le joueur 15 s'est montré particulièrement à l'aise même aux niveaux les plus élevés du jeu.

Certaines précisions sont nécessaires sur le mode de calcul des scores moyens et minimums. En cas de défaite par défaut de points de vie, la valeur de score utilisée pour le joueur

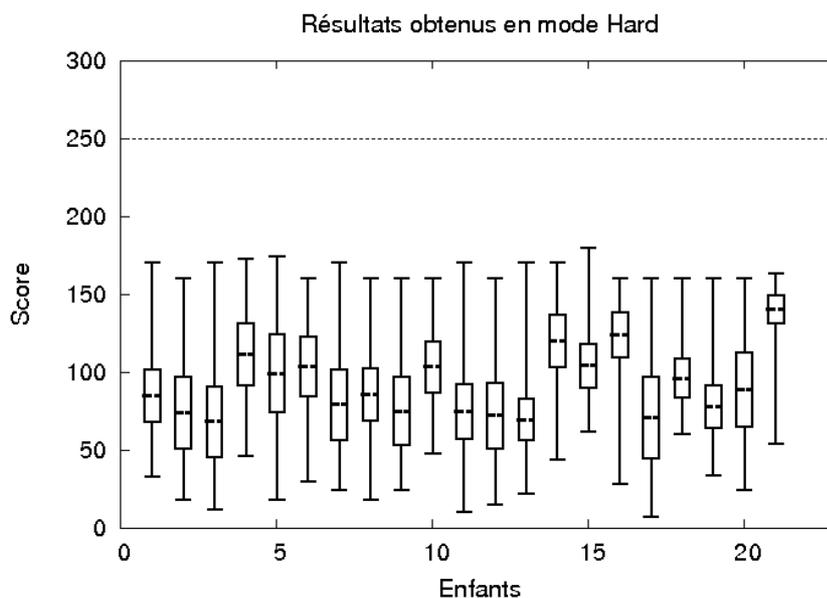


FIGURE 5.11 – Résultats obtenus en mode Hard (jeu de paramètres 1 Cf. tableau 5.1)

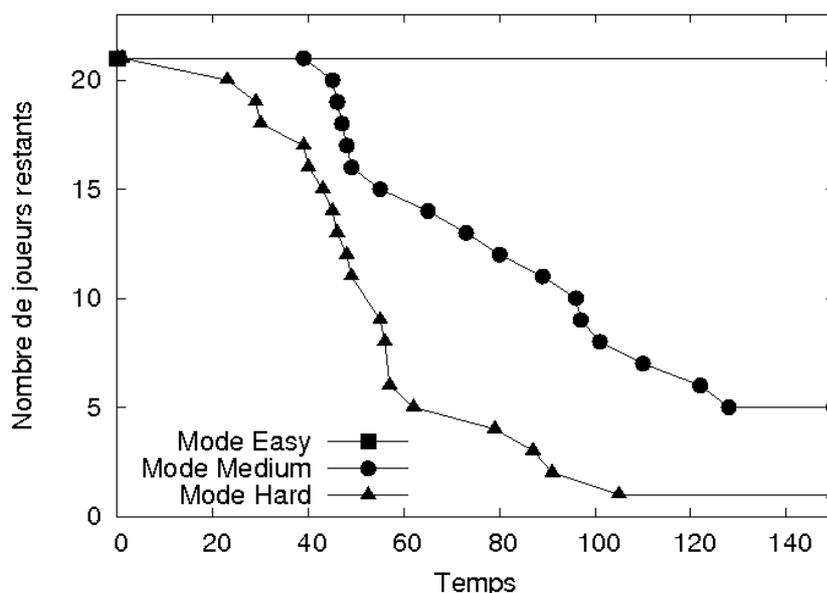


FIGURE 5.12 – Évolution du nombre de joueurs en jeu (jeu de paramètres 1 Cf. tableau 5.1) : la partie pouvant éventuellement être interrompue suite à un défaut de points de vie.

dans le calcul de son score moyen (par exemple 5.9 à 5.11) mais aussi dans le calcul du score moyen, pour tous les joueurs, de la partie (Cf. figure 5.13), est de zéro. Il est donc nécessaire de confronter les données extraites de la figure 5.12 pour interpréter les figures 5.9 à 5.11 et 5.13.

Concernant les scores minimums et maximums, si leur interprétation est triviale (score minimum du joueur durant la partie - 5.9 à 5.11), il est nécessaire de préciser que pour les scores globaux figure 5.13, les scores proposés sont ceux sur le pas de temps considéré. C'est pourquoi, ces valeurs peuvent augmenter et diminuer respectivement pour les valeurs minimum et maximum.



Ces précisions sur les modes de calcul permettent de mieux comprendre le cas particulier proposé figure 5.13 dans le cas du niveau difficile. En fin de simulation, le score minimum est égale au score maximum. Ceci est lié au fait qu'un unique joueur a réussi à conserver suffisamment de points de vie pour terminer la partie.

L'interprétation globale de ces résultats permet de souligner l'augmentation du niveau de jeu du fait de la modification de la stratégie de déplacement. En effet, on compte douze, sept puis zéro élèves qui parviennent à atteindre l'objectif du jeu (dépasser les 250 points) respectivement en mode facile, moyen et difficile ; un nombre de défaites par défaut de points de vie qui augmente en passant de 0 à 15 puis à 20 ; et des scores moyens qui ne cessent de diminuer. Ces résultats confirment donc l'amélioration du système initial proposé par BONABEAU ET *al.* grâce à la mise en place de stratégies de déplacement.

5.3.4.2 Le second jeu de paramètres

Afin de confirmer les résultats obtenus lors du test précédent, un second test a été mis en place à l'aide des paramètres donnés dans le tableau 5.2

Paramètre	Valeur
Nombre de fourmis N	4
Nombre de tâches Q	4
Probabilité d'arrêt p	0.4
Coefficient d'apprentissage ξ	2
Coefficient d'oubli φ	1
Efficacité α	11

TABLE 5.2 – Jeu de paramètres 2

Les résultats obtenus avec ces nouveaux paramètres sont donnés figures 5.14 à 5.18. Ils permettent d'améliorer les scores moyens obtenus mais aussi de réduire le nombre de défaites liées à un défaut de points de vie.

Ces nouveaux résultats soulignent les rôles des différents paramètres introduits. En effet, une réduction de l'efficacité et du mécanisme de spécialisation permet d'accroître les résultats des joueurs. De plus, la réduction de la probabilité d'arrêt permet de réduire le nombre de défaites liées à un défaut de points de vie.

Si l'on confronte les résultats obtenus avec ces deux jeux de paramètres, on constate rapidement que le second jeu permet d'obtenir de meilleurs résultats en terme de score moyen et nombre de défaites. En effet, comme nous l'avons souligné précédemment, le premier jeu de paramètres conduit à un niveau potentiellement élevé du jeu. Mais surtout, il conduit à un scénario pour lequel la probabilité de perdre par défaut de points de vie est importante (la notion de points de vie étant propre à l'histoire proposée pour notre jeu). Un tel moteur d'intelligence artificielle peut donc facilement être intégré dans différents scénarios de jeux pour lesquels l'objectif peut être :

1. obtenir un score maximum durant une certaine durée de jeu. Dans ce cas, le moteur d'intelligence artificielle sera configuré de manière à réduire la probabilité de perdre des points de vie. Pour cela, il suffit d'augmenter la probabilité d'arrêt de manière à rendre les fourmis artificielles plus réactives et de réduire les effets de la spécialisation en diminuant les coefficients d'apprentissage et d'oubli.
2. survivre le plus longtemps possible face à une colonie de fourmis affamées. Dans ce cas, à l'inverse, la probabilité de perdre des points de vie peut être élevée. Il suffit alors de

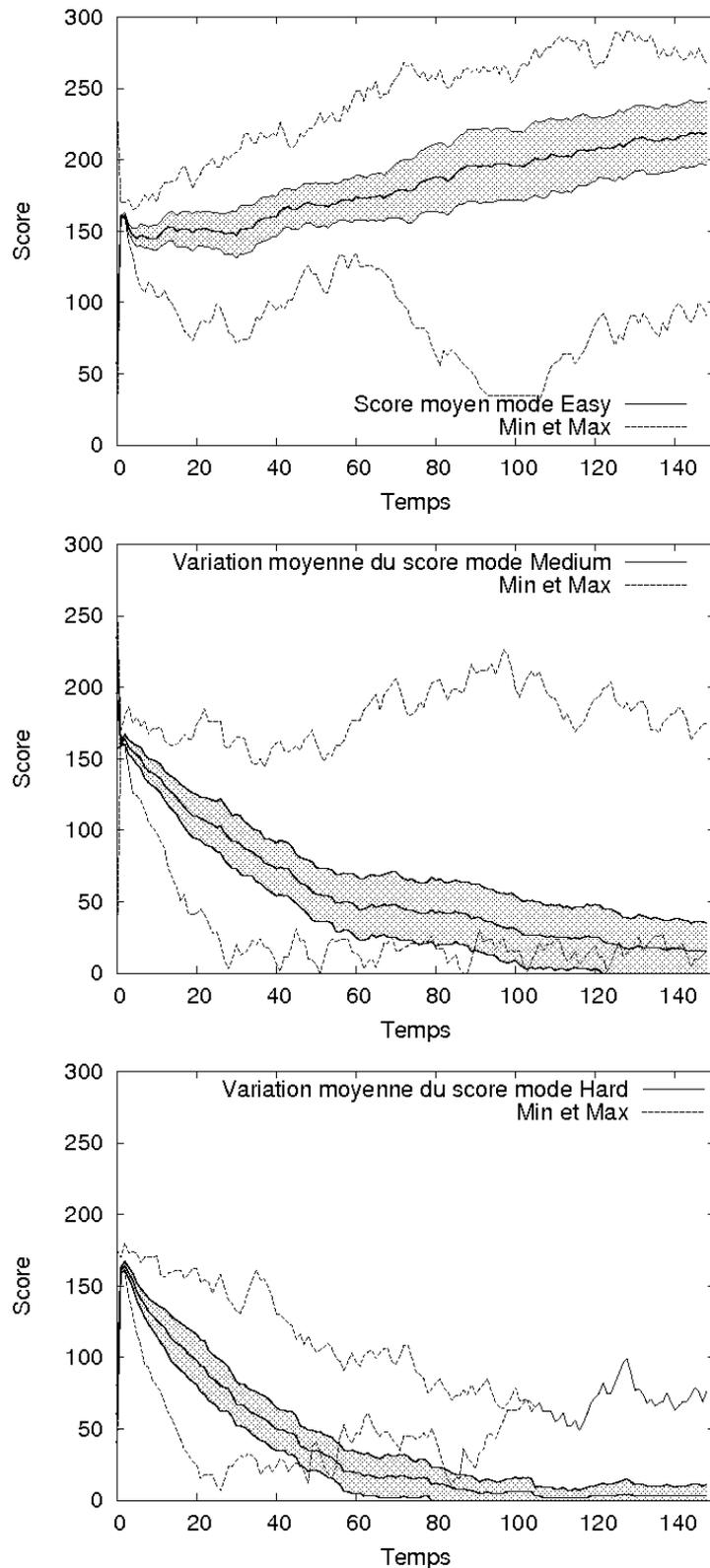


FIGURE 5.13 – Variation moyenne du score en fonction des différents modes (moyenne et écart type - jeu de paramètres 1 Cf. tableau 5.1). À noter : le score moyen est calculé en fixant à zéro le score courant des joueurs ayant déjà perdu du fait d'un défaut de points de vie.

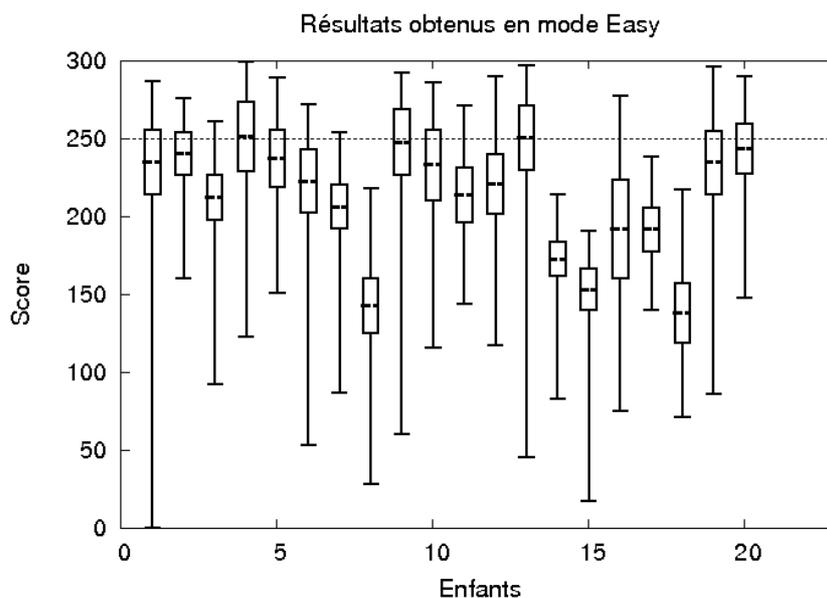


FIGURE 5.14 – Résultats obtenus en mode Easy (jeu de paramètres 2 *cf* tableau 5.2)

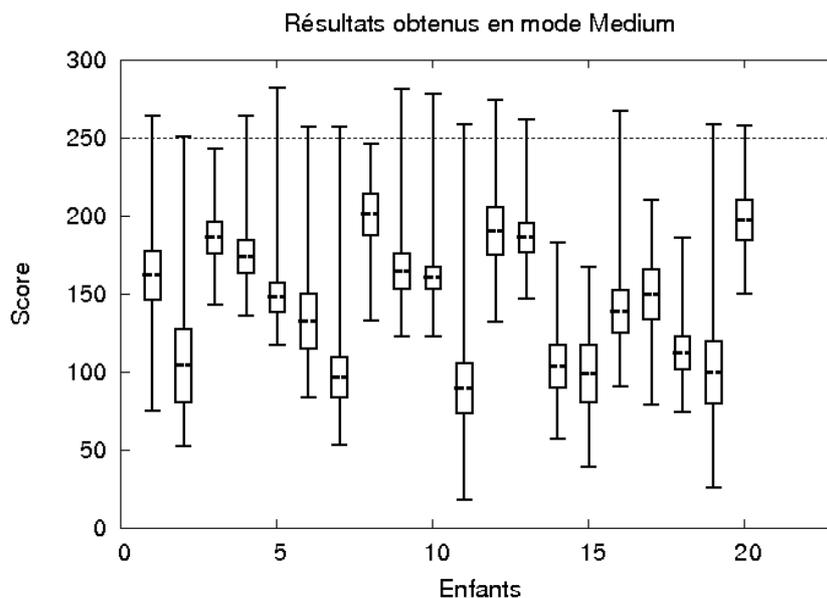


FIGURE 5.15 – Résultats obtenus en mode Medium (jeu de paramètres 2 *cf* tableau 5.2)

prendre les mesures inverses aux recommandations précédentes (diminuer la probabilité d'arrêt et augmenter les effets de la spécialisation).

Par exemple, on peut remarquer sur les figures 5.12 et 5.17 que la variation des jeux de paramètres a conduit à une réduction du nombre de défaites par défaut de points de vie (inchangé en mode Easy pour lequel le nombre de défaites reste à zéro, passage de seize à sept défaites pour le mode Médium et passage de vingt à dix défaites pour le mode Hard le tout sur vingt et un participants). Bien sur l'apprentissage entre les deux sessions peut être mis en cause, néanmoins, du fait des faibles durées des parties, il ne peut être le seul responsable de ces variations.

Les paramètres liés au nombre de fourmis, à leur efficacité et au nombre de tâches sont

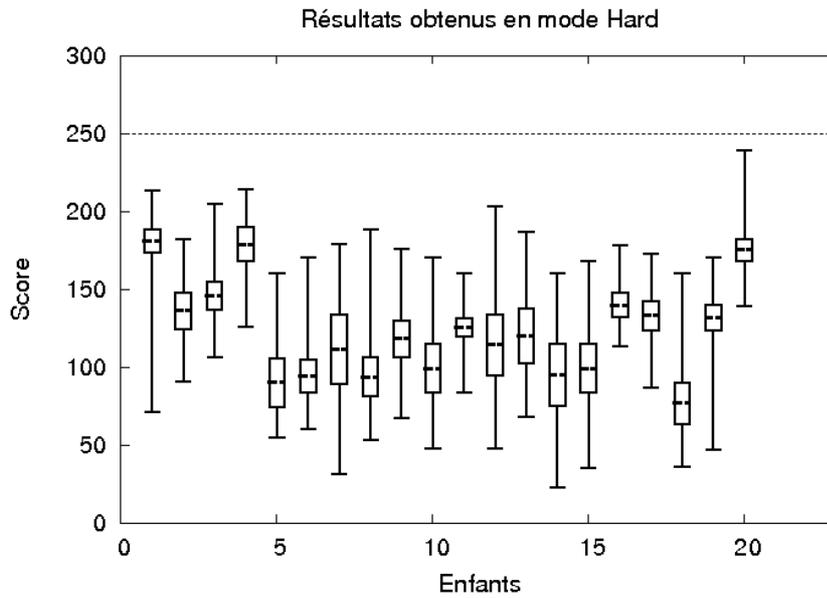


FIGURE 5.16 – Résultats obtenus en mode Hard (jeu de paramètres 2 cf tableau 5.2)

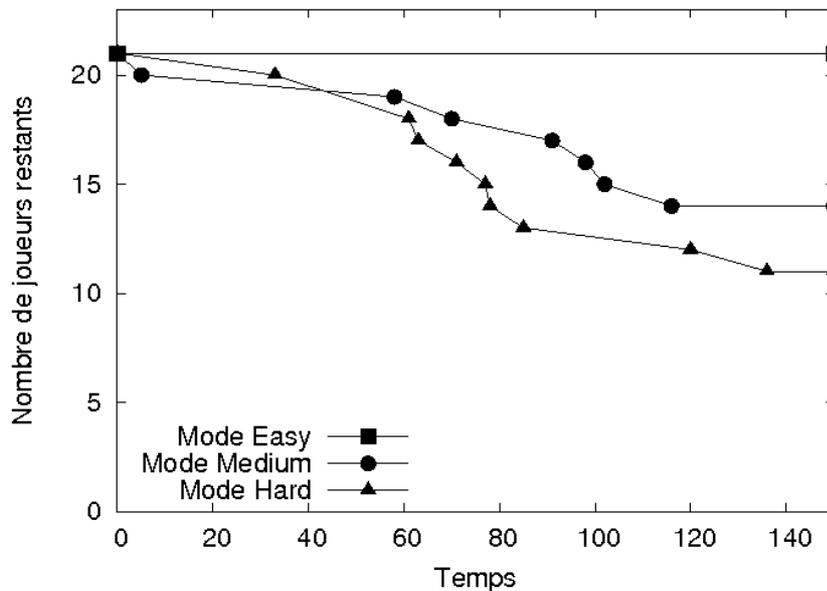


FIGURE 5.17 – Évolution du nombre de joueurs en jeu (jeu de paramètres 2 cf tableau 5.2)

secondaires dans notre souci d’auto adaptation du niveau de jeu. En effet, dans notre cas nous préconisons la configuration d’un nombre de fourmis proche du nombre de tâches à traiter et dont l’efficacité est également proche du potentiel d’action du joueur. Ici notre joueur peut déposer une assiette à chaque pas de temps soit dix points. L’efficacité devra donc être proche de cette valeur.

Pour conclure, l’évaluation de l’auto adaptation du niveau de jeu doit prendre en compte deux facteurs. D’une part, le nombre de défaites rencontrées et d’autre part, l’amplitude de variations du score. En effet, un jeu auto adaptatif n’est pas synonyme d’un jeu pour lequel chacun obtiendra exactement le même score auquel cas l’aspect ludique, le challenge et l’intérêt seraient réduits. Dans un premier temps nous avons vu qu’il nous est possible de configurer

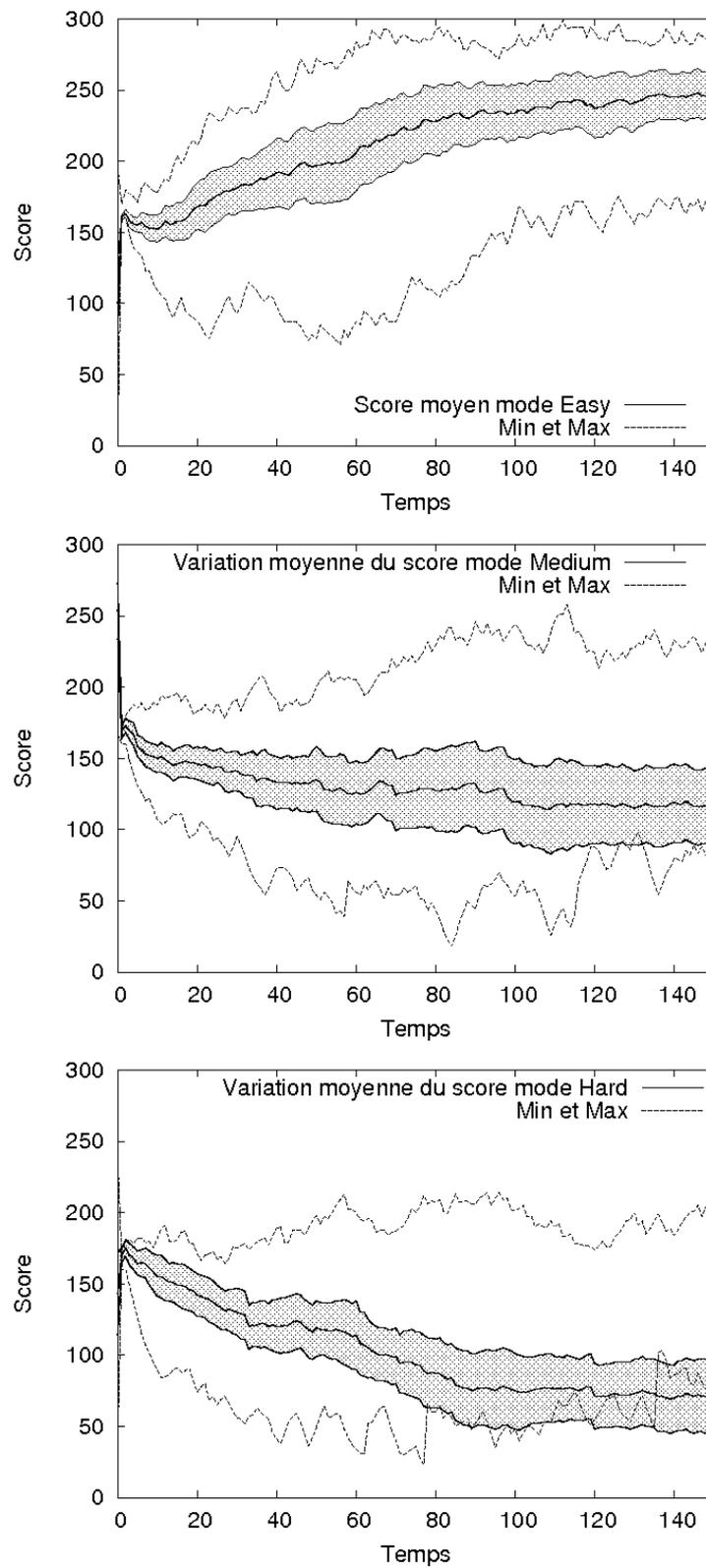


FIGURE 5.18 – Variation moyenne du score en fonction des différents modes (jeu de paramètres 2 cf tableau 5.2)



le moteur de manière à réduire le nombre de défaites sans pour autant réduire le challenge. Puis, d'après les figures 5.13 et 5.18, l'amplitude moyenne du score est de l'ordre de cinquante points sur les trois cents vingt points possibles (soit une variation de l'ordre de 15%). Ce qui tend à nous conforter dans l'idée que ce type de moteur d'intelligence artificielle est un bon candidat dans le cadre de la résolution du problème de niveau au sein des jeux accessibles.

5.3.5 L'intégration de ce moteur d'intelligence artificielle dans un jeu plus évolué : BosWars

Afin de souligner l'élargissement possible du moteur d'intelligence artificielle à d'autres jeux, nous l'avons étendu à un jeu plus sophistiqué : le jeu « Boswars ».

Boswars est un RTS (« Real Time Stratégie »)¹ libre et gratuit dans lequel le joueur peut s'opposer à l'ordinateur ou à d'autres joueurs via Internet ou un réseau local. Son mode de fonctionnement est proche des jeux RTS classiques : il faut collecter des matériaux, construire des bâtiments, et entraîner des soldats pour combattre des adversaires.

Boswars est basé sur le moteur multi-plateforme « Stratagus² » sous licence GPL. Il intègre la gestion des graphismes, des communications réseaux, de l'intelligence artificielle.

Boswars n'est pas un jeu accessible de par ses interfaces et de par son niveau de jeu. Dans cet élargissement, nous cherchons à valider les possibilités de mise en œuvre du moteur dans des jeux plus sophistiqués. Néanmoins, un important travail reste nécessaire pour rendre accessibles les interfaces du jeu.



FIGURE 5.19 – Captures d'écran du jeu Boswars avant ajout de notre moteur d'intelligence artificielle.

1. Un jeu de stratégie en temps réel est un type de jeu de stratégie particulier qui, par opposition au jeu de stratégie au tour par tour, n'utilise pas un découpage du temps en tours de jeu
2. Site Web : <http://stratagus.sourceforge.net/index.shtml>



Dans le cadre de l'intégration de notre moteur d'intelligence artificielle, nous sommes partis du jeu *Boswars*, et par conséquent du moteur *Stratagus*, dans lequel nous avons adapté la partie intelligence artificielle pour que les villageois ne soient plus contrôlés par l'algorithme initial proposé par *Stratagus* mais par notre algorithme d'allocation des tâches. Chaque villageois peut se voir attribuer deux activités antagonistes : la construction de bâtiment ou la collecte de ressources. Ces deux activités sont antagonistes dans la mesure où la construction de bâtiments consomme des ressources tandis que la collecte augmente les stocks de ressources. Concernant la collecte, deux types de ressources sont nécessaires à la colonie pour évoluer : du bois et des pierres.

Le principe de fonctionnement du moteur d'intelligence artificielle est relativement simple. Il possède une liste d'actions prédéfinies à effectuer selon un ordre préalablement fixé en fonction du niveau des ressources (règles de construction). Si l'initiative de la construction de bâtiments est bien liée à un choix des fourmis artificielles, le choix du bâtiment à construire est quant à lui prédéfini par cette liste d'actions. Notre moteur se charge de gérer l'attribution des tâches aux différents villageois. Chaque villageois est contrôlé par une fourmi de la colonie.

Les différentes ressources correspondent chacune à un stimulus et le taux de remplissage des stocks à l'intensité du stimulus. Contrairement au jeu du restaurant, les fourmis vont tenter de remplir les stocks plutôt que de les vider. Par conséquent, l'intensité du stimulus sera donnée par la formule Capacité de stockage – Niveau du stock. Mais le principe du moteur d'intelligence artificielle reste exactement similaire.

Le même mécanisme ne peut pas être mis en œuvre dans le cas d'une tâche de construction de bâtiment. Pour cette tâche particulière, le niveau de stimulus est contrôlé par une augmentation naturelle issue du modèle initial proposé par BONABEAU ET AL. qui se lance lorsque le niveau de ressources et les pré requis permettent la construction d'un nouveau bâtiment. La valeur de cette augmentation naturelle correspondant au nombre de bâtiments en attente de construction.

L'intégration de notre moteur d'Intelligence Artificielle (IA) dans le jeu initial est totalement transparente pour le joueur et résout le problème de la collecte de ressources. Cette dernière est ajustée aux besoins du village géré par l'ordinateur et par conséquent ajustée aux stimulations (attaques) faites par le village du joueur. Cependant, l'intelligence artificielle du jeu ne se limite pas à la collecte de ressources. D'autres comportements tels que l'exploration, la construction, la sélection de la zone de construction, le calcul de chemin, la réparation des bâtiments, l'entraide peuvent être observés (une liste de ces comportements et leur description pouvant être trouvées dans [SS05b]).

La mesure de l'efficacité de ce nouveau moteur d'intelligence artificielle vis à vis de celui proposé par le moteur *Stratagus* est difficile. Cette évaluation est difficilement quantifiable. Nous nous basons donc sur les commentaires des personnes ayant testées la nouvelle version du jeu pour en souligner le bon fonctionnement. Une remarque générale a été faite par les utilisateurs : la modification du moteur d'intelligence artificielle est totalement transparente pour le joueur si celui-ci ne stimule pas la colonie adverse (cette dernière l'attaquera au bout d'une durée de préparation similaire liée à la liste d'actions et de prérequis prédéfinie par le moteur *Stratagus*). En revanche, en cas de stimulations de la colonie contrôlée par l'ordinateur (attaques du joueur), elle peut être rendue plus performante. Il pourrait être intéressant de réaliser un test en opposant deux colonies toutes les deux contrôlées par l'ordinateur mais chacune à l'aide d'un moteur d'intelligence artificielle différent.

La nouvelle version du moteur d'intelligence artificielle ne rend pas le jeu accessible puisque les problèmes d'interfaces demeurent. Néanmoins, il est envisageable de proposer un système d'aide au joueur pour la collecte de ses propres ressources. En effet, l'une des difficultés des jeux de type RTS est la synchronisation de l'ensemble des décisions prises par le joueur et le suivi de leur déroulement. Par exemple, le joueur peut décider d'allouer un villageois sur une



FIGURE 5.20 – Capture d’écran du jeu Boswars après l’ajout de notre moteur d’intelligence artificielle. Comme on peut le constater, l’ajout du moteur d’intelligence artificielle est totalement transparent. Quelques ajouts sur l’interface graphique ont été mis en place pour mieux comprendre les décisions du moteur d’intelligence artificielle et le comportement de la colonie contrôlée par l’ordinateur (1 : Ajout du niveau des ressources de l’IA ; 2 : Ajout des messages d’action de l’IA). Ces ajouts peuvent être désactivés.

tâche particulière et oublier son existence dans la suite de la partie. Ce système aura pour effet de résoudre en partie un second aspect des problèmes de niveau en apportant une aide au joueur le souhaitant.

5.4 Conclusion

Dans la nature, les fourmis ne possèdent pas de comportement de jeu comme peuvent en avoir, par exemple, les félins [HW90]. Paradoxalement, l’observation de leur comportement nous a conduit à un moteur d’intelligence artificielle particulièrement intéressant du fait de ses capacités d’auto-adaptation. Le jeu est ainsi capable de s’adapter automatiquement au niveau du joueur quelque soit son âge et quelques soient ses capacités physiques et/ou cognitives.

Le mécanisme d’auto adaptation peut être utilisé indifféremment pour contrôler le niveau de jeu proposé par un adversaire contrôlé par l’ordinateur mais aussi pour mettre à la disposition du joueur un système d’aide. Un tel mécanisme couplé à une interface multi-modale permet de résoudre pleinement le problème de l’accessibilité des jeux vidéo.

Les algorithmes à base de fourmis artificielles ne sont pas les seules méthodes capables d’apprentissage et d’auto adaptation : réseau de neurones, apprentissage par renforcement,



scripts dynamiques. Les résultats obtenus avec notre méthode pourraient être confrontés à ceux issus des autres.

Les tests auprès d'enfants ont permis de valider le jeu, le modèle et l'utilisation de ce type d'algorithmes pour la mise en place d'un moteur d'intelligence artificielle auto-adaptative. Même si la population ayant participé à ces tests ne contient pas d'enfants en situation de handicap, le caractère universel de l'accessibilité des jeux vidéo les rend légitimes. En effet, un jeu accessible se doit d'être stimulant pour tous les joueurs. Le niveau de jeu étant en mesure de s'adapter au niveau d'enfants, il le sera également dans le cas d'enfants en situation de handicap. En revanche, les interfaces à mettre à disposition du joueur varient en fonction du handicap. Dans le cas du jeu du « restaurant », la représentation braille permet par exemple de rendre ce jeu accessible aux joueurs déficients visuels. Dans le chapitre suivant, nous nous concentrerons sur cette question de la multimodalité.

Outre l'amélioration de l'accessibilité des jeux vidéo, l'étude de stratégies de déplacements à partir du modèle de BONABEAU *et al.* nous a permis d'en accroître les performances. Ce modèle peut être étendu à la résolution de problème autre que celui de l'auto adaptation du niveau de jeu (par exemple la répartition de charges dans un réseau).

Ces travaux sur l'auto adaptation du niveaux de jeu appliquée au jeux vidéo accessibles ont donné lieu à différentes publications [SCMS08a; SCMS08c; SCMS08b; SCMS07].

Chapitre 6

Jeux vidéo multi-modaux





Résumé

Ce chapitre présente la mise en œuvre de solutions multimodales pour la résolution des problèmes d'interaction dans les jeux vidéo et plus particulièrement dans le cadre de joueur en situation de déficience visuelle. Pour ces joueurs, les capacités visuelles étant dégradées ou absentes, il est important de proposer des adaptations des interfaces graphiques ou des interfaces alternatives telles que des interfaces tactiles ou audio.

Les mécanismes liés à la multi modalité induisent des importants besoins de personnalisation des interfaces. En effet, le joueur doit être en mesure de sélectionner et de personnaliser la (ou les) interfaces qu'il souhaite ou qu'il peut utiliser. Afin de faciliter cette personnalisation, proposons l'utilisation d'un système de « profil utilisateur ».

Et enfin, la notion d'accessibilité aux jeux vidéo étant, comme l'accessibilité numérique, un système tripartit : contenu accessible, outils de création de contenu accessible, outil de consultation de contenu accessible ; nous présentons des outils d'aide à la conception de jeux vidéo accessibles.

6.1 Les principes de la multimodalité

6.1.1 Introduction

Comme nous l'avons introduit chapitre 3, le principe de la multimodalité, consiste à proposer pour un même contenu plusieurs interfaces et plusieurs contrôleurs tous et toutes basés sur des modalités différentes. Il permet de résoudre les problèmes d'interaction entre le joueur et le jeu. En plus de permettre la mise en place de jeux accessibles, la multimodalité offre également de nouvelles expériences de jeu pouvant être particulièrement attrayantes pour les joueurs.

La multimodalité soulève cependant un problème majeur : le besoin de personnalisation. En effet, la mise en place conjointe de différentes interfaces et la prise en compte de différents contrôleurs nécessitent d'offrir au joueur la possibilité de sélectionner la modalité, et par conséquent le type d'interfaces et de contrôleurs, qu'il souhaite utiliser.

6.1.2 La structure d'une application multimodale

La multimodalité implique systématiquement une prise en compte de cette contrainte dès la phase de conception de l'application. En effet, il est nécessaire que les entrées/sorties de l'application puissent être personnalisées simplement et rapidement. C'est pourquoi nous avons décidé de concevoir des applications basées sur un schéma tripartit Modèle/Vue/Contrôleur ou schéma MVC. Cette structure se décompose en trois éléments distincts représentant les interfaces de sorties (les vues), les interfaces d'entrées (les contrôleurs) et le jeu en lui même (le modèle). Ces trois éléments vont interagir grâce à un mécanisme central chargé de gérer les événements : action du contrôleur ou modification du modèle nécessitant une mise à jour des



interfaces. Ainsi, le jeu devient indépendant des représentations et des contrôleurs employés et l'ajout de nouvelles interfaces en est simplifié.

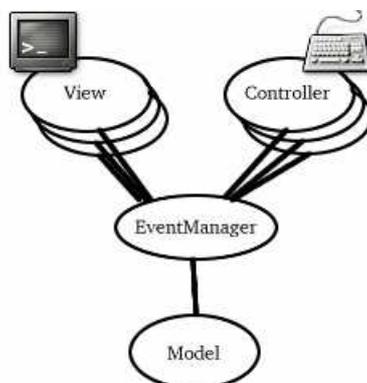


FIGURE 6.1 – Structure des jeux accessibles

Le choix des technologies employées dans la conception de ces interfaces a été guidé par l'aspect libre, gratuit et multi-plateforme des outils employés.

6.2 Les jeux audio

6.2.1 L'intégration des mécanismes de spatialisation du son dans les jeux accessibles

L'évolution des technologies de représentation sonore ont permis la mise en place de sons spatialisés ouvrant la porte à de nombreuses perspectives dans le cadre des jeux vidéo. Les techniques actuelles sont en mesure de restituer un son spatialisé à partir de simples enceintes, d'écouteurs standards (*Cf.* section 3.6.3.3). L'évolution des technologies s'est donc tournée progressivement vers des matériels standards à la portée de tous.

Différentes bibliothèques gratuites sont proposées aux développeurs souhaitant mettre en œuvre de tels mécanismes dans leurs applications. Parmi les principales, nous pouvons citer OpenAL, DirectSound3D de Microsoft, EAX de Creative Labs, A3D de Aureal. Néanmoins, le choix de la bibliothèque « OpenAL » s'est rapidement fait de par sa licence GNU LGPL, son support sur différentes plateformes (système d'exploitation : Windows, Linux, Mac OS, BSD, Solaris ; et différents supports : PC, consoles XBOX, XBOX360). De plus, cette bibliothèque est reconnue dans l'univers des jeux vidéo et des moteurs de jeux commerciaux l'utilisent comme celui de « id Software » (Doom 3, Jedi Knight 2, Jedi Knight : Jedi Academy, Quake 4) ou le Unreal engine (Unreal 2, Unreal Tournament 2003, Unreal Tournament 2004, Postal 2, America's Army : Operations, Hitman 2 : Silent Assassin)¹



FIGURE 6.2 – Logo du projet OpenAL

1. Une liste non exhaustive des jeux basés sur cette bibliothèque peut être trouvée sur le Wiki du projet : <http://connect.creativelabs.com/openal/OpenAL%20Wiki/Games.aspx>



Différents jeux ont été réalisés pour prendre en compte cette modalité. Le premier est un jeu de labyrinthe. En effet, l’analogie entre jeu et aide au déplacement est telle que la première étape pour créer un jeu accessible est de concevoir une interface permettant au joueur de se déplacer efficacement dans le jeu.

Plusieurs variations de ces jeux de labyrinthe sont envisageables : simple recherche d’une sortie dans une grille encombrée ou non d’obstacles, avec ou sans objets à ramasser, avec ou sans ennemis. Plusieurs variantes ont été proposées.

6.2.1.1 Le labyrinthe simple

Le gameplay du premier jeu de labyrinthe accessible que nous avons conçu est le suivant :

Gameplay 2 (Premier labyrinthe : Labyrinthe simple) *Le joueur doit trouver la sortie d’un labyrinthe (Cf. figure 6.3). Il peut à tout moment demander au jeu une aide ponctuelle lui indiquant la direction « à vol d’oiseau » de la sortie.*

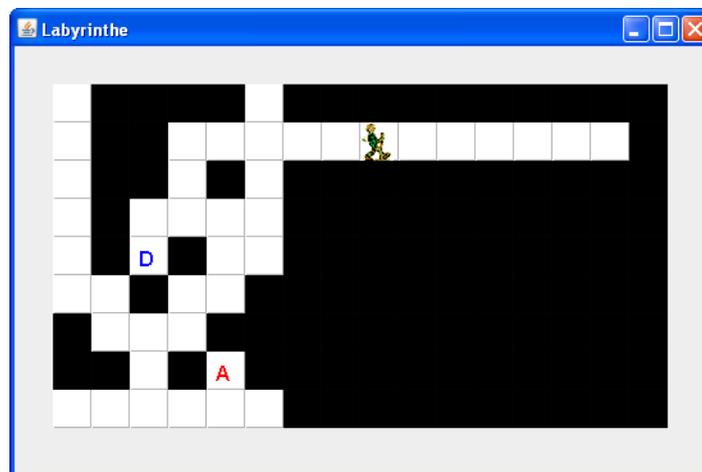


FIGURE 6.3 – Exemple de labyrinthe simple où le joueur doit à partir d’une position de départ, notée D, trouver une sortie, notée A (pour Arrivée).

A noter la présence fondamentale d’un « feedback » sonore lors du déplacement du personnage. En effet, si aucun bruit de pas n’est émis pour signaler au joueur un déplacement, rien ne lui signale la prise en compte de son action. Un bruit de pas ou un bruit correspondant à une erreur (heurte un obstacle) doit permettre d’informer le joueur sur la prise en compte de l’action demandée et sur son résultat.

6.2.1.2 Le Taxi

Un second type de labyrinthe se base sur les mêmes règles dans un scénario plus ludique et permet quant à lui de mettre en place des mécanismes de recherche de plus courts chemins présentés aux chapitres 4 et 5. Dans ce cas, une aide ponctuelle sur demande du joueur permet de transcrire la direction à suivre pour atteindre la sortie. Le scénario du jeu est le suivant et une capture d’écran est proposée figure 6.4.

Gameplay 3 (Second labyrinthe : Le Taxi) *Un chauffeur de taxi (le joueur) doit récupérer un client à une adresse connue. Néanmoins, ne connaissant pas la ville il doit le retrouver à l’aide de son sens de l’orientation et peut faire appel à un GPS qui lui indiquera la direction à suivre.*



FIGURE 6.4 – Exemple de labyrinthe simple où le joueur, représenté par un taxi, peut faire appel à une aide ponctuelle sonore et graphique (étoiles) exprimant la direction à suivre pour atteindre la sortie, le client. Le chemin est calculé à partir d’un algorithme à base de fourmis artificielles présenté dans le chapitre précédent.

6.2.1.3 La fermière et les lapins

Et enfin, le troisième type de labyrinthe proposé intègre la notion d’objets sonores à ramasser avant de pouvoir rejoindre la sortie. Le scénario est le suivant et une capture d’écran est proposée figure 6.5.

Gameplay 4 (Troisième labyrinthe : La fermière et les lapins) *Les lapins d’une fermière se sont échappés dans son jardin. Aidez la à les récupérer et à trouver la sortie du jardin.*

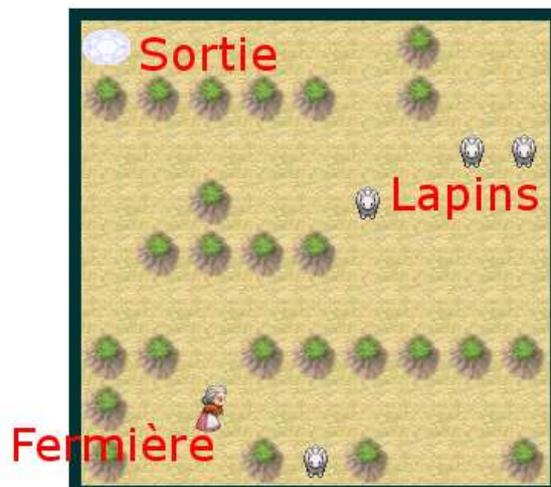


FIGURE 6.5 – Exemple de labyrinthe sonore où le joueur, une fermière, doit récupérer des objets, des lapins, avant de sortir du labyrinthe, un jardin. Un son est associé à la sortie du labyrinthe et à chacun des objets.

Différentes sources sonores sont donc présentes dans le jeu (la sortie et les lapins). Chaque type de source est associé à un son particulier. Le joueur peut s’il le souhaite activer/désactiver



chacun des sons de manière à épurer le rendu sonore. Le son lié à la sortie est joué de manière périodique avec pour indication la direction à suivre pour l’atteindre (calcul du chemin). Les sons associés aux lapins ne sont pas joués de manière globale. Le son d’un lapin ne sera audible que si le personnage passe à proximité de ce dernier. En effet, dans le cas où les sons associés à tous les lapins seraient joués de manière globale, une perte significative de la compréhension de la représentation sonore émerge. On utilisera par conséquent une fenêtre de sons audibles, de largeur paramétrable, centrée sur le personnage.

Une étude sur les différents modes de déplacement a également été menée. En effet, deux modes de déplacement sont possibles. Le premier consiste, à l’aide des flèches multidirectionnelles, à assurer un déplacement haut, bas, gauche, droite et dans lequel aucune notion d’orientation n’est nécessaire. Le second se base sur un déplacement avant, arrière à l’aide des flèches haut et bas et ceci en fonction de la direction courante. Le changement de direction et donc le pivot du personnage sur lui même est assuré à l’aide des flèches droite et gauche (Cf. figure 6.6).

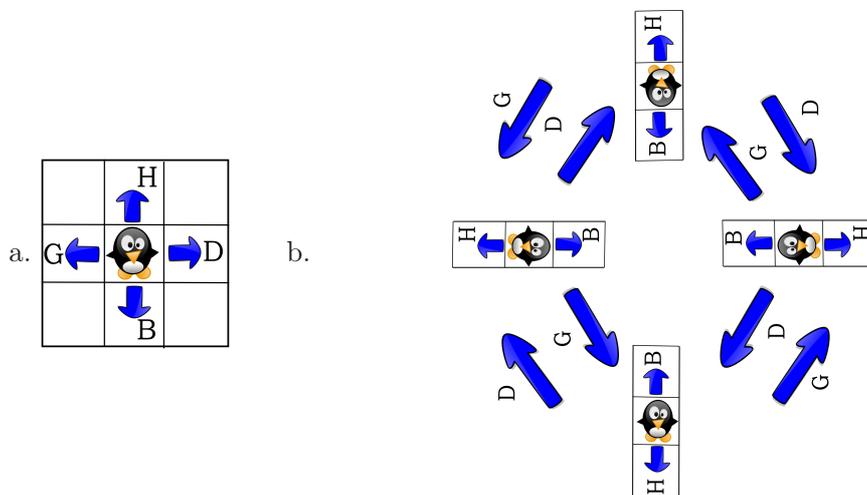


FIGURE 6.6 – Illustration des différents modes de déplacement proposés : a. le mode multidirectionnel - b. le mode avant, arrière, pivot (les lettres H, B, G, D correspondent respectivement à une demande d’action vers le Haut, le Bas, la Gauche et la Droite)

De manière générale, la seconde méthode est nettement plus appréciée des utilisateurs. Plus proche du mécanisme réel de déplacement, puisqu’elle intègre la notion d’orientation, cette méthode est plus facile à prendre en main. De plus, de nombreux utilisateurs, non habitués aux jeux audio, éprouvent certaines difficultés à faire la distinction entre avant et arrière, alors que la distinction gauche/droite se fait parfaitement. Cette seconde méthode permet de pallier très facilement cette difficulté : une simple rotation permet de déterminer sans aucune ambiguïté la position de la source sonore puisque celle ci se retrouve alors à droite ou à gauche du personnage.

6.2.1.4 Le Pong

Néanmoins, les jeux audio ne se limitent pas aux seuls labyrinthes. Il est possible de concevoir d’autres jeux tels qu’une version accessible du célèbre jeu de « Pong ». Ce second jeu présente l’intérêt de faire abstraction de la notion d’avant/arrière parfois difficile à appréhender. En revanche, il soulève la difficulté liée à la présence de sources sonores en mouvement : la balle.

La seule transcription de la position de la balle n’est plus possible. Il est nécessaire de

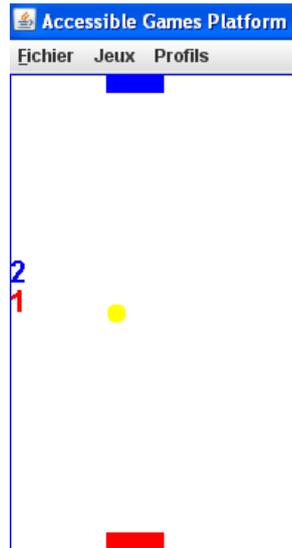


FIGURE 6.7 – Capture d’écran du jeu Pong accessible. Le joueur se situe en bas et l’ordinateur contrôle l’adversaire situé en haut

pouvoir faire la distinction entre le son d’une balle retournée à l’adversaire ou arrivant sur le joueur. Pour ce faire, nous associons un effet Doppler² à la balle. Ainsi, le joueur est en mesure de discriminer les variations de distances entre la source sonore et son personnage. Il peut ainsi savoir si la source s’éloigne ou se rapproche de lui.

6.2.1.5 Le jeu de combat aérien : FlightFight

Enfin, le troisième type de jeux conçu à pour objectif de gérer les niveaux de priorités des différents sons du jeu. Le jeu est un jeu de combat aérien simple dont le scénario est le suivant :

Gameplay 5 (Jeu de combat aérien : FlightFight) *L’avion avance dans le ciel dont le décor défile en permanence à l’écran. Le joueur peut diriger le vaisseau sur les côtés mais vers l’avant et l’arrière (modification ponctuelle de la vitesse de l’avion). L’avion est équipé d’un canon lui permettant de détruire les avions ennemis également dotés de missiles. Les ennemis n’ont pas la liberté de déplacement du joueur, il faut donc que le joueur se place sur le même abscisse pour les détruire. Le joueur doit également faire attention de ne pas heurter les murs (paroi d’un canyon par exemple) ou autres obstacles (missiles des ennemis) présents dans l’espace aérien.*

Ce scénario plus complexe souligne la quantité de sons devant être émis pour représenter un tel jeu pourtant relativement simple. De nombreux sons sont nécessaires, comme le montre le tableau 6.1.

Il est donc important de mettre en place un mécanisme de gestion des priorités permettant de souligner l’importance d’un objet particulier dans la représentation courante. Ainsi, la compréhension de la représentation sonore est plus rapide et les dangers pris en compte plus vite.

Prenons les trois exemples donnés figure 6.9.

2. L’effet Doppler est le décalage de fréquence d’une onde acoustique entre la mesure à l’émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l’émetteur et le récepteur est variable. Cette variation étant liée au mouvement de la source sonore ou du récepteur.

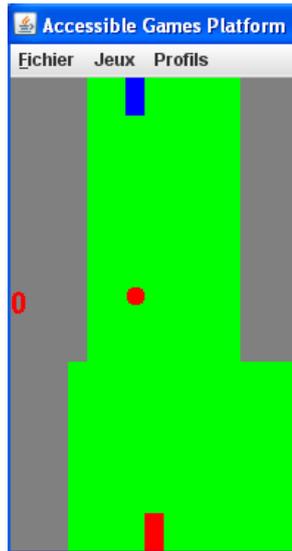


FIGURE 6.8 – Capture d’écran du jeu « FlightFight » accessible

Description	Spatialisation
Son émis en début de partie pour indiquer que le vaisseau décolle et que la mission débute	non
Son d’ambiance qui permet au joueur de se sentir immergé dans le vaisseau (facultatif)	non
Son représentant les vaisseaux ennemis	oui
Son représentant les missiles du joueur	oui
Son représentant les missiles des ennemis	oui
Son exprimant la destruction d’un ennemi	oui
Son permettant au joueur de connaître la position relative de l’avion par rapport aux dangers (mur, obstacle, etc.)	oui
Son émis en fin de partie victoire ou défaite	non

TABLE 6.1 – Liste des sons nécessaires pour le jeu « FlightFight »

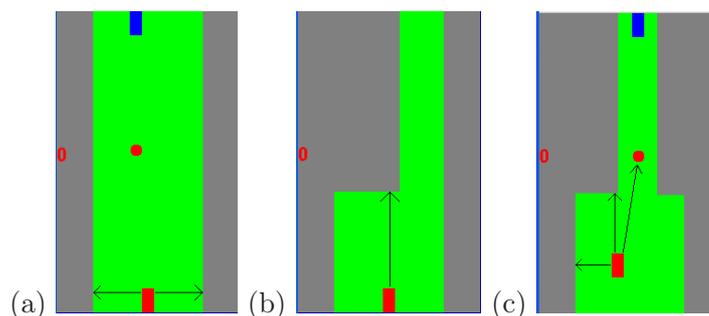


FIGURE 6.9 – Différents cas de figures dans le cadre du jeu « FlightFight » accessible

La première figure 6.9.a représente le cas le plus simple du jeu où l’avion piloté par le joueur (carré bleu en haut) et face à un ennemi (carré rouge en bas). Il doit donc le détruire en tirant un missile (boule rouge au centre). Dans ce cas, les dangers proviennent des murs qui entourent le joueur. Un son sera alors joué pour indiquer au joueur les distances relatives par rapport aux deux murs. Ce son indique la position centrale de la route à suivre. Le son de



la balle sera également émit pour indiquer au joueur qu'il s'agit bien de son missile et l'effet Doppler permettra la représentation de son éloignement progressif.

La seconde figure 6.9.b illustre les problèmes de rétrécissement de l'espace aérien. Il est alors nécessaire d'indiquer au joueur l'arrivée du danger. Pour cela un décalage concernant le son du chemin à suivre sera spatialisé.

Et enfin, la troisième figure 6.9.c représente le cas encore plus complexe dans lequel le rétrécissement s'effectue de chaque côté de l'espace aérien. Dans ce cas, un décalage concernant le son du chemin à suivre sera également spatialisé. À ce son sera également ajouté celui du missile du joueur. Dans ce cas, les dangers étant prépondérants par rapport au bruit du missile, l'intensité sonore associée à ce dernier sera alors réduite.

6.2.2 Les synthèses vocales

Le second aspect des jeux audio est la mise en place d'une synthèse vocale permettant au joueur de se déplacer dans le menu du jeu. Outre l'aspect libre et gratuit, notre choix d'une synthèse vocale s'est confronté au problème de la transcription des jeux dans différentes langues. En effet, comme nous l'avons présenté dans le chapitre 3.6.3.1, la qualité d'une synthèse vocale dépend du découpage en phonèmes du texte proposé auxquels est appliqué une prosodie. Or ce découpage et cette prosodie varient en fonction de la langue considérée.

Étant donnée les qualités variables des synthèses vocales FreeTTS et SI-VOX en fonction de la langue et notre besoin de créer des jeux multi langues, nous avons décidé de conserver ces deux synthèses dans nos applications. La synthèse SI-VOX sera utilisée dans les versions françaises de nos applications tandis que la synthèse FreeTTS sera utilisée pour les versions anglophones (ou autres). Bien sur cette utilisation conjointe est totalement transparente pour l'utilisateur.

Malgré une complexification du développement, la conservation de ces deux synthèses vocales permet d'améliorer la qualité des jeux français qui représentent, dans un premier temps, le principal public visé. Même si les performances de la synthèse FreeTTS sont supérieures (vitesse d'exécution des étapes de pré-traitement et de phonétisation du texte), la quantité d'informations textuelles devant être transcrite dans un jeu reste limitée : menu, consignes, etc. De plus ces informations sont en majorité constantes. Or, la synthèse SI-VOX offre la possibilité de charger des fichiers de phonèmes à la place d'un texte à transcrire. Il est ainsi possible d'alléger le mécanisme de transcription braille en faisant abstraction des informations constantes du jeu.

Mais l'utilisation de deux synthèses vocales distinctes permet également d'éprouver notre structure multimodale. En effet, cette structure doit permettre l'ajout simplifié de nouvelles interfaces d'entrée/sortie. En considérant, les différentes synthèses vocales comme des interfaces de sortie distinctes, on comprend l'intérêt de notre architecture.

6.2.3 Les jeux sur baladeurs multimédia

Depuis leur arrivée sur la marché, les baladeurs multimédia ont connu un véritable succès qui, malgré la concurrence des téléphones portables, ne cesse de croître (cf. figure 6.10). Encouragés par la croissance simultanée du téléchargement de fichiers musicaux sur Internet, l'amélioration des matériaux de stockage et des performances de leurs composants, ces lecteurs multimédia ont su se diversifier pour répondre de mieux en mieux aux besoins des utilisateurs.

Il existe aujourd'hui sur le marché de nombreux lecteurs portables de fichiers musicaux, plus communément appelés « clé MP3 » ou « baladeur numérique », dont le prix varie de 30 à plus de 300 euros. Même si les baladeurs dernière génération proposent en plus de la lecture de fichiers musicaux, la lecture de fichiers vidéo ou tout un ensemble de fonction-

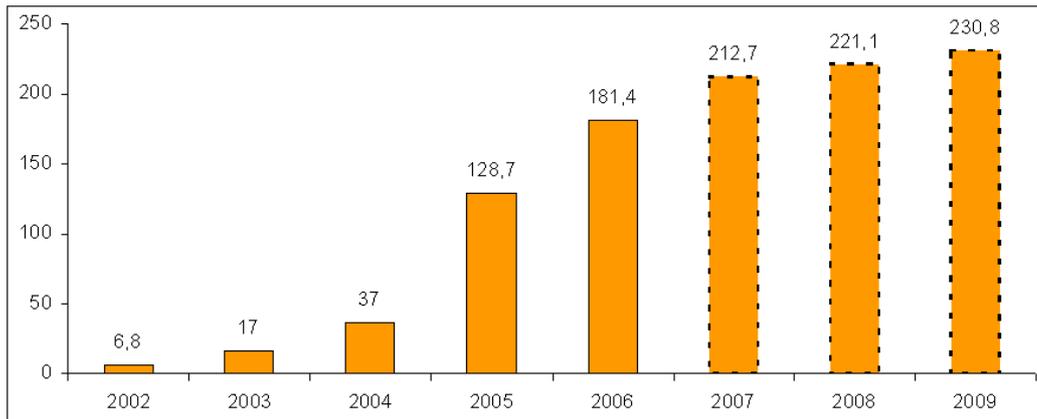


FIGURE 6.10 – Marché des baladeurs multimédia en millions d’unités (iSuppli, 2006)

nalités supplémentaires, tous ces lecteurs sont munis des mêmes éléments caractéristiques : un écran (pouvant afficher quelques caractères alphanumériques ou de véritables vidéo), plusieurs boutons de contrôle, une quantité conséquente d’espace de stockage mémoire, la capacité de restituer du son, et bien souvent la capacité d’en acquérir via un microphone incorporé. Ainsi, théoriquement et selon J. PERRET, depuis 1955, bien que miniatures, ces périphériques peuvent être vus comme des ordinateurs à part entière. En effet, ils réunissent dans un même appareil : de la mémoire, une unité de calcul programmable (décompression de fichiers sonores, gestion de l’écran) et une interface de communication avec l’utilisateur (écran, boutons). Ces lecteurs portables de fichiers sonores sont équipés de manière à pouvoir être utilisés en tant que terminaux ou console de jeux, et plus particulièrement de jeux audio pour personnes en situation de déficience visuelle.

6.2.3.1 Les baladeurs numériques et les micrologiciels alternatifs

Avant de pouvoir ajouter des applications et des fonctionnalités à ces équipements, il est nécessaire de changer le micrologiciel initialement livré avec le lecteur. Ainsi, plusieurs projets de remplacement des micrologiciels initiaux, ont vu le jour. Dans le cadre de nos travaux d’intégration de jeux audio accessibles sur ce type de lecteurs, nous avons décidé de nous baser sur l’un de ces micrologiciels plutôt que de re-concevoir l’intégralité du système. Une étude préalable des différents candidats a été nécessaire.

Les puces S1MP3 Les puces S1MP3 sont des puces bon marché équipant la quasi totalité des lecteurs MP3 que l’on trouve à moins 45 euros dans le commerce en France. Les lecteurs fabriqués à partir de ces puces étant relativement communs, et le micrologiciel intégré dans les lecteurs d’une qualité relative, les désirs de pouvoir reprogrammer ces lecteurs se sont vite catalysés autour du projet « muS1C PoD » hébergé sur le site <http://www.s1mp3.org/> (cf. exemple de lecteur équipé de puce S1MP3 - figure 6.11 - et leur spécifications générales - table 6.2).

Nom	Ecran	CPU	RAM	Stockage
S1MP3	128x96	Z80 8bits	2Mo	Flash
-	1bit	24 MHz		128MO-2Go

TABLE 6.2 – Spécifications génériques des lecteurs S1MP3



FIGURE 6.11 – Exemple de lecteur équipé de puce S1MP3

Ce projet, d'initiative allemande, propose un micrologiciel alternatif³ et libre offrant plus de fonctionnalités que les micrologiciels propriétaires d'origine (support pour plus de formats musicaux, meilleure restitution du son, plus grande stabilité, ainsi qu'une meilleure ergonomie). Toutefois, même avec un logiciel embarqué de meilleure qualité, ces lecteurs posent d'importants problèmes de fiabilité.

Malgré l'intérêt du faible coût des équipements nécessaires et le fait que ce type d'équipements soit à l'origine de notre projet, les problèmes de robustesse et de fiabilité restent prépondérants. C'est pourquoi nous avons décidé d'exclure ce candidat de notre projet.

iPodLinux Le second candidat est le projet « iPodLinux ». Les iPods d'Apple sont les baladeurs multimédia les plus répandus à travers le monde et s'imposent comme le standard des lecteurs multimédia (les iPod représentent en Europe en 2007, 27,4% des parts de marché - enquête GFK). Performants, esthétiques, robustes et variés (lecteur à disque dur ou à mémoire flash ; avec ou sans écran ; audio ou multimédia), ils disposent d'un important support technique. Néanmoins, le micrologiciel initial ne supportant également pas le développement d'applications tiers, il reste nécessaire de le modifier afin de concevoir de nouvelles applications. Le projet « iPodLinux » a justement pour objectif d'implanter un noyau μ CLinux sur les iPods.



FIGURE 6.12 – Logo du projet iPodLinux (Extrait du site officiel)

Malheureusement, Apple s'opposant à l'installation de logiciels tiers sur sa plateforme, l'intégralité des travaux menés s'est fait à base de rétro-conception et en contact direct avec les constructeurs des différents composants. Les mises à jour restent laborieuses et le fonctionnement de la plateforme « iPodLinux » est fortement lié à la génération du baladeur. Finalement, afin d'arrêter ces développements contre leur gré, Apple a décidé de chiffrer le micrologiciel embarqué des dernières générations d'iPods.

Malgré les capacités prometteuses de ce micrologiciel alternatif, la pérennité du projet ne pouvant être assurée, cette solution a également été écartée de notre projet.

Rockbox Le troisième candidat est le projet « Rockbox » dont l'objectif est la mise en place d'un système d'exploitation pour baladeurs numériques au sens large du terme c'est-à-dire multi-constructeurs (iRiver, iPod, Archos, iAudio, Toshiba, SanDisk) et multi-modèles. Le projet a débuté en 2002 afin de résoudre les limitations du micrologiciel livré avec le baladeur Archos Studio. Ce système d'exploitation alternatif est devenu une plateforme extensible et

3. L'intégralité du travail se partage les licences : BSD License, GNU General Public License (GPL) et GNU Library or Lesser General Public License (LGPL)



Génération (G)	Date de sortie	Support
1G	octobre 2001	Intégral
2G	juillet 2002	Intégral
3G	avril 2003	Intégral
iPod Mini 1G	janvier 2004	Partiel
4G (Photo)	juillet 2004	Partiel
iPod Mini 2G	février 2005	Partiel
iPod Nano 1G	septembre 2005	Partiel
5G (Video) < 80Go	octobre 2005	Partiel
5G (Video) \geq 80Go	septembre 2006	Aucun
iPod Nano 2G	septembre 2006	Aucun

TABLE 6.3 – Chronologie des iPods et leur support par iPodLinux

flexible proposant une architecture avec greffons permettant d'ajouter des fonctionnalités ou des applications supplémentaires aux baladeurs numériques supportés.



FIGURE 6.13 – Logo du projet Rockbox (Extrait du site officiel)

Le nombre des lecteurs compatibles avec le système « Rockbox » ne cesse d'augmenter. Parmi eux, différentes générations sont disponibles ce qui conduit à un vaste panel de prix et de technologies (cf. table 6.4).

De plus, le projet « Rockbox » est un projet libre⁴ et ouvert. Le site web du projet est un « Wiki »⁵ muni d'un système de gestion de bugs, patches, demandes d'amélioration, ... Les membres du projet peuvent ainsi le faire évoluer efficacement.

La flexibilité du système est assurée grâce à un mécanisme de greffons⁶ permettant d'ajouter des fonctionnalités par le biais d'applications supplémentaires non intégrées au système initial. Parmi ces fonctionnalités, on retrouve des fonctionnalités concernant l'utilisation des lecteurs (tests de performance, recherche de fichiers, ajout de raccourcis, ...), des outils (agenda, calculatrice, ...) mais aussi des jeux (Doom, Démineur, Solitaire, Pong, etc. - cf. figure 6.14)⁷.

Néanmoins, ces jeux restent des jeux basés sur l'exploitation de l'affichage graphique dont disposent les différents lecteurs. La qualité d'affichage du jeu dépend du lecteur utilisé pour jouer sachant que ces qualités sont très variables. Certains d'entre eux étant initialement prévus pour visualiser des photos, des vidéos, proposent un affichage couleur avec une haute résolution (modèles récents) tandis que d'autres disposent uniquement d'un écran noir et blanc à faible résolution (modèles plus anciens). Le greffon permettant d'ajouter une version du célèbre jeu « Doom » d'« id-software » va même jusqu'à intégrer une version portable et libre du moteur de rendu graphique du jeu initial (PrBoom version 2.2.6).

4. Licence GNU GPL

5. Définition Wikipédia : « Un wiki est un système de gestion de contenu de site Web qui rend les pages Web librement et également modifiables par tous les visiteurs autorisés »

6. Plus connu sous le terme anglais de « plug-in »

7. La liste des greffons est disponible à l'adresse <http://www.rockbox.org/twiki/bin/view/Main/PluginIndex>



Nom	Ecran	CPU	RAM	Batterie	Stockage
Archos Recorder	112x64 2 bits	SH7034 12MHz	2Mo	2200mAh 12h	DD 6-25Go
Archos OndioSP	112x64 2 bits	SH7034 12MHz	2Mo	3xAAA 10h	Flash 128Mo
iRiver H1x0	128x160 2 bits	MCF5249 140Mhz	16Mo 32Mo	1700mAh 12h	DD 10-40Go
iRiver H3x0	220x176 16 bits	SCF5249 140Mhz	16Mo 32Mo	1700mAh 12h	DD 30-40Go
iRiver H10	128x160 18 bits	PP5020 2x75MHz	16Mo 32Mo	1550mAh 11h	DD 1-20Go
iPod Video5.5	320x240 16 bits	PP5021 2x80MHz	32Mo 256Mo	450mAh 14h	DD 30-80Go
iPod Nano 1G	176x132 16 bits	PP5021 2x80MHz	4Mo 32Mo	330mAh 12h	Flash 1-4Go
iAudio X5	128x160 18 bits	SCF5250 120Mhz	16Mo	950mAh 12h	DD 20-40Go
Toshiba GigabeatX	240x320 18 bits	S3C 296Mhz	32Mo	830mAh 16h	DD 10-60Go
SanDisk SansaE2xx	176x220 16 bits	PP5024 2x100Mhz	16Mo	750mAh 13h	Flash 2-8Go

TABLE 6.4 – Comparaison des technologies embarquées dans quelques lecteurs supportés par Rockbox

Acronymes

SH	Première architecture équipant les anciens modèles Archos
MCF	Motorola ColdFire (architecture RISC)
SCF	Seconde generation de Motorola ColdFire
PP	Portal Player - Microprocesseur éponyme (NVIDIA depuis 2006) équipé de 2 coeurs ARM7
S3C	Microprocesseur S3C2440A de Samsung
DD	Disque Dur

Les jeux proposés ne sont, par conséquent, pas accessibles aux personnes déficientes visuelles (non voyants mais aussi malvoyants du fait des faibles résolutions des écrans). Bien que ces équipements soient les candidats idéaux pour accueillir des jeux audio, par définition accessible aux personnes en situation de déficience visuelle, cette capacité n'est aujourd'hui pas exploitée. C'est pourquoi, riches de notre expérience sur l'accessibilité aux jeux vidéo, et plus particulièrement l'accès des personnes en situation de déficience visuelle [SMSA06a][SMSA06b; PAMS06], nous avons choisi d'exploiter les capacités de ces équipements pour créer des jeux accessibles. De plus, l'existence de jeux, même non accessibles, et les nombreuses requêtes utilisateurs, présentes sur le site, pour la conception de nouveaux, montrent l'intérêt des utilisateurs pour ce type de greffons. Il est donc important qu'une partie de ces jeux soit rendue accessible aux personnes en situation de handicap afin que tous puissent y accéder. La conception de jeux audio se présentent à la fois comme une solution permettant d'accroître l'accessibilité mais également comme une nouvelle expérience de jeux pour l'ensemble des joueurs.

Et enfin, il est important de souligner le fait que le projet « Rockbox » compte déjà parmi

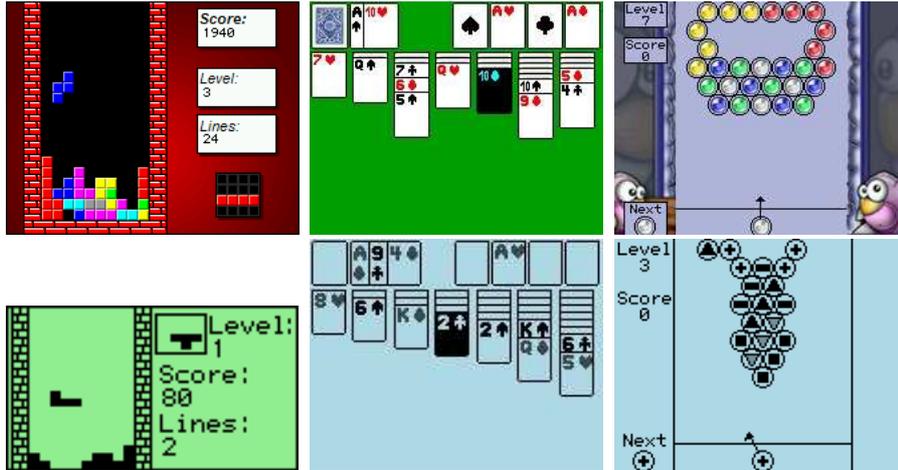


FIGURE 6.14 – Captures d'écran de différents jeux disponibles sur Rockbox sur différents équipements (couleur ou non, haute ou basse résolution) - extrait du site « Rockbox »

ses utilisateurs (voir même ses membres) des personnes mal ou non voyantes. En effet, les membres du projet prenant en compte les requêtes utilisateurs déposés sur leur site, différentes requêtes associées à la déficience visuelle ont été traitées. Ainsi, le système propose, par exemple, d'ores et déjà un mécanisme de vocalisation des menus (disponibles dans différentes langues). Le site web propose des informations destinées à l'installation et à l'utilisation du système par des utilisateurs non voyants. Et de nouvelles requêtes utilisateurs sont en cours de traitement pour encore améliorer l'accessibilité du système (signal du niveau de batterie, ...).

Finalement, le système « Rockbox » se présente comme étant le candidat idéal à notre projet de conception de jeux audio sur baladeur numérique.

6.2.3.2 Les jeux audio accessibles et le système Rockbox

Dans le cadre de la conception de jeux audio sur le système « Rockbox », nous avons décidé dans un premier temps de reprendre un jeu, bien connu de tous, dont une version non accessible est déjà disponible (utilisable et utilisée par les utilisateurs voyants) : le jeu de « Sudoku ». Afin de rendre accessible ce jeu, nous nous sommes basés sur l'observation de versions audio existantes sur PC⁸ reconnues dans la communauté des joueurs déficients visuels⁹ et sur le dialogue auprès d'utilisateurs déficients visuels.

Le choix de re-développer l'un des jeux les plus populaires du système, et dont il existe déjà des versions accessibles sur d'autres plateformes, présente plusieurs avantages. D'une part, l'aspect ludique, la popularité et le succès du jeu n'étant plus à faire, seuls les aspects interface et accessibilité sont à prendre en compte. D'autre part, étant donnée la popularité du jeu auprès des utilisateurs voyants de « Rockbox », la mise en place d'une version accessible permet de les alerter sur la faisabilité de jeux accessibles « grand public ». Ainsi, une telle démarche participe, à son niveau, à la prise de conscience collective autour de l'accessibilité des jeux vidéo.

Les spécifications issues de notre étude et permettant de rendre accessible un tel jeu sont les suivantes :

8. Les versions audio existantes disponibles sur le site AudioGames.net sont les jeux « SudoSan » et « Soun-Doku » où le joueur joue respectivement avec des chiffres (version classique du jeu) et des notes de musique

9. Conclusion extraite de la participation à la liste de diffusion JeuAccess regroupant une communauté de joueurs déficients visuels

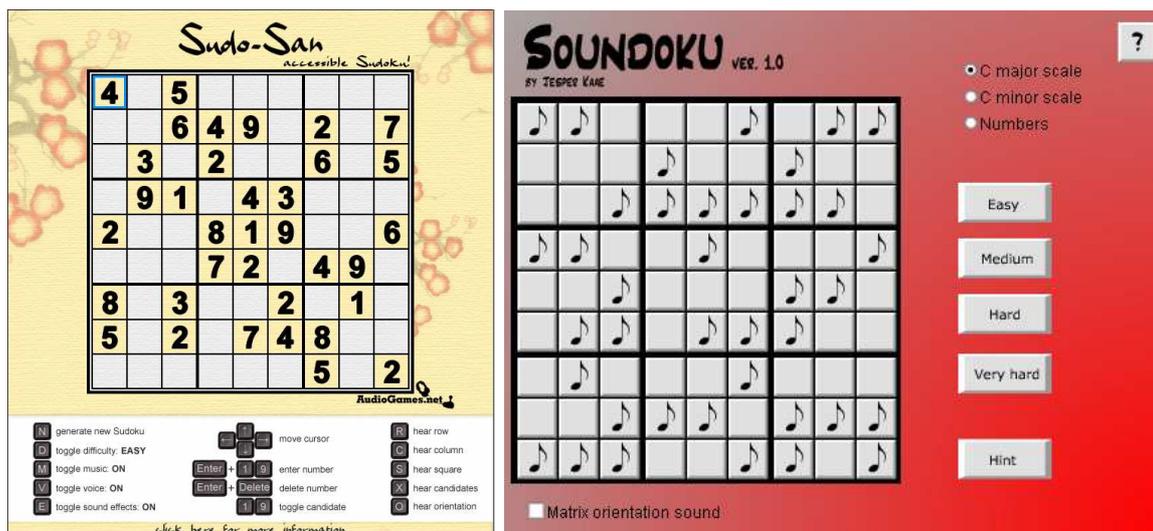


FIGURE 6.15 – Capture d’écran des jeux Sudosan et Soundoku, deux versions accessibles du jeu de sudoku disponibles sur PC (extraits des sites officiels)

- la lecture du contenu de la case de destination à chaque déplacement (un bip est émis si la case est vide) ;
- la lecture des valeurs de la case courante à chaque changement de valeur ;
- l’annonce d’un conflit si le joueur tente de remplir une case avec une valeur « interdite » ;
- la lecture complète d’une ligne, d’une colonne ou d’une région (sur demande du joueur) ;
- l’énoncé des valeurs manquantes dans une ligne, une colonne ou une région (sur demande du joueur) ;
- la lecture d’une liste de valeurs possibles définie par le joueur pour une case donnée (sur demande du joueur) ;

À partir de ces spécifications et de la version existante du jeu, une nouvelle version accessible a été conçue. Elle met en œuvre les principes de la multi-modalité en proposant aux joueurs différentes interfaces graphiques et/ou sonores (de manière conjointes ou indépendantes). En effet, un affichage graphique est conservé, d’une part, pour créer un jeu utilisable par tous (déficients visuels ou non) et ainsi accroître le partage entre les joueurs [GSS05]. D’autre part, la déficience visuelle n’est pas synonyme de non voyance. Un système de zoom a été mis en place pour les personnes mal voyantes : affichage de quatre régions plutôt que des neuf habituelles (une zone pour la région courante, une pour la ligne courante, une pour la colonne courante et une pour la liste de valeurs possibles). Bien sûr, ce système de zoom reste très limité du fait des faibles dimensions de l’écran mais il peut néanmoins être intéressant en tant qu’aide ponctuelle pour les personnes malvoyantes. Les différentes représentations proposées sont redondantes et équivalentes au sens des propriétés CARE (Complémentarité, Assignation, Redondance et Équivalence) proposés par J. COUTAZ ET L. NIGAY dans [CN93].

Afin d’accroître l’accessibilité, la gestion des problèmes de niveau est traitée. Les grilles de jeu initiales étant triées par niveau de difficulté, il est possible de choisir le niveau de jeu. Une version réduite du jeu (quatre régions de quatre cases au lieu des neuf de neuf cases) est également proposée.

Il est aussi possible de personnaliser l’univers du jeu à la manière du jeu « SounDoku » qui propose un univers musical (les chiffres étant remplacés par les notes de la gamme). Par exemple, une version animalière est fournie. Elle permet de faciliter l’explication du jeu et le rend plus ludique pour des enfants. A noter qu’un tel système (image et version réduite) est

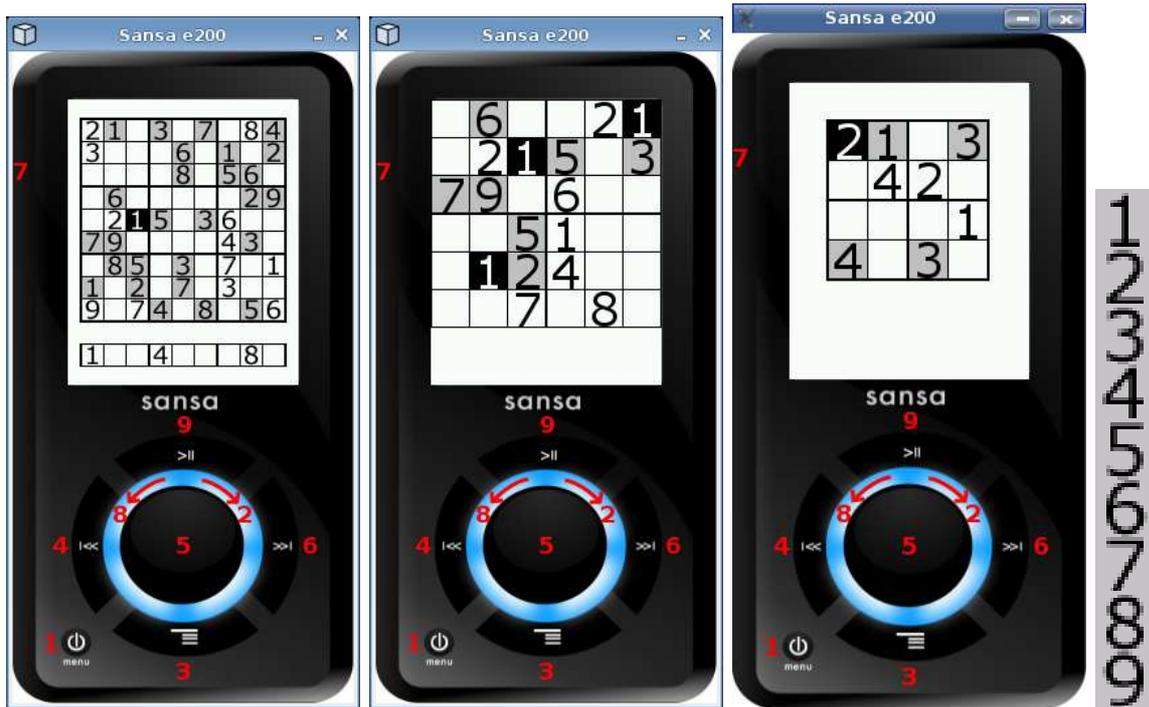


FIGURE 6.16 – Captures d’écran du jeu de Sudoku accessible : SudoKid sur un lecteur SansaE200 (version standard - version zoomée - version enfant)

aujourd’hui régulièrement utilisée dans les écoles maternelles et primaires.



FIGURE 6.17 – Captures d’écran du jeu de Sudoku animalier accessible : SudoKid sur un lecteur SansaE200 (version standard - version zoomée - version enfant)



Pour faciliter le développement et pouvoir tester les greffons sur différentes plateformes, le système « Rockbox » propose des simulateurs pour bon nombre des lecteurs qu'il supporte. Ainsi, nous avons pu tester notre greffon sur différents lecteurs cibles. De plus, ces simulateurs présentent l'avantage de pouvoir, dans un premier temps, faire abstraction des éventuels problèmes d'interaction liés à l'utilisation des commandes du lecteur. Une fois ces tests sur simulateurs terminés, nous avons, à partir des spécifications techniques (cf table 6.4), du prix et de la facilité d'utilisation des commandes, fait le choix d'acquérir un lecteur de marque SanDisk modèle SANSA E250 (le même que celui proposé sur les figures 6.16 et 6.17). Ce modèle propose 9 actions possibles numérotées sur les différentes captures d'écran. Celles utiles pour le jeu étant les déplacements haut, bas, gauche et droite puis il est possible de faire défiler les chiffres (ou animaux) à l'aide de la molette. Les dimensions réelles du lecteur étant de 89x44x13 mm avec un écran de 1,8" (4,5cm) pour un poids de 75g (à partir de 70 euros dans le commerce).

La seconde étape des tests étant bien sûr de proposer un lecteur réel préalablement configuré et sur lequel le jeu a préalablement été lancé. L'objectif de cette étape étant de valider la jouabilité du jeu et des représentations proposées.

La troisième et dernière étape consiste à proposer au joueur un lecteur réel préalablement configuré en le laissant naviguer dans le système et lancer le jeu de manière autonome. Cette dernière étape vise à valider l'accessibilité du système dans sa globalité en tant que plateforme de jeux accessibles et non plus uniquement l'accessibilité d'un jeu en particulier.

La population ayant effectuée ces tests se compose de personnes non voyantes (un adulte), malvoyantes (deux adultes) et voyantes (cinq adultes et trois enfants de niveau CP, CE1, CM1). De manière générale, cette nouvelle plateforme rencontre un véritable succès tant au niveau de l'utilisation du lecteur que du jeu en lui-même. Tous les adultes et les enfants, quelques soient leurs capacités visuelles et leur connaissance préalable du jeu, sont parvenus à jouer rapidement (entre 5 et 20 minutes de prise en main du lecteur et de la représentation du jeu ainsi que pour la résolution de la première grille 9x9 pour les adultes et 4x4 pour les enfants). Le mode simplifié (4 régions de 4 cases) a montré tout son intérêt en tant que tutoriel du jeu que ce soit auprès des adultes ou des enfants, tout comme la version animalière qui facilite nettement l'explication du jeu auprès des enfants. L'utilisation du système « Rockbox » pour le lancement du jeu s'est également bien passée bien qu'un peu plus difficile avec les enfants pour lesquels la manipulation du lecteur avait tendance à attirer toute leur attention et rendait plus difficile leur concentration.

Le succès de ce premier jeu et l'accueil de ce projet, tant par les personnes déficientes visuelles que les personnes voyantes désireuses de découvrir de nouvelles manière de jouer, semblent très prometteurs.

6.2.3.3 Extensions des jeux audio accessibles sur baladeur multimédia

Les baladeurs multimédia représentent une formidable alternative aux consoles de jeux portables, accessibles aux personnes en situation de handicap visuel. En effet, ils proposent un support adapté à la conception de jeux audio accessibles.

Néanmoins, la mise en place de telles applications sur ce type d'équipements nécessite que les lecteurs cibles autorisent leur ajout au sein de leur système. Or, actuellement, les micrologiciels initiaux commercialisés avec ces lecteurs ne l'acceptent pas. Par conséquent, il est nécessaire de les remplacer par un système alternatif le permettant comme le système « Rockbox ». A partir de ce micrologiciel alternatif des jeux audio accessibles ont pu être conçus et testés. Les résultats sont prometteurs et ceci auprès de tous les publics.

La large portée de ce type de jeux possède de multiples intérêts. En effet, outre la mise à disposition de jeux accessibles pour les personnes en situation de handicap, ce nouveau



média peut jouer un rôle certain quant à l'information du « grand public » sur l'existence des jeux accessibles. En effet, bien que l'intégration des critères d'accessibilité par l'industrie des jeux vidéo passe nécessairement par une prise de conscience collective des utilisateurs, la communication autour de cette partie si particulière de l'univers des jeux reste très limitée.

Le jeu du « Sudoku » est une première étape de l'élaboration de notre plateforme de jeux audio et de nouveaux jeux sont en cours de conception (version des jeux de labyrinthe sonore et de combats aériens). Des travaux, notamment sur l'intégration de mécanismes de spatialisation du son, sont également menés de manière à offrir la possibilité de concevoir des jeux plus élaborés. Mais les fonctionnalités supplémentaires pouvant être intégrées sur ce support ne se limitent pas qu'aux jeux. En effet, il est également possible d'envisager la conception d'une bibliothèque de livres audio voir même de documents textes (document officiel, itinéraire, ...) après l'intégration d'une synthèse vocale.

Finalement, les lecteurs multimédia proposent un support technologique portable, peu onéreux et pouvant être utilisé pour différentes tâches (loisirs numériques ou autres) de la vie courante des personnes en situation de handicap. Un support particulièrement intéressant étant trouvé, il est désormais nécessaire de se focaliser sur les interfaces associées, et notamment les interfaces audio de jeux comme le souligne SAVARY dans [SAV01].

6.3 Les jeux vidéo tactiles

Bien que la modalité audio reste la modalité la plus utilisée pour rendre accessible un jeu aux personnes en situation de handicap visuel, l'évolution des technologies propose de nouvelles modalités comme les modalités haptiques et tactiles.

Étant données les capacités des jeux vidéo en tant que support pédagogique, il nous semblait pertinent d'utiliser ce type d'interface pour concevoir des jeux tactiles pouvant servir de support pédagogique à l'apprentissage du braille (reconnaissance de caractères, développement du toucher, etc.). Nous avons donc décidé de développer des jeux sur terminaux braille éphémères.

Ce type de développement soulève un problème majeur de l'accessibilité : la compatibilité. En effet, nos applications se doivent d'être compatibles avec différentes plateformes (système d'exploitation, machine) mais également différents matériels (terminaux braille).

6.3.1 Les jeux sur terminal braille

Afin d'assurer la communication entre le PC et le terminal, nous avons choisi d'utiliser la librairie Libbraille. Cette librairie offre d'importantes capacités de personnalisation des transcriptions braille, permet de faire abstraction du matériel connecté et garantit une certaine compatibilité. Une fois la technologie définie, il est nécessaire de choisir un mode de représentation d'un jeu sur un terminal braille. En effet, les capacités de transcription sur un terminal braille sont limitées (nombre limité de cellules braille et nombre limité de picots par cellule). Il est donc important de préciser ce mode de transcription.

Cette transcription dépend fondamentalement du type de jeu proposé. Dans le cadre de jeux à base de texte ou de jeux à base de mathématiques, la transcription braille alphanumérique classique peut être utilisée. Au contraire, elle joue alors pleinement son rôle dans le cadre d'un support pédagogique pour l'apprentissage du braille. Mais les jeux pouvant être transcrits de cette manière restent très limités (jeux de questions/réponses, jeu du pendu, etc.). Il est donc nécessaire de définir d'autres modes de transcription dans le cadre de jeux multi-dimensionnels qui sont aujourd'hui les plus courants.

Par conséquent nous nous sommes intéressés à la transcription d'un jeu où le personnage évolue dans un univers à deux dimensions. Les différents jeux développés sont des jeux basés



sur le déplacement, selon quatre directions, d'un personnage dans une grille. Une grille peut être vue comme un ensemble de secteurs où chaque secteur est dans un état donné (vide, obstacle, personnage,...). Le nombre d'états possibles est limité et dépend du jeu considéré.

La principale difficulté liée au développement de tels jeux est de concevoir la représentation braille du jeu sur le terminal. Pour cela il est nécessaire de représenter l'environnement 2D de la grille initiale sur la ligne braille qui peut être considérée comme un environnement 1D. De plus, la ligne braille possède une longueur limitée. La quantité d'informations pouvant être transcrites simultanément est restreinte. Bien que cette information soit primordiale pour adapter au mieux la représentation braille, il est très difficile de connaître la manière dont le lecteur braille reconstruit l'espace.

6.3.1.1 La représentation simple d'un jeu de labyrinthe sur un terminal braille

Afin de représenter la grille du jeu sur le terminal, il est nécessaire, dans un premier temps, de déterminer les différents états pouvant être pris par les secteurs de la grille et leur faire correspondre une configuration particulière de picots. Dans le cas de ce jeu, sept états sont utiles (Vide, Personnage, Obstacle, Ennemi, Objet, Sortie, Hors Jeu) et les configurations de picots associées sont données figure 6.18.

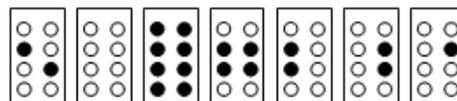


FIGURE 6.18 – Configurations de picots associées aux états du Labyrinthe : Personnage, Vide, Hors Jeu, Obstacle, Ennemi, Objet, Sortie.

Dans ce mode de représentation simple, chaque état est représenté sur une cellule braille.

L'ensemble de la grille ne pouvant être représentée dans son ensemble faute de place, il est nécessaire de définir la zone (ensemble de secteurs) qui le sera. Pour cela, une fenêtre centrée sur le personnage est choisie. Elle peut prendre différentes formes (*Cf.* figure 6.19) comme une fenêtre 3x3, la ligne ou la colonne courante du personnage ou même une alternance ligne, colonne courante du personnage en fonction de sa direction.

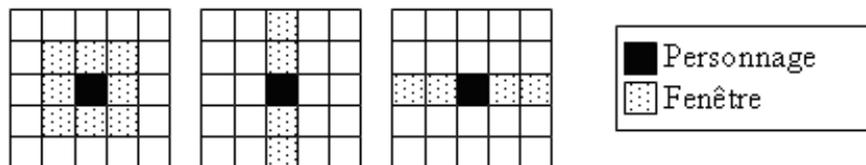


FIGURE 6.19 – Différentes fenêtres utilisées pour l'extraction des secteurs à représenter.

Enfin, il est nécessaire de définir une méthode de parcours de cette fenêtre, c'est-à-dire une méthode de parcours des secteurs qu'elle contient, afin de déterminer la manière dont sera construite la ligne braille correspondante. Dans le cas de la ligne ou de la colonne courante du personnage, le parcours de la fenêtre est trivial, puisque cette dernière n'a qu'une seule dimension. Le choix de cette méthode est nettement plus important dans le cas où, comme pour la fenêtre 3x3, la fenêtre comporte deux dimensions. Si l'on considère la fenêtre 3x3 numérotée comme sur la figure 6.20, on peut définir plusieurs méthodes de parcours.

La première est une méthode linéaire qui consiste à concaténer les différentes lignes de la fenêtre comme le présente la figure 6.21.

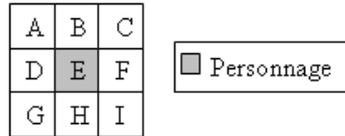


FIGURE 6.20 – Fenêtre 3x3 centrée sur le personnage.

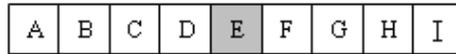


FIGURE 6.21 – Représentation linéaire par concaténation de la fenêtre 3x3 centrée sur le personnage.

La seconde est une méthode cyclique qui consiste à parcourir la fenêtre 3x3 en décrivant un cercle autour du personnage. Ce cercle pourra prendre ou non en compte la direction courante du personnage et débutera à partir du point gauche du côté associé à la direction du personnage. On obtiendra alors des représentations similaires à la figure 6.22.

Cette seconde méthode faisant intervenir la direction courante du personnage, on constatera que plusieurs modes de déplacement sont disponibles : un mode multidirectionnel où le déplacement est conditionné par la touche saisie et un mode « avant, arrière, pivot » où les flèches haut et bas permettent respectivement d’avancer et de reculer tandis que les flèches gauche et droite permettent de pivoter.

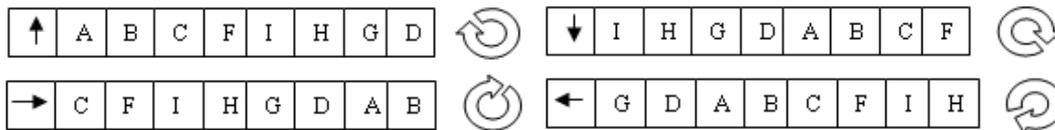


FIGURE 6.22 – Représentation cyclique de la fenêtre 3x3 centrée sur le personnage.

La troisième méthode est issue directement de l’observation de lecteurs braille. Tout d’abord, il est nécessaire d’apporter quelques indications sur la lecture braille. En effet, si un lecteur braille lit un texte en parcourant la ligne de gauche à droite (ou de droite à gauche en fonction de la langue) comme le ferait un lecteur classique, la perception d’un environnement 2D et donc son parcours est différent. Tandis que le lecteur classique jouit d’une vue globale immédiate de l’environnement, le lecteur braille doit le parcourir progressivement afin de le reconstruire. Pour cela, il procède de la manière suivante : après avoir placé ses deux index sur les picots situés au centre de la ligne braille, ils les glissent simultanément vers les extrémités de la ligne (Cf. figure 6.23).

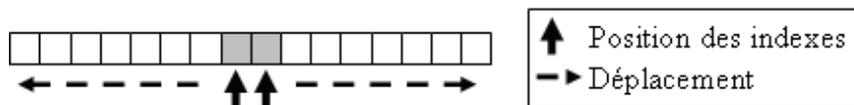


FIGURE 6.23 – Mécanisme de lecture sur le terminal braille issu d’observations de personnes déficientes visuelles.

Bien que ce mécanisme ne puisse être considéré comme universel, la méthode suivante peut en être extraite : la position du personnage est exprimée indirectement dans la ligne braille par la représentation des secteurs situés devant et derrière le personnage et ceci au centre



de la ligne. Puis de chaque coté de ces éléments, on retrouvera la représentation des deux colonnes situées à la gauche et à la droite du personnage. On obtient alors la représentation finale donnée en figure 6.24.

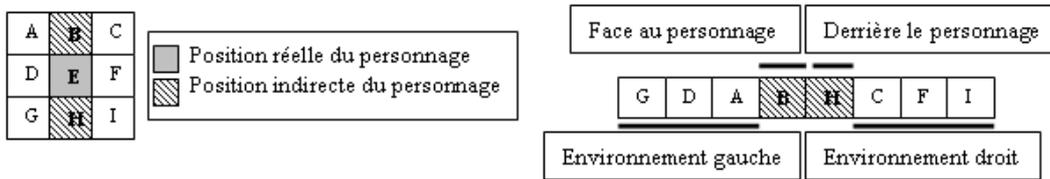


FIGURE 6.24 – Représentation issue de l’observation du mécanisme de lecture sur le terminal braille.

Cette liste de représentations est bien sûr non exhaustive et de nouvelles peuvent être proposées.

6.3.1.2 La représentation enrichie d’un jeu de labyrinthe sur un terminal braille

Dans ces premières représentations, chaque état est associé à une configuration de huit picots tenant donc sur une cellule braille. Cependant, étant donnée la quantité limitée d’informations pouvant être traduites simultanément sur le terminal braille, la représentation doit être optimisée de manière à traduire un maximum d’informations.

Dans le cas de ce jeu de Labyrinthe, les secteurs de la grille de jeu peuvent être dans sept états différents. Il est donc possible de créer des configurations de picots ne tenant que sur trois picots ($2^3 = 8$). Afin de faciliter la position des configurations sur la cellule braille, nous avons choisi d’utiliser des configurations de quatre picots (Cf. figure 6.25).

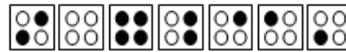


FIGURE 6.25 – Configurations de picots associées aux états du Labyrinthe : Personnage, Vide, Hors Jeu, Obstacle, Ennemi, Objet, Sortie.

Ainsi quatre picots sont libérés pour représenter ce que l’on appellera l’enrichissement c’est-à-dire la représentation de secteurs n’appartenant pas à la fenêtre initialement choisie. Afin d’illustrer l’utilisation de cet enrichissement, nous étudierons la représentation en ligne mais un mécanisme similaire pourra être mis en place pour chaque représentation.

Dans le cas de la représentation en ligne, le joueur ne connaît que la ligne courante du personnage. Cette connaissance est très limitée pour permettre un déplacement sans risque et efficace au sein de la grille du jeu. Une solution est de représenter, par le biais de l’enrichissement, les lignes supérieures et inférieures à la ligne courante du personnage afin d’obtenir une fenêtre de trois lignes et autant de colonnes que de cellules disponibles sur le terminal (Cf. figure 6.26).

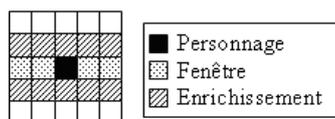


FIGURE 6.26 – Enrichissement de la représentation en ligne.

Cependant, seuls quatre picots sont disponibles pour traduire l’enrichissement. Il est donc impossible d’utiliser les mêmes configurations de picots pour la représentation des éléments de



la ligne courante du personnage (c'est-à-dire de la fenêtre initiale) et pour celle des éléments de l'enrichissement. Pour la représentation de ces derniers, il est possible de considérer qu'une perte de précision est acceptable étant donné qu'initialement les secteurs sont suffisamment éloignés du personnage pour ne pas être prises en compte dans la fenêtre choisie. On regroupera alors les différents états en classe d'états et on associera des configurations de deux picots à chacune de ces classes (Cf. figure 6.27).



FIGURE 6.27 – Configurations de deux picots associées aux classes d'états : Classe 1 : Vide - Classe 2 (Bloquant) : Hors Jeu, Obstacle - Classe 3 (Intéressant) : Objet, Sortie - Classe 4 (Danger) : Ennemi

Chaque cellule braille est alors structurée comme sur la figure 6.28 avec les quatre picots centraux permettant de représenter les secteurs de la ligne courante du personnage et les deux picots supérieurs (inférieurs), la ligne supérieure (inférieure) à la ligne courante du personnage.

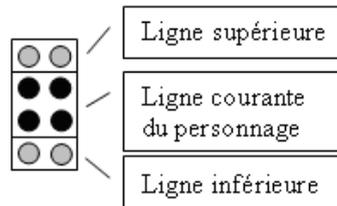


FIGURE 6.28 – Structure d'une cellule braille dans le cas de la représentation enrichie.

L'utilisation d'un tel système (réduction du nombre de picots associés à chacun des états, détermination d'un enrichissement, classification des états pour réduire le nombre de picots nécessaire à l'enrichissement) reste valide quelque soit la représentation initiale choisie et permet de l'enrichir avec des informations supplémentaires.

Prenons l'exemple de la représentation enrichie de la ligne courante du personnage. L'interface graphique de jeu et la transcription braille correspondante sont proposées figures 6.29 et 6.30.

Nos jeux disposent, en plus de l'interface tactile, d'une interface graphique. Si l'antagonisme tactile graphique dans le cadre de la déficience visuelle peut surprendre, il est important de garder à l'esprit que la présence d'une interface graphique reste indispensable et ceci pour plusieurs raisons :

1. il est possible de concevoir des adaptations de l'interface graphique permettant de rendre accessible cet affichage visuel aux malvoyants
2. mais surtout, la notion d'accessibilité repose sur la mise à disposition pour tous d'un univers commun des jeux vidéo. Il est donc important que les jeux tactiles disposent d'une interface graphique afin de permettre aux familles, amis, éducateurs, etc. de partager un même loisir : le jeu.

Ces interfaces graphiques sont similaires pour tous les jeux proposés de manière à faciliter leur prise en main. Elles disposent d'une zone contenant la grille complète ou partielle du jeu, les informations liées au jeu (points, nombre de vies restantes, etc.) et enfin une zone dans laquelle une représentation graphique de la ligne braille est proposée. Cette ligne est strictement identique à l'affichage sur le terminal mais elle est agrémentée de couleurs différenciant les différents objets du jeu. L'affichage simultané de la transcription et la discrimination par

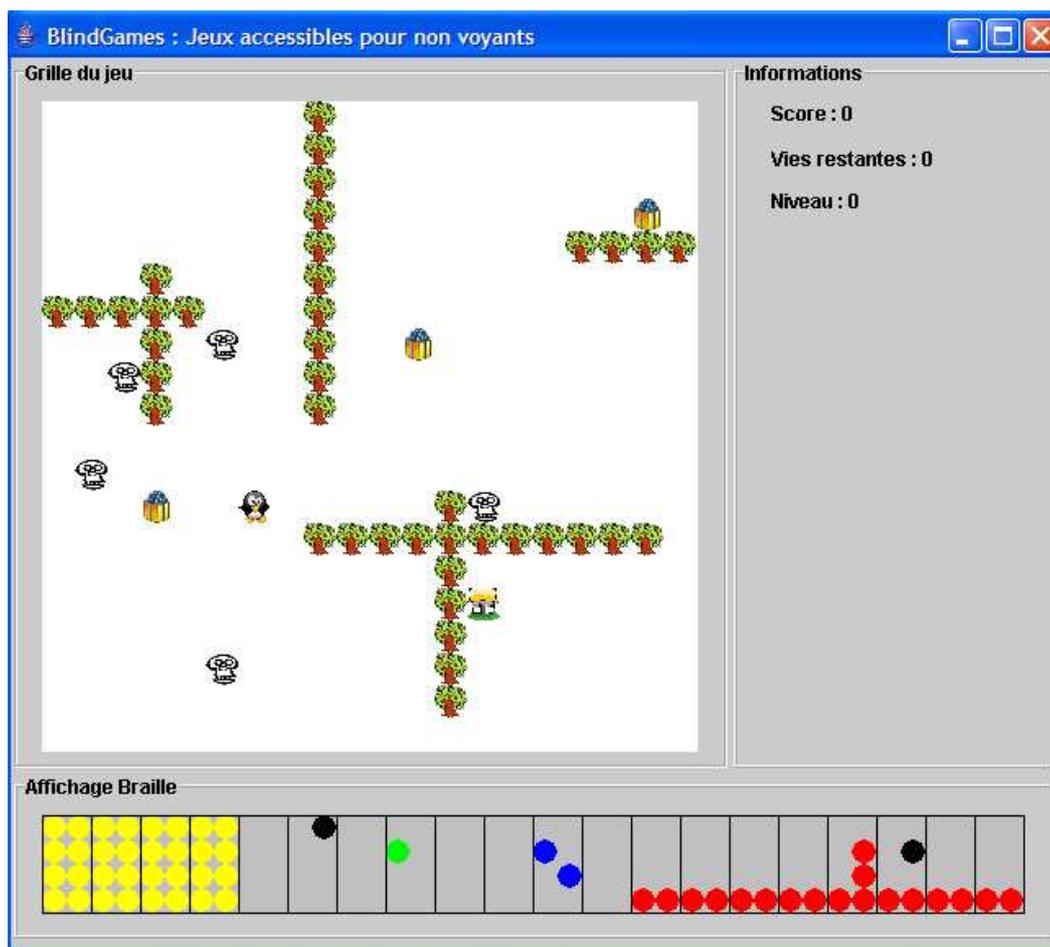
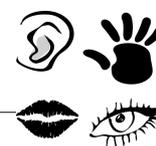


FIGURE 6.29 – Capture d’écran du jeu de Labyrinthe et transcription braille correspondante.

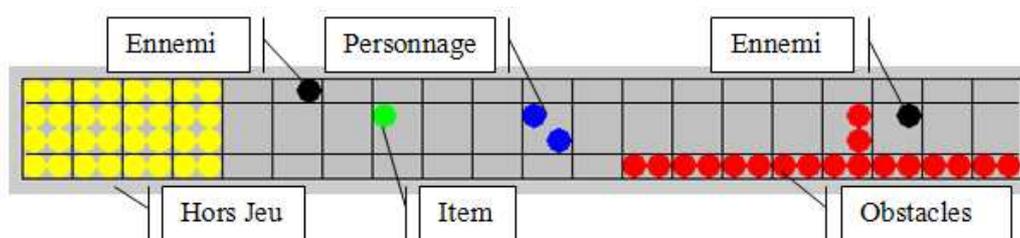


FIGURE 6.30 – Détails de la transcription braille du jeu de labyrinthe.

la couleur des éléments du jeu permettent à l’entourage du joueur d’avoir facilement accès à ce que « voit » le joueur. De plus, d’un point de vue pratique, sans cette transcription graphique simultanée, l’entourage n’a pas accès à la transcription sur le terminal braille puisque celle-ci est masquée par les mains du joueur. Et enfin, l’ajout de couleur permet de faciliter l’explication aux voyants des mécanismes de transcription.

Dans le cas du jeu de labyrinthe, les différents objets pouvant être présents dans la grille sont représentés graphiquement à l’aide des images données figure 6.31.

Mais chaque objet est également associé à une couleur utilisée dans la représentation graphique de la transcription braille et pouvant être utilisé à la place des images.

Néanmoins, les évaluations réalisées ont souligné le besoin de personnalisation de cette



FIGURE 6.31 – Images associées aux différents objets du Labyrinthe : Personnage, Obstacle, Ennemi, Objet, Sortie.

transcription braille. En effet, des tests à l'aide d'un testeur régulier (plus de détails seront proposées en section 6.3.2) nous ont conduit à la modifier légèrement de manière à ajouter des cellules de séparation entre les différentes informations du jeu ; une information discriminante quant à la direction de la sortie du jeu, etc. Finalement la nouvelle transcription utilisée pour les tests et les démonstrations est donnée figure 6.32.

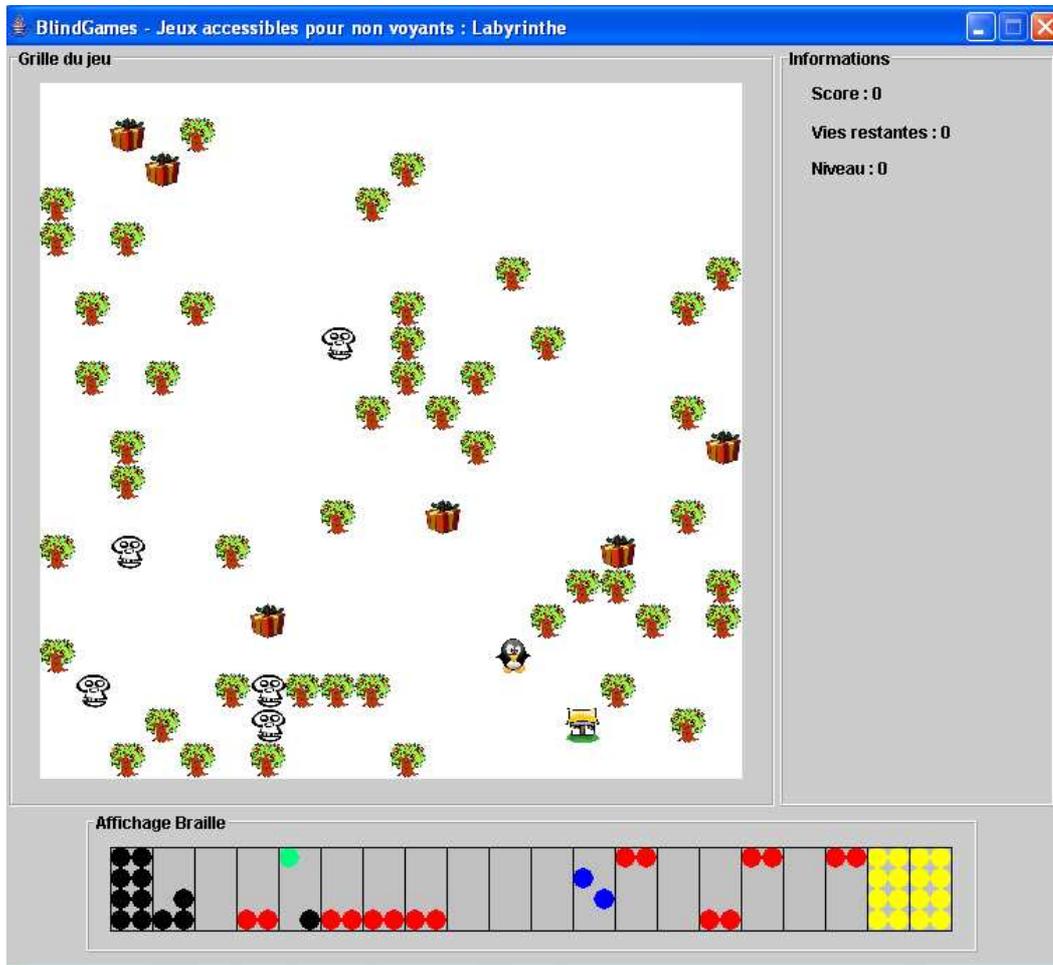


FIGURE 6.32 – Exemple de transcription braille après ajout supplémentaire de contraintes issues des tests du jeu auprès de personnes non voyantes.

La principale modification, outre le changement des configurations de picots pour les rendre plus facilement identifiables, repose sur les trois premières cellules de la ligne braille. En effet, la première cellule, une cellule pleine, permet au joueur d'identifier rapidement la hauteur des différentes lignes de picots. La seconde cellule indique la direction de la sortie. Et enfin la troisième cellule, une cellule vide permet de faire une séparation entre les cellule d'informations et les cellules de la représentation braille du jeu.



6.3.1.3 Extension de ces modes de transcription au jeu du serpent sur terminal braille

Comme dans le cadre des jeux audio, l'univers des jeux vidéo ne se limite pas aux jeux de labyrinthe. Nous avons donc proposé un second jeu : un jeu de serpent, similaire à celui que l'on peut trouver sur de nombreux téléphones mobiles.

Gameplay 6 (Le jeu du serpent) *Dans ce jeu, le joueur doit déplacer un serpent à l'intérieur d'un espace restreint, tout en cherchant des pommes et en les mangeant afin de marquer des points. Mais cette action accroît également la longueur du serpent. La fin du jeu est atteinte lorsque le serpent heurte un mur ou se mord la queue.*

Dans le cas du Serpent, le nombre d'états est restreint puisque seuls quatre états sont disponibles (Vide, Serpent, Pomme, Hors Jeu). Il est donc possible de n'utiliser que deux picots pour traduire les états (Cf. figure 6.33).



FIGURE 6.33 – Configurations de picots associées à chaque état : Vide - Serpent - Pomme - Hors Jeu.

À partir de cette observation, la fenêtre initiale choisie est une fenêtre de trois lignes centrées sur la tête du serpent (le nombre de colonnes dépendant du nombre de cellules du terminal braille). Une telle fenêtre permet de conserver deux picots afin d'assurer l'enrichissement de la représentation.

De la même manière que pour l'enrichissement du jeu du Labyrinthe, on souhaite représenter ici la ligne supérieure et la ligne inférieure de la fenêtre initiale. Ne disposant que de deux picots, chacune de ces lignes est associée à un picot et on utilisera la classification d'états suivante : picot sorti pour signaler un danger (Hors Jeu ou queue du serpent) ou picot rentré pour indiquer une place sûre (Vide ou Pomme) (Cf. figure 6.34).

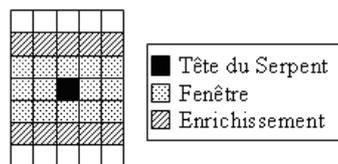


FIGURE 6.34 – Fenêtre initiale dans le cadre du jeu du Serpent.

On obtient alors une cellule braille où les trois premières lignes correspondent à la représentation de la fenêtre initiale et où le picot gauche de la quatrième ligne correspond à la ligne supérieure de la fenêtre et le picot de droite à la ligne inférieure (Cf. figure 6.35).

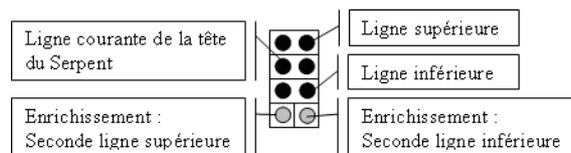


FIGURE 6.35 – Structure de la cellule braille.

Une capture d'écran du jeu et la transcription braille correspondante sont proposées figures 6.36 et 6.37.

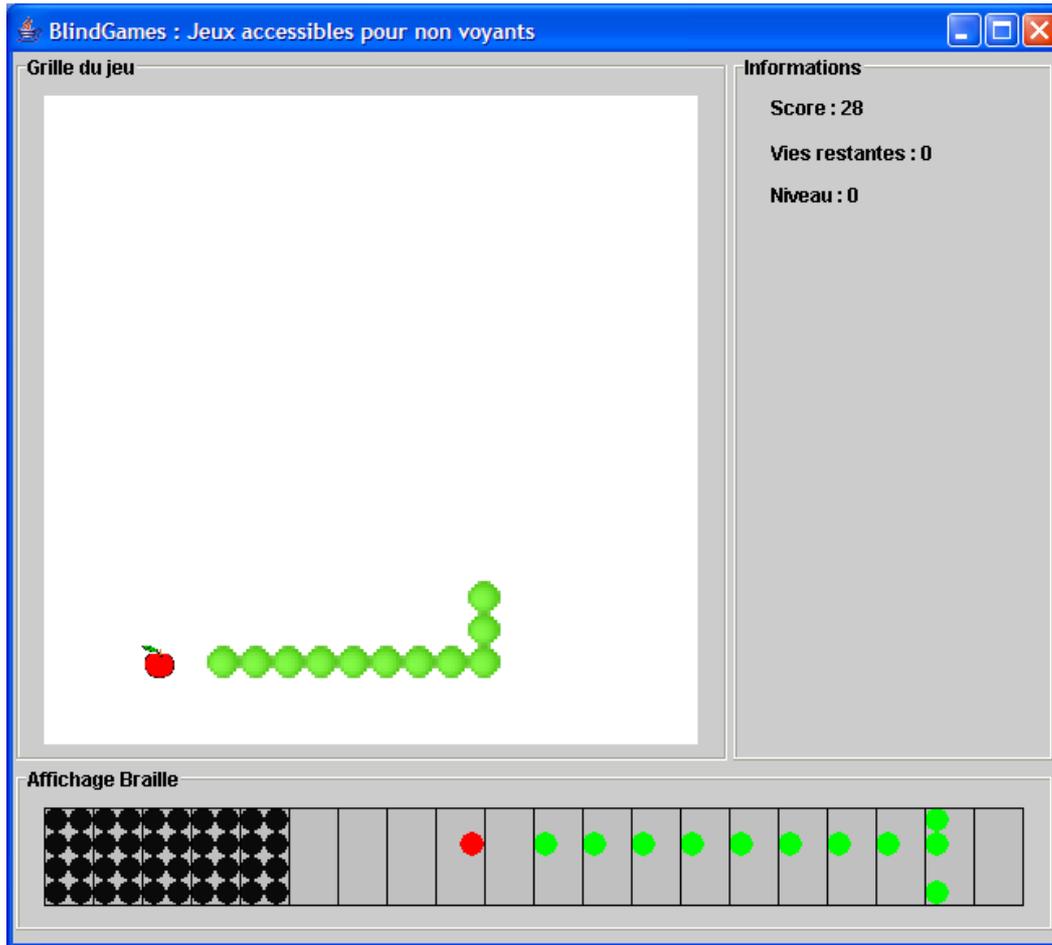


FIGURE 6.36 – Capture d’écran du jeu du serpent et transcription braille correspondante.

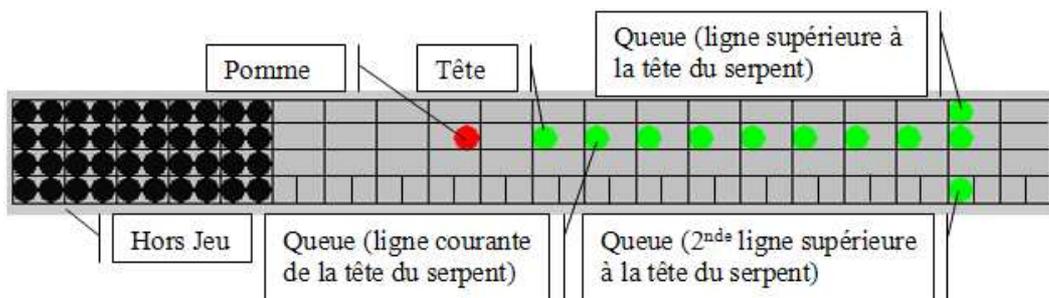


FIGURE 6.37 – Détails de la transcription braille du jeu du serpent.

Comme nous l’avons fait pour le jeu du labyrinthe, il est également possible d’enrichir encore cette transcription à l’aide d’informations discriminantes comme la position de la pomme par exemple.

6.3.1.4 Extension de ces modes de transcription à un jeu de Bataille navale sur terminal braille

Les transcriptions tactiles d’une grille 2D ne se limitent pas aux jeux liés aux déplacements d’un personnage au sein de cette grille. En effet, il est possible de concevoir des jeux basés



sur une grille 2D ne disposant pas de notion de personnage principal (bataille navale, morpion, puissance 4, etc.).

Afin de montrer l'extension possible de nos transcriptions braille à ce type de jeu nous avons conçu une version tactile du jeu de bataille navale. Une version accessible audio existe déjà et est disponible gratuitement¹⁰ (Cf. figure 6.38). Cette version audio est appréciée des utilisateurs déficients visuels. De plus, ce type de jeux est particulièrement intéressant car il peut être utilisé comme support pour l'étude des processus cognitifs de personnes non voyantes [SBHH03].

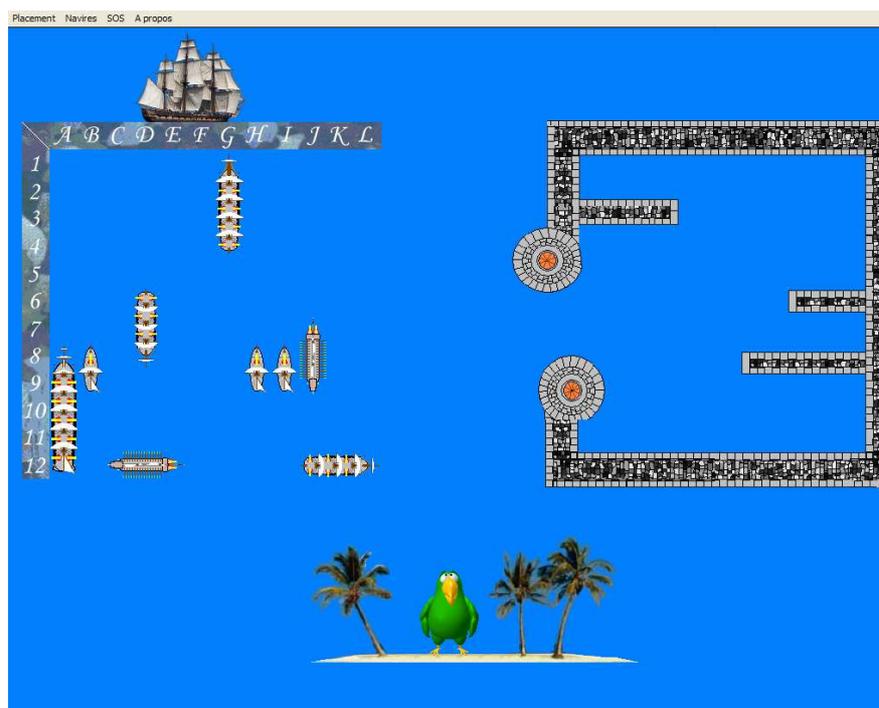


FIGURE 6.38 – Capture d'écran du jeu de bataille navale audio (2005) : le perroquet joue le rôle du compagnon personnifiant la synthèse vocale

Tout comme les jeux de labyrinthe et de serpent, ce jeu de bataille navale dispose d'une interface graphique simple basée sur un code de couleur : bleu pour un tir raté, rouge pour un tir réussi et noir pour donner la position du curseur (Cf. figure 6.39).

Comme précédemment nous travaillons avec une fenêtre centrée non plus sur le personnage mais sur le secteur actif. Cette fenêtre prend la forme de la ligne courante du secteur actif enrichie de la ligne supérieure et inférieure. Nous appliquons donc une transcription similaire à celle du jeu de labyrinthe (Cf. figure 6.28).

Dans ce jeu quatre états sont possibles pour chacun des secteurs considérés : tir raté, tir réussi, non tiré et coulé. Ces quatre états sont associés à la configuration de picots proposées figure 6.40 respectivement sur deux et quatre picots selon que le secteur considéré appartient à la ligne courante ou aux lignes supérieures et inférieures. Le cas particulier du secteur courant est assuré grâce à une combinaison de picots particulière associée à la combinaison de l'état du secteur courant (les deux picots supérieurs indiquent l'état de la zone de tir et les deux picots inférieurs jouent le rôle de curseur).

Une version accessible audio et braille (2007), conçue après nos travaux (2005-2006), est

10. BataillEO : http://plume.unadev.com/manuels-divers/Bataille_navale.php

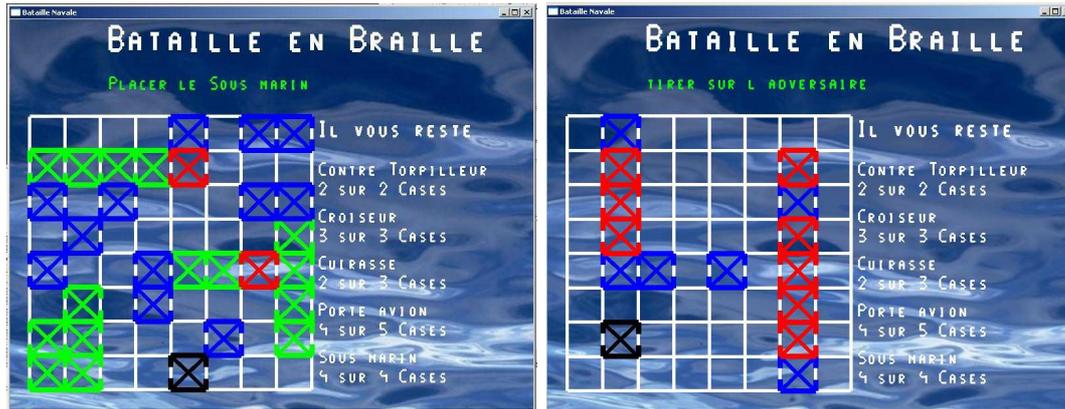


FIGURE 6.39 – Captures d’écran de notre jeu de bataille navale tactile (phase de placement des bateaux et phase de jeu).

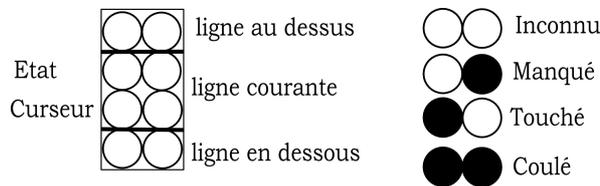


FIGURE 6.40 – Configuration de picots associée aux trois états possibles du jeu de bataille navale (tir raté, tir réussi, non tiré) et au secteur courant.

également disponible gratuitement sur internet ¹¹.

6.3.1.5 Extension de ces modes de transcription à un jeu de Pong sur terminal braille

Une version tactile du célèbre jeu de Pong a également été mise en œuvre. La transcription braille proposée se base sur les caractères alphanumériques et un système de curseur (*Cf.* figure 6.41).

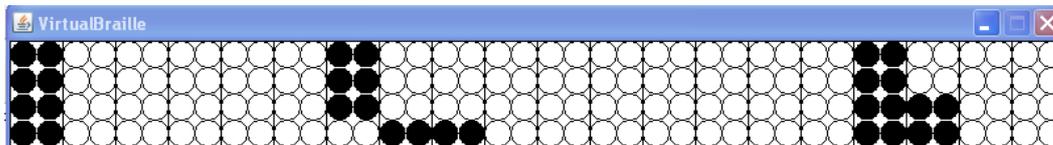


FIGURE 6.41 – Exemple de transcription braille dans le cadre du jeu de Pong.

Dans l’exemple de transcription proposée figure 6.41, les cellules pleines 0 et 16 représentent les extrémités du terrain. La position et la largeur de la raquette sont indiquées grâce à la mise en place d’un curseur sur les picots sept et huit des cellules brailles (*i.e.* la ligne de picots inférieure de chacune des cellules). La position de la balle est donnée à l’aide de la valeur alphanumérique correspondant à la distance entre la balle et la raquette si cette distance est comprise entre 0 et 9. Si la distance est supérieure à 9, la position de la balle sera indiquée par une cellule réduite (six picots supérieurs) pleine (comme dans cet exemple). Et enfin, le sens de la balle est donné à l’aide de la cellule d’information située position 17. Si

11. <http://pages.videotron.com/brltioui/>



les quatre picots supérieurs sont relevés alors la balle s'éloigne tandis que si les quatre picots inférieurs sont relevés, celle-ci se rapproche.

Cet exemple de transcription correspond à la capture d'écran proposée figure 6.7 dans le cadre des jeux audio.

La mise en œuvre de ces deux modalités pour un même jeu nous permet de mettre en avant le principe de la multi-modalité. En effet, leur utilisation peut se faire de manière disjointe ou conjointe. Les tests soulignent que l'utilisation conjointe des modalités tactiles et audio permet d'accroître les performances du joueur.

6.3.2 Évaluations de ces jeux tactiles

Malgré la faible quantité de jeux accessibles disponibles, la recherche de personnes non voyantes pour évaluer nos jeux et nos représentations a été une étape difficile de cette thèse. En effet, malgré nos recherches, et nos contacts avec des associations de déficients visuels aucune ne nous a permis de mener de manière pérenne des phases de tests.

Néanmoins, des tests ont pu être réalisés lors de manifestations publiques (conférences, journées DeViNT, Challenge Handicap et Nouvelles Technologies, salon H2A, fête de la science) et surtout grâce à la participation régulière de Marylène Jabely (personne aveugle rencontrée lors de la fête de la science à Tours) que nous tenons à remercier tout particulièrement.

Cependant, ces tests, souvent courts et peu répétitifs, ont permis de souligner le bon fonctionnement des jeux et la facilité de prise en main de ce type de transcriptions. En effet, ces manifestations ont été l'occasion de faire tester les jeux auprès de plus de quarante utilisateurs déficients visuels tardifs ou de naissance avec des niveaux de lecture braille variables. Tous ont réussi à jouer très rapidement au jeu du labyrinthe (durée de prise en main inférieure à 5min) à partir de la représentation en ligne enrichie et ceci malgré des conditions qui n'étaient pas toujours optimales (bruits environnants). Le protocole d'explication est fixé au préalable.

1. présentation du jeu : notre héros est perdu dans une forêt. Il doit retrouver le chemin le ramenant chez lui en évitant des ennemis et en ramassant les cadeaux qu'il trouvera sur son chemin ;
2. présentation théorique de la transcription braille : nous définissons une fenêtre centrée sur le personnage en insistant sur le fait que la position du personnage est fixe dans la transcription. Cette fenêtre correspond à la ligne courante du personnage ainsi qu'aux lignes inférieures et supérieures. La ligne courante du personnage est donnée sur les quatre picots centraux de la cellule braille. La ligne supérieure sur les deux picots haut de la cellule braille et la ligne inférieure sur les deux picots bas ;
3. présentation pratique des différentes configurations de picots et du principe de classes lié à la perte de précision nécessaire pour élargir la fenêtre ;
4. présentation pratique de l'information discriminante (position de la sortie) dans la transcription permettant de faciliter l'orientation ;
5. explication pratique par rapport à la grille proposée. Cette explication peut être reconduite si l'on sent que la personne a un doute sur sa position.

Ce protocole de présentation du jeu permet au joueur d'atteindre rapidement la sortie d'un jeu totalement nouveau. Puis, bien souvent à l'initiative du joueur, nous lui proposons une seconde (voir plusieurs) partie(s) sans aucune aide de notre part.

Il est important de noter que les personnes déficientes visuelles ayant testées les jeux étaient souvent accompagnées de personnes voyantes. L'explication du jeu et des représentations se déroulait donc simultanément sur le terminal braille et l'interface graphique. La présence de



l'interface graphique a presque systématiquement été approuvée par l'entourage cherchant à partager un même jeu vidéo (même simple). Et beaucoup d'entre eux ont émis le souhait d'une version multi joueurs du jeu.

De nombreuses personnes voyantes se sont également intéressées au jeu : des personnes n'ayant aucune connaissance du domaine de la déficience visuelle et s'étonnant de l'existence de tels jeux mais aussi des familles de personnes déficientes visuelles, des éducateurs, des professeurs de braille. L'hétérogénéité de cette population permet de souligner l'accueil favorable de ces jeux. Les éducateurs se sont montrés particulièrement intéressés par ce type d'applications de manière à proposer des activités ludiques aux enfants à partir de leur terminal braille. Et enfin, les professeurs de braille ont souligné l'intérêt de ces applications pour le développement du sens tactile et souhaitent, en revanche, compléter cet outil ludique à l'aide de jeux se concentrant plus sur les caractères alphanumériques : retrouver une lettre dans une ligne de symboles.

Les enfants voyants ont également été mis à contribution lors de ces tests. Après leur avoir expliqué l'objectif du jeu, le terminal braille et le mécanisme de transcription, nous leur proposons de jouer uniquement à l'aide de la représentation graphique de la transcription braille. Pour simplifier le jeu, un système de couleurs associées à chacun des objets est utilisé dans la représentation graphique des transcriptions braille. Une nouvelle fois la prise en main s'est trouvée être très rapide même auprès de jeunes enfants.

Finalement, si ce mécanisme de représentation d'un espace 2D sur un terminal braille a été validé par les différentes évaluations menées, le besoin de personnalisation des jeux et des transcriptions s'est fait ressentir notamment auprès des testeurs réguliers. En effet, ces derniers cherchent progressivement à optimiser la transcription braille en ajoutant des informations ou en réorganisant la transcription. Et enfin, de nombreuses propositions d'extension des jeux ou d'intégration de ce mécanisme dans des jeux existants ont été proposées. C'est pourquoi, les besoins d'outils d'aide à la conception de jeux accessibles et de personnalisation des jeux ont vite été exprimés.

6.4 Le besoin de personnalisation : Profil Utilisateur

L'un des besoins fondamentaux inhérent à l'accessibilité est le besoin de personnalisation. Il est nécessaire que le joueur puisse sélectionner la (ou les) modalité(s) qu'il souhaite utiliser, voire même personnaliser ces modalités (contrastes, détails de la synthèse vocale). C'est pourquoi nous préconisons la mise en place d'un profil utilisateur permettant à un joueur de définir un environnement de jeu qu'il pourra retrouver d'une partie à l'autre. Cette notion de profil utilisateur est également proposée par le HCI ICS-FORTH [GSS05; GSGS06].

6.4.1 La mise en œuvre des mécanismes de personnalisation dans une plateforme de jeux de cartes accessibles

Pour illustrer ce besoin de personnalisation et la mise en œuvre de ce profil utilisateur nous nous sommes basés sur la conception de jeux de cartes accessibles. Les jeux de cartes traditionnels (blackjack, poker) font partie des jeux de société intemporels pouvant facilement être rendus accessibles grâce à des cartes adaptées (transcription braille, taille adaptée, contraste renforcé). De plus, l'évolution des solutions informatiques et d'Internet, a permis de proposer des versions informatiques pour ces jeux. Cependant, très peu de ces solutions sont accessibles (Allinplay¹²).

12. http://allinplay.com/home_.html



Néanmoins, depuis quelques années de nouveaux jeux de cartes sont apparus. Ces jeux d'un nouveau genre ne font plus appel aux jeux de cartes traditionnels (32 ou 54 cartes) mais possèdent des cartes qui leur sont propres et des règles très particulières. De la même manière que l'évolution des interfaces graphiques a conduit à une perte d'accessibilité progressive des déficients visuels à l'univers des jeux vidéo, l'évolution de ces nouveaux jeux de cartes conduit à ce même constat.

Il est donc important de proposer une plateforme de jeux de cartes accessibles offrant des perspectives d'intégration à ces nouveaux types de jeux. La source d'accessibilité de cette plateforme est bien sûr la multimodalité. Par conséquent, nous proposons, en plus d'une interface graphique conviviale, une représentation audio du jeu (utilisation de synthèse vocale) ainsi qu'une représentation braille.

6.4.2 Le jeu de Black Jack

Le premier jeu de cette plateforme est un jeu de cartes traditionnel : le Black Jack. Les règles du jeu pourront être trouvées en annexes B.1.



FIGURE 6.42 – Capture d'écran du Black Jack.

L'objectif de ce premier jeu est d'éprouver notre architecture accessible multi joueurs (réseau local ou internet).

6.4.3 Le jeu Citadelles

Le second jeu de cette plateforme appartient à ce nouveau type de jeux de cartes faisant appel à des cartes propres et possédant des règles bien particulières : le jeu « Citadelles ».



Les règles du jeu pourront être trouvées en annexes B.2. A noter, l'accord du créateur du jeu, BRUNO FAIDUTTI, que nous tenions à remercier, pour l'exploitation du jeu et de ses images dans le cadre de ce travail de thèse.



FIGURE 6.43 – Capture d'écran du jeu Citadelles.

L'objectif de ce second jeu est de souligner l'extension de notre architecture à des jeux non traditionnels.

6.4.4 Les mécanismes de personnalisation

Outre l'aspect jeu de cartes, l'intérêt premier de cette plateforme est de mettre en place des mécanismes de personnalisation de jeux accessibles. Pour cela nous nous sommes basés sur un menu commun à l'ensemble des jeux de la plateforme (Cf. figure 6.44).

Chaque jeu débute par un menu permettant de créer ou rejoindre une partie sur un réseau local ou internet, de quitter le jeu, mais surtout de modifier les options de configuration de l'environnement du jeu (Cf. figure 6.44).

Ce menu permet de personnaliser l'environnement du jeu et se base sur sept entrées (Cf. figure 6.45) que nous allons détailler par la suite.

Gestion des profils : ce sous menu permet au joueur d'activer, de créer ou de supprimer des profils utilisateurs. Cette option est particulièrement importante dans le cas du partage d'un même poste entre plusieurs utilisateurs. Il permet notamment de sélectionner la langue à utiliser (et par conséquent la synthèse vocale Cf. section 3.6.3.1)(Cf. figure 6.46).

Gestion des textes et des sons : tous les objets présents dans l'interface graphique dis-



FIGURE 6.44 – Capture d’écran du menu du jeu Citadelles.



FIGURE 6.45 – Capture d’écran du menu d’options.

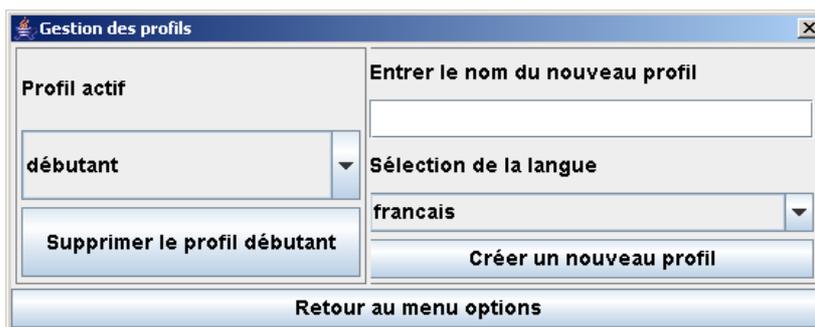


FIGURE 6.46 – Capture d’écran du sous menu de gestion des profils.

posent d’une entrée dans un fichier XML¹³ listant de manière exhaustive tous les éléments de l’application. A chacun de ces éléments est associé une description de l’objet, un son par défaut, et un texte alternatif utilisé pour la transcription braille. Si aucun son

13. Un fichier XML se présente sous la forme d’un fichier texte structuré. Il est donc très simple de parcourir et d’interpréter le résultat final à l’aide d’un simple éditeur de texte, outil bureautique accessible. La structure d’un fichier XML peut être définie à l’aide d’une DTD ou d’un schéma (la format retenu étant celui de la DTD). Ces règles de structure étant elles mêmes accessibles car elles aussi sont stockées sous la forme d’un fichier texte.



n'est disponible et que le son par défaut n'est pas précisé la synthèse vocale transcrit le texte alternatif utilisé pour la transcription braille. Ce fichier XML fait référence à la DTD donnée figure 6.53 et un extrait est proposé figure 6.54.

Pour un même élément différentes représentations braille ou audio sont proposées au joueur. Ce dernier fera son choix en fonction de sa connaissance du jeu et de la plateforme. On peut constater, notamment au niveau des textes alternatifs figure 6.54, que ces derniers sont de plus en plus courts et de moins en moins précis. Ce mécanisme permet d'obtenir un gain de temps considérable lors des parties mais implique une charge cognitive supplémentaire. Néanmoins, le gain de temps autorise un jeu plus fluide et donc plus agréable.

Lors de la configuration de son profil, le joueur accédera à ce listing des éléments, la description lui permettant d'identifier facilement l'objet concerné, et il pourra sélectionner le son et le texte voulu (*Cf.* figure 6.47).

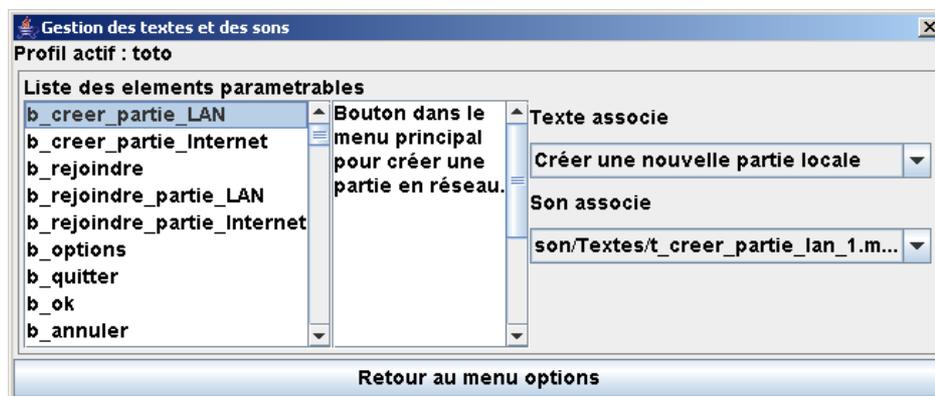


FIGURE 6.47 – Capture d'écran du sous menu de gestion des textes et des sons.

Finalement le profil du joueur est lui même contenu dans un fichier XML dans lequel est stocké le choix associé à chacun des éléments graphiques.

Gestion des raccourcis : l'utilisation d'un fichier XML de profil identifiant les choix portant sur chacun des éléments de l'interface graphique permet également la mise en place facile de raccourci utilisateur. Dans le souci de rendre toujours plus performantes les actions du joueur et d'accélérer les parties, un ensemble de raccourcis clavier ou braille peut être défini sur chacun des éléments actifs de l'interface.

L'interface de mise en place de ces raccourcis est proche de l'interface de gestion des textes et des sons. Chaque élément est identifié grâce à son identifiant mais surtout grâce à sa description (*Cf.* figure 6.48).

Gestion des cartes : toujours dans un souci d'accélérer le jeu, les sons et textes associés à chacune des cartes peut lui aussi être personnalisé à partir de ce fichier XML (il est plus rapide de lire « 7C » ou « sept cœur » que « sept de cœur »)(*Cf.* figure 6.49).

Gestion des paramètres braille : ce sous menu permet de gérer les préférences d'affichage sur le terminal braille (activation du défilement automatique, si oui vitesse de celui ci, etc.). Ce sous menu présente l'avantage de permettre d'adapter l'affichage sur le terminal braille au niveau de lecture braille du joueur (*Cf.* figure 6.50).

Gestion de l'interface graphique : l'accessibilité repose aussi sur l'adaptation de l'interface graphique pour les personnes malvoyantes. Il est possible de régler la taille et la police de caractères des textes, la couleur de fond et d'écriture des boutons, ainsi que la taille des cartes (*Cf.* figure 6.51).

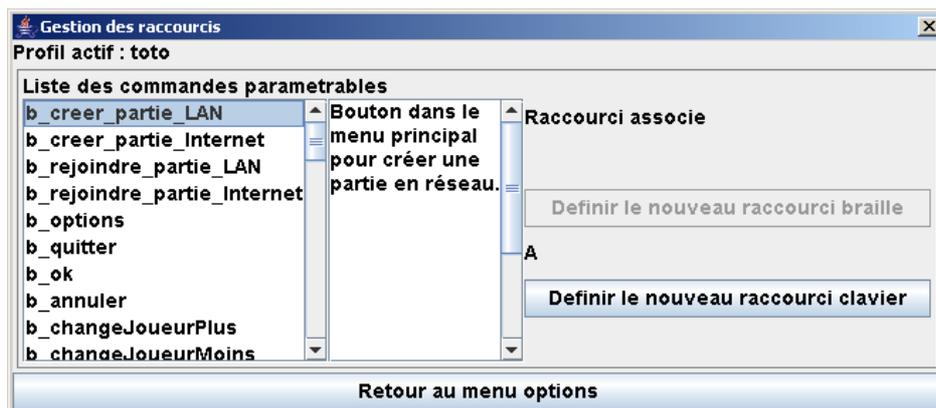
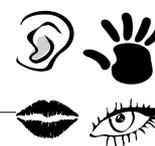


FIGURE 6.48 – Capture d’écran du sous menu de gestion des raccourcis.

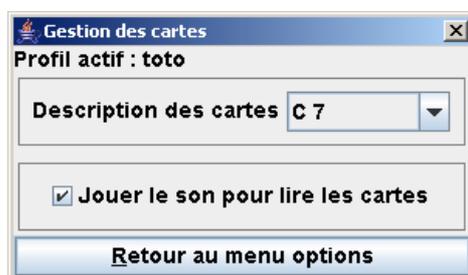


FIGURE 6.49 – Capture d’écran du sous menu de gestion des cartes.



FIGURE 6.50 – Capture d’écran du sous menu de gestion de l’affichage braille.



FIGURE 6.51 – Capture d’écran du sous menu de gestion de l’affichage graphique.



Règles du jeu : à tout moment le joueur peut accéder aux règles du jeu courant. Ces règles sont elles aussi stockées dans le fichier XML de ressources (*Cf.* figure 6.52).

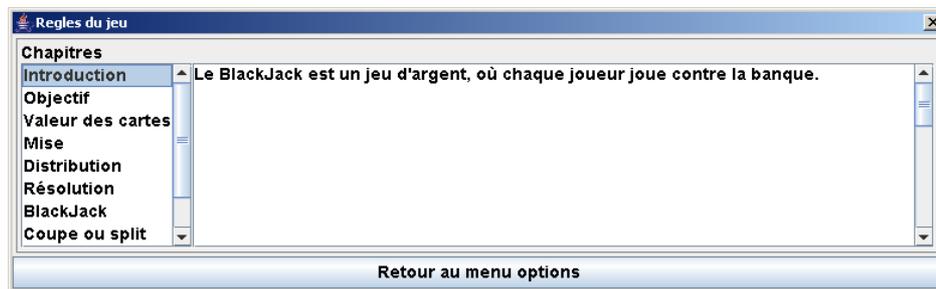


FIGURE 6.52 – Capture d’écran du sous menu de consultation des règles du jeu.

Ces menus et sous menus sont bien sûr accessibles et le joueur même déficient visuel peut configurer son profil de manière autonome, autre critère important de l’accessibilité aux jeux vidéo.

Finalement, la mise en place de ce mécanisme de gestion du profil de l’utilisateur dans le cadre d’une plateforme de jeux de cartes accessibles permet de souligner les besoins des joueurs en situation de handicap en terme de personnalisation et offre une solution simple d’accroissement de la jouabilité du jeu en augmentant sa vitesse. Cette notion de fluidité du jeu est fondamentale puisqu’un jeu, même accessible, se doit de rester un jeu [AOGM07] et ne doit, par conséquent, pas devenir ennuyeux du fait de lenteurs liées aux représentations. Cette notion est particulièrement importante pour permettre le partage d’un univers des jeux vidéo commun à tous les joueurs quelles que soient leurs capacités physiques et/ou mentales.

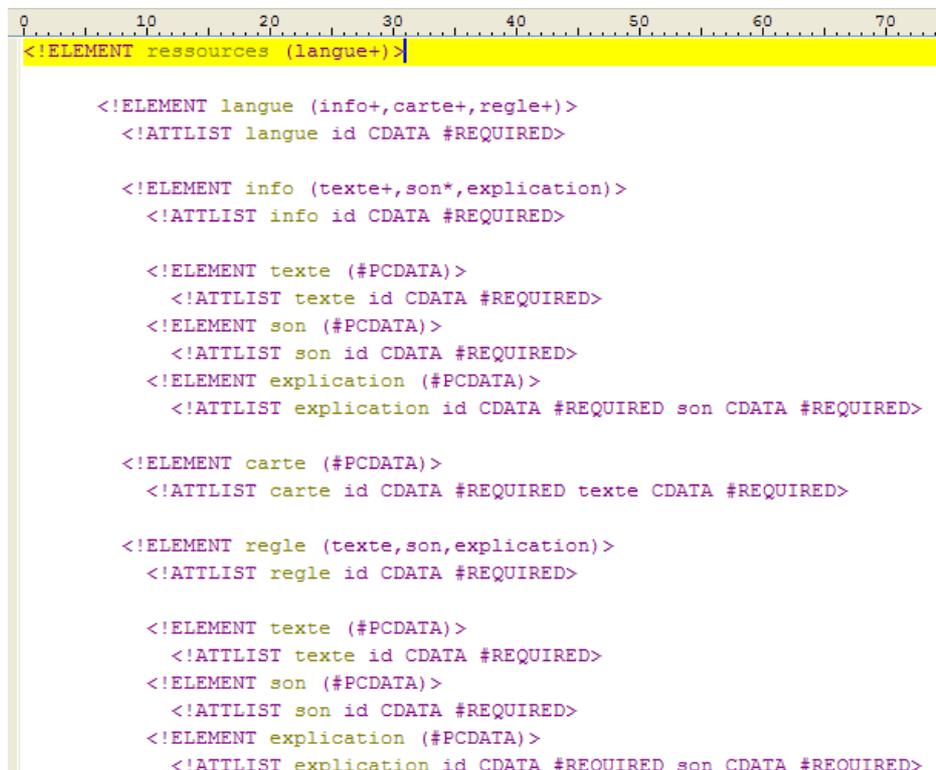


FIGURE 6.53 – DTD du fichier de ressources.



```

0          10         20         30         40         50         60         70         80
<ressources>
  <!-- Langues -->
  <langue id="francais">
    <!-- Eléments graphiques -->
    <info id="b_creeer_partie_LAN">
      <texte id="Créer une nouvelle partie locale" />
      <texte id="Créer partie locale" />
      <texte id="Créer locale" />
      <son id="son/Textes/t_creeer_partie_lan_1.mp3" />
      <son id="son/Textes/t_creeer_partie_lan_2.mp3" />
      <explication id="Bouton dans le menu principal pour créer une partie en
        réseau." son="son/Explications/exp_creeer_partie_LAN.mp3"/>
    </info>
    ...
    <!-- Cartes -->
    <carte id="ROI" texte="Roi" />
    <carte id="DAME" texte="Dame" />
    <carte id="VALET" texte="Valet" />
    <carte id="COEUR" texte="Coeur" />
    <carte id="CARREAU" texte="Carreau" />
    <carte id="TREFLE" texte="Trefle" />
    <carte id="PIQUE" texte="Pique" />
    ...
    <!-- Règles -->
    <regle id="Introduction">
      <texte id="Introduction" />
      <explication id="Le BlackJack est un jeu d'argent, où chaque joueur joue
        contre la banque." son="son/Regles/r_t_introduction.mp3"/>
      <son id="son/Regles/r_t_introduction.mp3" />
    </regle>
    <regle id="Objectif">
      <texte id="Objectif" />
      <explication id="Le but du jeu est de totaliser le plus de point possible
        sans dépasser 21. Il faut avoir un score strictement supérieur à celui du
        croupier pour gagner une fois sa mise." son="son/Regles/r_t_objectif.mp3"/>
      <son id="son/Regles/r_t_objectif.mp3" />
    </regle>
    ...
  </langue>
</ressources>

```

FIGURE 6.54 – Extrait du fichier XML contenant le listing exhaustif des éléments de l'application.

6.5 Les outils d'aide à la conception de jeux accessibles

En plus de l'expression des besoins, la mise à disposition d'outils de conception accessibles est l'une des prérogatives faites par le W3C/WAI concernant l'accessibilité du web Cf. figure 3.22. Il est donc normal que cet aspect soit également pris en compte dans le cadre de l'accessibilité aux jeux vidéo.

Outre le fait d'offrir aux personnes déficientes visuelles une liberté dans la conception de leurs propres jeux tactiles, cet aspect est fondamental dans le cadre de l'utilisation de ces jeux comme support ludique à l'apprentissage du braille.

En effet, comme nous avons pu le présenter dans le chapitre 3.3.2.1, l'intérêt des jeux vidéo en tant que support pédagogique est lié à la motivation introduite. Or, pour faire naître cette motivation, il est important que l'univers du jeu utilisé soit adapté à l'enfant ce que permet ce type d'outil.



De plus, les transcriptions braille se doivent d'évoluer avec le niveau de lecture braille du joueur. Ce dernier, ou l'éducateur, le parent, doit être en mesure de mettre en adéquation niveau de lecture braille et richesse des transcriptions ce que permet également ce type d'outil.

6.5.1 Le générateur automatique de jeux tactiles et de transcriptions braille

Le principal outil permettant d'impliquer au maximum les joueurs (ou les élèves) dans la construction de jeux et de rendre évolutives les représentations proposées est un générateur semi-automatique de jeux tactiles et de transcriptions braille.

Des outils de développement de jeux vidéo non accessibles existent : clic and play¹⁴, RPG Maker¹⁵, voir même de jeux audio accessibles : Audio Game Maker¹⁶ (plus de détails sur ces outils en section 3.6.2). À partir de ce constat, des jeux tactiles que nous avons conçu et de l'expression des besoins des utilisateurs, nous avons choisi de travailler sur la conception d'un générateur automatique de jeux vidéo tactiles.

Dans une première version de générateur, nous proposons un générateur semi automatique de jeux tactiles dont le résultat était un squelette python de l'application finale. Cet outil se présente sous la forme d'un questionnaire pour lequel l'utilisateur doit saisir un ensemble d'informations concernant le jeu à développer. Ce questionnaire se décompose en quatre étapes.

Informations générales : Le premier formulaire contient des informations générales sur le jeu à concevoir : nom du jeu, taille de la grille (nombre de lignes et nombre de colonnes) ainsi que la taille des secteurs de la grille de manière à pouvoir créer des affichages pour lesquels la taille des secteurs peut être agrandie notamment pour les personnes malvoyantes. Et enfin, les positions des obstacles et des ennemis sont également données si besoin (Cf. figure 6.55).

Figure 6.55 shows the first form of the automatic game generator. The window title is "Générateur automatique de jeux vidéos accessibles 1/4". It contains several sections for user input:

- Nom du modèle:** A text box containing "Test".
- Informations sur la grille:** Input boxes for "Nombre de lignes" (10), "Nombre de colonnes" (10), and "Taille des carrés" (5). There are two checked checkboxes: "Présence d'ennemis" and "Présence d'obstacles".
- Ennemis:** Input boxes for "x" (5) and "y" (5), and a text box containing "x:5-y:5".
- Obstacles:** Input boxes for "x" (0) and "y" (3), and a list of coordinates: "x:0-y:0", "x:0-y:1", "x:0-y:2", and "x:0-y:3".

At the bottom of the form, there are three buttons: "<<Précédent", "Suivant>>", and "Annuler".

FIGURE 6.55 – Premier formulaire du générateur.

14. <http://www.clicandplay.com/>

15. <http://www.rpg-maker.fr/>

16. <http://www.audiogamemaker.com/>



Déplacement : Ce second formulaire permet de sélectionner le type de déplacement à appliquer dans le jeu (avant, arrière, pivot ou multidirectionnel). Il permet aussi de déterminer la fréquence du déplacement dans le cas d'un jeu dans lequel le déplacement est forcé (exemple : le jeu du serpent)(Cf. figure 6.56).

FIGURE 6.56 – Second formulaire du générateur.

Fenêtre centrée sur le personnage : Le troisième formulaire concerne la disposition de la fenêtre centrée sur le personnage et le découpage des picots des cellules braille pour la transcription (Cf. figure 6.57).

FIGURE 6.57 – Troisième formulaire du générateur.

Objets : Et enfin, le quatrième et dernier formulaire permet d'associer pour chaque objet un comportement, des configurations de picots, une couleur (Cf. figure 6.58).

Mais cette première version de générateur n'est que semi automatique. En effet, il ne génère qu'un squelette de l'application finale et, bien que le travail du développeur soit nettement facilité, ce dernier doit tout de même finaliser le code généré. Des connaissances en programmation restent indispensables.

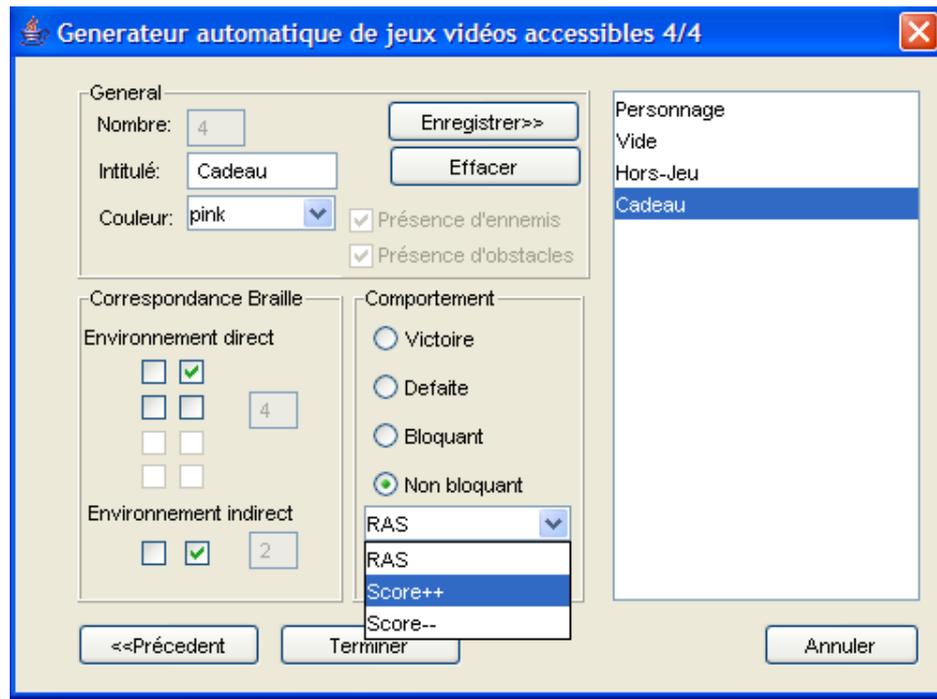


FIGURE 6.58 – Quatrième formulaire du générateur.

C'est pourquoi, dans une seconde version de cet outil, nous avons travaillé sur un générateur automatique de jeux. Bien que nos travaux sur ce sujet aient débuté fin 2004 et que notre première publication date de 2005, les technologies utilisées sont très proches de celles employées dans le logiciel Audio Games Maker, présenté section 3.6.2 et dont la première version bêta est sortie en février 2007. En effet, les deux applications possèdent le même mode de fonctionnement. Le générateur va fabriquer un fichier XML contenant une description du jeu proposé par l'utilisateur. Le lancement du jeu se fera via une application capable d'interpréter ce fichier (Cf. figure 6.59).

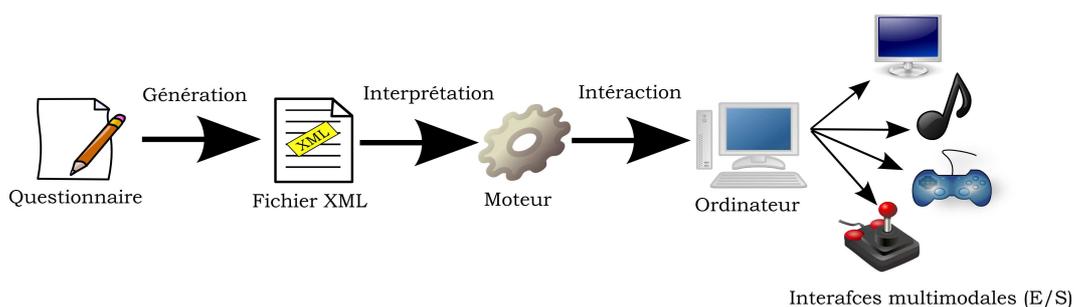


FIGURE 6.59 – Mécanisme de génération automatique de jeux tactiles accessibles.

Les technologies employées sont des technologies fondamentalement accessibles puisqu'elles sont basées sur l'utilisation d'un outil bureautique accessible : l'éditeur de texte.

La DTD proposée pour concevoir ces jeux vidéo tactiles accessibles est donnée en annexe 7.3 et des exemples de fichiers XML pour un jeu de labyrinthe et pour un jeu de serpent sont proposés respectivement en annexes 7.4 et 7.7.

Néanmoins comme tout générateur de jeux vidéo, cet outil présente certaines limitations liées au type de jeux pouvant être conçus. Ces limitations sont notamment dues aux types



limités d'objets pouvant être placés dans le jeu (nombre, variation possible du comportement). Nous nous sommes concentrés sur les jeux basés sur le déplacement d'un personnage dans une grille 2D, type de jeux offrant le plus d'opportunités de développement (comme le jeu de labyrinthe et le jeu de serpent).

6.5.2 La génération de grille de jeux

Les jeux étant basés sur le déplacement d'un personnage dans une grille 2D, l'intérêt du jeu est lié à la nature de cette grille de jeu. C'est pourquoi nous proposons divers outils pour faciliter la mise en œuvre de nouvelles grilles de jeu :

Chargement de grilles prédéfinies : Le premier type d'outil est le chargement de grilles prédéfinies. Ces grilles sont stockées sous forme de simples matrices d'états contenues dans un document texte. Une nouvelle fois, le format texte est utilisé pour en faciliter l'accès via un traitement de texte classique.

Cette matrice contient le relief de la grille *i.e.* les zones où le personnage peut se déplacer (marquées d'un 0) et celles où il ne le peut pas (marquées d'un 1). Les autres objets ponctuels sont donnés en entête de fichier (*Cf.* figure 6.60).

```

[carte_nom]=une_carte;
[carte_hauteur]=9;
[carte_largeur]=9;
[carte_depart]=8,7;
[carte_arrivee]=0,0;
[nb_monstre]=2;
[monstre]=8,1;
[monstre]=3,3;
00000100
111110100
000000000
001000000
011110000
000000000
110111111
100000000
100101001
  
```

FIGURE 6.60 – Fichier de description d'une grille de jeu.

Ce mode est fondamental pour pouvoir réaliser des évaluations auprès de joueurs. Il permet de proposer la même grille aux différents joueurs conditions préalables nécessaires pour la comparaison des résultats obtenus.

Éditeur de niveau : Un éditeur de niveau accessible est également disponible. Il permet, à partir d'une grille vierge ou déjà renseignée d'ajouter des éléments et de créer des variations.

Générateur automatique de labyrinthe : La création manuelle de grilles à travers un fichier texte ou à travers l'éditeur de niveau peut rapidement devenir ennuyeuse. C'est pourquoi, nous proposons également un système de génération automatique de labyrinthes.

6.5.3 Une proposition de structure de jeux de cartes accessibles intégrant les mécanismes de gestion de profils utilisateur et les communications réseau multi joueurs.

La mise en place d'une plateforme de jeux de cartes accessibles multi-joueurs réseau nous a conduit à extraire une architecture permettant de concevoir de tels jeux. Cette architecture est proposée figure 6.61.

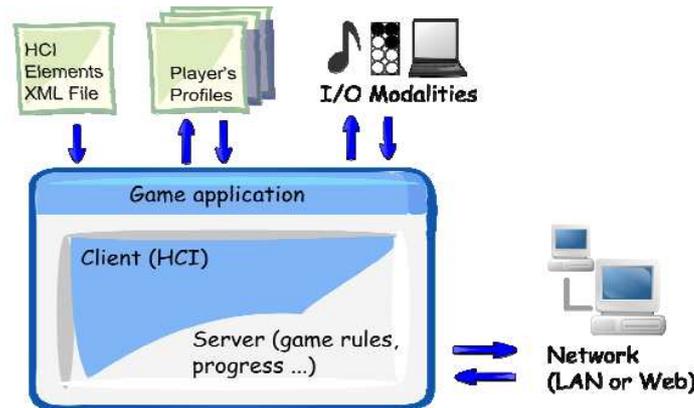


FIGURE 6.61 – Architecture des jeux de cartes accessibles multi-joueurs.

Les développeurs peuvent partir de cette architecture intégrant d'ores et déjà les mécanismes de gestion du profil utilisateur, les communications réseau, les communications avec le terminal braille, pour la conception d'un nouveau jeu. Leur travail est ainsi nettement facilité.

6.5.4 Les mécanismes d'intégration de l'intelligence artificielle dans des jeux accessibles

Le dernier élément permettant de faciliter la conception de jeux accessibles est la mise à disposition d'outils d'intelligence artificielle notamment au niveau du contrôle des objets mobiles (ennemis, proies).

Comme nous l'avons présenté précédemment, des mécanismes simples, issus de l'observation des fourmis naturelles, peuvent facilement être intégrés pour influencer le déplacement des objets mobiles grâce à la mise en place d'un mécanisme à base de phéromones attractives ou répulsives.

L'intégration du mécanisme de répartition des tâches est plus spécifique et plus difficile à intégrer. Néanmoins, toutes adaptations restent envisageables.

6.5.5 La surcouche à la librairie sonore OpenAL pour faciliter la mise en œuvre des mécanismes de spatialisation des sons

La prise en main des librairies de spatialisation du son, notamment OpenAL, reste une étape difficile dans la conception de jeux audio. Dans notre cas, souhaitant rendre plus facile l'utilisation de ce type de mécanismes nous avons mis en place une surcouche à la librairie OpenAL permettant d'en faciliter l'utilisation.

OpenAL est un outil très complet offrant de bonnes performances dans la spatialisation de son tridimensionnel. Or la conception de jeux audio comme les nôtres peuvent se limiter à une spatialisation bidimensionnelle et n'utilise pas ou peu les fonctionnalités avancées offertes par la bibliothèque.

6.5.6 La surcouche aux librairies graphiques JAVA

Afin de faciliter la conception de nouvelles interfaces graphiques intégrant d'ores et déjà des mécanismes d'accessibilité (synthèse vocale et transcription braille), nous avons développé une surcouche aux librairies graphiques JAVA (langage de développement utilisé pour concevoir ces applications). Cette surcouche propose, pour chaque élément graphique, une nouvelle version du composant disposant en natif des primitives d'accessibilité. On peut notamment citer des



primitives telles que l'acquisition du focus qui doit déclencher une indication sonore ou tactile, ou encore des primitives de personnalisation de l'apparence (changement de la police, couleur de fond).

6.6 La plateforme de jeux accessibles

Finalement l'ensemble de ces outils et de ces jeux ont été regroupé au sein d'une même plateforme de jeu : la plateforme hANTgames. Elle permet d'accéder facilement à la liste des jeux disponibles sans avoir à parcourir le système de fichiers. Les joueurs, quelque soit leur familiarité avec l'outil informatique, peuvent ainsi lancer de manière autonome les jeux.



FIGURE 6.62 – Capture d'écran de la plateforme hANTgames.

Ainsi, à partir d'un même outil accessible, le joueur peut accéder aux lancements de jeux indépendants du générateur ou issus du générateur, accéder au générateur lui même pour en créer de nouveaux, et enfin, accéder à la gestion des profils.

Nous avons fait le choix d'offrir la possibilité de lancer des jeux autres que ceux issus de générateur de manière à ne pas limiter cette plateforme. En effet, comme nous l'avons souligné précédemment, un générateur automatique de jeux implique forcément des limites en terme de type de jeux pouvant être créés. Cette entrée supplémentaire accroît la liberté des développeurs de manière à ne pas réduire leur créativité.

6.7 Conclusion

Les jeux vidéo multimodaux offrent de formidables perspectives en terme d'accessibilité et en terme de nouvelles expériences de jeu. De plus, la conception de telles applications impose une réflexion préalable sur la jouabilité. Ainsi, en plus d'être accessibles, les jeux vidéo multimodaux sont profitables à tous les joueurs quelles que soient leurs capacités physiques et/ou cognitive.

Néanmoins, si les jeux multimodaux permettent de résoudre les problèmes d'interaction rencontrés par les joueurs en situation de handicap, ils nécessitent également une importante liberté de personnalisation des interfaces. Le joueur doit être en mesure de sélectionner la (ou



les) modalité(s) qu'il souhaite utiliser. C'est pourquoi nous proposons de mettre en œuvre un mécanisme de profil utilisateur permettant au joueur de retrouver son environnement de jeu personnalisé d'une partie à l'autre.

Les capacités de représentation sont fortement variables d'une modalité à l'autre. La modalité graphique est par exemple très riche en informations. Il est possible de transcrire simultanément un grand nombre d'informations car elle offre un accès très rapide aux données spatiales mais aussi aux données liées aux tailles, aux couleurs. La transcription tactile, et plus particulièrement la transcription braille, est quant à elle nettement plus limitée du fait des limites matérielles imposées par l'utilisation d'un terminal braille éphémère. L'utilisation de plage tactile (matrice de picots) en lieu et place d'un terminal braille éphémère permet d'améliorer la transcription. Mais la charge cognitive et les difficultés liées aux procédures exploratoires restent limitantes. De la même manière, la représentation audio, si elle est très précise dans le cas où peu de sons sont disponibles, peut rapidement devenir inexploitable si la représentation est trop riche. Il est bien sûr possible par la suite de faire cohabiter les modalités tactiles et auditives pour accroître les performances.

De manière générale une représentation basée sur une système de fenêtrage autour du joueur est une bonne solution. Elle permet un déplacement du joueur en toute sécurité ce qui est à la base de tout jeu. De plus, elle peut être enrichie d'informations annexes.

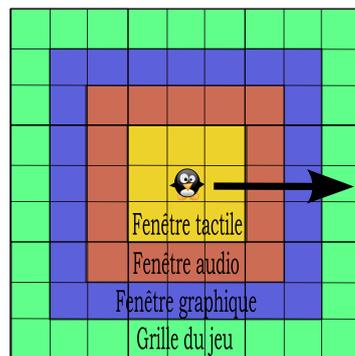


FIGURE 6.63 – Capture d'écran de l'utilisation conjointe de plusieurs modalités.

Il est donc possible de partir sur une représentation par niveau de fenêtres comme le souligne la figure 6.63. Les différentes fenêtres n'étant pas réellement disjointes puisque des informations redondantes peuvent être transcrites sur les différentes modalités et certaines fenêtres ignorées.

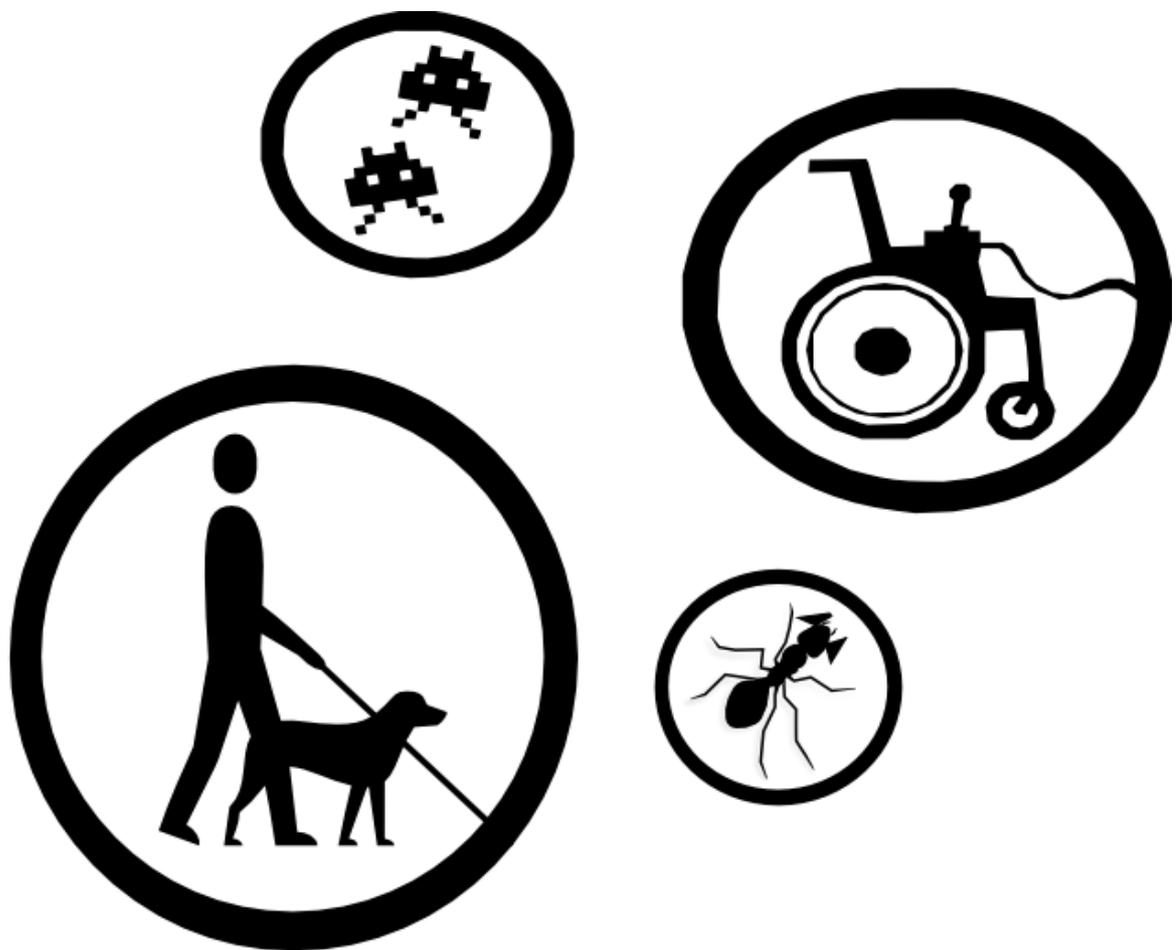
De plus le partage d'un même jeu par des joueurs utilisant différentes modalités doit se faire de manière équitable. Il est nécessaire que la transcription la plus restrictive joue le rôle de transcription limitante pour les autres modalités.

Outre l'aspect jeu, l'accessibilité aux jeux vidéo repose également sur des outils d'aides à la conception de jeux accessibles. Cet aspect création personnel de jeux et de représentations est particulièrement importante de fait de l'important besoin de personnalisation des jeux et des représentations. Ainsi le joueur en situation de handicap ou son entourage (éducateur, professeur, parents) peuvent adapter le jeu.

Ces travaux sur la multimodalité et l'accessibilité aux jeux vidéo ont donné lieu à différentes publications traitant des jeux tactiles sur terminaux braille [SMAS05; SMSA06a], des jeux audio sur baladeurs multimédia [SDMS08a; SDMS08c; SDMS08b], des mécanismes de personnalisation [SMS07] et des outils d'aide à la conception de jeux accessibles [SMSA06b].

Chapitre 7

Conclusion et Perspectives





7.1 Conclusion

Durant l'antiquité, les grecs considéraient six formes d'art : la peinture, la sculpture, l'architecture, la littérature, le théâtre et la musique. Le XIX^{ème} siècle a apporté le cinéma, la télévision et la bande dessinée respectivement comme septième, huitième et neuvième art. Depuis 1993, les jeux vidéo sont perçus par certains comme étant le dixième art [LDLD98; Spr05].

Les aspects pédagogiques et sociaux soulignés dans ce document confèrent à l'accessibilité des jeux vidéo une importance toute particulière. Plus qu'un aspect éthique, les jeux vidéo jouent aujourd'hui un rôle particulier au sein de notre société de l'information et de la communication. Toute personne quelles que soient ses capacités physiques et/cognitives doit être en mesure d'accéder à l'Art et autres éléments formant le cœur même de notre société.

L'accès à l'Art reste difficile pour les personnes en situation de handicap et tout particulièrement ce dixième art qui requiert une interaction particulière entre le joueur, autrement spectateur ou lecteur, et l'œuvre. Mais les jeux vidéo sont des œuvres basées sur la technologie. La problématique de l'accessibilité aux jeux vidéo est donc de savoir si la technologie peut permettre de rendre accessible ce dixième art.

La prise de conscience du problème de l'accessibilité des jeux vidéo et son officialisation par la mise en place d'une définition en 2004 sont à la base de plusieurs solutions permettant d'impliquer la technologie pour la résolution des problèmes de l'accessibilité aux jeux vidéo. Nos travaux ont conduit à la définition d'une organisation de ces problèmes sous deux axes : les problèmes d'interaction et les problèmes de niveau.

Les problèmes d'interaction peuvent être résolus grâce à la mise en œuvre de solutions multimodales permettant au joueur de privilégier la ou les modalité(s) qu'il souhaite ou peut utiliser.

Les problèmes de niveau concernent l'adaptation du niveau de jeu au joueur. Comme le démontre l'extension de la notion de « flow », utilisée en psychologie, à l'univers des jeux vidéo, il est important que le niveau du jeu corresponde aux capacités de joueur. C'est pourquoi, il est important de mettre en place une intelligence artificielle auto adaptative capable d'adapter dynamiquement le niveau de jeu au joueur.

En complément de la multimodalité, une intelligence auto adaptative permet de proposer un univers des jeux vidéo accessible et stimulant par tous et pour tous. Ainsi, les jeux vidéo peuvent présenter tout leur intérêt en tant qu'outil pédagogique et d'intégration sociale.

Nos travaux proposent une étude et une mise en œuvre de solutions associées à chacun de ces problèmes d'accessibilité.

Les solutions multimodales apportées, permettant de résoudre les problèmes d'interaction, se focalisent plus particulièrement sur les joueurs en situation de handicap visuel. Mais la structure fondamentalement multimodale de nos solutions permet de faciliter l'intégration de nouvelles modalités mieux adaptées à d'autres types de handicap. Nous nous sommes naturellement focaliser sur le handicap visuel du fait de l'évolution de notre projet et des relations préalables entretenues avec la communauté des déficients visuels (association brailletnet¹ par exemple). De plus l'antagonisme entre les jeux vidéo et la déficience visuelle fait de l'accessibilité des jeux vidéo un véritable challenge et laisse supposer que si il est possible de créer des interfaces de jeux vidéo accessibles par cette communauté, il doit être possible de créer des interfaces de jeux accessibles par tous.

Les réflexions sur la multimodalité conduisent également à une réflexion sur la jouabilité des jeux vidéo. Cette réflexion, proche de celle liée à l'ergonomie des applications et des interfaces homme-machine, est profitable à tous. En conséquence, l'accessibilité des jeux vidéo

1. <http://www.brailletnet.org/>



n'est pas une notion limitée aux personnes en situation de handicap. Le fruit de ces recherches concerne l'ensemble des joueurs quelles que soient leurs capacités.

La conception de nouvelles interfaces utilisant des modalités nouvelles conduit également à l'émergence de nouvelles expériences de jeu. Ces nouvelles expériences sont issues de la découverte de nouvelles manières de jouer (*Cf.* le succès des consoles Nintendo DS ou Wii) pouvant être mieux adaptées aux envies mais aussi à l'évolution des comportements des joueurs. En effet, l'évolution des technologies (mais également de la société) et la démocratisation des périphériques portables a conduit à des comportements plus nomades (consoles portables, ordinateurs portables, téléphones portables et autres périphériques portables mais aussi des jeux pour lesquels le profil est stocké sur un serveur distant et qui sont, par conséquent, accessibles depuis n'importe quel ordinateur) et donc moins sédentaires (console de salon, ordinateur de bureau). Ce nouveau comportement de jeu favorise l'apparition d'incapacités temporaires (assombrissement de l'environnement du joueur, bruit environnant), assimilables à des handicaps temporaires, durant le jeu [GSS05]. Ainsi tous les joueurs peuvent bénéficier, ponctuellement ou durablement, d'interfaces multimodales accessibles. L'accessibilité aux jeux vidéo nous concerne donc tous.

Parmi les nouvelles modalités que nous avons explorées, la modalité auditive répond particulièrement bien aux besoins de ces nouveaux équipements portables. La modalité tactile, plus particulièrement les interfaces braille, est plus restrictive en terme de population visée. En effet, les interfaces braille sont propres au handicap visuel. Néanmoins, la modalité est très intéressante dans le cadre de la conception de supports pédagogiques pour le développement du toucher et l'apprentissage du braille.

Les solutions proposées, pour résoudre les problèmes de niveau et l'auto adaptation du niveau de jeu au joueur, se basent sur l'observation de phénomènes naturels : les comportements des fourmis naturelles. La mise en œuvre de ce type d'algorithmes biomimétiques repose sur les modélisations mathématiques de ces comportements et les analogies possibles entre l'univers des jeux vidéo et la Nature.

- dans le cadre de la recherche d'un plus court chemin entre un objet du jeu (sortie, objet à ramasser) et le joueur, il est possible de faire une analogie avec le comportement des fourmis leur permettant de trouver le plus court chemin entre le nid et une source de nourriture ;
- dans le cadre de la division du travail et de la répartition des tâches, il est possible de faire une analogie entre un stimulus de l'environnement et le joueur. Dans la nature, les colonies de fourmis sont capables de s'adapter à leur environnement même en cas de perturbations (attaques, événements météorologiques) en répartissant l'activité des membres de la colonie en fonction de ses besoins.

Mais la conception d'interfaces accessibles et d'un moteur d'intelligence auto adaptatif ne garantit pas la pérennité de l'accessibilité des jeux vidéo. Pour cela, il est nécessaire qu'une prise de conscience générale ait lieu et que des outils favorisant leur développement soient proposés. Il est possible de prendre exemple sur l'accessibilité numérique (accessibilité à Internet) dont la problématique a été soulevée quelques années avant celle des jeux vidéo (1996 : création du W3C/WAI, 2004 : définition de l'accessibilité des jeux vidéo par le GA SIG IGDA). L'accessibilité numérique et l'accessibilité au jeux vidéo nécessitent (*Cf.* figure 3.22) :

1. des interfaces accessibles ;
2. des contenus accessibles *i.e.* structurée de manière à faciliter l'interaction avec les interfaces ;
3. des outils d'aide à la conception et à l'évaluation.

Dans le cadre des jeux vidéo accessibles, ce besoin d'outils d'aide à la création est particulièrement important pour plusieurs raisons.



1. afin que les jeux vidéo expriment l'intégralité de leur potentiel en tant que support pédagogique et outil d'intégration social, il est nécessaire de faire correspondre au mieux les jeux aux joueurs. Cette adéquation permet d'accroître la motivation des joueurs et donc leur implication dans le jeu. C'est pourquoi, de tels outils permettent aux professeurs, éducateurs, parents de personnaliser les jeux en fonction des attentes et des envies de l'enfant en situation de handicap. ;
2. mais le besoin de personnalisation des jeux ne concernent pas que les jeux vidéo en eux mêmes, il concerne également les interfaces. Les représentations doivent pouvoir évoluer avec le joueur. Par exemple, dans le cas de jeux vidéo comme support pédagogique pour l'apprentissage du braille, le niveau du lecteur est prépondérant et influence la complexité des représentations.

Ces outils permettent à tous de participer activement à la conception de jeux sans avoir besoin de passer par une étape de programmation inaccessible aux non initiés, ce qui peut également être perçu comme un facteur d'accessibilité. Ces jeux peuvent éventuellement intégrer des mécanismes complexes tels que le multi-joueur local ou distant, le multi-linguisme. Ces outils permettent également de soustraire l'étape de modélisation aux utilisateurs pouvant éprouver des difficultés concernant la construction des représentations. En effet, ces constructions demandent une expertise du handicap non intuitive. C'est d'ailleurs l'une des raisons qui nous a conduit à progressivement faire évoluer nos représentations à la suite d'évaluations auprès de joueurs en situation de déficience visuelle.

La personnalisation des jeux (jeux et interfaces) est un élément clé de l'Accessibilité. C'est pourquoi, nous proposons un système de profil utilisateur permettant au joueur de personnaliser pleinement l'application et les représentations à ses besoins. Cette étape de personnalisation permet aux joueurs plus expérimentés de rendre plus fluides les interactions avec les applications tout en laissant un niveau de détails suffisant pour les novices.

L'étape d'évaluation de ces jeux accessibles a été une étape marquante de ces travaux. Les bons résultats obtenus, malgré une certaine difficulté pour trouver des testeurs, et leur reconnaissance par la communauté proche du domaine du handicap ont été particulièrement encourageantes.

L'accueil de ces travaux par la communauté proche du domaine du handicap a été marqué par l'obtention d'un prix national lors du challenge « Handicap et Nouvelles Technologies » 2007 (Metz) pour les jeux vidéo tactiles sur terminaux braille, catégorie « Jeux et Jouets »² (Cf. figure 7.1). Ainsi que le classement « Hors Catégorie »³ de ces mêmes jeux vidéo tactiles et de la plateforme de jeux audio sur baladeur multimédia lors du challenge DeViNT 2008⁴ (Polytech'Nice Sophia Antipolis).

Les tests réalisés ont souvent été des tests ponctuels avec peu de retours sur la durée. Si ces tests offrent l'avantage de souligner la facilité de prise en main des applications, ils limitent également les opportunités d'améliorations continues des applications et de leurs représentations. Cette continuité a néanmoins pu être mise en place grâce à MARYLÈNE JABELY, personne non voyante rencontrée durant la fête de la science de Tours, qui a acceptée de participer régulièrement à des tests en nous faisant part de nombreuses propositions pour améliorer l'accessibilité de ces jeux et de leurs représentations. Des campagnes de tests sur une population plus grande (21 enfants) ont également pu être menées auprès des enfants de

2. http://challenge-ht.sciences.univ-metz.fr/article.php3?id_article=223

3. Le prix DEVINT récompense les travaux d'étudiants dans le domaine de l'accessibilité aux jeux vidéo des déficients visuels. Mais l'état d'avancement de travaux réalisés dans le cadre d'une thèse a rendu difficile la comparaison avec des travaux réalisés dans le cadre de projets d'école d'ingénieurs. Le jury a donc souhaité mettre en avant cette mention « hors catégorie ».

4. <http://devint.polytech.unice.fr/prixdevint.html>



FIGURE 7.1 – Challenge national « Handicap et Nouvelles Technologies 2007 » - Catégorie « Jeux et Jouets » (a. photographie de Nicolas Monmarché et b. extraite du site web de la manifestation).

l'école de Mâle (61). De plus, les contacts noués au cours des dernières manifestations nationales (institut Clément ADER durant les journées DeVINT) offrent de nouvelles voies pour réaliser nos tests auprès de jeunes en situation de déficience visuelle.

7.2 Perspectives

Les perspectives de ces travaux sont nombreuses et variées. En effet, l'accessibilité aux jeux vidéo offrent de nombreuses ouvertures sur des domaines connexes tels que les aides aux déplacements, les supports pédagogiques, les interfaces homme-machine, la conception pour tous, la multimodalité, etc.

À l'origine de ce projet, la conception de jeux vidéo tactiles a rapidement fait émerger le besoin d'un support pédagogique ludique pour l'apprentissage du braille. Ce support pédagogique ludique permettant à la fois de travailler sur le développement du sens tactile de l'élève (adulte ou enfant) et sur la reconnaissance des caractères braille. Les outils étant mis à disposition, il est désormais nécessaire de concevoir une méthode d'apprentissage basée sur ces outils.

La conception d'une telle méthode nécessite l'implication de spécialistes du domaine (professeur de braille ou éducateurs). Les limites d'un projet informatique indépendant sont proches et l'implication d'une équipe possédant des compétences multiples est nécessaire (professeur, éducateur, ergonomes, etc. en plus des compétences informatiques).

Les jeux vidéo sont également particulièrement intéressants dans le cadre de la conception d'aides aux déplacements pour les personnes en situation de déficience visuelle. En effet, l'appréhension d'un environnement 3D lorsque le repère de construction est un repère égo-centré est difficile. C'est pourquoi l'analogie avec le déplacement dans un jeu vidéo peut faciliter cette compréhension.

Les interfaces utilisées pour représenter l'espace dans le cadre de jeux vidéo peuvent également être utilisées pour équiper une canne blanche électronique. Il est par exemple envisageable de munir une canne blanche électronique d'une cellule braille à la place des cellules tactiles ou vibratoires actuellement utilisées (par exemple le projet lunettes intelligentes - cf. figure 3.5). Il est également possible d'équiper l'utilisateur d'un casque permettant de spatialiser les sons environnants (analyse d'image, infra rouge) ou la direction à suivre (GPS).

La mise en place de ces nouvelles interfaces est particulièrement intéressante du fait de



l'évolution des technologies assurant une miniaturisation des équipements et assurant, par conséquent, leur portabilité. Ainsi, les périphériques portables offrent aujourd'hui de larges perspectives en terme d'accessibilité. Parmi ces périphériques, on retrouve les téléphones portables, les ordinateurs portables, les lecteurs multimédia, etc. C'est pourquoi nous avons décidé d'exploiter les capacités de l'un de ces périphériques pour en souligner le rôle dans le cadre de l'accessibilité.

Bien sur, nous nous sommes basés sur l'aspect ludique en intégrant une plateforme de jeux sur un baladeur multimédia. Outre la mise à disposition de jeux accessibles et l'intérêt en terme de vulgarisation des travaux d'accessibilité auprès du « grand public » et des industriels, ces travaux soulignent les capacités de ce type d'équipements. L'ajout de nouvelles fonctionnalités étant désormais envisageable et les capacités de calcul suffisantes, l'accessibilité peut être accrue. Il est tout à fait possible d'envisager la conception d'une bibliothèque portable de livres accessibles, la conception d'audio guides, etc.

Des interfaces autres que les interfaces braille et audio ont également été envisagées. Parmi elles, nous pouvons citer les bras à retour d'effort du type Novint de Falcon ou Phantom de SenSable dont les tarifs ont sensiblement diminué du fait de l'arrivée sur le marché du Novint de Falcon. Ces périphériques pourraient être utilisés pour transcrire notamment la distance par rapport à un mur dans un labyrinthe ou exercer une certaine force pour indiquer au joueur qu'il se déplace dans une mauvaise direction.

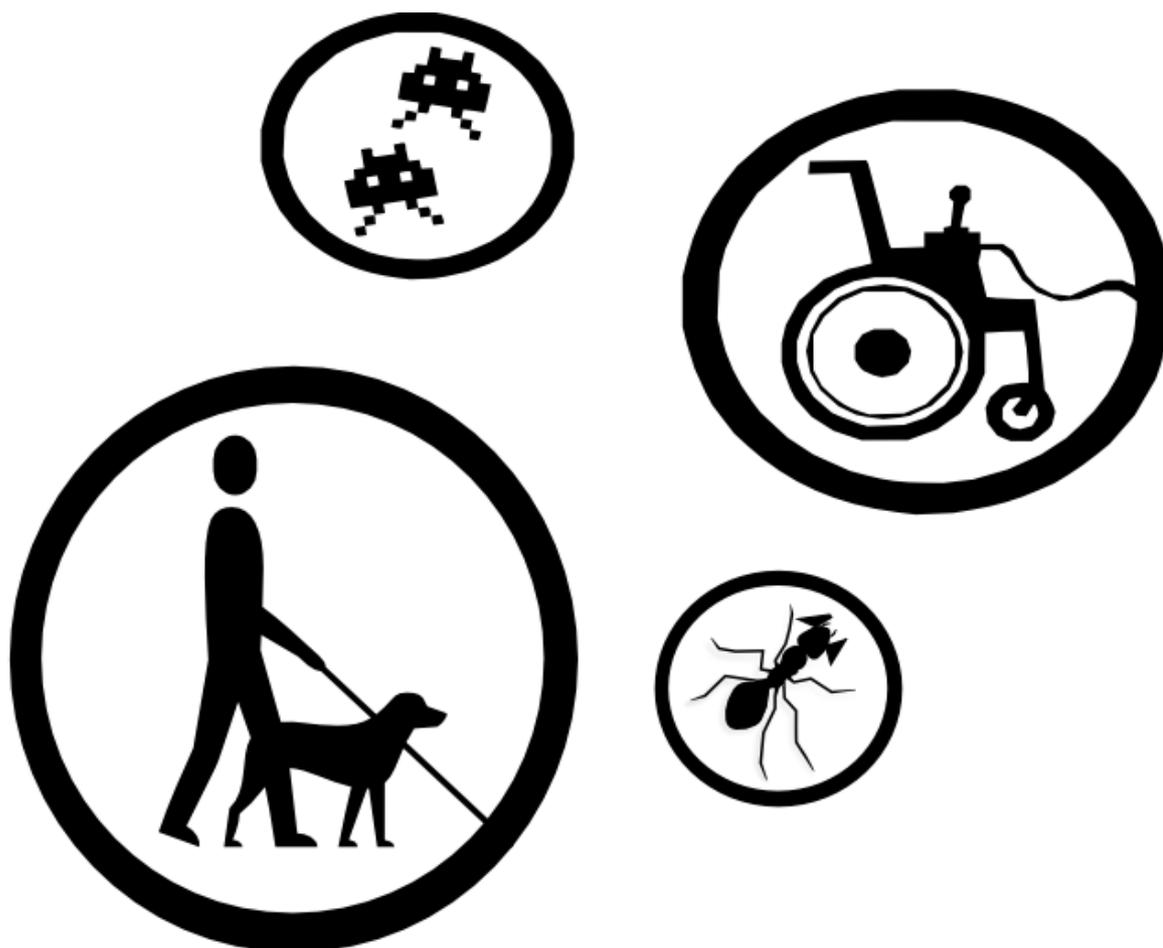
L'aspect « interface » est prépondérant dans le cadre de l'accessibilité et de nouvelles interfaces doivent être intégrées à notre plateforme pour proposer des jeux vidéo accessibles universels. Cependant, l'auto adaptation du niveau de jeu est un second aspect fondamental dans l'univers des jeux vidéo et de l'accessibilité. La conception d'un univers des jeux vidéo accessibles et universels, *i.e.* accessible par tous et intéressant pour tous, implique nécessairement que le niveau de jeu s'adapte dynamiquement au niveau du joueur. Si la solution que nous avons privilégiée pour résoudre ce problème est basée sur les algorithmes biomimétiques, une comparaison avec d'autres techniques peut être menée et ceci dans le cadre des jeux vidéo ou non. En effet, ce type d'algorithmes propose lui même de larges perspectives car le problème de l'autorégulation est un problème central des solutions informatiques : auto régulation et répartition de la charge dans un réseau informatique (ou routier par exemple).

Finalement, ces travaux de thèse ont permis de souligner la faisabilité de l'intégration de l'accessibilité au sein d'un univers commun des jeux vidéo, les problèmes ayant été identifiés, classifiés et des solutions proposées. Cependant, des tests des applications doivent encore être menés et de nouvelles interfaces intégrées pour prendre en compte de multiples handicaps, mais les résultats préliminaires sont très encourageants.

Les jeux que nous avons développés au cours de ces travaux de thèse sont essentiellement des jeux pour enfants : jeu du restaurant, jeu de labyrinthe, jeu de taxi, jeu de la fermière et des lapins, jeu de combat aérien. Néanmoins, la catégorie des jeux « sérieux » pour adultes et les « jeux occasionnels » offrent de larges perspectives dans le développement de nouveaux jeux. Un début d'exploration est proposé à travers le jeu de Sudoku et les jeux de cartes.

La course à l'amélioration du rendu graphique, des contrôleurs, etc. des jeux vidéo a conduit à une perte progressive de l'accessibilité et ceci malgré leur rôle toujours croissant dans notre société. L'accessibilité aux jeux vidéo est donc devenu un problème fondamental. Néanmoins, l'accessibilité aux jeux vidéo est un domaine d'investigation très vaste demandant des compétences multiples. Les recherches inhérentes, basées sur une démarche centrée utilisateur, doivent donc conduire à un nouvel univers des jeux vidéo accessibles et intéressants par et pour tous car un jeu vidéo même accessible se doit de rester un jeu à part entière.

Annexes





A Le choix des paramètres du modèle proposé par BONABEAU ET AL.

L'étude des stratégies de sélection d'une tâche nous a conduit à proposer un mécanisme de roue de la chance pour déterminer la tâche devant être évaluée pour savoir si elle doit être traitée durant la période suivante. Un tel mécanisme conduit à la fonction de probabilité de sélection 7.1.

$$P_{sel} = \frac{T_{\theta_{i,j}}}{\sum_k T_{\theta_{k,j}}} \quad (7.1)$$

où $T_{\theta_{i,j}}$ correspond à la probabilité que la fourmi j accepte de traiter la tâche i durant la période suivante. Cette probabilité est calculée à partir de l'équation 7.2.

$$T_{\theta_{i,j}} = \frac{S_i^2}{S_i^2 + \theta_{i,j}^2} \quad (7.2)$$

Dans le cadre de l'auto adaptation du niveau de difficulté d'un jeu, il est important que le système ne soit

- ni trop efficace pour réellement s'adapter au niveau de jeu du joueur
- ni pas assez efficace pour être stimulant pour le joueur

Nous proposons donc de faire l'hypothèse que le système converge vers un état stable, dans ces conditions nous atteignons la propriété suivante (Cf. equation 7.3).

$$t \rightarrow \infty \quad \forall i, \quad S_i^t = S_i^{t+1} \quad (7.3)$$

Afin d'atteindre cette situation, nous allons nous intéresser aux probabilités qu'une fourmi j soit active $p_j^t(i)$ ou inactive $p_j^t(I)$ durant la période t .

$$p_j^t(I) = p_j^{t-1}(I) \times (1 - \sigma) + \sum_{q \in Q} p_j^{t-1}(q) \times p \quad (7.4)$$

$$\forall i, \quad p_j^t(i) = p_j^{t-1}(I) \times T_{\theta_{i,j}}^{t-1} \times \frac{T_{\theta_{i,j}}^{t-1}}{\sum_k T_{\theta_{k,j}}^{t-1}} + p_j^{t-1}(i) \times (1 - p) \quad (7.5)$$

Or, d'après le modèle initial de BONABEAU ET AL., les variations des intensités de stimulus dépend de l'équation 7.6.

$$S_i(t+1) = S_i(t) + \delta - \alpha \times \frac{N_{act,i}}{N} \quad (7.6)$$

Or, la stabilité des intensités de stimulus proposée en hypothèse 7.3,

$$S_i^t = S_i^{t+1} \Rightarrow \delta = \alpha \times \frac{N_{act,i}}{N} \quad (7.7)$$

$$\frac{N_{act,i}}{N} = p_j(i) = \frac{\delta}{\alpha} \quad (7.8)$$

$$(7.9)$$

Donc, on a

$$\forall i, \forall t, \quad p_j(i) = \frac{\delta}{\alpha} \quad (7.10)$$



D'après 7.5, comme $p_j(i)$ est constant dans le temps, alors $T_{\theta_{i,j}} \times \frac{T_{\theta_{i,j}}}{\sum_k T_{\theta_{k,j}}}$ l'est aussi

$$\forall i, \quad p_j(i) = p_j(I) \times T_{\theta_{i,j}} \times \frac{T_{\theta_{i,j}}}{\sum_k T_{\theta_{k,j}}} + p_j(i) \times (1 - p) \quad (7.11)$$

$$\forall i, \quad \frac{\delta}{\alpha} = p_j(I) \times T_{\theta_{i,j}} \times \frac{T_{\theta_{i,j}}}{\sum_k T_{\theta_{k,j}}} + \frac{\delta}{\alpha} \times (1 - p) \quad (7.12)$$

$$p \times \frac{\delta}{\alpha} = p_j(I) \times T_{\theta_{i,j}} \times \frac{T_{\theta_{i,j}}}{\sum_k T_{\theta_{k,j}}} \quad (7.13)$$

$$\rightarrow \forall i, \forall k, T_{\theta_{i,j}} = T_{\theta_{k,j}} \quad (7.14)$$

Comme $\forall i, \forall k, T_{\theta_{i,j}} = T_{\theta_{k,j}} = T_{\theta_j}$ alors,

$$\sigma = \frac{\sum_k (T_{\theta_{k,j}})^2}{\sum_k T_{\theta_{k,j}}} = \frac{Q \times T_{\theta_j}^2}{Q \times T_{\theta_j}} = T_{\theta_j} \quad \text{où } Q \text{ est le nombre de tâches} \quad (7.15)$$

De ce fait, d'après 7.4, on a :

$$p_j(I) = p_j(I) \times (1 - \sigma) + \sum_{q \in Q} p_j(q) \times p \quad (7.16)$$

$$p_j(I) = p_j(I) \times (1 - \sigma) + Q \times \frac{\delta}{\alpha} \times p \quad (7.17)$$

$$p_j(I) = p_j(I) \times (1 - T_{\theta_j}) + Q \times \frac{\delta}{\alpha} \times p \quad (7.18)$$

$$T_{\theta_j} \times p_j(I) = \frac{Q \times \delta \times p}{\alpha} \quad (7.19)$$

$$p_j(I) = \frac{Q \times \delta \times p}{T_{\theta_j} \times \alpha} \quad (7.20)$$

Finalement,

$$\alpha = \frac{Q \times p}{T_{\theta_j} \times p_j(I)} \times \delta \quad (7.21)$$

Dans ces travaux, nous proposons d'utiliser une efficacité légèrement supérieure à l'augmentation naturelle. La justification est issue de ce calcul. On distingue une différence entre efficacité du système et travail réellement accomplie. Cette différence est issue de l'inactivité de certains fourmis.

Soit α_{reel} l'efficacité réelle du système.

$$\alpha_{reel} = (1 - p(I))\alpha \quad (7.22)$$

$$\alpha_{reel} = \alpha - p(I)\alpha \quad (7.23)$$

$$\alpha_{reel} = \alpha - \frac{Q\delta \times p}{\alpha \times T_{\theta_j}} \times \alpha \quad (7.24)$$

$$\alpha_{reel} = \alpha - \frac{Q\delta \times p}{T_{\theta_j}} \quad (7.25)$$

$$\alpha - \alpha_{reel} = \frac{Q\delta \times p}{T_{\theta_j}} \quad (7.26)$$

$$(7.27)$$

La différence entre l'efficacité réelle du système et l'efficacité proposée peut être estimée, sous les hypothèses proposées, par $\frac{Q\delta \times p}{T_{\theta_j}}$.



B Les règles des jeux de Black Jack et de Citadelles

B.1 Le jeu de Black Jack

Le Black Jack est un jeu de casino, un jeu d'argent et de hasard. Il s'agit d'une interaction entre des joueurs et un croupier, donc très bien adaptée à une adaptation basée sur une architecture client-serveur. Le nombre de joueurs importe peu car chaque joueur joue contre le croupier et non contre les autres joueurs. Les actions sont déterministes ce qui ne n'impose pas l'apport d'une intelligence artificielle. Comme dans un casino, les joueurs arrivent à la table où le croupier les attend. Ils peuvent aller et venir sans gêner le jeu des autres joueurs. Les tours de jeu sont très rapides (environ une minute), ce qui fait que les joueurs peuvent rejoindre une table de Black Jack en attendant seulement la fin du tour en cours, soit moins d'une minute. Ce jeu se joue avec plusieurs jeux de 52 cartes classiques, ce qui ne nécessite pas d'apprentissage supplémentaire pour les joueurs non initiés. De plus seule la valeur des cartes compte, pas la couleur, ce qui minimise encore la quantité d'informations nécessaire pour jouer.

Les joueurs misent un nombre de jetons pour recevoir deux cartes. Les cartes ont une valeur équivalente à leurs numéros, les têtes valent dix et l'As vaut un ou onze au choix du joueur. Le croupier reçoit lui une seule carte. Tout le monde voit les cartes de tout le monde (pas de cartes cachées ou dans la main). Le but du jeu est d'obtenir un score plus grand que le croupier sans dépasser 21. Les joueurs, à tour de rôle, vont choisir de recevoir ou non une carte supplémentaire afin d'augmenter leur score. Ensuite quand tous les joueurs seront servis alors le croupier prendra une deuxième carte, puis en prendra d'autres tant que son score sera inférieur à 17. Dès que le score du croupier atteint au moins 17 alors il s'arrête de prendre des cartes. Alors les joueurs ayant un score supérieur à celui du croupier remporteront deux fois leur mise de départ, sinon ils perdent la totalité de la mise. Il y a en plus quelques petites variantes à un tour de jeu mais sinon c'est aussi simple que cela.

Les actions des joueurs sont limitées, voici la totalité des commandes que peut utiliser un joueur pour interagir avec le croupier et donc jouer :

- Choisir sa mise pour le tour.
- Choisir de recevoir une autre carte.
- Se déclarer servi.
- Doubler sa mise (variante, ensuite le joueur recevra une seule autre carte et sera automatiquement déclaré servi).
- Prendre une assurance (variante, quand le croupier a comme première carte un As alors les joueurs peuvent s'assurer contre le fait que la deuxième est une valeur de dix, auquel cas ils auraient tous automatiquement perdu).
- Couper son jeu en deux (variante, si le joueur reçoit deux cartes ayant toutes les deux une valeur de 10, alors il peut choisir de les séparer en deux jeux indépendants pour ce tour).

L'interaction avec les autres joueurs, notamment pouvoir voir les cartes qu'ils ont reçu, n'a que peu d'intérêt. En effet le sabot comportant cinq jeux de 52 cartes, la connaissance des cartes des autres joueurs n'apporte pas d'information sur les probabilités d'apparition des cartes à venir. Et comme il s'agit d'un jeu informatisé ce sabot est re-mélangé à chaque tour alors qu'en casino ce n'est pas le cas (question de temps).

B.2 Le jeu Citadelles

Citadelles fait partie de tous ces nouveaux jeux de société non classiques. Il s'agit bien entendu d'un jeu de cartes, mais non conventionnel. La modélisation client-serveur est beaucoup moins évidente que pour un jeu de casino, car il n'y a pas de croupier. Cependant, lors



de l'utilisation du jeu dans sa version papier, chaque joueur surveille plus ou moins les autres joueurs, les règles peuvent donc inclure par exemple la notion de carte face cachée pour que les joueurs ne la connaissent pas. Pour Citadelles, le serveur va représenter le jeu de cartes en lui-même, il sera omniscient vis-à-vis de toutes les cartes du jeu (celles des joueurs, celles encore dans le sabot et celles face cachée). Les joueurs ne recevront eux que les informations auxquelles ils auront vraiment accès et pour les cartes face cachée il ne recevront que l'information de leur nombre, pas de leur nature.

Pour jouer il faut un nombre fixe de joueurs (de quatre à six) durant toute la partie, si un joueur quitte la partie pendant le jeu, alors le jeu est fini, les autres ne peuvent pas finir sans lui. De la même façon, tous les joueurs commencent à jouer en même temps. La durée moyenne d'une partie est de 45 minutes. Il s'agit donc ici d'un jeu un peu plus compliqué que le Black Jack mais qui fait surtout entrer des notions différentes (comme les parties à joueurs fixes) qui enrichissent la structure dégagée par mon projet de fin d'études.

Les joueurs sont tous à la tête d'une cité, leur but est d'y construire huit quartiers les plus prestigieux possibles pour accumuler un maximum de points. Le jeu est composé de deux types de cartes, un sabot de 52 quartiers à bâtir, ainsi que huit cartes personnages.



FIGURE 7.2 – Illustrations d'une carte quartier (château) et personnage (magicien).

Les cartes quartiers comportent trois informations : un nom, une catégorie et un coût de construction. Les joueurs vont à tour de rôle devoir essayer de construire des quartiers afin d'obtenir le plus de points possibles (un quartier rapporte autant de points que son coût de construction). Dès qu'un joueur construit son huitième quartier, on finit le tour et la partie est finie. Le joueur cumulant le plus de points remporte la partie. A chaque tour de jeu les joueurs vont choisir un personnage parmi ceux proposés par les huit cartes personnages.

Ceux-ci ont un nom, un numéro et une capacité spéciale. Les joueurs joueront dans l'ordre des numéros des personnages qu'ils auront choisis.

Ils pourront pendant leur tour de jeu faire les actions suivantes :

- Choisir entre recevoir deux pièces d'or (pour pouvoir construire des quartiers) ou piocher une carte quartier.
- Utiliser la capacité de leur personnage (recevoir un nombre de pièces d'or équivalent au nombre de quartiers d'une catégorie qu'ils ont construits, voler un autre joueur, empêcher un autre joueur de jouer, etc.).
- Construire un quartier en payant le coût de construction.



Les actions restent en nombre suffisamment petit pour que le jeu soit assez facile à rendre accessible. Par contre l'interaction entre les joueurs est beaucoup plus forte que dans le Black Jack car tous les joueurs jouent en compétition. Chacun aura besoin de savoir à tout moment le nombre de cartes dans la main de ses adversaires, les quartiers qu'ils ont construits, les points qu'ils totalisent, le nombre de pièces d'or qu'ils possèdent et le personnage qu'ils ont choisi pour ce tour. Il faudra pour cela que chaque joueur puisse aller inspecter le jeu de ses adversaires dans les limites autorisées par les règles (on ne peut pas regarder la nature des cartes de sa main, seulement leur nombre).

Ce jeu demande un apprentissage plus grand que le Black Jack car les cartes ne sont pas conventionnelles. Néanmoins, les actions étant assez peu nombreuses, la prise en main du jeu par le joueur reste relativement rapide une fois les règles du jeu assimilées.



C La génération automatique de jeu

C.1 Un exemple de DTD associée à un jeu vidéo tactile accessible

Comme le souligne la figure 6.59, les jeux générés par notre générateur automatique sont contenus dans des fichiers XML, *i.e.* des fichiers textes structurés.

La structure de ces fichiers textes doit respecter la structure définie dans la DTD proposée figure 7.3.

```

0          10          20          30          40          50          60          70          8
<!ELEMENT jeu (grille, interface, modelisation, listeObjets)>
  <!-- ATTLIST jeu -->
  <!-- ATTLIST jeu nom -->
  <!-- ELEMENT grille -->
  <!-- ATTLIST grille -->
  <!-- ATTLIST grille nbLignes -->
  <!-- ATTLIST grille nbColonnes -->
  <!-- ELEMENT affichage -->
  <!-- ELEMENT interface -->
  <!-- ATTLIST interface -->
  <!-- ELEMENT modelisation -->
  <!-- ATTLIST modelisation -->
  <!-- ELEMENT configurationCellule -->
  <!-- ELEMENT element -->
  <!-- ATTLIST element -->
  <!-- ELEMENT listeCellules -->
  <!-- ELEMENT cellule -->
  <!-- ATTLIST cellule -->
  <!-- ELEMENT listeElementsCellule -->
  <!-- ELEMENT elementCellule -->
  <!-- ATTLIST elementCellule -->
  <!-- ELEMENT listeObjets -->
  <!-- ATTLIST listeObjets -->
  <!-- ELEMENT objet -->
  <!-- ATTLIST objet -->
  <!-- ELEMENT initialisation -->
  <!-- ATTLIST initialisation -->
  <!-- ELEMENT deplacement -->
  <!-- ATTLIST deplacement -->
  <!-- ELEMENT affichage -->
  <!-- ATTLIST affichage -->
  <!-- ELEMENT configPicots -->
  <!-- ATTLIST configPicots -->
  <!-- ELEMENT listeEvenements -->
  <!-- ELEMENT collision -->
  <!-- ATTLIST collision -->
  <!-- ELEMENT action -->
  <!-- ATTLIST action -->

```

FIGURE 7.3 – DTD associée à un jeu tactile.

De manière synthétique cette structure permet de définir :



- le jeu (nom) et la grille de jeu (taille) qui le compose ;
- l’affichage graphique devant être mis en place : affichage ou non de la grille, affichage des images ou simple couleur, taille des secteurs de la grille, taille de l’affichage des picots de la représentation graphique des configurations de picots (en effet, comme nous avons pu le montré au cours des différentes captures d’écran des jeux tactiles, nous proposons une correspondance entre l’affichage braille sur le terminal et un affichage des configurations de picots colorées à l’écran.) ;
- la structure de la représentation braille sur chacune des cellules ;
- la liste des objets pouvant se trouver dans le jeu et le comportement lorsque ces objets entrent en contact.

C.2 Exemple de fichier XML de jeu tactile

C.2.1 Le jeu de labyrinthe

Le premier jeu mis en œuvre est un jeu de labyrinthe. Comme nous l’avons précisé dans ce document, différentes versions peuvent être mise en place : avec ou sans ennemi, avec ou sans objet à ramasser, etc.

Cet exemple est un jeu de labyrinthe sans ennemi. La transcription braille est composée de :

1. une cellule pleine
2. une cellule indiquant la direction de la sortie par rapport au personnage
3. une cellule vide
4. une fenêtre contenant la ligne courante du personnage, la ligne supérieure, la ligne inférieure. On distingue sur la figure 7.4, la décomposition de la transcription braille avec un listing variant des huit secteurs antérieurs aux huit secteurs postérieurs par rapport au secteur courant du personnage.

C.2.2 Le jeu de serpent

Le second jeu dont le fichier XML est présenté est un jeu de serpent. La différence majeure entre les deux jeux, en terme de conception, est le déplacement temporisé inhérent au jeu de serpent. En effet, dans ce dernier, le déplacement doit avoir lieu selon une fréquence constante configurable et non pas sur action du joueur. Le joueur ne se charge que de modifier la direction du déplacement.

Dans cet exemple la transcription braille se structure de la manière suivante :

1. les quatre premières cellules traduisent les coordonnées de la tête du serpent
 - (a) première cellule la dizaine des coordonnées en abscisse
 - (b) seconde cellule les unités des coordonnées en abscisse
 - (c) première cellule la dizaine des coordonnées en ordonnée
 - (d) seconde cellule les unités des coordonnées en ordonnée
2. les reste de la transcription une fenêtre centrée sur la tête du serpent variant des cinq picots antérieurs aux cinq picots postérieurs par rapport à la cellule contenant la tête du serpent.



```

0          10          20          30          40          50          60          70          80          90          100
<!DOCTYPE jeu SYSTEM "configuration.dtd">
<jeu nom="Labyrinthe">
  <grille nbLignes="25" nbColonnes="25" affichage="IMAGE"/>
  <interface tailleCarre="30" taillePicot="15"/>

  <modelisation nbPicotsDirect="4" nbPicotsIndirect="2">
    <configurationCellule>
      <element numElement="0" typeElement="INDIRECT" positions="(0,0);(1,0)"/>
      <element numElement="1" typeElement="DIRECT" positions="(0,1);(0,2);(1,1);(1,2)"/>
      <element numElement="2" typeElement="INDIRECT" positions="(0,3);(1,3)"/>
    </configurationCellule>
    <listeCellules>
      <!-- Cellules d'informations -->
      <cellule numCellule="1" typeCellule="INFO" valeur="separation_pleine"/>
      <!-- position de 3 par rapport a 2 -->
      <cellule numCellule="2" typeCellule="INFO" valeur="position:3-2"/>
      <!-- Permet d'indiquer la direction de la sortie par rapport au personnage -->
      <cellule numCellule="3" typeCellule="INFO" valeur="separation_vide"/>
      <!-- Cellules de données -->
      <cellule numCellule="4" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="-8" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="-8" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="-8" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
      ...
      <cellule numCellule="11" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="-1" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="-1" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="-1" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
      <cellule numCellule="12" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="0" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="0" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="0" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
      <cellule numCellule="13" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="1" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="1" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="1" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
      ...
      <cellule numCellule="20" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="8" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="8" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="8" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
    </listeCellules>
  </modelisation>

```

FIGURE 7.4 – Exemple de fichier XML pour un jeu de labyrinthe : Définition de la structure de la transcription braille.



```
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110
<!--
  Tout les éléments sont vus comme étant des objets. Parmi les objets, on retrouve 3 objets
  obligatoires un peu particulier qui sont les objets HORSJEU, PERSONNAGE et VIDE.
  Concernant les autres objets:
  - initialisation permet d'initialiser la position de l'élément (positionX, positionY et
  direction). Ces champs pouvant être laissés vides. Le champs type permet de préciser si cette
  initialisation est donnée ou doit être calculée de manière aléatoire
  - déplacement permet de préciser le type de déplacement possible STATIC RANDOM BOUNCE MULTI AAF
  - affichage
  - configPicots
-->
<listeObjets nbObjets="6">
  <objet id="0" type="HORSJEU">
    <initialisation typeInitialisation="HORSJEU" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
      directionInitiale=""/>
    <deplacement typeDeplacement="STATIC" timer="FALSE" valeurTimer=""/>
    <affichage image="null" couleurR="255" couleurG="255" couleurB="0"/>
    <configPicots configPicotDirect="1,1,1,1" configPicotIndirect="1,1"/>
  </objet>
  <objet id="1" type="VIDE">
    <initialisation typeInitialisation="VIDE" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
      directionInitiale=""/>
    <deplacement typeDeplacement="STATIC" timer="FALSE" valeurTimer=""/>
    <affichage image="null" couleurR="255" couleurG="255" couleurB="255"/>
    <configPicots configPicotDirect="0,0,0,0" configPicotIndirect="0,0"/>
  </objet>
  <objet id="2" type="PERSONNAGE">
    <initialisation typeInitialisation="RANDOM" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
      directionInitiale="2"/>
    <deplacement typeDeplacement="MULTI" timer="FALSE" valeurTimer="800"/>
    <affichage image="personnage.gif" couleurR="0" couleurG="0" couleurB="255"/>
    <configPicots configPicotDirect="1,0,0,1" configPicotIndirect="1,1"/>
    <listeEvenements>
      <collision nomEtat="HORSJEU">
        <action typeAction="KO" valeur=""/>
        <action typeAction="SON" valeur="cogne.mp3"/>
      </collision>
      <collision nomEtat="VIDE">
        <action typeAction="OK" valeur=""/>
        <action typeAction="SON" valeur="pas.mp3"/>
      </collision>
      <collision nomEtat="PERSONNAGE">
        <action typeAction="OK" valeur=""/>
      </collision>
      <collision nomEtat="ITEM">
        <action typeAction="OK" valeur=""/>
        <action typeAction="SCORE" valeur="1"/>
        <action typeAction="SUPPRIMER" valeur=""/>
        <action typeAction="SON" valeur="ramasse.mp3"/>
      </collision>
      <collision nomEtat="SORTIE">
        <action typeAction="SON" valeur="excellent.mp3"/>
        <action typeAction="VICTOIRE" valeur=""/>
      </collision>
      <collision nomEtat="OBSTACLE">
        <action typeAction="KO" valeur=""/>
        <action typeAction="SON" valeur="cogne.mp3"/>
      </collision>
    </listeEvenements>
  </objet>
```

FIGURE 7.5 – Exemple de fichier XML pour un jeu de labyrinthe : Définition des objets du jeu et de leur comportement.



```

<objet id="3" type="SORTIE">
  <initialisation typeInitialisation="RANDOM" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
    directionInitiale=""/>
  <deplacement typeDeplacement="STATIC" timer="FALSE" valeurTimer=""/>
  <affichage image="sortie.gif" couleurR="128" couleurG="0" couleurB="128"/>
  <configPicots configPicotDirect="1,0,0,0" configPicotIndirect="1,0"/>
</objet>
<objet id="4:14" type="ITEM">
  <initialisation typeInitialisation="RANDOM" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
    directionInitiale=""/>
  <deplacement typeDeplacement="STATIC" timer="FALSE" valeurTimer=""/>
  <affichage image="item.gif" couleurR="0" couleurG="255" couleurB="127"/>
  <configPicots configPicotDirect="0,1,0,0" configPicotIndirect="1,0"/>
</objet>
<objet id="15:100" type="OBSTACLE">
  <initialisation typeInitialisation="RANDOM" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
    directionInitiale=""/>
  <deplacement typeDeplacement="STATIC" timer="FALSE" valeurTimer=""/>
  <affichage image="obstacle.gif" couleurR="255" couleurG="0" couleurB="0"/>
  <configPicots configPicotDirect="0,0,1,1" configPicotIndirect="1,1"/>
</objet>
</listeObjets>
</jeu>

```

FIGURE 7.6 – Exemple de fichier XML pour un jeu de labyrinthe : Définition des objets du jeu et de leur comportement (suite).



```
<jeu nom="Snake">
  <grille nbLignes="20" nbColonnes="20" affichage="IMAGE"/>
  <interface tailleCarre="25" taillePicot="15"/>

  <modelisation nbPicotsDirect="4" nbPicotsIndirect="2">
    <configurationCellule>
      <element numElement="0" typeElement="INDIRECT" positions="(0,0);(1,0)"/>
      <element numElement="1" typeElement="DIRECT" positions="(0,1);(0,2);(1,1);(1,2)"/>
      <element numElement="2" typeElement="INDIRECT" positions="(0,3);(1,3)"/>
    </configurationCellule>

    <listeCellules>
      <cellule numCellule="0" typeCellule="INFO" valeur="positionX1:2"/>
      <cellule numCellule="1" typeCellule="INFO" valeur="positionX2:2"/>
      <cellule numCellule="2" typeCellule="INFO" valeur="positionY1:2"/>
      <cellule numCellule="3" typeCellule="INFO" valeur="positionY2:2"/>
      <cellule numCellule="4" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="-5" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="-5" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="-5" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
      ...
      <cellule numCellule="8" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="-1" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="-1" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="-1" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
      <cellule numCellule="9" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="0" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="0" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="0" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
      <cellule numCellule="10" typeCellule="DATA" valeur="">
        <listeElementsCellule>
          <elementCellule numElement="0" posX="1" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="1" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="1" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
      ...
          <elementCellule numElement="0" posX="5" posY="-1"/>
          <elementCellule numElement="1" posX="5" posY="0"/>
          <elementCellule numElement="2" posX="5" posY="1"/>
        </listeElementsCellule>
      </cellule>
    </listeCellules>
  </modelisation>
```

FIGURE 7.7 – Exemple de fichier XML pour un jeu de labyrinthe : Définition de la structure de la transcription braille.



```

<listeObjets nbObjets="4">

  <objet id="0" type="HORSJEU">
    <initialisation typeInitialisation="HORSJEU" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
    directionInitiale=""/>
    <deplacement typeDeplacement="STATIC" timer="FALSE" valeurTimer=""/>
    <affichage image="null" couleurR="255" couleurG="255" couleurB="0"/>
    <configPicots configPicotDirect="1,1,1,1" configPicotIndirect="1,1"/>
  </objet>

  <objet id="1" type="VIDE">
    <initialisation typeInitialisation="VIDE" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
    directionInitiale=""/>
    <deplacement typeDeplacement="STATIC" timer="FALSE" valeurTimer=""/>
    <affichage image="null" couleurR="255" couleurG="255" couleurB="255"/>
    <configPicots configPicotDirect="0,0,0,0" configPicotIndirect="0,0"/>
  </objet>

  <objet id="2" type="PERSONNAGE">
    <initialisation typeInitialisation="RANDOM" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
    directionInitiale="2"/>
    <deplacement typeDeplacement="AAP" timer="TRUE" valeurTimer="800"/>
    <affichage image="personnage.gif" couleurR="0" couleurG="0" couleurB="255"/>
    <configPicots configPicotDirect="1,0,0,1" configPicotIndirect="1,1"/>
    <listeEvenements>
      <collision nomEtat="HORSJEU">
        <action typeAction="GAMEOVER" valeur=""/>
      </collision>
      <collision nomEtat="VIDE">
        <action typeAction="OK" valeur=""/>
      </collision>
      <collision nomEtat="PERSONNAGE">
        <action typeAction="GAMEOVER" valeur=""/>
      </collision>
      <collision nomEtat="ITEM">
        <action typeAction="OK" valeur=""/>
        <action typeAction="SCORE" valeur="1"/>
        <action typeAction="CREER" valeur="ITEM"/>
        <action typeAction="SUPPRIMER" valeur=""/>
        <action typeAction="SON" valeur="jump1.mp3"/>
        <action typeAction="TAILLE" valeur="INC"/>
      </collision>
    </listeEvenements>
  </objet>

  <objet id="3" type="ITEM">
    <initialisation typeInitialisation="RANDOM" positionInitialeX="" positionInitialeY=""
    directionInitiale=""/>
    <deplacement typeDeplacement="STATIC" timer="FALSE" valeurTimer=""/>
    <affichage image="item.gif" couleurR="0" couleurG="255" couleurB="127"/>
    <configPicots configPicotDirect="0,1,0,0" configPicotIndirect="1,0"/>
  </objet>

</listeObjets>
</jeu>

```

FIGURE 7.8 – Exemple de fichier XML pour un jeu de Serpent : Définition des objets du jeu et de leur comportement.

Bibliographie

- [ABB⁺05] D. Archambault, M. Batusic, F. Berger, D. Fitzpatrick, K. Miesenberger, V. Moço, and B. Stoger. The universal maths conversion library : an attempt to build an open software library to convert mathematical contents in various formats. In *In Proceedings of 3rd International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (joint with HCI International 2005)*, 2005.
- [ABLO04a] D. Archambault, A. Buaud, S. Lerebourg, and D. Olivier. Adapting mainstream multimedia games for severely visually impaired children. Singapore (Thailand), September 2004. Conférence invitée.
- [ABLO04b] D. Archambault, A. Buaud, S. Lerebourg, and D. Olivier. Adapting mainstream multimedia games for severely visually impaired children. Ghent (Belgium), November 2004.
- [ABM05] D. Archambault, F. Berger, and V. Moço. Overview of the universal maths conversion library. In *In Proceedings of the AAATE'05 "Assistive Technology : From Virtuality to Reality"*, pages 256–260, 2005.
- [ACH⁺06] Agnieszka Adameczek, Thomas Choquet, Kim Chen Huynh, Claire Lefur, Philippe Foucher, Ouriel Grynszpan, and Jaime Lopez Krahe. Efficasouris : Outil d'évaluation de l'utilisation des périphériques de type pointeur pour les personnes présentant un trouble moteur. In *4-ème Conférence Handicap*, pages 227–232, Paris, France, 7 au 9 juin 2006.
- [AGM⁺] Dominique Archambault, Thomas Gaudy, Klaus Miesenberger, Stéphane Natkin, and Rolland Ossmann. Towards generalised accessibility of computer games. *Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*.
- [AGML02] M. T. Atkinson, S. Gucukoglu, C. H. C. Machin, and A. E. Lawrence. Making the mainstream accessible : What's in a game? In K. Miesenberger, J. Klaus, and W. Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2006 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 380–387, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [AGR06] Ajith Abraham, Crina Grosan, and Vitorino Ramos, editors. *Stigmergic Optimization*, volume 31 of *Studies in Computational Intelligence*. Springer-Verlag, 2006.
- [Alt05] Greg Alt. The sufferign ; game ai lessons learned. In Steve Rabin, editor, *AI Game Programming Wisdom*, volume 3, pages 445–456. Thomson Delmar Learning, 2005.
- [AM06] D. Archambault and V. Moço. Canonical mathml to simplify conversion of mathml to braille mathematical notations. In *In Proceedings of ICCHP'2006 Conference (10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, pages 1191–1198, 2006.



- [Ama01] A. S Amamion. Une évaluation sommaire de fretts. Rapport en DEA Sciences Appliquées, FPM, 2001.
- [AMS⁺03] Hanene Azzag, Nicolas Monmarché, Mohamed Slimane, Gilles Venturini, and Christiane Guinot. Algorithmes antree : Classification non supervisée par des fourmis artificielles. In *Revue des nouvelles technologies et l'information*, pages 75–86, Lyon, 2003. Cepadues.
- [AMS04] Botea Adi, Martin Muller, and Johnathan Schaeffer. Near optimal hierarchical path-finding. *Journal of game development*, 1(1) :7–28, 2004.
- [AN05] H Aamissepp and D. Nilsson. *Haptic hardware support in a 3d game engine*. Thèse de doctorat, Department of Computing Science Lund Institute of Technology, 2005.
- [And02] G. Andersen. Playing by ear : creating blind-accessible games. *Gamasutra*, May 2002. URL : http://www.gamasutra.com/resource_guide/20020520/andersen_01.htm.
- [AO05a] D. Archambault and D. Olivier. How to make games for visually impaired children. In *ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, Valencia, Spain, 2005.
- [AO05b] Dominique Archambault and Damien Olivier. How to make games for visually impaired children. In *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, pages 450 – 453, Valencia, Spain, 2005. ACM.
- [AOGM07] Dominique Archambault, Roland Ossmann, Thomas Gaudy, and Klaus Miesenberger. Computer games and visually impaired people. *UPGRADE*, 8(2) :43–53, Avril 2007.
- [AOS05] D. Archambault, D. Olivier, and H. Swensson. Computer games that work for visually impaired children. In *HCI*, 2005. Conférence invitée.
- [ARW06] Malek Adjouadi, Eddy Ruiz, and Lu Wang. Automated book reader for persons with blindness. In K. Miesenberger, J. Klaus, and W. Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2006 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 1094–1101, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [AS05] Geoff Adams-Spink. Blind gamers get their own titles. *BBC News UK Edition*, 2005. URL : <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/1/hi/technology/4112725.stm>.
- [ASB⁺07a] D. Archambault, B. Stöger, M. Batusic, C Fahrengruber, and K. Miesenberger. Mathematical working environments for the blind : what is needed now? In *Proceedings of the Workshop on Advanced Learning Technologies for Disabled and Non-Disabled People (WALTD) held in : The 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007)*, pages 915–916, 2007.
- [ASB⁺07b] D. Archambault, B. Stöger, M. Batusic, C Fahrengruber, and K. Miesenberger. A software model to support collaborative mathematical work between braille and sighted users. In *Proceedings of the Ninth International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility ASSETS 2007*, 2007.
- [ASS03] J. Attewell and Carol Savill-Smith. Mobile learning and social inclusion - focussing on learners and learning. In *Paper presented to the MLEARN2003 conference - Learning with Mobile Devices*, london, 2003.



- [BART] 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.
- [Bau05] S. Bauer. Blind teen amazes with video-game skills. *Guardian*, July 2005. URL :www.usatoday.com/tech/news/2005-07-28-blind-gamer_x.htm.
- [BBCJ93] D. BURGER, P. BUHAGIAR, S. CESSARANO, and SAGOT J. Tactison : a multimedia tool for early learning. In *les nouvelles technologies dans l'éducation des déficients visuels, colloque INSERM*, volume 237. éd. INSERM, 1993.
- [BCE⁺05] Kevin Bierre, Jonathan Chetwynd, Barrie Ellis, Michelle Hinn, Stephanie Ludi, and Thomas Westin. Game not over : Accessibility issues in video games. 2005.
- [BDOP02] Cyrille Bertelle, Antoine Dutot, Damien Olivier, and Guillaume Prévost. Active objects to develop computer games for blind children. In *In proc. GAME'ON 2002 Conf on Intelligent Games and Simulation*, Londres, GB, 2002.
- [BDOP03] Cyrille Bertelle, Lerebourg Antoine Dutot, Antoine, Damien Olivier, and Guillaume Prévost. An actor architecture to develop games for blind children. In *In proc. GAME'ON 2003 Conf on Intelligent Games and Simulation*, Londres, GB, 2003.
- [BDT99a] Eric Bonabeau, Marco Dorigo, and Guy Theraulaz. *Swarm Intelligence : From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, New York, 1999.
- [BDT99b] Eric Bonabeau, Marco Dorigo, and Guy Theraulaz. *Swarm Intelligence : From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, 1999.
- [BEC01] BECTA. Computer games in education project. 2001.
- [Ber03] François Bernaschina. *Localisation spatiale acoustique en milieu subaquatique*. Thèse de doctorat, Université de Genève, 2003.
- [BF02a] Y. Bellik and R. Farcy. Comparison of various interface modalities for a locomotion assistance device. In K. Miesenberger, J. Klaus, and W. Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, LNCS, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [BF02b] Y. Bellik and R. Farcy. Experimental interfaces for a locomotion assistance device. In *6th International Conference on Work With Display Units*, Berchtesgaden, Germany, May 2002.
- [BF02c] Y. Bellik and R. Farcy. *Locomotion Assistance for the Blind*. 2002.
- [Bou92] W Boucsein. *Electrodermal activity*. Plenum Press, New York,, 1992.
- [BRBA01] 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 *CONFERE - 8ème édition*, Marrakech, Maroc, July 2001.
- [BSTD97] Eric Bonabeau, Andrej Sobkowski, Guy Theraulaz, and Jean-Louis Deneubourg. *Adaptive Task Allocation Inspired by a Model of Division of Labor in Social Insects*. 1997.
- [BT94] E. Bonabeau and G. Theraulaz. *Intelligence Collective*. Hermes, 1994.



- [Bur92] David A. Burgess. Techniques for low cost spatial audio. In *ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 53–59, 1992.
- [BUR00] D. BURGER. Nouvelles technologies pour l'intégration scolaire des handicapés visuels. In *Bilan et perspectives de la prise en charge des jeunes déficients visuels en France et en Europe, congrès du GPEA*, 2000.
- [CB06] A. Crossan and S. Brewster. Two-handed navigation in a haptic virtual environment. In *Extended Abstracts of CHI 2006*, 2006.
- [CBL⁺00] J.T. Cacioppo, G.G. Berntson, J.T. Larsen, K.M. Poehlmann, and T.A. Ito. *The psychophysiology of emotion, in Handbook of emotions*. M. Lewis and J.M. Haviland-Jones, eds. The Guilford Press : New York, 2000.
- [CGMR08] Paloma Cantó, Ángel L. González, Gonzalo Mariscal, and Carlos Ruiz. Building accessible flash application : an xml-based toolkit. In K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagler, and A. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2008 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, LNCS, pages 370–377, Linz, Austria, July 2008. Springer.
- [CMGS08] Sonia Colas, Nicolas Monmarché, Pierre Gaucher, and Mohamed Slimane. Artificial ants for the optimization of virtual keyboard arrangement for disable people. In *Proc. of th 8th International Conference on Artificial Evolution (EA'07)*, pages 87–99. In Lecture Notes in Computer Science 4926, Springer, Eds. N. Monmarché, E. Talbi, P. Collet, M. Schoenauer, E. Lut-ton, 2008.
- [CN93] Joëlle Coutaz and Laurence Nigay. Les propriétés care dans les interfaces multimodales. In *Poc. Conf. IHM*, pages 7–14, Lille, France, 1993.
- [Cor05] S. Cornett. The usability of massively multiplayer online roleplaying games : Designing for new users. In *In Proceedings of the 2004 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 703–710. ACM Press, New York, 2005. cité par P. Sweetser and P. Wyeth, 2005.
- [Csi90] M. Csikszentmihalyi. *Flow : The Psychology of Optimal Experience*. Harper Perennial, London, 1990.
- [CV04] D. Chen and R. Vertegaal. Using mental load for managing interruptions in physiologically attentive user interfaces. In *In Ext. Abst. CHI '04*, pages 1513–1516. ACM Press, 2004.
- [CZR07] D. Chêne and S. Zijp-Rouzier. Haptic centred interface for geometry learning. In *Proceedings of 1st International Conference on accessibility and assistive technology for people in disability situation, ASSISTH'07*, 2007.
- [D'A01] Christian D'Amico. Gaming with a disability. *3D Action Planet*, October 2001. <http://www.3dactionplanet.com/features/editorials/disabledgamers/index2.shtml>.
- [DAGP90] J.-L. Deneubourg, S. Aron, S. Goss, and J.-M. Pasteels. The self-organized exploratory pattern of the argentine ant. *Journal of Insect Behavior*, 3, 1990.
- [Dan01] J. Daniel. *Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia*. Thèse de doctorat, Université Paris 6, 2001.
- [DCT04a] H. Desurvire, M. Caplan, and J.A. Toth. Using heuristics to evaluate the playability of games. In *In Ext. Abst. CHI 2004*, pages 1509–1512, 2004.



- [DCT04b] H. Desurvire, M. Caplan, and J.A. Toth. Using heuristics to evaluate the playability of games. In *In Extended Abstracts of the 2004 Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM Press, New York, pages 1509–1512, 2004. cité par P. Sweetser and P. Wyeth, 2005.
- [DGLF06] R. Damaschini, C. Grégoire, R. Leroux, and R. Farcy. Evaluation de la locomotion de l’aveugle se déplaçant avec la canne seule ou accompagnée d’aides électroniques. In *4-ème Conférence Handicap*, pages 278–282, Paris, France, 7 au 9 juin 2006.
- [DL07] G. Daunys and V. Lauruska. Sonification system of maps for blind. In *HCI International 2007 Proceedings*, volume 6, 2007.
- [DMH⁺07] G. Dornhege, Del R. Millàn, T. Hinterberger, D.J. MacFarland, and Müller K.R. *Toward brain computer interfacing*. MIT press, 2007.
- [DOA02] A. Dutot, D. Olivier, and D. Archambault. Tl a language to create games for visually impaired children. In K. Miesenberger, J. Klaus, and W. Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, LNCS, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [dPdHV02] Association Québécoise des Parents d’Enfants Handicapés Visuels. Mille et une réponses - la petite enfance, September 2002.
- [DS04a] Marc Dorigo and Thomas Stützle. *Ant colony optimization*. MIT Press, 2004.
- [DS04b] Johann Dréo and Patrick Siarry. Continuous interacting ant colony algorithm based on dense heterarchy. *Future Generation Computer Systems*, 20(5) :841–856, june 2004. Special issue : Computational chemistry and molecular dynamics.
- [Dun05] Jason Dunn. Ant colony organization for mmorpg and rts creature resource gathering. In Steve Rabin, editor, *AI Game Programming Wisdom*, volume 3, pages 495–505. Thomson Delmar Learning, 2005.
- [DV07] S.S. Dhillon and P. Van Mieghema. Performance analysis of the AntNet algorithm. *Computer Networks*, 51(8) :2104–2125, 6 June 2007 2007.
- [DW02] Rusel Demaria and Johnny L. Wilson. High score! the illustrated history of electronic games. *McGraw-Hill Osborne Media*, 2002.
- [EER06] T.G. Evreinova, G. Evreinov, and R. Raisamo. An alternative approach to strengthening tactile memory for sensory disabled people. *Universal Access in Information Society*, 5(2) :189–198, 2006.
- [EG04] Y. Eriksson and D. Gårdenfors. Computer games for children with visual impairments. In *Proceedings 5th European Conference on Disability, Virtual Reality and Associate Technology (ECDVRAT)*, pages 79–86, Oxford, UK, 2004.
- [Ekm99] P. Ekman. *Basic emotions, in Handbook of cognition and emotion*. T. Dalgleish and M. Power, eds. John Wiley and Sons, Ltd. : Sussex, 1999.
- [ELF83] P. Ekman, R.W. Levenson, and W.V. Friesen. Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221,4616 :1208–1210, 1983.
- [Ell] Barrie Ellis. Ouch guide to ... switch gaming. *BBC News UK Edition*. URL : http://www.bbc.co.uk/print/ouch/closeup/switchgaming_guideto.shtml.
- [Ell06] Barrie Ellis. Physical barriers in video games. OneSwitch.org.uk, December 2006.



- [EM06] Koivisto Elina M.I. Researching and creating the future of mobile games. In *4th International conference in Computer Game Design and Technology Workshop*, Liverpool, UK, November 2006.
- [Fed02] M. Federoff. *Heuristics and usability guidelines for the creation and evaluation of fun in video games*. Thèse de doctorat, Indiana Univ. Bloomington, 2002. cité par P. Sweetser and P. Wyeth, 2005.
- [Fei06] Michael Feir. A decade's accessible gaming. *Audyssey magazine*, 49, 2006.
- [FLB⁺03] R. Farcy, R. Leroux, Y. Bellik, R. Damaschini, L. Agro, J.M. Murienne, A. Zoghagi, J. Greene, and P. Pardo. Perception de l'espace des non-voyants par profilométrie laser. In *Journée Nationale Image et Handicap*, Paris, France, october 2003.
- [FLD⁺03] R. Farcy, R. Leroux, R. Damaschini, R. Legras, Y. Bellik, C. Jacquet, J. Greene, and P. Pardo. Laser telemetry to improve the mobility of blind people : report of the 6 month training course. In *Proc. 1st International Conference On Smart homes and health Telematics*, Paris, France, september 2003.
- [FLLD04] R. Farcy, R. Leroux, R. Legras, and R. Damaschini. Laser profilometry for the mobility of blind people : Description of the learning period and indications for using either the sonorous or the tactile interface. *A.M.S.E*, december 2004.
- [FM03] B. Fulton and M. Medlock. Beyond focus groups : Getting more useful feedback from consumers. In *In Proc. Game Dev. Conf.*, 2003.
- [FS96] C. Fisher and P. Sanderson. Exploratory data analysis : Exploring continuous observational data. *Interactions*, pages 25–34, 1996.
- [FVP07] E. Fontaine, R. Velazquez, and E. Pissaloux. Global space integration from tactile representations : an experimental evaluation. Namibi, 2007. IEEE AFRICON 2007, IEEE Catalog N° : 04CH37590C. ISBN : 0-7803-8606-X (CD).
- [FVWP06] E. Fontaine, R. Velazquez, M. Wiertelwski, and E. Pissaloux. Experimental evaluation of a new touch stimulating interface dedicated to information display for visually impaired. pages 55–60, Kufstein, Austria, 2006. ECVHI 2006 (European Conference of Vision and Hearing Impairments).
- [GADP89] S. Goss, S. Aron, J.-L. Deneubourg, and J.-M. Pasteels. The self-organized exploratory pattern of the argentine ant. *Naturwissenschaften*, 76 :579–581, 1989.
- [GAJM05] T. Gutierrez, C. Avizzano, G. Jansson, and C. Magnusson. Haptic and audio interfaces for blind people. In *First ENACTIVE Workshop.*, 2005.
- [GASIGIGDA04] Game Accessibility Special Interest Group International Games Developers Association. Accessibility in games : Motivations and approaches. June 2004. URL : www.igda.org/accessibility.
- [Gau08] Thomas Gaudy. *Étude et développements de jeux vidéo sonores accessibles aux personnes aveugles*. Thèse de doctorat, Conservatoire National des Arts et Métier, 2008.
- [Gee04] J. P. Gee. Learning by design : Games as learning machines. *Gamasutra*, March 2004. cité par P. Sweetser and P. Wyeth, 2005.
- [Gee06] James Paul Gee. Why video games are good for learning? *Keynote address at Curriculum Corporation 13th National Conference*, 2006.



- [Gen03] Sébastien Genvo. *Introduction aux enjeux artistiques et culturels des jeux vidéo*. Éditions L'Harmattan, Coll. Champs visuels, 2003.
- [Gen04] Edouard Gentaz. Apprendre à lire avec les doigts. *Médecine et enfance*, 2004. Redaction H. Collignon, Entretien avec E. Gentaz.
- [GLPNV02] Viviane Gal, Cécile Le Prado, Stéphane Natkin, and Liliana Vega. Quelques aspects de l'économie du jeu vidéo. *Journées d'études jeu et socialisation , Éclos des télécommunications*, 2002.
- [GMRRDSS99] A. González-Mora, J.L. and Rodríguez-Hernández, L.F. Rodríguez-Ramos, L. Díaz-Saco, and N. Sosa. Development of a new space perception system for blind people, based on the creation of a virtual acoustic space. In *Proceedings IWANN '99 : international work-conference on artificial and natural networks*, pages 321–330, 1999.
- [GPZRVC07] C. Gouy-Pailler, S. Zipp-Rouzier, S. Vidal, and D. Chêne. A haptic based interface to ease visually impaired pupil's inclusion in geometry lessons. In *In Proceedings of the 12th International Conference on Human-Computer Interaction, HCI International*, 2007.
- [GSC06] D. Grammenos, A. Savidis, and Stephanidis C. Developing inclusive e-learning systems. *A Special Issue of the international journal Universal Access in the Information Society (UAIS) on Information Systems Accessibility (ISA)*, 2006.
- [GSGS06] D. Grammenos, A. Savidis, Y. Georgalis, and C. Stephanidis. Access invaders : Developing a universally accessible action game. In K. Miesenberger, J. Klaus, and W. Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2006 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 388–395, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [GSS04] D. Grammenos, A. Savidis, and C. Stephanidis. An accessible two-player multi-modal board game. *ERCIM News*, (57), 2004.
- [GSS05] Dimitrios Grammenos, Anthony Savidis, and Constantine Stephanidis. Ua-chess : A universally accessible board game. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, Las Vegas, Nevada, 2005.
- [Gui06] François Guité. Les jeux vidéos en éducation se font crédibles. *opossum*, 2006.
- [Hat] Yvette Hatwell. Cécité précoce et développement cognitif. Support de cours M1 - Handicap et Développement.
- [HdBGD⁺07] A. Hillairet de Boisferon, Edouard Gentaz, A. Descotes, M. Commare, S. Darrous, C. Prado, P. Gouagout, and N Tarrin. A new visuo-haptic interface - telemaque - for the remediation of hanwriting difficulties. volume 1, pages 70–76, Toulouse, France, 2007. Cépaduès éditions.
- [HPNJB68] Hart, E. Peter, Nilson Nils J., and Raphael Bertam. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2) :100–107, 1968.
- [HRCJA02] Libby Hanna, Kirsten Ridsen, Mary Czerwinski, and Kristin J. Alexander. The role of usability research in designing children's computer products. 2002. URL : <http://research.microsoft.com/users/marycz/druin98.htm>.



- [HS02] A. Hildèn and Harry Svensson. Can All Young Disabled Children Play at the Computer. In K. Miesenberger, J. Klaus, and W. Zagler, editors, *Proc. ICCHP 2002 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 2398 of *LNCS*, pages 191 – 192, Linz, Austria, July 2002. Springer.
- [HW90] B. Hölldobler and E. Wilson. *The Ants*. Springer Verlag, Berlin, Germany, 1990.
- [HW96] B. Hölldobler and E. Wilson. *Voyage chez les Fourmis*. Seuil, 1996.
- [I.06] Juhasz I. A haptic mouse used for reading virtual maps. In *Procs. of the Conference and Workshop on Assistive Technology for People with Vision and Hearing Impairments*, 2006.
- [Ich04] Daniel Ichbiah. *La saga des jeux vidéo. De Pong à Lara Croft*. Vuibert, 2004.
- [Jai93] P. Jaisson. *La fourmi et le socio-biologiste*. Odile Jacob, Paris, 1993.
- [Jan05] G. Jansson. Two recommendations for tactile/haptic displays : One for all kinds of presentations and one for the development of haptic displays. In *Proc. of the GOTHI'05*, 2005.
- [Jan07] G. Jansson. Haptics as a substitute for vision. In *In M. A. Hersh and M. A. Johnson (Eds.)*, pages 137–169, 2007.
- [Jay02] R. Jayakanthan. Applications of computer games in the field of education. *The electronic library*, 2 :98, 2002.
- [JBFB04] C. Jacquet, Y. Bellik, R. Farcy, and Y. Bourda. Aides électroniques pour le déplacement des personnes non-voyantes : vue d'ensemble et perspectives. In *16ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme - Machine*, Namur, Belgique, Aout 2004.
- [Jen01] Chen Jenova. *Flow in games*. Thèse de doctorat, MFA Thesis, University of Southern California, 2001.
- [Jen07] Chen Jenova. Flow in games (and everything else). *Communications of the ACM*, April 2007.
- [JFB03] C. Jacquet, R. Farcy, and Y. Bellik. Description d'architectures en xml en vue de l'utilisation dans un système d'aide au déplacement des aveugles. In *Journée Nationale Image et Handicap*, Paris, France, october 2003.
- [JJC05] G. Jansson, I. Juhasz, and A. Cammliton. A virtual map read with a haptic mouse : Effects of some tactile and audio-tactile information options. *Tactile Graphics*, 2005.
- [JJC06] G. Jansson, I. Juhasz, and A. Cammliton. Reading virtual maps with a haptic mouse : Effects of some modifications of the tactile and audio-tactile information. *British Journal of Visual Impairment*, pages 60–66, 2006.
- [Jok05] Jarno Jokinen. Math-puzzle : Equation tutor for sighted and visually impaired children. In *Alternative access : feelings and games*, pages 70–74, 2005.
- [Jön03] Erika Jönsson. *If Looks Could Kill - An Evaluation of Eye Tracking in Computer Games*. Thèse de doctorat, Department of Numerical Analysis and Computer Science, Stockholm Royal Institute of Technology, 2003.



- [JP05] G. Jansson and P. Pedersen. Obtaining geographical information from a virtual map with a haptic mouse. In *Proc. of the International Cartographic Conference (Theme : Maps for Blind and Visually Impaired)*, 2005.
- [JR07] G. Jansson and R. Raisamo. *Haptic Interaction*. In Constantine Stephanidis (Ed.), *The Universal Access Handbook*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2007.
- [JW97] Jean-Marc Jot and Olivier Warusfel. Techniques, algorithmes et modèles de représentation pour la spatialisation des sons appliquée aux services multi-media. *CORESA*, 1997.
- [Kaf06] Yasmin B. Kafai. Playing and making games for learning. *Games and Culture*, pages 36–40, January 2006.
- [KCPLCF05] Chuang Kuei-Chih, Liu Pei-Lin, and Tsai Chi-Feng. Help children with disabilities learn with e-learning technologies. In *21st annual conference on distance teaching and learning*, 2005. année à confirmer basée sur l'année du copyright.
- [Ken01] Steven L. Kent. *The Ultimate History of Video Games : From Pong to Pokemon and Beyond ... The Story Behind the Craze that Touched Our Lives and Changed the World*. Crown Publishing Group, 2001.
- [Krü08] Maria Krüger. Accessible flash is no oxymoron : A case study in e-learning for blind and partially sighted users. In K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagger, and A. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2008 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, LNCS, pages 362–369, Linz, Austria, July 2008. Springer.
- [Lan95] P.J. Lang. The emotion probe. *American Psychologist*, 50,5 :372–385, 1995.
- [LBG⁺08] Pierre Lebocey, Loïc Billant, Pierre Gaucher, Nicolas Monmarché, P. Slimane, Mohamed and Dansart, A.S. Dauphin, and Catherine Barthélémy. Un robot-jouet pour susciter la communication chez l'enfant avec autisme. In Gorce Philippe Vigouroux Nadine, editor, *5-ème Conférence Handicap*, pages 19–24, Paris, France, 10 au 12 juin 2008. Cépaduès éditions.
- [LD04] Nathalie Lewi Dumont. *L'apprentissage de la lecture chez les enfants aveugles : difficultés et évolution des compétences*. Atelier National de Reproduction des Thèses, 2004.
- [LDLD98] Alain Le Diberder and Frédéric Le Diberder. *L'Univers des jeux vidéo*. Editions La Découverte, 1998.
- [Lev92] R.W. Levenson. Autonomic nervous system differences among emotions. *American Psychological Society*, 3,1 :23–27, 1992.
- [LFL⁺04] R. Leroux, R. Farcy, R. Legras, R. Damaschini, Y. Bellik, P. Pardo, and Greene. Perception de l'espace des non-voyants par profilométrie laser : progression et contexte d'utilisation des interfaces sonores et tactiles. In Gorce Philippe Vigouroux Nadine, editor, *3-ème Conférence Handicap*, Paris, France, June 2004.
- [LMV02] Nicolas Labroche, Nicolas Monmarché, and Gilles Venturini. A new clustering algorithm based on the chemical recognition system of ants. In F. van Harmelen, editor, *Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence*, pages 345–349, Lyon, France, July 2002. IOS Press.



- [LS98] Mauricio Lumbreras and Jaime Sánchez. 3d aural interactive hyperstories for blind children. In *Proceedings 2nd European Conference on Disability, Virtual Reality and Associate Technology (ECDVRAT)*, pages 119–128, Skövde, Sweden, 1998. ECDVRAT and University of Reading, UK.
- [LVV07] Guillaume Lopicard, Nadine Vigouroux, and Frédéric Vella. Accessibility interface for video games. In Gerald Craddock Gorka Eizmendi, José Miguel Azkoitia, editor, *Proc. AAATE (European Conference for the Advancement of Assistive Technology in Europe)*, volume 20, pages 850–854, San Sebastian, Spain, 2007. IOS Press.
- [Mag05] C. Magnusson. Audio haptic navigational tools for non-visual environments. In *First ENACTIVE Workshop*, 2005.
- [MAI06] Regan Mandryk, Stella Atkins, and Kori Inkpen. A continuous and objective evaluation of emotional experience with interactive play environments. In ACM, editor, *Proceedings of CHI 2006*, page 1027, Montréal, Québec, Canada, April 2006.
- [Mar07] France Mark. Audio game survey results. *Game accessibility*, 2007.
- [MB06] D. McGookin and S.A. Brewster. *Haptic and Audio Interaction Design*. Springer LNCS Vol 4129, Berlin, Springer, 2006.
- [McC99] R. McCrindle. The impact of new and distributed technologies on disabled users. *Distributed Imaging (Ref. No. 1999/109)*, *IEE European Workshop*, 21, 1999.
- [MCS00] R J Mac Cryndle and D Symons. Audio space invaders. In *Proceedings 3rd European Conference on Disability, Virtual Reality and Associate Technology (ECDVRAT)*, pages 59–65, Alghero, Italy, 2000.
- [MDRG06] C. Magnusson, H Danielsson, and K. Rassmus-Gröhn. Non visual haptic audio tools for virtual environments. In *Workshop on Haptic and Audio Interaction Design*, 2006.
- [MDSV98] Nicolas Monmarché, L. Desbarats, Mohamed Slimane, and Gilles Venturini. Etude d’un nouvel algorithme d’optimisation et d’apprentissage inspiré d’une colonie de fourmis *Pachycondyla apicalis*. In *Colloque Intelligence Artificielle et Complexité*, pages 114–119, Paris, France, 28-29 Septembre 1998.
- [MELK04] Daniel Moreno Eddowes and Jaime Lopez Krahe. Reconnaissance des feux piétons en environnement urbain avec un assistant personnel. *J3eA, Journal sur l’enseignement des sciences et technologies de l’information et des systèmes*, 3, 2004.
- [MI04] R.L. Mandryk and K. Inkpen. Physiological indicators for the evaluation of co-located collaborative play. In ACM Press, editor, *In Proc. CSCW 2004*, pages 102–111, 2004.
- [MIC06] R.L. Mandryk, K. Inkpen, and T.W. Calvert. Using psychophysiological techniques to measure user experience with entertainment technologies. *Behaviour and Information Technology (Special Issue on User Experience)*, pages 141–158, 2006.
- [Min07] Ministère de la culture et de la communication. Culture et handicap : Guide pratique de l’accessibilité, 2007. <http://www.culture.gouv.fr/handicap/pdf/guide112-151.pdf>, Tim Berners, Lee (Directeur du W3C).



- [Mon00] Nicolas Monmarché. *Algorithmes de fourmis artificielles : applications à la classification et à l'optimisation*. Thèse de doctorat, Laboratoire d'Informatique de l'Université François Rabelais de Tours, 2000.
- [MR99] C. Marshall and G.B. Rossman. *Designing qualitative research*. Sage Publications, Thousand Oaks, 1999.
- [MRG05] C. Magnusson and K. Rasmus-Gröhn. Audio haptic tools for navigation in non visual environments. In *Procs. of the 2nd International Conference on Enactive Interfaces.*, 2005.
- [MRG07] C. Magnusson and K. Rasmus-Gröhn. Force design for memory aids in haptic environments. In *Proc. ENACTIVE 07*, 2007.
- [MRGE06] C. Magnusson, Danielsson H. Rasmus-Gröhn, K., and H. Efring. Test of three different audio-haptic navigational tools. In *2nd Enactive Workshop*, 2006.
- [MSS04] Alice Mitchell and Carol Savill-Smith. The use of computer and video games for learning : a review of the literature, 2004.
- [MVS00] Nicolas Monmarché, Gilles Venturini, and Mohamed Slimane. On how *Pachycondyla apicalis* ants suggest a new search algorithm. *Future Generation Computer Systems*, 16(8) :937–946, 2000.
- [Nar04] A. Nareyek. Ai in computer games. *ACM Queue*, 1(10) :58–65, 2004.
- [Nat06] Stéphane Natkin. *Video games and Interactive Media : A Glimpse at New Digital Entertainment*. AK Peters, 2006.
- [NJ98] Nilson Nils J. *Artificial Intelligence : a new synthesis*. Morgan Kaufmann Publishers inc., 1998.
- [NM05a] N. Noble and B. Martin. Etude préliminaire de différents retours tactiles à discrimination rapide. In *Proc. of the 17th French-speaking conference of human computer interaction*, 2005.
- [NM05b] N. Noble and B. Martin. Preliminary study of tactile feedback devices featuring quick discrimination. In *Proc. of the 2nd International Conference on Enactive Interfaces*, 2005.
- [NM06] N. Noble and B. Martin. Shape discovering using tactile guidance. In *In the proceedings of the Eurohaptics International conference*, pages 561–564, 2006.
- [Nor02] D.A Norman. Emotion and design : Attractive things work better. *Interactions*, pages 36–42, 2002.
- [O'Ma] Sile O'Modhrain. Ouch guide to ... accessible gaming. *BBC News UK Edition*. URL : <http://www.bbc.co.uk/ouch/closeup/gaming.shtml>.
- [OMb] Roland Ossman and Klaus Miesenberger. Guidelines for developping accessible games. URL : gameaccess.medialt.no.
- [OM06] Roland Ossman and Klaus Miesenberger. Guidelines for the development of accessible computer games. In K. Miesenberger, J. Klaus, and W. Ziegler, editors, *Proc. ICCHP 2006 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, volume 4061 of *LNCS*, pages 403–406, Linz, Austria, July 2006. Springer.
- [OMA07] Roland Ossmann, Klaus Miesenberger, and Dominique Archambault. Tic tac toe - mainstream games accessibility : Guidelines and examples. In Gerald Craddock Gorka Eizmendi, José Miguel Azkoitia, editor, *Proc. AAATE*



- (*European Conference for the Advancement of Assistive Technology in Europe*), volume 20, pages 791–795, San Sebastian, Spain, 2007. IOS Press.
- [OVT94a] B. ORIOLA, N. VIGOUROUX, and P. TRUILLET. Accès multimodale aux documents électroniques. In *Interfaces multimodales pour handicapés visuels, Actes du séminaire INSERM-ANPEA à l'occasion d'AUTOMOTIC*, 1994.
- [OVT94b] B. Oriola, Nadine Vigouroux, and P. Truillet. Accès multimodale aux documents électroniques. In *Interfaces multimodales pour handicapés visuels - AUTOMOTIC*, 1994.
- [PAMS05] Arnaud Puret, Dominique Archambault, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. A simple game generator for creating audio/tactile games. In *Assistive Technology : From Virtuality to Reality (AAATE'2005)*, pages 545–549, Lille, France, September 6-9 2005.
- [PAMS06] Arnaud Puret, Dominique Archambault, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. A simple game generator for creating audio/tactile games. *Technology and Disability*, 2006.
- [Pis06] E. Pissaloux. Déplacement des déficients visuels dans l'espace : principes et aides technologiques. Lyon, France, 2006. ARIBa (Assoc. de Recherche et d'Initiatives en Basse Vision) et INSERM, U371.
- [Pis07] E. Pissaloux. *Percevoir l'espace sans la vue*, pages 140–142. 2007. ISBN : 978 2 916097 13 8.
- [PJ96] Frédéric Plain-Japy. Origines et genèse du braille dans le monde. In *62nd IFLA General Conference - Conference Proceedings*, Paris, France, August 1996. Association Valentin Haüy pour le bien des Aveugles.
- [PKW⁺02] R.J. Pagulayan, K. Keeker, D. Wixon, R. Romero, and T. Fuller. User-centered design in games,. *Handbook for human-computer interaction in interactive systems*, pages 883–906, 2002.
- [PKW⁺03] R. Pagulayan, K. Keeker, D. Wixon, R. Romero, and T. Fuller. User-centered design in games. pages 883–905. J. A. Jacko and A. Sears (eds.). Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, 2003.
- [PMP05a] T. Pietrzak, B. Martin, and I. Pecci. Affichage d'informations par des impulsions haptiques. In *Proceedings of the 17th French-speaking conference on Human-computer interaction*, pages 223–226, 2005.
- [PMP05b] T. Pietrzak, B. Martin, and I. Pecci. Information display by dragged haptic bumps. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Enactive Interfaces*, 2005.
- [PMP⁺07] T. Pietrzak, B. Martin, I. Pecci, R. Saarinen, R. Raisamo, and J. Jarvi. The micole architecture : Multimodal support for inclusion of visually impaired children. In *In Procs. The Ninth International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI' 07)*, 2007.
- [PMVF06] Edwige Pissaloux, F. Maingreud, R. Velazquez, and E. Fontaine. Validation expérimentale du concept d'aide cognitive à la déambulation. In *4-ème Conférence Handicap*, pages 271–277, Paris, France, 7 au 9 juin 2006.
- [Pre01] M. Prensky. Digital game-based learning. 2001.
- [PS90] J.F. Papillo and D. Shapiro. *The cardiovascular system, in Principles of psychophysiology : Physical, social, and inferential elements*, pages 456–512. L.G. Tassinary, ed. Cambridge University Press : Cambridge, 1990.



- [Pur06] Arnaud Puret. Spatialisation sonore et création de jeux pour des enfants déficients visuels. 2006. Rapport de stage DEA.
- [PV08] E. Pissaloux and R. Velazquez. Perception de l'espace : paradigme de son intégration et validation expérimentale préliminaire. In Gorce Philippe Vigouroux Nadine, editor, *5-ème Conférence Handicap*, pages 43–48, Paris, France, 10 au 12 juin 2008. Cépaduès éditions.
- [qdReSeS] COGNITION LANGUES LANGAGE ERGONOMIE Équipe de Recherche en Syntaxe et Sémantique. Présentation des travaux de l'Équipe de recherche en syntaxe et sémantique (cognition langues langage ergonomie - Équipe de recherche en syntaxe et sémantique).
- [RA03] Andrew Rollings and Ernest Adams. *On Game Design*. New Riders Publishing, 2003.
- [Rab95] P. Rabardel. Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains, 1995.
- [Rai05] Roope Raisamo. Haptics research in TAUCHI : Aiding visually impaired children and enabling haptic interaction. 2005.
- [RARLG06] Paul Richard, Philippe Allain, Emmanuelle Richard, and Didier Le Gall. Projet evacog : Environnements virtuels appliqués aux sciences cognitives. In *4-ème Conférence Handicap*, pages 233–239, Paris, France, 7 au 9 juin 2006.
- [RG06] K. Rassmus-Gröhn. *Enabling Audio-Haptics*. Thèse de doctorat, Licentiate Thesis, Certec 2 :2006, Department of Design Sciences, Lund University, Sweden, 2006.
- [RGEM06] K. Rassmus-Gröhn, J. Eriksson, and C. Magnusson. Two haptic-auditory applications for persons with visual impairments. In *2nd Enactive Workshop*, 2006.
- [RGME06] K. Rassmus-Gröhn, C. Magnusson, and H. Efrting. User evaluations of a virtual haptic-audio line drawing prototype. In *In the Workshop on Haptic and Audio Interaction Design*, 2006.
- [RGME07a] K. Rassmus-Grohn, C. Magnusson, and H. Efrting. Ahead - audio-haptic drawing editor and explorer for education. In *Procs. HAVE 2007 - IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications*, 2007.
- [RGME07b] K. Rassmus-Grohn, C. Magnusson, and H. Efrting. Iterative design of an audio-haptic drawing application. In *Procs. CHI 2007 (Computer/Human Interaction 2007)*, 2007.
- [RLC+05] Xavier Rodet, J.-P. Lambert, R Cahen, Thomas Gaudy, F.G. Guedy, and Pascal Mobuchon. Study of haptic and visual interaction for sound and music control in the phase project. In *Proc. Conference on New Interfaces for musical expression*, pages 109–114, Vancouver, Canada, 2005.
- [RMWW92] JM Randel, BA Morris, CD Wetzel, and BV Whitehill. The effectiveness of games for educationnal purposes : a review of recent research. *Simulation and Gaming*, 23(3) :261, 1992.
- [RPHP07] Roope Raisamo, Saija Patomäki, Matias Hasu, and Virpi Pasto. Design and evaluation of a tactile memory game for visually impaired children. *Interacting with Computers*, 19(2) :196–205, 2007.



- [RSI98] D.W. Rowe, J. Sibert, and D. Irwin. Heart rate variability : Indicator of user state as an aid to human-computer interaction. In *In Proc. CHI '98*, pages 480–487, 1998.
- [SA03] Sébastien Sablé and Dominique Archambault. Blindstation : a game platform adapted to visually impaired children. In *Assistive Technology : From Virtuality to Reality (AAATE'2003)*, Dublin, Ireland, September 2003.
- [SAV01] J.P. SAVARY. Handicap auditif et visuel et utilisation de nouvelles technologies de l'information et de la communication. *Rapport bibliographique, CNAM*, 2001.
- [SBBWSE96] E-L Sallnäs, K. Bjerstedt-Blom, F. Winberg, and K. Severinson Eklundh. Navigation and control in haptic applications shared by blind and sighted users. In *MULTIVIS workshop on Audio and Haptic Interaction Design*, 2996.
- [SBHH03] Jaime Sánchez, Nelson Baloian, Tiago Hassler, and Ulrich Hoppe. Audio-battleship - blind learners cognition through sound. In *Conference on Human Factors in Computing Systems CHI '03 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 798–799, 2003.
- [SBMH06] B. Stoeger, M. Batusic, K. Miesenberger, and P. Haindl. Supporting blind students in navigation and manipulation of mathematical expressions : Basic requirements and strategies. In *In Proc. of the 10th Int. Conf. on Computers Helping People with Special Needs. ICCHP 2006*, pages 1235–1242, 2006.
- [SCMS07] Alexis Sepchat, Romain Clair, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. Jeux video accessibles et fournis artificielles. In Nespoulous Jean-Luc Vigouroux Nadine, Gorce Philippe, editor, *Proc. ASSISTH (Conférence Internationale sur l'Accessibilité et les Système de Suppléance aux personnes en situations de Handicap)*, volume 1, pages 33–40, Toulouse, France, 2007. Cépaduès éditions.
- [SCMS08a] Alexis Sepchat, Romain Clair, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. Artificial ants and accessible games for impaired players. In *2nd International Conference on Metaheuristics and Nature Inspired Computing*, Hammamet, Tunisia, October 2008.
- [SCMS08b] Alexis Sepchat, Romain Clair, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. Artificial ants and dynamical adaptation of accessible games level. In *11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, pages 593–600, University of Linz, Austria, July 2008.
- [SCMS08c] Alexis Sepchat, Romain Clair, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. Task division in ants for better game engines : a contribution to game accessibility for impaired players. In *10th International Conference on Parallel Problem Solving From Nature (PPSN)*, Dortmund, Germany, September 2008.
- [SDMS08a] Alexis Sepchat, Simon Descarpentries, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. Baladeurs multimédia et jeux audio : une alternative aux consoles portables pour personnes en situation de handicap visuel. In Gorce Philippe Vigouroux Nadine, editor, *5-ème Conférence Handicap*, pages 112–117, Paris, France, 10 au 12 juin 2008. Cépaduès éditions.



- [SDMS08b] Alexis Sepchat, Simon Descarpentries, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. *MP3 players and Audio games : an alternative to portable computer games consoles for visually impaired players*. Periodical AMSE (Association for the Advancement of Modelling and Simulation Techniques in Enterprises), 2008. Extension de l'article proposé à Handicap 2008 après sélection.
- [SDMS08c] Alexis Sepchat, Simon Descarpentries, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. Mp3 players and audio games : an alternative to portable video games console for visually impaired players. In *11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, pages 553–561, University of Linz, Austria, July 2008.
- [SJRS05] R. Saarinen, J. Järvi, R. Raisamo, and J. Salo. Agent-based architecture for implementing multimodal learning environments for visually impaired children. In *Proc. of the International Conference on Multimodal Interfaces, ICMI'05*, 2005.
- [SLG08] Cecília Sik Lányi and László Galyas. Developing multimedia-game software to improve space and depth perception. In K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagler, and A. Karshmer, editors, *Proc. ICCHP 2008 (International Conference on Computers Helping People with Special Needs)*, LNCS, pages 827–834, Linz, Austria, July 2008. Springer.
- [SMAS05] Alexis Sepchat, Nicolas Monmarché, Dominique Archambault, and Mohamed Slimane. Accessible video games for visually impaired children. In *The Third Annual International Conference in Computer Game Design and Technology*, pages 58–67, Liverpool, UK, 2005.
- [SMS07] Alexis Sepchat, Nicolas Monmarché, and Mohamed Slimane. Accessible card games for visually impaired players. In Gerald Craddock Gorka Eizmendi, José Miguel Azkoitia, editor, *Proc. AAATE (European Conference for the Advancement of Assistive Technology in Europe)*, volume 20, pages 802–806, San Sebastian, Spain, 2007. IOS Press.
- [SMSA06a] Alexis Sepchat, Nicolas Monmarché, Mohamed Slimane, and Dominique Archambault. Jeux vidéo tactiles pour enfants non voyants. In *4-ème Conférence Handicap*, pages 303–308, Paris, France, 7 au 9 juin 2006.
- [SMSA06b] Alexis Sepchat, Nicolas Monmarché, Mohamed Slimane, and Dominique Archambault. Semi automatic generator of tactile video games for visually impaired children. In *10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, pages 372–379, University of Linz, Austria, July 12-14 2006.
- [SMSE06] E-L. Sallnäs, J. Moll, and K. Severinson Eklundh. Haptic interface for collaborative learning among sighted and visually impaired pupils in primary school. In *Proc. of the Third International Conference on Enactive Interfaces*, 2006.
- [SMSE07] E-L. Sallnas, J. Moll, and K. Severinson Eklundh. Group work about geometrical concepts among blind and sighted pupils using haptic interfaces. In *Proc. of World Haptics 2007*, pages 330–335, 2007.
- [SPE92] J.C. SPERANDIO. Problèmes ergonomiques liés à l'utilisation des technologies hypermédias, multimédias et multimodales - technologie hypermédias : implication pour l'enseignement aux jeunes déficients visuels. *Le courrier de suresnes*, (57), 1992.



- [SPE94] J.C. SPERANDIO. *Les handicapés visuels face à l'informatique - L'ergonomie dans la conception des projets informatiques*. éd. Octares, 1994.
- [Spr05] Pieter Spronck. *Adaptive Games AI*. Thèse de doctorat, Maastricht University, 2005.
- [SRG99] Calle Sjöström and Kirsten Rasmus-Gröhn. The sense of touch provides new computer interaction techniques for disabled people. *Technology and Disability*, 10(1) :45–10, 1999.
- [SRQ01] R.M. Stern, W.J. Ray, and K.S. Quigley. *Psychophysiological recording*. Oxford University Press, New York, 2001.
- [SS04] C. Cornelis S. Schockaert, M. De Cock. Efficient clustering with fuzzy ants, 2004.
- [SS05a] A. Savidis and C. Stephanidis. Developing inclusive e-learning and e-entertainment to effectively accommodate learning difficulties. *IBM Symposium*, 2005.
- [SS05b] Shawn Sheomaker-Stainless. Rts citizen unit ai. In Steve Rabin, editor, *AI Game Programming Wisdom*, volume 3, pages 507–516. Thomson Delmar Learning, 2005.
- [SSS06] A. Savidis, A. Stamou, and C. Stephanidis. An accessible multimodal pong game space. In *9th ERCIM Workshop "User Interfaces for All"*, 2006.
- [SW05a] Penelope Sweetser and Peta Wyeth. Gameflow : a model for evaluating player enjoyment in games. *Computers in Entertainment*, 3, 2005.
- [SW05b] P. Sweetsner and P. Wyeth. Gameflow : A model for evaluating player enjoyment in games. *Entertainment*, 2005.
- [TF06] Morten Tollefsen and Are Flyen. Internet and accessible entertainment. In K. Miesenberger, J. Klaus, and W. Zagler, editors, *10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, volume 4061 of *LNCS*, pages 396–402, University of Linz, Austria, July 12-14 2006. Springer.
- [Toz02] P. Tozour. The evolution of game ai. *AI Game programming wisdom*, 1, 2002.
- [VLBC07] A. Van Langhenove, M.H. Bekaert, and F. Cabestaing. Vers une bci utilisable en dehors du milieu clinique. In Nespoulous Jean-Luc Vigouroux Nadin, Gorce Philippe, editor, *Proc. ASSISTH (Conférence Internationale sur l'Accessibilité et les Système de Suppléance aux personnes en situations de Handicap)*, volume 1, pages 369–375, Toulouse, France, 2007. Cépaduès éditions.
- [VLBN06] A. Van Langhenove, M.H. Bekaert, and J.P. NGuyen. Utilisations thérapeutiques des interfaces cerveau ordinateur. In *4-ème Conférence Handicap*, pages 207–212, Paris, France, 7 au 9 juin 2006.
- [VMP03] R. Velázquez, F. Maingreud, and E. Pissaloux. Intelligent glasses : A new man-machine interface concept integrating computer vision and human tactile perception. pages 456–460, Dublin, Irlande, 2003. Actes de EuroHaptics 2003.
- [VPFH07] R. Velazquez, E. Pissaloux, E. Fontaine, and M. Hafez. Vers une aide pour l'interaction avec l'espace pour les déficients visuels basée sur la perception tactile. *JESA (Journal Européen des Systèmes Automatisés, N° Spécial « Robotique et Handicap »)*, 41/2 :179–198, 2007.



- [VPHS08] R. Velazquez, E. Pissaloux, M. Hafez, and J. Szewczyk. Tactile rendering with shape memory alloy pin-matrix. *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, 57 (5) :1051–1057, 2008.
- [VSHP05] R. Velázquez, J. Szewczyk, M. Hafez, and E. Pissaloux. Une interface tactile portable à bas coût pour le handicap visuel. Guidel, France, 2005. 5èmes Journées Nationales de la Recherche en Robotique.
- [VT87] K.J. Vicente and N. Thornton, D.C.and Moray. Spectral analysis of sinus arrhythmia : A measure of mental effort. *Human Factors*, pages 171–182, 1987.
- [VZL⁺08] J. Villanueva, Azziz Zogaghi, R. Leroux, R. Damaschini, and R. Farcy. Une aide électronique miniature pour le déplacements des déficients visuels en intérieur : le tom pouce light. In Gorce Philippe Vigouroux Nadine, editor, *5-ème Conférence Handicap*, pages 19–24, Paris, France, 10 au 12 juin 2008. Cepaduès éditions.
- [WB05] S. Wall and S. Brewster. Hands on haptics : Exploring non-visual visualisation using the sense of touch. In *Proceedings of ACM CHI 2005*, volume 2, pages 2140–2141, 2005.
- [Wes04] Thomas Westin. Game accessibility case study : Terraformers a real-time 3d graphic game. In *International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, Oxford, UK, 2004.
- [Wil03] Ben Williamson. Accessing games through sound, motion and emotion. *Guardian Unlimited*, December 2003. URL : <http://education.guardian.co.uk/elearning/story/0,10577,1112191,00.html>.
- [WLK02] Willie Walker, Paul Lamere, and Philip Kwok. Freetts - a performance case study. Sun MicroSystem Laboratory, 2002.
- [WLPH06] Li Wang, Vincent Levesque, Jerome Pasquero, and Vincent Hayward. A haptic memory game using the stress2 tactile display. In *International Conference on Human factor in Computing System (CHI)*, Montréal, Quebec, Canada, 2006. ACM.
- [WM03] R.D. Ward and P.H. Marsden. Physiological responses to different web page designs. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59 :199–212, 2003.
- [WPK84] W. Winton, L. Putnam, and R. Krauss. Facial and autonomic manifestations of the dimensional structure of emotion. *Journal of Experimental Social Psychology*, 20 :195–216, 1984.
- [WS00a] G.M. Wilson and M.A. Sasse. Do users always know what’s good for them ? utilizing physiological responses to assess media quality. In *In Proc. HCI 2000*, pages 327–339. Springer, 2000.
- [WS00b] G.M. Wilson and M.A. Sasse. Investigating the impact of audio degradations on users : Subjective vs. objective assessment methods. In *In Proc. OZCHI 2000*, pages 135–142, 2000.
- [ZRP05] S. Zijp-Rouzier and E. Petit. Teaching geometry to visually impaired pupils using haptics and sound. In *Procs. of the Universal Access in Human-Computer Interaction conference*, 2005.

Résumé :

Les jeux vidéo sont un acteur important des loisirs numériques et jouent un rôle toujours croissant dans notre société de l'information et de la communication. Outre leur aspect ludique, ils représentent un remarquable outil d'intégration et un excellent support pédagogique. L'accès des personnes en situation de handicap aux jeux vidéo est devenu un enjeu éthique, légal et financier. Ces travaux présentent la problématique générale de l'accessibilité aux jeux vidéo et proposent une classification des problèmes associés selon deux axes : les problèmes d'interaction et les problèmes de niveau de difficulté. Des solutions sont apportées pour chacun de ces problèmes respectivement à l'aide de la multimodalité et d'un moteur d'intelligence artificielle auto adaptatif. Finalement, ces travaux constituent un nouvel apport en faveur de l'accessibilité au sein des jeux vidéo en proposant des solutions pour souligner la faisabilité de leur intégration dans des jeux vidéo « grand public ».

Mots clés :

Accessibilité, Jeux vidéo, conception pour tous, handicap, intelligence artificielle, fourmis artificielles, jeux audio, jeux haptiques, jeux tactiles, multi modalité

Abstract :

Computer games are one of the main elements of the digital entertainment and their role is growing in our society of information and communication. Indeed, more than a play aspect, they are a notable social integration tool and a very good pedagogical tool. The disabled players' access to the computer games' universe is becoming an ethical, legal and financial issue. These works introduce the computer games accessibility outcome and propose to separate the associated problems into two clusters : the interaction ones and the level of difficulty ones. They also propose to solve these problems with auto adaptive artificial intelligence and thanks to multi modality. Finally, these works are a new contribution in support of the computer games accessibility. They propose some solutions to underline the feasibility of the integration of the computer games accessibility mechanisms in the bosom of the mainstream game universe.

Keywords :

Computer game accessibility, design for all, artificial intelligence, artificial ants, audio games, haptic games, tactile games, multi modality