HAL
open science

Construction d'un simulateur pour l'apprentissage de la mobilité piétonne : RESPECT. Rapport final RES-RFI

Marie-Axelle Granié, Emmanuelle Grislin-Le Strugeon, G. Aubert, Camilo Charron, François-Xavier Lepoutre, Philippe Pudlo, S. Jung

▶ **To cite this version:**

Marie-Axelle Granié, Emmanuelle Grislin-Le Strugeon, G. Aubert, Camilo Charron, François-Xavier Lepoutre, et al.. Construction d'un simulateur pour l'apprentissage de la mobilité piétonne : RESPECT. Rapport final RES-RFI. 2003, 75p. hal-00546248

HAL Id: hal-00546248

https://hal.science/hal-00546248v1

Submitted on 20 Jan 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Rapport final

RES-RFI

Date de rédaction : 19/12/2003

Rédaction	Vérification	Approbation		
Nom	Nom	Nom	Visa	Date
Marie-Axelle GRANIE	Marie-Axelle GRANIE	Serge JUNG		
Emmanuelle GRISLIN-LESTRUGEON	Emmanuelle GRISLIN-LESTRUGEON			
Georges AUBERT	Georges AUBERT			
Camilo CHARRON	Camilo CHARRON			
François-Xavier LEPOUTRE	François-Xavier LEPOUTRE			
Philippe PUDLO	Philippe PUDLO			
Serge JUNG	Serge JUNG			

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

DIFFUSION

Destinataires	Société	nb. d'ex
Mme JOUVE	Ministère de la Recherche	Original
Mme GRANIE	INRETS/LPC	1
M. CHARRON	CRP2C	1

Destinataires	Société	nb. d'ex
M. LEPOUTRE	UVHC/LAMIH	1
M. JUNG	CORYS TESS	1

HISTORIQUE

Ind	Rédaction	Vérification	Approbation	
	Nom	Nom	Nom	Date
2	Les partenaires	Les partenaires	Serge JUNG	15/12/03

DOCUMENTS DE REFERENCE

Titre	Référence	ind.
Demande de subvention RESPECT – 28/05/2001		
Notifications des décisions d'aide – 14/08/2001	N° 01 A 0087/-88/-89/-90	
Droits de propriété	RES-IPR	3
Rapport d'étape	RES-RET	5

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION 6

1.1 BUT DU DOCUMENT 6

1.2 GLOSSAIRE 6

1.3 REFERENCES 6

2. PEDAGOGIE ET SECURITE ROUTIERE POUR L'ENFANT-PIETON 7

2.1 INTRODUCTION 7

2.1.1 L'expérience, principal facteur de réduction de l'accidentologie piétonne 7

2.1.2 La simulation comme moyen d'acquisition d'expérience en toute sécurité 8

2.1.3 L'objectif du projet : développer l'expérience piétonne par la simulation 9

2.2 PSYCHOLOGIE ET EDUCATION ROUTIERE : QUESTIONNEMENTS ET CHOIX 9

2.2.1 Quel niveau de réalisme du simulateur ? 9

2.2.2 La problématique spécifique de l'enfant piéton 9

2.2.3 Quel est le comportement du piéton ? 10

2.2.4 Quelles règles de sécurité ? 10

2.2.5 Quelles compétences cognitives ? 11

2.2.6 Construire un répertoire des compétences à éduquer 12

3. PIETONS VIRTUELS 14

3.1 MODELISATION DU COMPORTEMENT DES PIETONS 14

3.1.1 Cadre général de la modélisation 14

3.1.2 Problématique 15

3.1.3 Modèles existants 16

3.1.4 Modèles proposés 18

3.1.5 Bilan sur le comportement 20

3.1.6 Perspectives 21

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

3.2 MODELISATION BIOMECANIQUE DES PIETONS 21
3.2.1 Objectif 21
3.2.2 L'être virtuel 21
3.2.3 Méthodes d'animation 22
3.2.4 Construction de la base de mouvements 28
3.2.5 La simulation par modélisation 29
3.2.6 Bilan de la biomécanique 29
3.2.7 Perspectives 30

4. LE SIMULATEUR EDUCATIF 31

4.1 INTERFACE AVEC L'UTILISATEUR 31
4.1.1 Acquisition d'information 31
4.1.2 Restitution d'image 35
4.1.3 Restitution de son 38
4.2 MODELE DU MONDE REEL 40
4.2.1 Infrastructure routière 40
4.2.2 Avatar du piéton-élève 43
4.2.3 Autres piétons 44
4.2.4 Véhicules 45
4.2.5 Décor 47
4.2.6 Conditions climatiques et astronomiques 47
4.3 ASPECTS PEDAGOGIQUES 47
4.3.1 Scénarios 47
4.3.2 Guidage 49
4.3.3 Evaluation 51
4.3.4 Revoir et refaire 54
4.3.5 Intégration à l'école 56
4.4 ASPECTS LOGICIELS ET MATERIELS 56

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

4.4.1 Conception et codage 56
4.4.2 Format des données 57
4.4.3 Portabilité des logiciels 57
4.4.4 Matériel informatique et performance 57

5. ORGANISATION 59
5.1 PARTENAIRES 59
5.2 REUNIONS 59
5.3 PRODUITS 59
5.4 EXPERIMENTATIONS 61
5.5 COMMUNICATIONS 62

6. CONCLUSION 63
6.1 BILAN 63
6.2 PERSPECTIVES 63

7. ANNEXE : BIBLIOGRAPHIE 65
7.1.1 Pédagogie et sécurité routière pour l'enfant-piéton 65
7.1.2 Modélisation des autres piétons virtuels 71
7.1.3 Modélisation informatique 74

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

1. INTRODUCTION

1.1 BUT DU DOCUMENT

Le présent document a pour objectif de présenter les travaux réalisés dans le cadre du projet RESPECT, entre le 14 août 2001 et le 13 décembre 2003. Il correspond au rapport final, prévu par la notification d'aide de ce projet PREDIT.

Ce document est volontairement synthétique : il n'est pas la somme des documents produits, mais leur point d'entrée. Le lecteur est donc invité à se reporter aux autres documents du projet pour plus de détails.

1.2 GLOSSAIRE

2D : En deux dimensions

3D : En trois dimensions

APER : Attestation de Première Education à la Route

CRR : Compte Rendu de Réunion

DISR : Délégation Interministérielle à la Sécurité Routière

DSC : Dossier de Spécification et de Conception

DSS : Dossier de Spécification du Système

IA : Intelligence Artificielle

NHTSA : National Highway Traffic Safety Administration

ONISR : Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière

RESPECT : Route Empruntée en Sécurité par le Piéton-Enfant Confronté au Trafic

1.3 REFERENCES

La bibliographie est détaillée en annexe.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

2. PEDAGOGIE ET SECURITE ROUTIERE POUR L'ENFANT-PIETON

2.1 INTRODUCTION

Depuis début 1999 avec un renforcement à partir de juillet 2002, le gouvernement français a mis en œuvre une politique visant à réduire de moitié la mortalité routière en cinq ans, et en particulier la surmortalité des jeunes conducteurs de voitures et de deux-roues. A cet effet, des travaux de recherche ont été lancés sur quatre axes prioritaires, dont l'un est la formation des usagers de la route et des conducteurs. Notre projet s'inscrit dans cet axe, et couvre un domaine peu exploré jusqu'à présent, celui de l'éducation des jeunes enfants, pour la tranche d'âges de l'école primaire (voir RES-DSS-4 sur les programmes éducatif en sécurité routière).

2.1.1 L'expérience, principal facteur de réduction de l'accidentologie piétonne

Nous avons calculé, à partir des chiffres de l'ONISR concernant l'accidentologie entre 1999 et 2001, la part des accidents survenus aux enfants de 0 à 14 ans en fonction du mode de transport, piéton ou voiture individuelle.

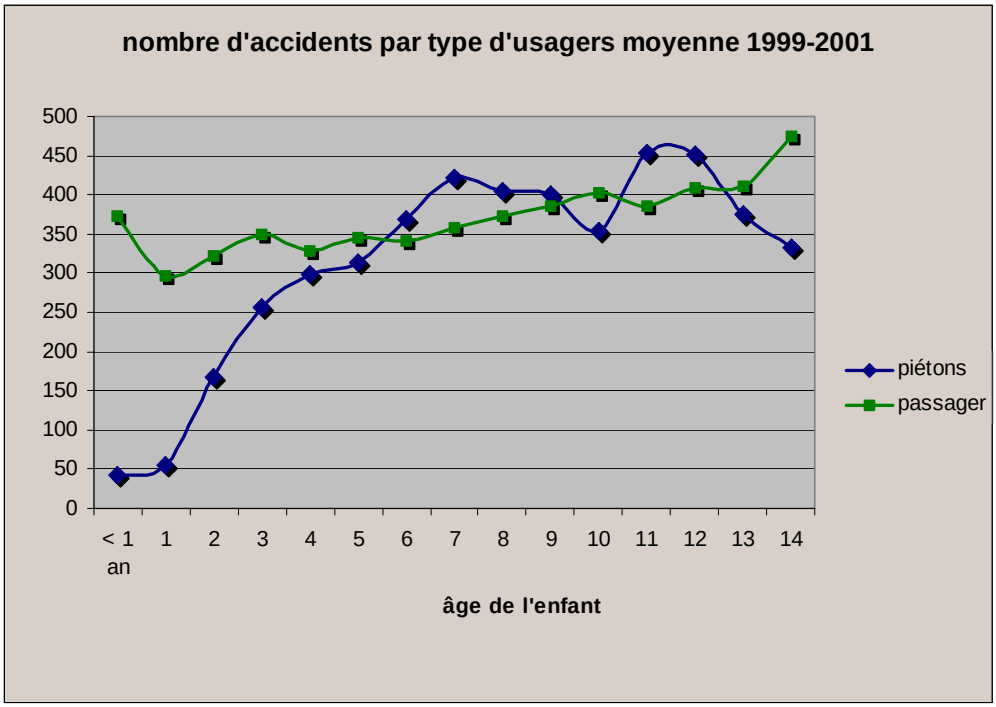

Figure 1. Accidentologie des enfants piétons ou passagers

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Concernant les chiffres globaux d'accidents, on note deux pics dans les accidents piétons, à 7 ans et à 11 ans, pics dus aux blessés graves plus qu'aux tués. Les accidents passagers montrent une augmentation constante mais dont la pente est moins forte que pour les accidents piétons. De plus, les chiffres montrent bien que l'éducation en sécurité routière de l'enfant ne doit laisser de côté ni la situation de passager, ni la situation de piéton.

Le pic d'accidents observable à l'âge de 7 ans est traditionnellement expliqué par les manques développementaux inhérents à l'enfant avant cet âge charnière. Cette interprétation en terme de maturation est basée sur une lecture erronée de la théorie du développement cognitif de Piaget et se décline dans plusieurs insuffisances afférentes à son âge et son niveau de développement. Ces manques sont vus comme inéluctables avant 7 ans, alors que la littérature internationale récente montre que la plupart sont éducables de façon précoce, et que d'autres capacités manquantes ne sont pas réellement nécessaires pour pouvoir se déplacer en sécurité. Pour la plupart, le faible niveau de développement de ces capacités relève plus d'un manque d'apprentissage, d'un niveau stratégique, d'utilisation efficiente de capacités existantes, plutôt que structurale c'est-à-dire relevant du niveau de maturation neuropsychologique. Cette représentation du développement de l'enfant a eu pour effet de privilégier en France la protection - prévention au détriment de l'éducation : on a choisi de l'éloigner de la route. Par ailleurs, on note dans les pays européens une augmentation de la vulnérabilité des enfants plus âgés (10-14 ans) qui a coïncidé avec une augmentation de l'âge où les enfants sont autorisés à avoir une mobilité indépendante (Demetre, 1999). En France, le pic d'accidents de 11 ans correspond à l'entrée au collège et à l'autorisation des premiers trajets « solos ». L'enfant a sans doute alors les capacités de gérer la situation routière, mais il n'a aucune expérience de l'environnement routier. L'éducation de l'enfant à la route ne peut se contenter d'enseigner à l'enfant des règles comportementales en dehors du contexte routier dans lequel elles prennent leur sens, elle doit aussi lui donner les moyens de les mettre en pratique, et d'analyser son environnement physique et social pour pouvoir gérer la situation.

On peut donc retenir que l'expérience piétonne acquise est un facteur protecteur significatif qui contrebalance positivement l'accroissement de l'exposition au risque.

2.1.2 La simulation comme moyen d'acquisition d'expérience en toute sécurité

Les différents travaux effectués sur l'effet de la simulation pour l'apprentissage du déplacement piéton vont dans le sens d'un effet positif de l'utilisation de la simulation sur l'acquisition des comportements sécuritaires en situation réelle. Renaud (1988) retient que les jeux de simulation comportant des éléments déclencheurs d'attitudes (jeu de rôle et dynamique de groupe) et de comportements (modelage et entraînement) ont des effets sur les attitudes à l'égard du danger, le comportement et le transfert d'apprentissage en situation réelle. McComas, McKay & Pivik (2002) montrent que l'éducation routière passant par la réalité virtuelle a un effet à la fois sur le respect des règles routières en situation simulée, mais aussi sur les comportements réels observés en situation quotidienne. Tolmie et al. (2001) montrent que l'éducation sur un simulateur a des effets à la fois sur le choix du site de traversée, l'analyse du trafic, l'estimation des vitesses relatives et l'interprétation du comportement d'autrui. Ces effets s'observent en situation simulée mais aussi en situation réelle et les améliorations sur chacun de ces points permettent une amélioration également sur les autres points. Tolmie et al. (2003) montrent de plus que l'utilisation de la simulation permet une amélioration du comportement et de la compréhension conceptuelle et que la compréhension et l'action deviennent plus coordonnées, ceci permettant un usage plus adapté de ce qui a été appris et des futurs apprentissages. Le document RES-DSS-6 présente l'analyse détaillée du programme éducatif développé par Tolmie (2001).

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

2.1.3 L'objectif du projet : développer l'expérience piétonne par la simulation

Au moyen d'une sensibilisation des jeunes de 6 à 11 ans à la sécurité routière, le projet RESPECT (Route Empruntée en Sécurité par le Piéton-Enfant Confronté au Trafic) a pour objectif :

- de contribuer de manière significative à la réduction du nombre d'accidents piétons chez les jeunes,
- de préparer ces jeunes qui seront pour la plupart de futurs cyclomotoristes puis automobilistes, à devenir des adultes plus respectueux des autres usagers de la route, en particulier des piétons et des deux-roues.

Cette sensibilisation se fait à l'aide d'un simulateur éducatif (logiciel), qui reproduit de manière synthétique l'environnement urbain des piétons dans toute sa complexité (visuelle, sonore). Ce simulateur éducatif est un outil à l'usage des élèves de l'école primaire, encadrés par leur professeur d'école, en complément des moyens d'éducation existant sur ce thème.

Le simulateur éducatif permet, dans une réalité virtuelle, de placer l'enfant dans des situations accidentogènes qui sont engendrées par des interactions entre les piétons, les véhicules légers, les autobus, les poids lourds et les tramways. Cette immersion permet à l'enfant d'apprendre quelles sont les conséquences possibles de différentes conduites. Il prend alors conscience du danger que représente le non-respect des règles du code de la route et des règles de prudence, par lui ou par les autres usagers de la route. Cette prise de conscience constitue le fondement essentiel à tous les usages de véhicules auxquels l'enfant sera confronté une fois devenu adulte.

2.2 PSYCHOLOGIE ET EDUCATION ROUTIERE : QUESTIONNEMENTS ET CHOIX

2.2.1 Quel niveau de réalisme du simulateur ?

La littérature consacrée à la question du réalisme de la simulation s'accorde sur le fait que la fidélité de l'apparence physique du simulateur n'est pas corrélée avec la performance en termes de transfert d'apprentissage.

Les études en psychologie et en ergonomie révèlent par ailleurs qu'un aspect important de l'efficacité de la simulation pour l'apprentissage et le transfert réside dans l'identification et la transposition des indices des tâches (ici les activités du piéton) qui permettent effectivement aux enfants de développer une activité similaire à celle développée en situation réelle (Burkhardt, Bardy & Lourdeaux, 2003).

Il nous a donc fallu repérer et dégager les indices des tâches du piéton pour spécifier les caractéristiques du simulateur (accidentologie, statut des règles à apprendre, compétences cognitives, …). Par ailleurs, nous avons veillé à ce que l'infrastructure représentée dans le simulateur soit réaliste. Pour cela, nous avons utilisé la littérature disponible sur l'aménagement urbain et cherché à obtenir une infrastructure diversifiée et réaliste (cf RES-DSS-16 sur l'aménagement de l'infrastructure).

2.2.2 La problématique spécifique de l'enfant piéton

Le NHTSA a réalisé une typologie de 12000 accidents d'enfants piétons, aux USA. L'INRETS/MA a réalisé une étude similaire en 2001. Une enquête australienne aboutit aux conclusions suivantes : 50% des

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

accidents ont lieu entre 16 et 18h ; 75% ont lieu en section droite ; dans plus de la moitié des cas, on a une situation de mauvaise visibilité due à un obstacle (par exemple un véhicule stationné) ; dans les 2/3 des cas, on identifie un élément « distracteur ».

Cette problématique a donc permis de spécifier des caractéristiques du simulateur (cf RES-DSS-1) :

- prise en compte de la taille de l'enfant ;
- vision subjective ;
- présence de véhicules en stationnement et autres obstacles à la visibilité ;
- possibilité de prise de point de vue perceptive d'autrui ;
- apprentissage des traversées en ligne droite aussi bien qu'en intersection.

2.2.3 Quel est le comportement du piéton ?

Le travail de l'école hollandaise d'éthologie animale et humaine (éthologie, c'est-à-dire étude du comportement) se reflète dans les recherches des psychologues de la route bataves (Van der Molen, 1983). Cette approche utilise l'observation non participante, en situation naturelle, d'individus dans leur environnement quotidien. Les chercheurs dans cette tradition ont développé une éthologie de la traversée de rue (« ethology of street crossing »), qui ne se centre pas sur ce que les enfants sont censés faire dans la rue, ni sur ce que les parents pensent que les enfants font dans la rue, mais sur ce qu'ils font réellement lorsqu'ils sont seuls confrontés au trafic. L'utilisation de l'enregistrement vidéo des comportements de l'enfant en tant que piéton a permis de différencier 200 différentes sous-tâches dans la traversée de rue. A partir de là, d'autres chercheurs de la même école ont cherché à analyser les capacités fonctionnelles nécessaires à l'enfant en fonction des tâches clés de la traversée (Van der Molen, Rothengatter, & Vinjé, 1981; Vinjé, 1981), et ont relié ces capacités à la théorie développementale de Piaget. Vinjé a ainsi listé une série d'objectif en prenant en compte les capacités fonctionnelles qui pouvaient être assumées par chaque tranche d'âge.

La décomposition du comportement piéton (Van der Molen, 1981, 1983; Van der Molen et al., 1981) est basée sur une observation éthologique. Cette décomposition de la tâche piéton a servi de base à une décomposition du déplacement piéton à partir d'arbres décisionnels (cf RES-DSS-7). Le même travail a été également effectué pour le comportement du véhicule (cf RES-DSS-9). De plus, cette décomposition du déplacement piéton a servi de base aux classes de situation du référentiel de compétences, ainsi qu'à l'analyse des indices et stratégies prises en compte, notamment dans la partie des stratégies de traversée.

2.2.4 Quelles règles de sécurité ?

L'analyse de la littérature sur le développement moral et l'acquisition des règles sociales montre que celles-ci sont acquises par l'enfant au travers de son interprétation des réactions d'autrui face aux transgressions de l'enfant (voir RES-DSS-17).

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

En conséquence, dans le simulateur, nous avons implémenté cette transgression des règles de sécurité routière par l'enfant, déjà permise et cotée sous forme d'erreur, mais aussi par les autruis, renforcée négativement par l'enseignant. Cette transgression est à la base de la construction des règles chez l'enfant, elle doit donc être possible dès le début de la construction de ces règles et elle est compréhensible par l'enfant, comme transgression de règles sociales ou de règles morales dès l'âge de 3 ans. De plus, les moyens de se protéger de ces transgressions, que ce soit par l'autocontrôle de son comportement afin de ne pas imiter un comportement transgressif (capacité présente chez l'enfant dès 3 ans et stratégies construites par l'enfant dès l'école primaire) ou par la construction de règles de sécurité face à la transgression de la part des véhicules ne varient pas des comportements demandés à l'enfant dans un environnement sans transgression. L'autocontrôle est déjà demandé à l'enfant pour éviter les comportements de surgissement. Et les mêmes processus nécessaires à une traversée en sécurité (le choix de site de traversée, l'analyse du trafic, le calcul des gaps et l'attribution d'intention à autrui) sont à l'œuvre, qu'il y ait transgression ou non, de la part des véhicules.

Cette transgression renforcée négativement est nécessaire pour deux raisons :

- Permettre à l'enfant de construire sa règle comportementale en tant que piéton en fonction des renforcements négatifs occasionnés par son propre comportement et celui des autres piétons ;

- Justifier les règles de sécurité énoncées par le piéton en fonction du comportement des véhicules et pouvoir catégoriser comme bons ou mauvais les conduites des automobilistes pour sa propre sécurité (comment justifier l'obligation du passage piéton si les véhicules s'arrêtent dès qu'ils repèrent un piéton sur le trottoir ? quelle explication donnée à cette obligation ? si cette obligation n'est pas justifiée, explicitée et qu'on en reste au niveau de « c'est comme ça », on se retrouve au niveau d'une convention sociale, c'est-à-dire d'une règle sans justification autre que la cohésion du groupe alors que cette règle se justifie par les attentes du conducteur à l'égard du comportement du piéton – qui tend plutôt vers le domaine moral, c'est-à-dire de règles se justifiant par le bien ou le mal fait à autrui. Si le véhicule attend le piéton partout et lui donne toute priorité, alors la règle du passage piéton ne se justifie pas).

Cette nécessité a donné lieu à une série de paramétrages sur l'état d'infractionnisme de la part des automobilistes (voir § 4.3.1.2).

2.2.5 Quelles compétences cognitives ?

Sur un plan cognitif, dans l'acquisition de la tâche piétonne, complexe et variable (cf RES-DSS-18 sur les données de la littérature), il est nécessaire d'obtenir à la fois des compétences procédurales et le développement d'une compréhension conceptuelle qui permettra de généraliser les procédures apprises de façon flexible (adaptée). Quand les enfants apprennent des procédures sans les comprendre, ils n'arrivent pas à s'adapter aux besoins de la situation quand elle diffère sensiblement de la situation apprise (Rothengatter, 1981; Thomson, 1991). Quand un grand degré de généralisation est requis, comme c'est souvent le cas, de tels enfants n'arrivent pas à établir le lien entre les procédures acquises et abordées dans la situation d'apprentissage et la situation présente où ils doivent les appliquer (Brown & Campione, 1986). Le piéton a besoin de deux niveaux : des habiletés perceptivo-motrices et des concepts larges de base sur l'environnement routier qui guident le déploiement de ces habiletés. L'enseignement doit donc aller de l'action vers le concept. Les règles comportementales seules ne suffisent pas et les connaissances seules ne sont pas suffisantes. De plus, les théories sur le développement cognitif (Piaget, Vygotsky) réinvesties avec succès dans la didactique (Brousseau, Douady, etc.) montrent qu'une progression naturelle et efficace des

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

apprentissages va de l'action vers le concept. La compréhension va de la mise en acte en situation vers sa généralisation à un ensemble de situations similaires. Les actions utilisées dans l'apprentissage doivent être les plus proches possibles de celles dans lesquelles ces apprentissages sont nécessaires. Cela donne à l'enfant l'information de base nécessaire sur les relations entre action et environnement dans une forme qu'il pourra adopter et utiliser pour lui-même (acquisition d'action et généralisation de l'action vers le concept). Une fois ces modèles d'action bien établis, il pourra utiliser son expérience sur celles-ci pour construire une compréhension plus articulée des comportements à utiliser dans des contextes différents, ainsi que des concepts plus généraux sur l'environnement routier. Cela suppose donc de confronter dès le départ l'enfant au plus grand nombre de situations routières auxquelles il peut être confronté dans la réalité.

Il est donc devenu difficile de trouver des méthodes d'entraînement permettant à la fois le développement procédural et conceptuel de façon intégrée.

Les exercices de RESPECT ont été créés dans cet esprit. Ils permettent de travailler des compétences élémentaires de façon spécifique ou coordonnée. Nous avons élaboré à cet effet un répertoire de compétences.

2.2.6 Construire un répertoire des compétences à éduquer

L'objet de ce répertoire (cf RES-DSS-15) est d'inventorier et d'ordonner les compétences requises par le piéton pour que chaque déplacement puisse satisfaire aux exigences de sécurité. Chaque compétence énonce les règles d'actions complexes à mobiliser dans un contexte dont les variables sont nommées (situation, paramètres personnels, connaissances) ; des éléments d'observation sont repérés : ils peuvent permettre une évaluation par un tiers ou un regard sur soi-même.

La méthodologie d'élaboration adoptée classe de façon consécutive et dynamique les éléments de référence en invariants opératoires (les représentations dont le sujet se nourrit) qui influencent les attitudes et commandent des besoins d'anticipation, lesquels permettent à un individu d'agir et de rapporter son action à ce qu'il en attendait, voire, si ses attentes ne sont pas remplies, de remettre en cause ses représentations.

La classification et l'ordre des schèmes répertoriés correspondent au déroulement de l'action de l'usager de l'espace routier. Les quatre catégories retenues partent des compétences communes nécessaires à toute personne présente dans l'espace routier jusque vers des compétences plus spécifiques liées à des situations typiques de déplacement (ligne droite, arrêt, insertion, …). La première catégorie de schèmes, appelés civiques, sociaux et psychologiques spécifie les représentations, les attitudes et les comportements de l'individu face à la règle légale, face à autrui et face à lui-même dans l'espace routier. La catégorie des schèmes techniques précise les compétences nécessaires à la préparation de tout déplacement et à la maîtrise de son moyen de transport. La troisième série de schèmes, centrés sur le traitement de l'information, explicite les compétences cognitives d'analyse de la situation et du comportement des autres usagers nécessaires à la prise de décision et à l'action dans l'espace routier. Enfin, les schèmes spécifiques décrivent le déroulement de l'action - de la prise d'informations à la prise de décision et à l'action - pour des catégories de situations typiques rencontrées lors du déplacement routier.

Ce répertoire de compétences, de par sa structure, pourra permettre d'isoler ce qui est de l'ordre de l'apprentissage :

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

- dans le domaine des représentations : intervalle entre ce que le sujet tient pour vrai et ce qu'il tient pour pertinent
- entre ce que le sujet tient pour pertinent et l'anticipation de son action (travail sur la prise d'indices et le traitement des informations)
- à la confluence des invariants opératoires et des anticipations, ce qui en ressort dans la règle d'action
- sur les effets de rétroaction vers les représentations du sujet et ses règles d'action

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

3. PIETONS VIRTUELS

Les autres piétons augmentent fortement le réalisme de la situation. Ils font l'objet d'une modélisation comportementale (perception et prise de décisions) et biomécanique (traduction des commandes et adaptation à l'environnement), sous forme de déplacements ou de mouvements.

3.1 MODELISATION DU COMPORTEMENT DES PIETONS

Afin de permettre l'immersion du joueur dans la simulation, les piétons virtuels doivent être capables de se déplacer dans les scènes urbaines en montrant un comportement le plus réaliste possible.

Ensuite, et afin d'offrir une diversité de comportements, il s'agit de rendre ces piétons configurables sous différents aspects :

- physique (lent/rapide, petit/grand, etc.)
- comportement (prudent/imprudent, etc.)
- densité (quantité de piétons)

Enfin, il faut que les piétons soient capables de s'adapter à leur environnement selon deux aspects supplémentaires :

- la configuration de la ville choisie (disposition des rues, des passages piétons, …). Les piétons doivent avoir un raisonnement indépendant de la configuration de la ville. Les piétons doivent pouvoir construire un itinéraire et choisir les lieux de traversée.
- la situation présente (arrivée d'un véhicule, panne d'un feu tricolore, etc.). Les piétons doivent pouvoir réagir rapidement face au trafic, aux autres personnages et au joueur. L'adaptation au joueur comporte une composante supplémentaire lorsqu'il est demandé de mettre celui-ci dans une situation donnée afin de réaliser un scénario déterminé.

3.1.1 Cadre général de la modélisation

L'approche suivie consiste en une simulation à base d'agents des piétons virtuels.

La modélisation orientée agent logiciel offre des possibilités intéressantes en termes de modularité, d'adaptation et d'autonomie. La modularité doit permettre d'intégrer autant d'individus et autant de différences comportementales inter-individus que nécessaire. L'adaptation doit permettre de répondre aux exigences de réaction aux événements tels que ceux présentés précédemment. L'autonomie doit permettre d'éviter une description totalement exhaustive des situations possibles en dotant l'agent de capacités de réaction aux situations imprévues.

Un agent logiciel est capable de percevoir son environnement, raisonner, prendre des décisions et agir en conséquence. Le modèle classique de l'architecture d'un agent intelligent est ainsi la boucle « perception, décision, action », qui correspond selon G. Thomas (Thomas, 1999) au modèle décisionnel humain à la base de toutes les théories du comportement. A chaque cycle les informations provenant des capteurs (physiques ou virtuels) sont analysées afin de créer ou de mettre à jour la modélisation de l'environnement. Cette modélisation est ensuite exploitée afin de planifier ou de re-planifier une liste d'actions. Les actions retenues sont réalisées, l'agent commande l'exécution des routines correspondantes.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Les actions à modéliser par les agents correspondent aux commandes de mouvement à générer. Dans notre contexte, les actions sont appliquées dans un premier temps à un mobile qui correspond à la représentation des caractéristiques physiques de l'agent-piéton. Chaque agent se voit ainsi représenté par un couple formé d'un module décisionnel, que nous appellerons l'*acteur*, et de sa représentation « physique », le *mobile*. Les modifications effectuées sur les valeurs des attributs du mobile sont ainsi répercutées aux niveaux géométrique et graphique.

Dans un but d'homogénéisation des modèles utilisés pour les piétons virtuels et le piéton-avatar de l'utilisateur, les actions réalisables par un piéton virtuel correspondent aux commandes réalisables par l'utilisateur via la manette de commande. Il s'agit en particulier d'actions d'accélération et de direction du mobile, ainsi que d'actions de rotation de la tête.

3.1.2 Problématique

Comme l'énonçait encore récemment D. Thalmann (Thalmann, 2003), il reste difficile de gérer le comportement des piétons virtuels, en particulier lorsqu'on veut les rendre autonomes.

3.1.2.1 Le problème de la simulation de la perception

En réalité virtuelle, les informations perçues sont des données associées aux objets de l'environnement. Dans ce contexte, toutes les informations nécessaires sont disponibles. En effet elles sont stockées dans la structure de données qui décrit l'environnement et permet de générer les images. Il n'y a aucune différence entre l'environnement modélisé par l'agent et l'environnement réel (contrairement à la robotique où les capteurs et les mesures sont source d'erreurs et peuvent générer une représentation faussée du monde réelle).

On peut donc croire que les problèmes de perception ne se posent pas pour des agents évoluant dans un monde virtuel. Puisque toutes les informations nécessaires peuvent être disponibles, il suffirait de parcourir la structure de données pour les retrouver. Néanmoins, comme le montrent (Aylett & Luck, 2000) et (Noser et al., 1996), cette solution n'est efficace que pour des mondes virtuels très restreints car :

- le temps de parcours de la totalité de la structure de données décrivant l'ensemble du monde peut être très long et par conséquent pénalisant ;
- on assisterait à une explosion combinatoire des choix qui s'offrent aux personnages virtuels;
- des êtres virtuels omniscients n'auraient pas des comportements crédibles.

3.1.2.2 Le problème de l'intégration de niveaux de raisonnement

Le modèle décisionnel doit combiner des propriétés de différents niveaux de complexité :

- niveau cognitif, stratégique : construction d'itinéraire ; « navigation », à savoir positionnement par rapport à l'itinéraire ;
- niveau réactif, tactique : mise en œuvre des parties d'itinéraire ; « guidage », à savoir positionnement par rapport au trottoir ; réaction aux événements.

La difficulté réside dans la modélisation du flux de données et de contrôle à instaurer entre les deux types de comportements, le comportement cognitif et le comportement réactif : quelles sont les informations à

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

transmettre entre eux ? A quel moment faut-il transférer le contrôle à l'un ou l'autre type de comportement ?

3.1.2.3 Le problème de la sélection de l'action

La sélection de l'action consiste à choisir, parmi un ensemble d'actions réalisables à un instant t, celle qui est la plus adaptée en fonction de l'état de l'environnement, de l'état de l'agent et de ses objectifs. Les actions réalisables étant généralement concurrentielles et conflictuelles, le problème revient à opérer un arbitrage parmi celles-ci, ou une combinaison de certaines d'entre- elles lorsque c'est possible. Il s'agit d'un problème classique en robotique autonome et dans le domaine des animats (animaux artificiels).

3.1.3 Modèles existants

Nous avons recherché des solutions dans les domaines de l'Intelligence Artificielle, de la robotique autonome et de la Réalité Virtuelle.

3.1.3.1 Réponses au problème de simulation de la perception

Les principales solutions proposées dans la littérature sont :

- les capteurs virtuels (Noser & Thalmann, 1995 ; Kallman et al., 2000) ;
- l'organisation des données nécessaires à la description du monde (Thalmann et al., 1999) ;
- l'utilisation d'objets intelligents et la notion d'affordance (Kallman et al., 2000).

Les capteurs virtuels sont les outils grâce auxquels le personnage virtuel reçoit les informations concernant le monde qui l'entoure. L'utilisation de ces capteurs permet une limitation des problèmes présentés dans le paragraphe précédent, une amélioration de la portabilité des agents, et une distribution des agents sur plusieurs machines. Les capteurs virtuels opèrent en tant que « filtres » sur les informations disponibles afin de ne recueillir que celles portant sur les objets présents dans son champ de vision.

L'organisation des données de description de l'environnement des personnages virtuels consiste à offrir une représentation structurée (par exemple, selon une hiérarchie) des constituants de la simulation. Les modèles topologiques des lieux facilitent leur exploitation.

Le concept d'affordance consiste à associer aux objets les informations nécessaires à leur usage. Par exemple, chaque tiroir d'un meuble possède l'information sur la façon de l'ouvrir (position de la main en fonction de la hauteur du tiroir, etc.). Cette solution facilite l'ajout d'objets dans la simulation et favorise le comportement opportuniste des personnages.

Par ailleurs, une approche intéressante est fournie par la notion de perception volontaire. La perception est dite volontaire ou active lorsque la recherche d'informations est dirigée par les buts de l'agent. Elle s'oppose à la perception passive qui consiste à recueillir toutes les informations disponibles contenues dans l'espace de perception. Par exemple, dans le système Jack (Badler et al., 1995) une liste décrit l'ensemble des objets à observer pour réaliser une tâche, une autre liste l'ensemble des objets qui sont susceptibles de distraire le personnage.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

3.1.3.2 Réponses au problème de l'intégration de niveaux de raisonnement

L'utilisation d'automates états-transitions est une manière assez immédiate et accessible de décrire un comportement, mais elle nécessite l'intégration de mécanismes d'abstraction et de parallélisme dès lors qu'il s'agit de représenter et de traiter des comportements appartenant à différents niveaux de raisonnement. Ces deux mécanismes ont par exemple été intégrés dans les Hierarchical Concurrent State Machines (Cremer et al., 1995) utilisés pour modéliser le comportement de véhicules autonomes et contrôler des scénarios dans le cadre du simulateur IDS (Iowa Driving Simulator). Deux autres modèles reconnus permettent d'intégrer différents niveaux de représentation et de traitement : le modèle décisionnel HPTS (Hierarchical Parallel Transition Systems) (Moreau, 1998) et les PatNets (Parallel Transition Networks) (Badler et al. 1999). Ces modèles appartiennent essentiellement au domaine de la Réalité Virtuelle.

Dans le domaine de l'Intelligence Artificielle, les deux niveaux de raisonnement énoncés correspondent aux deux approches traditionnelles de réalisation d'un comportement autonome : l'approche cognitive et l'approche réactive. Ces deux approches comportent des caractéristiques complémentaires, ce qui a conduit à la proposition d'approches hybrides dont l'objectif est de combiner les capacités de raisonnement du niveau cognitif aux capacités d'adaptation du niveau réactif. Par exemple, une architecture récente intègre des solutions issues de l'I.A. (réseaux de neurones, cartes de Kohonen) pour la planification et le contrôle d'un robot mobile (Low et al. 2002).

3.1.3.3 Réponses au problème de sélection de l'action

Différents modèles de résolution de ce problème existent, selon deux approches principales :

- la première fait appel à des champs de potentiels (attraction/répulsion) liés aux objets présents dans l'environnement (Arkin, 1998 ; Girard, 2003). Cette approche provient essentiellement de la robotique, avec des modèles voisins dans le domaine des agents situés (Zeghal, 1993) ;
- la seconde approche se base sur l'arbitrage au sein d'un ensemble de comportements élémentaires (Brooks, 1986 ; Maes, 1989 ; Tyrell, 1993 ; Sukthankar, 1998).

Un ensemble d'approches a été étudié (Hanon, 2002. ; RES-RET, 2003). Nous détaillerons uniquement ici l'approche qui a servi de base au modèle proposé, à savoir l'approche par « fusion d'action généralisée » (Arnaud, 2000), emprunté à la robotique.

Les principes de cette architecture sont particulièrement intéressants car elle unifie trois architectures de contrôle :

- l'architecture à subsomption (Brooks, 1986)
- l'architecture à sélection d'actions (Maes, 1989)
- l'architecture orientée schémas (Arkin, 1998)

Elle utilise le comportement comme élément de base. Un comportement est caractérisé par une activité A et un vecteur de consignes R :

- L'activité traduit la présence et l'importance des stimulus relatifs à ce comportement. A est un nombre décimal compris entre 0 (comportement inactif) et 1 (comportement actif).
- Chaque élément du vecteur R correspond à une consigne sur « les actionneurs » de l'agent. En particulier la vitesse et la direction pour un robot mobile.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Le vecteur de consignes est calculé par un réseau de nœuds. Cette notation, permettant de décrire l'architecture du système, dérive directement de la subsomption. Arnaud propose quatre types de nœuds (Inhibition, Suppression, Augmentation et Maximum), qui permettent de réaliser un arbitrage entre les différents comportements et de calculer le vecteur de consignes en sortie du réseau.

3.1.4 Modèles proposés

3.1.4.1 Perception

La solution offerte par l'affordance a été écartée car elle ne nous aurait pas permis de respecter la séparation entre les parties décisionnelles, gestuelles et géométriques du logiciel RESPECT.

La solution choisie combine les deux autres approches. En effet, la structure hiérarchique de classes et les liens entre objets connexes qui ont été mis en place (cf RES-RET-5) facilitent la recherche d'objets liés à une infrastructure donnée. Par ailleurs, la collecte d'informations repose sur la présence de capteurs virtuels permettant de délimiter les zones de recherche et donc la quantité d'informations à traiter.

3.1.4.2 Raisonnement

Les systèmes étudiés mettent en évidence l'intérêt d'un modèle permettant de représenter des comportements à différents niveaux d'abstraction. Cela rejoint notre première analyse présentant des propriétés à deux niveaux.

L'approche suivie est celle de l'architecture hybride, qui permet de conserver une représentation de type agent. Le modèle réalisé comprend ainsi des propriétés cognitives et réactives. Le raisonnement cognitif est utilisé lors d'une phase initiale de recherche d'itinéraire, et en « navigation », c'est-à-dire dans la décision concernant l'adoption d'un nouvel objectif (le point de passage courant étant considéré atteint, on prend le suivant dans l'itinéraire). Le raisonnement réactif est le comportement principalement utilisé en cours de simulation. Il permet de réagir, de manière appropriée et à chaque pas de la simulation, à l'environnement dynamique.

La figure 2 représente les différents modules composant notre modèle d'agent-piéton. Elle illustre également l'intégration des modules de perception et de décision.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

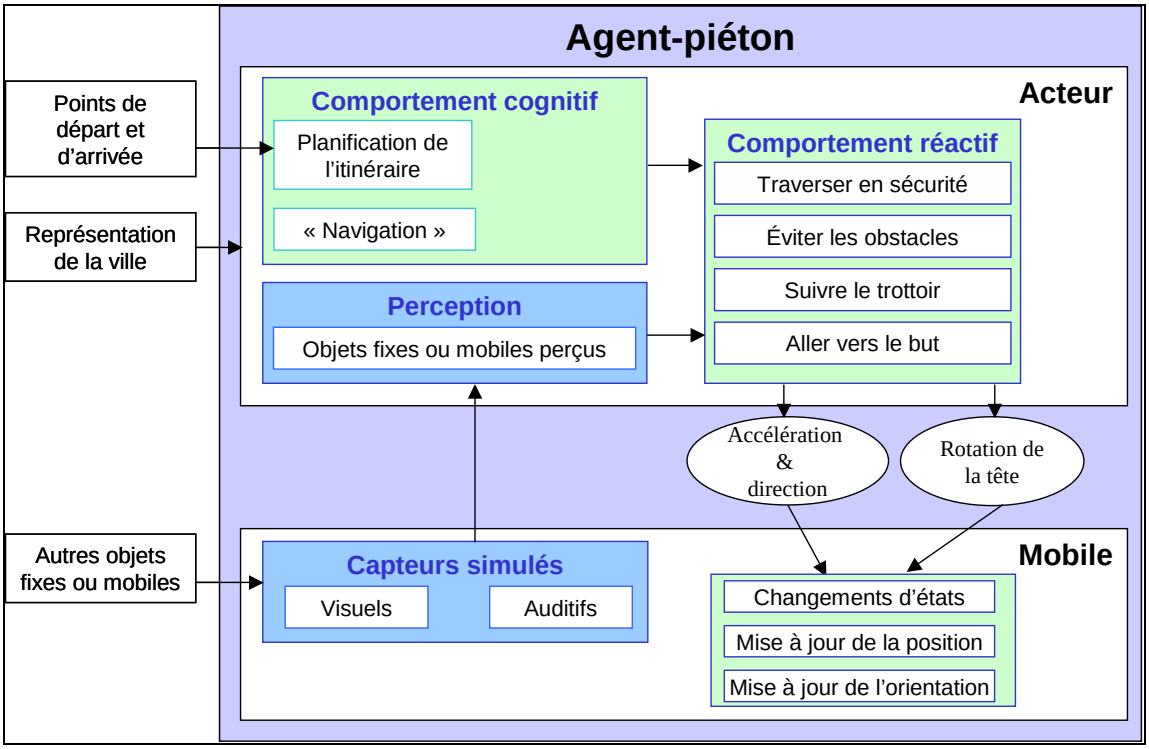

Figure 2. Architecture d'un agent-piéton de RESPECT

La boucle de simulation des piétons virtuels de RESPECT fonctionne de la manière suivante : les modules décisionnels sont activés lors d'une première phase leur permettant d'acquérir des informations sur l'état de l'environnement et de prendre une décision concernant le pas suivant de simulation ; lors de la seconde phase, l'ensemble des mobiles associés à ces modules décisionnels sont mis à jour.

3.1.4.3 Sélection de l'action

La partie du modèle qui concerne le comportement réactif du piéton produit les commandes d'accélération et de direction du corps, ainsi que de rotation de la tête, en différentiel par rapport au pas précédent de la simulation.

Nous avons adapté le principe de la fusion d'actions afin de réaliser le comportement réactif du piéton virtuel. Les modifications apportées au modèle initial sont de deux types.

Tout d'abord, le vecteur de consignes a été transformé en un ensemble de valeurs indépendantes. Ceci permet de gérer indépendamment les différentes actions du corps et de la tête. La conséquence est un découplage de l'arbre en autant de parties que de valeurs d'actions à générer en sortie du module décisionnel.

Ensuite, les nœuds permettant la combinaison de comportements ont été modifiés afin de répondre aux besoins de la simulation des piétons. En particulier, la formule initiale permettant le calcul de la subsomption a été modifiée et un nœud de calcul du minimum a été introduit.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Une autre difficulté est apparue : celle de la définition des comportements élémentaires. Cela peut paraître trivial mais les possibilités sont multiples. Par exemple, le comportement de traversée doit-il être divisé en un sous-ensemble de comportements de plus bas niveau ? Faut-il prévoir un comportement de ralentissement à l'approche d'un obstacle ? La démarche suivie est une démarche ascendante, c'est-à-dire qu'à partir d'un comportement global simple de « marche vers le but », ont été intégrés progressivement d'autres comportements. Leur pertinence et l'ajustement de leurs paramètres sont évalués lors de tests dans un environnement de complexité croissante, du point de vue de sa structure et de sa dynamicité. Le modèle actuellement proposé est illustré par la figure 3.

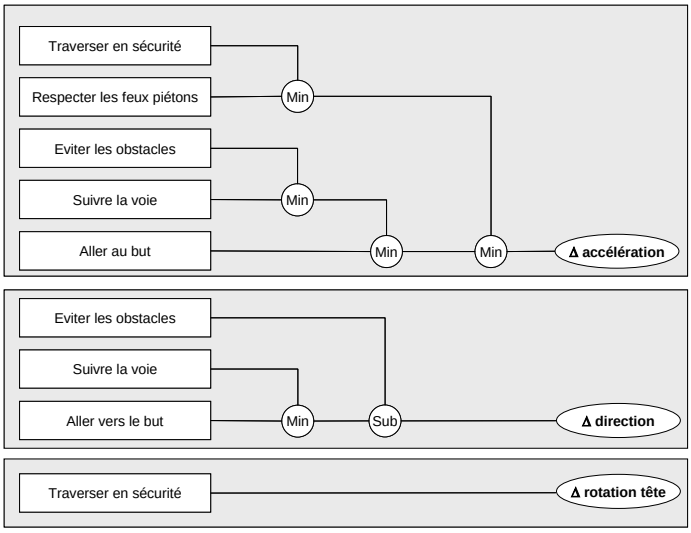

Figure 3. Arbres de fusion d'actions utilisés pour la simulation des agents-piétons

3.1.5 Bilan sur le comportement

Les modèles de base sont fixés. Il reste cependant à effectuer un ensemble de tests complémentaires permettant d'assurer un comportement adéquat en toute situation, ou du moins de délimiter l'ensemble des situations dans lesquelles ce comportement est vérifié.

La différenciation entre piétons porte sur le paramétrage de leurs caractéristiques physiques (cf partie 4) et sur celui de la prudence de leur comportement (prise en compte ou non des feux tricolores et des passages-piétons).

Les actions de rotation de la tête ne sont pas encore implémentés.

Le modèle proposé pour la sélection d'action a également été adapté pour modéliser le comportement des conducteurs, à l'aide de comportements élémentaires et de nœuds d'arbitrage différents de ceux des piétons. Cela permet de généraliser partiellement la représentation des acteurs, qu'ils soient piétons ou conducteurs de véhicules.

Les modèles proposés ont fait l'objet d'un rapport de DEA (Hanon, 2002) et de publications dans des conférences internationales (Grislin et al., 2002 ; Hanon et al., 2003).

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

3.1.6 Perspectives

Il convient d'affiner les comportements mis en œuvre. En particulier, le comportement social (les interactions entre piétons) n'a pas été modélisé, ni le comportement de foule (entre autres pour des raisons de performance).

La notion de perception volontaire n'a pas été mise en œuvre dans RESPECT mais nous semble néanmoins intéressante. Elle nécessiterait de doter les agents-piétons de possibilités de raisonnement sur la pertinence des informations perçues, au-delà du simple filtrage de données existant actuellement.

Enfin, les interactions entre les piétons virtuels et l'élève n'ont pas été réellement abordées et pourraient faire l'objet de perspectives intéressantes, par exemple par l'usage des piétons en tant qu'éléments incitatifs ou perturbateurs (cf. partie 4.2.3.4).

3.2 MODELISATION BIOMECANIQUE DES PIETONS

3.2.1 Objectif

L'objectif des travaux menés par la partie « biomécanique » est d'animer les piétons virtuels (avatars ou êtres virtuels autonomes) sur demande de la partie comportementale ou de l'enfant. Deux approches ont été développées en parallèle : la réplication des mouvements pré-enregistrés et la modélisation des mouvements humains. La première se positionne comme une réponse - au plus tôt - au problème de l'animation des piétons virtuels dans le cadre de ce projet. La deuxième, au contraire, plus fondamentale, est une réponse - à moyen/long terme - permettant d'adapter les mouvements préalablement enregistrés (aux variations environnementales, etc.). Les paragraphes qui vont suivre se veulent synthétiques des travaux réalisés. Nous renvoyons donc le lecteur aux DSS les concernant pour en obtenir une vue plus exhaustive.

3.2.2 L'être virtuel

Le modèle, que nous avons retenu, se compose de 18 corps rigides (cf. fig. 4). Les articulations (17) sont simples de type pivot (1 DDL), cardan (2DDL) et rotule (3DDL). Le modèle compte 39 degrés de liberté. Il ne correspond pas au modèle exhaustif du groupe H-ANIM (Humanoid Animation Working Group, http://h-anim.org/) : il en est une restriction. Il permettra à terme une génération de mouvements des plus complexes (le mouvement d'accessibilité au véhicule automobile, etc.).

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

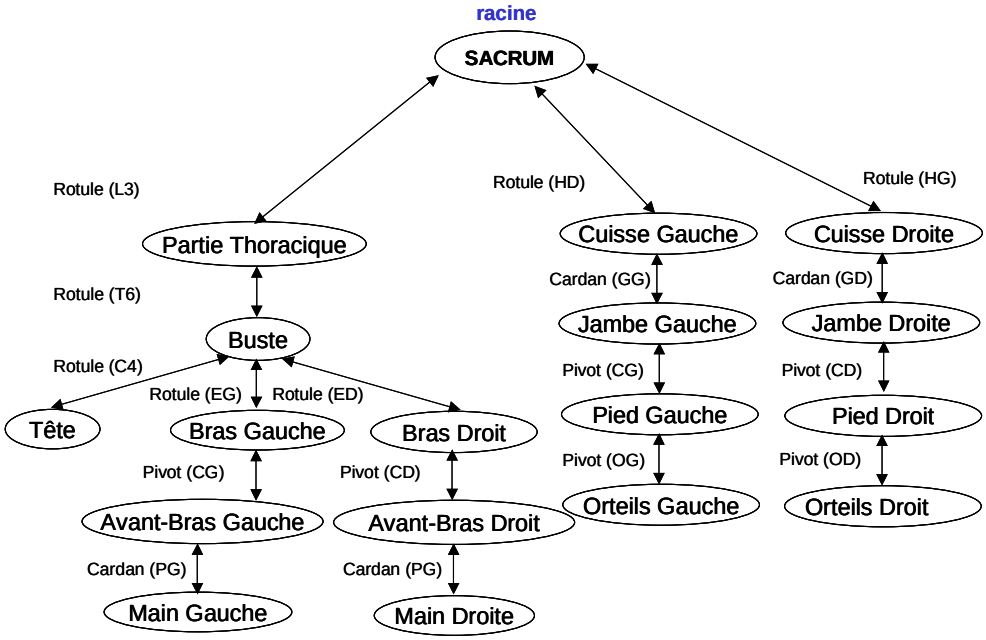

Figure 4. Hiérarchie des nœuds (segments et articulations) pour le modèle générique de piéton

3.2.3 Méthodes d'animation

Depuis la construction d'une animation image par image, de nombreuses méthodes permettent de simplifier la spécification d'animation/simulation par ordinateur.

Pina et al. (2000) proposent une classification pour commander le mouvement ou le comportement d'un humanoïde. Deux grandes familles spécifient le mouvement ou le comportement d'un humanoïde :

- la réplication de mouvement ou de comportement,
- la modélisation de mouvement ou de comportement.

D'une part, la réplication de mouvement requiert la capture de mouvement à partir d'un système d'acquisition du mouvement. Selon les différents systèmes, un ensemble de positions-clés ou toutes les données sont obtenues. Dans le premier cas, la technique key-framing est utilisée, tandis que dans le second cas, la rotoscopie est employée.

D'autre part, la modélisation de mouvement est basée sur différentes techniques, dont la cinématique inverse, la dynamique, les algorithmes génétiques ou les machines à états finis. Nous retenons cette famille de techniques dans un cadre plus fondamental à – moyen/long terme -.

La réplication de comportement d'humanoïde utilise aussi les techniques de key-framing ou de rotoscopie, tandis que la modélisation de comportement utilise les informations perçues par l'humanoïde.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Les différentes techniques déterminent les actions que doivent exécuter les humanoïdes. Les acteurs peuvent simplement évoluer dans leur environnement, peuvent interagir dans celui-ci, peuvent communiquer avec d'autres acteurs et même avec des personnages réels. Les différentes techniques utilisent la perception/action, les systèmes d'agents et de vie artificielle (Earnshaw et al., 1998, cf. la partie comportementale).

Les différentes techniques utilisées pour répliquer ou modéliser le mouvement et le comportement sont résumées dans la table de la figure 5.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Réplication de mouvement	Key-framing Motion capture ou rotoscopie
Réplication de comportement	Key-framing Motion capture ou rotoscopie
Modélisation de mouvement	Cinématique directe/inverse Dynamique directe/inverse Algorithmes génétiques Machines à états finis
Modélisation de comportement	Perception/action Systèmes à bases de règles Algorithmes génétiques Systèmes experts Réseaux de neurones

Figure 5. Récapitulatif des méthodes d'animation/simulation (Pina et al. 2000)

Le paragraphe suivant met l'accent sur les techniques pour répliquer un mouvement.

3.2.3.1 Réplication de mouvements

3.2.3.1.1 Key-framing

En animation traditionnelle, la composition d'une séquence de mouvement s'exécute en deux étapes. Un premier animateur appelé "animateur senior" crée tout d'abord une séquence d'images-clés représentant la position d'un personnage à différents instants du mouvement, appelés "clés" du mouvement. Un deuxième animateur dit "animateur junior" se charge ensuite de dessiner les images intermédiaires entre les images clés (key-frames), de manière à garantir la fluidité du mouvement (Nougaret, 1996).

L'introduction de l'ordinateur a permis de s'affranchir du travail fastidieux de cette deuxième étape. En effet, les techniques d'interpolation automatique entre les images clés constituent la fonction essentielle des logiciels d'animation.

Kochanek et Bartels (1984) utilisent les splines pour l'interpolation entre les images clés. Grâce aux fonctions cycloïdes, El Hafi (2000) génère le mouvement articulaire des membres inférieurs. L'interpolation d'Hermite ou un polynôme de degré trois peuvent être aussi utilisés (Multon, 1998).

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Cependant, les coefficients des polynômes obtenus ne correspondent pas à des caractéristiques physiques et observables du cycle de locomotion.

3.2.3.1.2 Motion capture et rotoscopie

La capture du mouvement ou motion capture est une technique d'animation. Les systèmes de capture du mouvement permettent désormais l'acquisition en temps réel du mouvement d'un objet dans l'espace (Thévenet, 1999). Les informations recueillies sont ensuite appliquées en temps réel au personnage virtuel. De nos jours, la diversité des systèmes de capture du mouvement permet d'animer un personnage dans son intégralité : corps, visage et mains. La rotoscopie consiste aussi en l'enregistrement d'un mouvement grâce à un système de capture du mouvement. Contrairement à la motion capture, les données recueillies sont appliquées en temps différé au personnage virtuel (Thalmann et Magnenat-Thalmann, 1996). Les données sont alors enregistrées et traitées par des logiciels. Généralement, les données sont converties en courbe d'animation (ex. : angles articulaires) pour en faciliter la retouche par un animateur. L'animation résultante est par conséquente réaliste et fluide.

L'utilisation de mouvements enregistrés a permis de développer de nouvelles méthodes de réplication de mouvement basées sur l'analyse multi-résolution ou encore l'analyse de Fourier.

3.2.3.2 Utilisation du traitement du signal

Comme la locomotion peut être assimilée à un mouvement périodique, des techniques du traitement du signal peuvent se révéler efficaces pour animer un être virtuel.

3.2.3.2.1 Analyse multi-résolution

A partir de mouvements capturés, Bruderlin et Williams (1995) utilisent des techniques de traitement du signal et d'images pour reproduire ou modifier le mouvement humain. Un filtre de résolution (Fig. 6) appliqué aux trajectoires articulaires permet de réduire le nombre de paramètres représentant le mouvement.

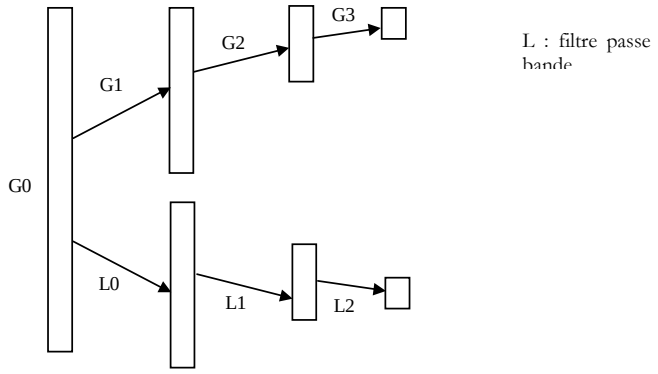

Figure 6. Principe d'un filtre multi-résolution

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

G_0 représente le signal de départ. $G_0=L_0+L_1+...+L_{n-1}+G_n$ et $L_{n-1}=G_{n-1}-G_n$. Pour reproduire de nouveaux mouvements, le signal est reconstruit différemment en ajustant des gains g_k associés à chaque paramètre (Huang et al., 1999) :

$$G_0 \quad G_0=G_{fb}+\sum_{k=0}^{fb-1} g_k.L_k \text{ où } fb=\log_2(m) \text{ si } m \text{ est la longueur de } G_0 .$$

De la même manière, l'analyse multi-résolution par réseau d'ondelettes peut être utilisée.

Multon et Arnaldi (1996) ont proposé d'approcher les trajectoires articulaires de la marche humaine acquise sur un sujet en les décomposant sur une base d'ondelettes. Les trajectoires articulaires sont traitées de manière à obtenir un jeu réduit et significatif de paramètres. 3 paramètres (w_i,d_i,t_i) ont été obtenus pour chaque articulation i. Ces jeux de paramètres sont ensuite modifiés pour obtenir différentes démarches de locomotion. Les paramètres w_i interviennent sur l'amplitude du mouvement, les paramètres d_i sur la fréquence du mouvement, et les paramètres t_i sur la phase. Deux types de modification de la marche ont été envisagées :

- des modifications globales. Elles consistent à changer uniformément, pour toutes les articulations, un ou plusieurs paramètres. Par exemple, si tous les w_i sont modifiés de la même manière, pour toutes les articulations, ils obtiennent une diminution (respectivement augmentation) uniforme de l'amplitude des degrés de liberté, ce qui correspond à une diminution (respectivement augmentation) de la longueur des pas.

- des modifications locales. Dans ce cas, les changements ne se portent que sur une articulation et posent alors des problèmes de couplage avec les autres articulations. Il est alors difficile de garantir que la nouvelle démarche est réaliste.

3.2.3.2.2 Analyse de Fourier

Une autre manière de décomposer des trajectoires articulaires consiste à extraire les paramètres fréquentiels de ces trajectoires. Le modèle utilisé par Unuma et al. (1995) est composé de 19 articulations (Fig. 7). Chaque articulation a trois degrés de liberté.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

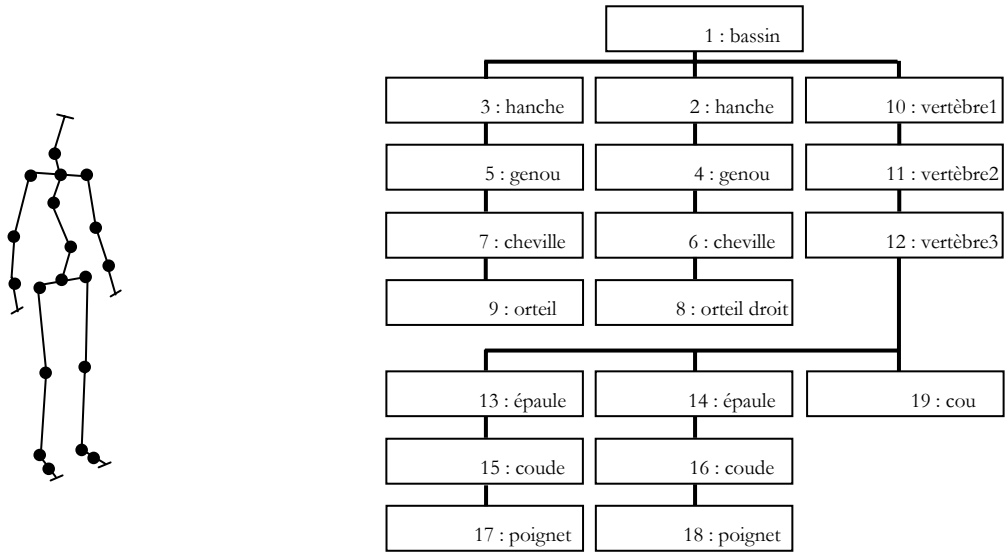

Figure 7. Modèle utilisé par Unuma et al. (1995)

Un filtre passe-bas appliqué aux trajectoires articulaires permet de conserver uniquement les premiers paramètres fréquentiels. Ayant des captures de mouvement de marche, de course, Unuma et al. (1995), par l'intermédiaire des paramètres fréquentiels associés à chacun des mouvements effectuent une transition entre la marche et la course. Pour cela, il définit les paramètres fréquentiels de chaque donnée articulaire de son modèle pour la marche. Il en fait de même pour la course. α_1^k représente les paramètres fréquentiels pour la marche, α_2^k représente les paramètres fréquentiels pour la course, k étant l'indice sur les données articulaires.

Le mouvement de transition est obtenu de la manière suivante :

$\alpha_f^k=(1-s)\alpha_1^k+s\alpha_2^k$ où s varie de 0 à 1.

La transition entre les deux mouvements se fera plus ou moins vite selon la valeur de l'incrément de s.

3.2.3.3 Conclusion

La rotoscopie a été retenue comme réponse – au plus tôt – à notre problématique. Elle va consister d'une part, à capturer des mouvements et à les traiter pour permettre leur – manipulation – et d'autre part, à définir des règles de transition entre mouvements enregistrés permettant à la partie comportementale de contrôler les êtres virtuels. L'analyse de fourrier a été choisie dans un cadre exploratoire afin de développer un modèle de marche permettant des vitesses variables (Lempereur et al., 2002).

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

3.2.4 Construction de la base de mouvements

3.2.4.1 La capture des mouvements sous VICON

Le système vidéo de mesure du mouvement est de type VICON 8 caméras 120Hz. 37 mouvements ont été enregistrés (marche, course, signe de la main, demi-tour etc., cf. Fig. 7). Les données recueillies sont les coordonnées tridimensionnelles des 50 marqueurs apposés sur le sujet.

3.2.4.2 Le traitement et le formatage des données mesurées

Les données mesurées sont filtrées pour éliminer le bruit. Puis, les centres articulaires sont estimés et les angles articulaires calculés. Un convertisseur réalise la conversion de données articulaires vers le format 'Character Studio' BVH BioVision. Enfin, Les fichiers BVH sont formatés en fichiers GFC exploitables par le simulateur (Fig. 8). Ces fichiers contiennent la hiérarchie du mannequin, les données angulaires et la position des centres articulaires.

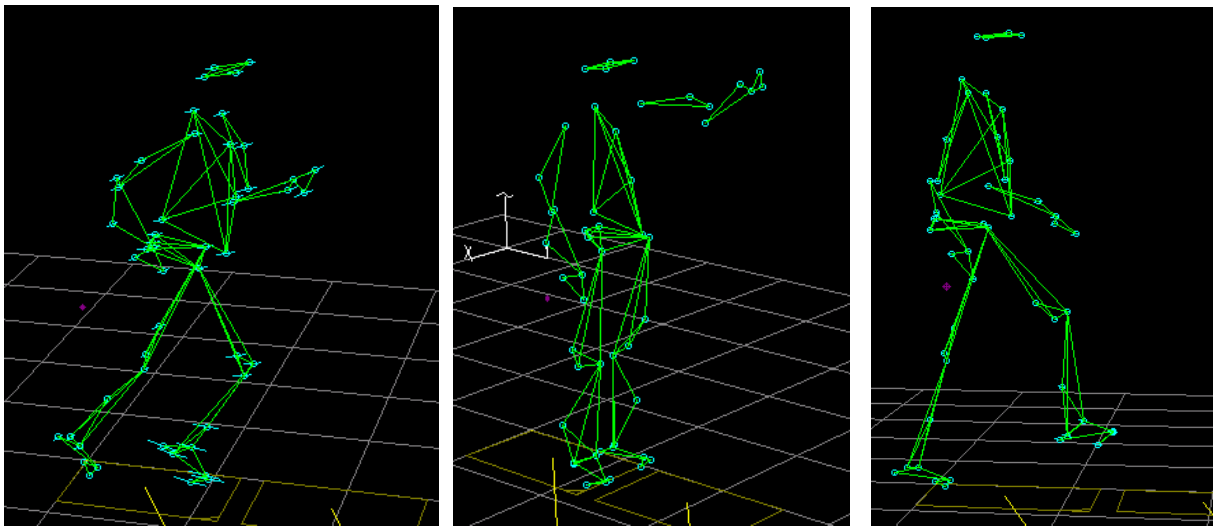

Figure 7. Exemples d'acquisition du mouvement, la course, le pointage et la montée de marche

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Figure 8. Exemples d'êtres virtuels animés au format GFC

3.2.5 La simulation par modélisation

Elle se distingue de la rotoscopie par son caractère adaptatif, à la commande dans le premier exemple et à l'environnement dans le deuxième.

3.2.5.1 Modélisation de la vitesse de marche

Sur la base d'un modèle exploratoire 2D, des équations ont été écrites (Lempereur et al., 2002). Elles permettent aux piétons de marcher à des vitesses dans une gamme continue admissible.

3.2.5.2 Modélisation du mouvement d'accessibilité au véhicule automobile

L'accessibilité aux véhicules a été également étudié dans un cadre plus fondamental (Lempereur et al., 2003a,b,c,d,e). Elle vise à développer un moteur de simulation produisant un mouvement variable selon les paramètres véhicules et l'anthropométrie des individus. A ce stade de l'étude, le mouvement peut être généré par cinématique inverse sur une base d'optimisation par phase de mouvements ou via la transposée de la jacobienne.

3.2.6 Bilan de la biomécanique

Deux approches ont été développées en parallèle : la rotoscopie et la modélisation du mouvement. La première a permis, par un formatage adéquat de mouvements enregistrés, de répondre au plus tôt à notre objectif et donc d'animer les piétons de ce simulateur. La deuxième approche, qui se veut à moyen/long

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

terme, a permis de proposer une modélisation de la vitesse de marche et du mouvement d'accessibilité au véhicule.

3.2.7 Perspectives

Comme il a été dit, les mouvements humains produits, aujourd'hui, sont issus de mouvements pré-enregistrés « formatés ». Les transitions entre mouvements sont des interpolations faiblement représentatives de la réalité biomécanique. Ainsi, par exemple, la marche du piéton n'est « biomécaniquement » réaliste que pour quelques vitesses, celles qui ont fait l'objet d'expérimentations. Dans ces conditions, la partie comportementale ne dispose que de peu de liberté pour adapter les comportements des piétons afin de placer l'enfant en situation critique. Les ajustements peuvent être alors brutaux et peuvent nuire au réalisme. La difficulté est de concevoir des modèles biomécaniques adaptatifs permettant de balayer une gamme plus large de comportement. La partie commande pourra alors demander une variété de vitesses intermédiaires, attaquer les trottoirs sous différents angles, monter/descendre dans/d'un véhicule de dimension variable, etc. La partie biomécanique doit donc poursuivre sa recherche d'une part, expérimentale afin d'identifier les invariants, les stratégies motrices mises en place, leur séquencement, …, des mouvements qui seront jugés prioritaires, et d'autre part, de concevoir, de valider et d'intégrer des modèles. Des techniques issues de la robotique (ex : cinématique directe et inverse), …, de l'IA (ex : réseaux de neurones, Raisonnement à partir de Cas (RàpC) sont et pourront être utilisés selon les besoins et la complexité des mouvements à modéliser.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

4. LE SIMULATEUR EDUCATIF

Un simulateur interactif est un système dans lequel on modélise une partie du monde réel et où l'utilisateur, en l'occurrence l'élève, est intégré dans une boucle de stimulation-réaction avec un temps de cycle très court (moins de 100 millisecondes), comme l'illustre le schéma ci-après.

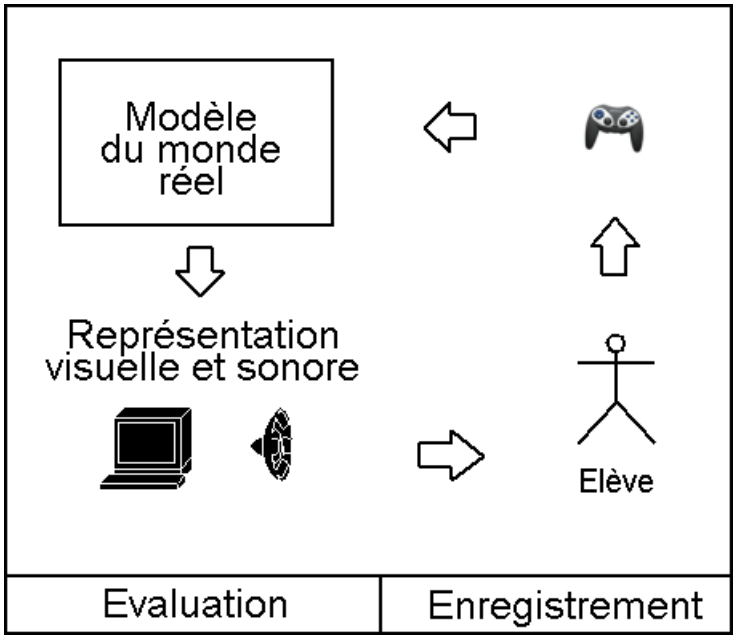

Figure 9. Boucle de stimulation-réaction

Afin de remplir sa fonction éducative, le simulateur interactif est accompagné d'une évaluation des actions de l'utilisateur ainsi qu'un système d'enregistrement de ses actions, qui permettent de revoir et d'expliquer les erreurs commises.

4.1 INTERFACE AVEC L'UTILISATEUR

Par interface utilisateur, nous désignons à la fois le flux d'informations sortant du modèle de simulation – principalement images et son– et le flux d'informations entrant dynamiquement dans ce modèle, via le périphérique d'interaction manipulé par l'utilisateur.

4.1.1 Acquisition d'information

4.1.1.1 Problématique

Il s'agit de permettre à un enfant, d'un âge compris entre 5 et 11 ans, de réaliser des actions telles que :

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

- Se déplacer à différentes allures, marche ou course, tout en permettant un contrôle précis du placement, notamment en phase de préparation de traversée
- D'observer le monde environnement, et ce potentiellement en parallèle du déplacement, par exemple pendant la phase de traversée
- Eventuellement de se pencher pour mieux observer sans être obligé de se déplacer
- Agir sur le monde : quelles actions doit-on retenir, parmi les nombreuses possibilités ?

Se pose alors la question du degré de contrôle d'un mouvement par l'interface :

- Pour un déplacement, commande en absolu (vitesse, direction) ou en relatif (accélération, variation de direction), voire un mode plus assisté dans lequel le suivi de trajectoire est assuré par le logiciel
- Pour l'observation : déclenchement seul (donc sans maîtrise de la vitesse de déroulement) ou contrôle continu de l'orientation
- Pour une action : déclenchement, condition de déclenchement (proximité d'un bouton de feu), retour d'information sur le déclenchement et sur la terminaison de l'action

On peut aussi s'interroger sur la nécessité d'un retour d'effort. Ceci peut être utile en cas de collision avec un obstacle fixe, ou avec un obstacle mobile (accident).

Les contraintes suivantes doivent également être prises en compte :

- Dispositif de faible coût
- Adaptable à divers ordinateurs, notamment PC et Macintosh
- D'une taille et nécessitant des efforts physiques conformes aux possibilités d'un enfant de la tranche d'âge considéré
- Utilisé en cohérence avec son usage premier ; dans le cas d'une manette de jeu, il faut tenir compte de la manière dont celle-ci est utilisée couramment dans les jeux.

4.1.1.2 Solutions envisagées

Les deux actions principales retenues sont l'appui sur un bouton de feu et le signalement de sa présence par un geste du bras. Ce signalement a en effet un double intérêt :

- Il fait prendre conscience à l'enfant l'intérêt de se rendre le plus visible possible, ici par son attitude en détachant son bras du corps (cf RES-DSS-7)
- On instaure ainsi une communication entre l'enfant et les autres usagers ; le signal émis par l'enfant sera utilisé par certains conducteurs, et ne le sera pas par d'autres, en proportion paramétrable

La possibilité d'observation indépendante du déplacement est essentielle et contraignante dans le choix du périphérique. Lors de la préparation de traversée, le corps doit être orienté vers la route, pour bien signaler son intention aux véhicules et permettre une traversée perpendiculaire, alors que la regard doit fixer

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

alternativement la rue à droite et à gauche. De plus, pendant la traversée, le corps reste orienté vers le trottoir de destination tandis que le regard contrôle l'arrivée potentielle de véhicules non détectés en phase de préparation.

Les périphériques spécifiques à la réalité virtuelle (contrôle du déplacement sur tapis roulant, gant, etc) ont été exclus d'emblée pour des raisons économiques et pratiques.

Nous avons envisagé successivement :

- La manette de jeu Microsoft SideWinder Dual Strike : manette de jeu constituée de deux manches reliés par une articulation
- Le joystick Microsoft Sidewinder (voire 2 utilisés simultanément)
- La manette de jeu Thrustmaster Firestorm, sous différentes variantes : Dual Analog 2 (désormais 3), Dual Power (version avec retour d'effort), ou Wireless (version sans fil)

Figure 10. Périphériques d'interaction

Les deux premières solutions ont été écartées car ces dispositifs n'étaient pas ergonomiques pour les enfants considérés et n'offraient ni un niveau de contrôle suffisamment fin (non analogique), ni suffisamment riche (joystick).

La troisième solution nous a semblé la plus intéressante car :

- On dispose de 2 « sticks » analogiques (en fait discrétisation sur une plage de –32768 à 32767), tout à fait adaptés à un contrôle simultané du déplacement et de l'observation
- Une croix directionnelle (4 directions orthogonales + 4 directions intermédiaires), pour un contrôle de petits déplacements
- 12 boutons pour déclencher les actions, ou un autre usage
- Pour de petites mains, on peut la poser sur une table et utiliser uniquement les commandes de la face supérieure
- On peut inverser la fonction des deux sticks pour les gauchers, voire échanger la croix de gauche et les quatre boutons de droite
- Elle est compatible Mac et PC, avec port USB
- Son prix est modéré : environ 20 euros pour la version de base (avec fil, sans retour d'effort)

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

4.1.1.3 Solutions approfondies

Nous avons donc testé principalement la manette de jeu Thrustmaster Firestorm.

1) Dans une première version du logiciel, préparée pour septembre 2002, nous avons utilisé les commandes comme suit :

- Déplacement en vitesse et direction sur le stick de droite
- Observation avec commande directe de l'orientation sur le stick de gauche
- Autres actions non implémentées

Bien évidemment, on a assuré une cohérence entre les directions de mouvement appliqués sur les sticks et leur effet dans le monde virtuel : pousser vers l'avant = augmenter la vitesse, pousser vers la droite = tourner à droite ou regarder à droite, etc. Pour le regard haut / bas, nous avons choisi que pousser vers l'avant signifiait regarder vers la bas, comme si le stick représentait le cou et la tête de l'enfant.

Un parcours d'initiation à l'utilisation de la manette a été spécifié dans le document RES-DSS-8.

De nombreux enfants ont utilisé le système lors de présentations publiques (Mondial de l'Automobile, Journées portes ouvertes à CORYS, Journées Sciences en Fêtes à l'INRETS et au LAMIH, Foire de Bordeaux). Globalement, la prise en main a été assez rapide, et ce en dépit de l'absence de parcours d'initiation, avec néanmoins des difficultés pour les plus jeunes.

Le LAMIH a réalisé une étude scientifique sur ce sujet, consignée dans le document RES-DESS-ICHM du LAMIH.

Ces résultats expérimentaux nous ont conduits à modifier et enrichir la gestion de la manette.

2) Dans la deuxième version, nous avons programmé les commandes comme suit :

- Déplacement en accélération et en direction sur le stick de gauche ; le relâchement du stick conduit à un freinage, de manière à s'arrêter automatiquement ; ce freinage peut être amplifié en tirant le stick vers l'arrière, pour un arrêt quasi-instantané
- Mouvements d'un pas (avant / arrière / gauche / droite) sur la croix directionnelle, avec feed-back par affichage d'une vue de dessus pendant la durée du mouvement
- Course par maintien de l'accélération maximale (main gauche) et appui simultané sur un bouton (main droite)
- Observation par contrôle de la direction du regard, avec le stick de droite
- Déclenchement de l'appui sur un bouton de feu et du signe de la main par appui sur un bouton, avec feed-back par affichage d'une vue de dessus pendant le déroulement du mouvement
- Affichage sur demande de la vue de dessus, afin de se situer sur le trottoir, par appui sur un bouton

4.1.1.4 Perspectives

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Le transfert des actions de l'enfant sur la manette de jeu sur son comportement dans le monde réel est un thème important d'étude, mais il n'était pas envisagé dans le cadre du présent projet.

Les sujets suivants pourraient être analysés :

- Pondération de l'évaluation en fonction de la dextérité de l'enfant, mesurée sur le parcours d'apprentissage
- Intérêt du renforcement de l'intensité dramatique en cas d'accident grâce au retour d'effort disponible sur la manette Dual Power : sensation de choc quand il est percuté par un véhicule
- Impossibilité de descendre sur la chaussée par un déplacement « standard » (marche ou course), c'est-à-dire nécessité d'un mouvement d'un pas ; ceci éviterait des descentes involontaires sur la chaussée et inciterait l'enfant à aborder la traversée avec prudence
- Possibilité d'utiliser la manette pour contrôler d'autres types d'action, dans l'hypothèse où l'on demanderait à l'enfant d'effectuer des actions ne relevant pas de la sécurité routière, par exemple de collecter des objets
- L'interface de contrôle du piéton est similaire aux principales commandes d'un véhicule (accélération - freinage, tourner le volant). Cela pourrait être mis à profit en faisant jouer à l'enfant ou au maître le rôle d'un conducteur.
- Utilisation du clavier et/ou de la souris pour effectuer les mêmes actions, quitte à en rendre certaines tout ou rien (accélération ou freinage maximaux, orientation de la tête en butée à droite ou à gauche)

La substitution de la manette Thrustmaster par d'autres modèles, plus bas de gamme (Saitek) ou plus haut de gamme (Logitech), voire par le clavier, sont a étudier dans la perspective d'une large diffusion. En effet, bien que le modèle de manette sans fil ne coûte qu'environ 20 euros, ceci peut néanmoins constituer un frein à une diffusion à grande échelle.

Un expérimentation informelle avec un enfant de 13 ans a révélé que l'on pouvait obtenir la même « efficacité » (durée de réalisation de la mission, nombre d'erreurs) avec le clavier qu'avec la manette de jeu, avec une phase d'apprentissage des commandes sensiblement identique.

4.1.2 Restitution d'image

Le monde virtuel est restitué à l'élève sous forme d'images de synthèse calculées en temps réel.

4.1.2.1 Problématique

Les problèmes de restitution d'image sont multiples :

- Choix du dispositif : moniteur d'ordinateur, image projetée sur un grand écran, casque ou lunettes de réalité virtuelle
- Vue stéréoscopique ou non ; la stéréoscopie facilite l'appréciation de l'éloignement des objets

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

- Vue subjective (exactement depuis les yeux de l'enfant), vue en poursuite (caméra qui suit l'enfant, derrière et au dessus), ou « vue d'avion » ?
- Champ de vision : champ calculé, champ effectivement couvert compte tenu de la taille de l'écran et de la position de l'élève, ratio largeur / hauteur (4/3 si écran classique, voire 16/9) ; quel est le champ de vision de l'enfant, et quelle partie doit-on restituer ?
- Un ou plusieurs canaux visuels juxtaposés ? Contrairement à une analyse parfois avancée, l'enfant possède un champ de vision de 180°, voisin de celui de l'adulte. Cependant, il n'est en mesure dans cet espace, de comprendre, c'est-à-dire d'analyser correctement, qu'un champ de 70° environ. Pour restituer l'intégralité du champ, trois canaux visuels de 60° devraient être juxtaposés. Or la projection 3D->2D introduit des distorsions dès lors que le champ devient trop large (au delà de 90°), distorsions qui sont pénalisantes pour l'appréciation des distances et des vitesses
- Fréquence d'affichage, en hertz
- Résolution d'affichage, en pixels
- Netteté des images

4.1.2.2 Solutions envisagées

Le critère économique et pratique nous conduit à éliminer le casque de réalité virtuelle, bien qu'il s'agisse du seul dispositif capable de couvrir un champ large et de fournir une vue stéréo. Le grand écran pourrait être présent dans certaines écoles, mais ne couvrira sans doute pas un champ plus large d'un simple moniteur.

Les lunettes de réalité virtuelle (polarisantes, à bas coût) pourraient être étudiées, mais en sachant que la fréquence de génération d'image devrait être doublée, que la carte graphique de l'ordinateur devrait être spécifique, qu'elles occasionnent une fatigue visuelle plus importante, et qu'elles interdisent la présence d'observateurs non équipés des mêmes lunettes.

4.1.2.3 Solution testée

Le choix d'une vue subjective est fondamental et nous différencie du simulateur de Glasgow (cf RES-DSS-6). En effet, si l'on veut une éducation visuelle avec le simulateur, il convient de respecter le point de vision de l'enfant, en particulier une hauteur de regard comprise entre 1 et 1.3 mètres environ par rapport au niveau du trottoir. En effet, la vision des véhicules en mouvement est fortement gênée par les véhicules en stationnement (par exemple, la hauteur d'une 307 est de 1.51 m, ce qui provoque une gêne pour ces enfants, même avec un trottoir surélevé de 0.15 m par rapport à la chaussée).

La vue à trois canaux juxtaposés permettrait de restituer un champ large. Mais il serait difficile de différencier – par la résolution, la fréquence ou la qualité d'image, a priori identiques pour tous les canaux - la partie centrale du champ de la vision périphérique. En outre, la contrainte sur performance visuelle serait grosso modo trois fois plus forte, ce qui nous semble peut compatible avec les ordinateurs se trouvant dans les écoles.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Nous prenons par défaut 80° de champ latéral de calcul d'image (valeur paramétrable), la partie basse de l'écran étant occupée par d'autres informations que l'image de synthèse. Ce champ restreint force l'élève à tourner la tête pour aller chercher les informations utiles, action que l'on peut ainsi évaluer et enregistrer. En outre, la rotation sur place est volontairement plus lente (vitesse angulaire fixe) que la rotation de la tête, en lien direct avec le stick de la manette de jeu, afin que l'enfant privilégie le mouvement de tête.

Néanmoins, ce champ restreint conduit a un champ vertical également restreint, en raison du ratio 4/3 de l'écran et de l'affichage d'informations en partie basse, d'environ 50°, ce qui pose un problème de localisation par rapport au rebord du trottoir, rebord que l'on ne peut voir qu'en baissant la tête. Cette difficulté de localisation tient également au fait que le simulateur ne stimule pas d'autres sens que la vue et l'ouïe. Pour compenser ce manque, nous avons introduit une vue supplémentaire, de dessus, qui apparaît sur demande, lorsque l'on effectue un mouvement d'un pas ou lorsqu'on effectue un geste (feed-back). Cette vue est suffisamment cadrée sur l'enfant-piéton pour ne pas lui fournir d'information sur le trafic environnant. Elle est aussi fugitive, afin de ne pas perturber la vue subjective affichée en permanence.

Figure 11. Vue subjective et vue de dessus temporaire

La fréquence de génération d'image doit être supérieure ou égale à 24 Hz, pour obtenir une bonne fluidité des mouvements (de l'observateur ou des objets observés). Pour des raisons techniques, sur un écran d'ordinateur, elle doit être cohérente avec la fréquence de balayage, car on synchronise le basculement des mémoires d'images (double-buffering, image affichée ⇔ calculée) avec le balayage de l'écran. Le maintien d'une telle fréquence dépend des performances en calcul et graphiques de l'ordinateur, et doit faire l'objet de nombreuses optimisations (voir ci-après).

La résolution doit être suffisante pour permettre à l'enfant de percevoir à une distance suffisante les feux tricolores ou piétons et surtout les indicateurs de changement de direction des véhicules. 800x600 est un minimum, mais 1024x768 est retenu comme résolution nominale. Une résolution plus élevée atténue le crénelage, surtout visible aux limites d'objets à fort contraste, comme le marquage sur la chaussée. Elle doit être configurable pour tirer parti des ordinateurs plus performants. Quant au nombre de couleurs, il doit être au minimum de « 16 bits » (rouge-vert-bleu 5/6/5 ou rouge-vert-bleu-alpha 5/5/5/1 bits). Cependant, pour obtenir une bonne discrimination de l'éloignement à l'observateur dans le tampon de

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

profondeur (Z-buffer), 32 bits sont préférables. De ce fait, en 1024x768 – 32 bits (double-buffering), près de 6 Mo de la mémoire vidéo sont uniquement consacrés à l'affichage, alors que cette mémoire physique sert également aux textures. C'est pourquoi on imposera une carte graphique avec au minimum 16 Mo de mémoire vidéo, et on conseillera 32 Mo.

La netteté est conditionnée par la résolution des textures. Par exemple, si l'on prend une texture de 256x128 pixels pour la devanture d'un commerce, cette texture se retrouve étirée verticalement d'un facteur supérieur à 10 lorsque l'enfant va arriver sur le trottoir en face du commerce, d'où un flou important. Ce flou ne peut être contourné qu'en :

- Utilisant une résolution de texture plus élevée, sous réserve que l'on dispose d'une mémoire vidéo plus grande (jusqu'à 256 Mo sur les cartes graphiques PC les plus récentes)
- Et/ ou en appliquant des méthodes de compression de texture, qui permettent couramment des taux de compression de 8 :1
- En utilisation une technique de filtrage dit anisotropique, si la carte graphique le gère, mais ceci ne sert que lorsque l'objet est en vue rasante, avec un ratio entre le pixel texturé et le pixel écran très différent entre l'horizontale et la verticale (cas du trottoir, de la chaussée ou des façades quand on les longe)

Une méthode simple consiste à paramétrer la dégradation statique (au chargement en mémoire) de la résolution des textures, en fonction de la taille de la mémoire vidéo de la carte graphique.

4.1.2.4 Perspectives

La colorisation des véhicules combinée avec une texture monochrome, plutôt que l'utilisation de textures intégrant la couleur, est une piste à étudier pour réduire le volume de textures.

4.1.3 Restitution de son

En plus de l'éducation visuelle, le simulateur est à même de fournir une éducation sonore.

4.1.3.1 Problématique

L'enfant doit être capable d'associer les sons aux objets les plus dangereux de la scène et d'apprécier le rapprochement ou l'éloignement de ces objets.

Pour être réaliste, le bruit des véhicules devrait varier selon leur vitesse (roulement, aérodynamique) et de leur régime moteur.

Le son peut être restitué par des haut-parleurs ou par un casque.

4.1.3.2 Solutions envisagées

Idéalement, pour que l'enfant puisse localiser correctement un bruit, le son devrait être restitué de manière spatiale, par au moins 4 hauts parleurs (avant – arrière – gauche – droite). Cependant, la plupart des cartes

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

sons ne gèrent que 2 canaux, utilisés en stéréo gauche – droite. Et le positionnement physique d'un haut-parleur arrière serait contraignant.

Nous nous sommes donc attachés à tester une solution à deux haut-parleurs, soit intégrés à l'unité centrale dans le cas d'un ordinateur portable, soit externes dans le cas d'un ordinateur de bureau.

4.1.3.3 Solution testée

Nous avons choisi une librairie logicielle, en l'occurrence OpenAL, pour sa capacité à :

- Gérer des sources de bruit localisées dans l'espace
- Gérer un écoutant, localisé et captant le son dans une direction privilégiée
- Atténuer les bruits en fonction de la distance à l'écoutant
- Moduler l'intensité ou la fréquence des sons des véhicules en fonction de leur état
- Diffuser des messages sonores de guidage, en plus du son correspondant au monde simulé (voir le guidage ci-après)

En revanche, nous n'avons pas géré l'influence des bâtiments sur la propagation du son (écran ou réverbération), ni l'effet Doppler lié à la vitesse des véhicules. Ces paramètres ont été considérés comme peu influents sur la simulation.

Il est apparu que la plupart des ordinateurs (via leur carte ou composant dédié au son) ne disposaient que d'un nombre de sources de bruit limité, 16 en général. Nous avons donc dû implémenter un mécanisme de gestion dynamique des sources sonores, pour les associer automatiquement aux objets sonores les plus proches de l'écoutant.

Afin de restituer un bruit variant essentiellement en fonction du régime moteur, il a fallu modéliser une boîte de vitesse automatique pour les véhicules, car le modèle dynamique ne calcule que l'accélération, dont on déduit la vitesse (vitesse => régime moteur => changement de rapport en fonction de seuils sur ce régime).

Le son peut être activé ou désactivé dans le simulateur actuel, notamment pour les situations où la perception sonore est très utile , comme la descente sur la chaussée dans un mouvement longitudinal pour éviter un obstacle qui encombre le trottoir.

4.1.3.4 Perspectives

La comparaison de l'apprentissage avec et sans son dépasse le cadre de ce projet.

Plusieurs pistes restent à explorer :

- Perturbation de la perception sonore par un bruit de fond neutre (bruit de ville)
- Perturbation par un bruit contrôlé (voiture de pompiers, marteau-piqueur, etc), ou par des messages sonores signifiants, par exemple en provenance des autres piétons

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

- Présence de véhicules électriques, relativement silencieux (véhicule léger ou tramway)
- Différentiation du son associé au déplacement de l'enfant-piéton et des autres piétons (bruits de pas) en fonction du revêtement de sol qu'il foule ou des chaussures qu'il porte : trottoir, chaussée, sol mou ; chaussure à semelle rigide ou souple

Par rapport au haut-parleurs, un casque a l'avantage d'isoler l'élève du monde extérieur (réel), d'où une meilleure immersion dans le monde virtuel, et restitue mieux l'effet stéréo, ce qui permet une meilleure localisation des véhicules dans l'espace. Un comparatif des performances en perception avec et sans casque serait donc intéressant.

4.2 MODELE DU MONDE REEL

Le simulateur interactif repose sur une modélisation réaliste du monde qui entoure l'avatar (représentation virtuelle du piéton-élève), afin de favoriser l'immersion de l'élève dans ce monde virtuel.

La problématique générale à tout environnement virtuel de simulation tient à la définition du domaine de représentation (choix des entités représentées) et au niveau de détail de cette représentation (pour chaque entité retenue, avec quelle finesse doit-on la modéliser).

4.2.1 Infrastructure routière

Par infrastructure routière, on désigne les trottoirs, la chaussée, les îlots, et la signalisation horizontale, dont les passages-piétons, et la signalisation verticale.

4.2.1.1 Problématique

Diverses questions se posent quant à l'infrastructure routière :

- Peut-on apprendre sur une infrastructure générique, par opposition à des infrastructures spécifiques qui reproduiraient le plus fidèlement possible des lieux réels ?
- Dans l'hypothèse d'infrastructures génériques, comment s'assurer de leur validité ?
- Au niveau des passages-piétons, faut-il surélever la chaussée, abaisser le trottoir ou laisser une marche ?
- Comment le maître choisit-il le lieu de l'exercice ? Est-ce un choix simple ou dispose-t-il de plusieurs paramètres ?

4.2.1.2 Solutions envisagées

Une infrastructure générique nous semble tout à fait adaptée car le simulateur est destiné à une forme d'apprentissage où l'enfant doit construire son savoir-faire de piéton à partir de situations variées, et pour lequel on veut surtout éviter de mauvais apprentissages implicites, liés à des lieux ou objets spécifiques.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Toutes les formes de route et de carrefour (à niveau) peuvent être créées. Nous avons implémenté successivement un réseau très simple (2 boucles séparées, pour la démonstration de septembre 2002), un réseau simple (trois boucles imbriquées), puis un réseau plus complexe.

Nous avons également envisagé l'assemblage de « blocs », pour constituer une infrastructure à partir de sous-ensembles fixes préexistants. Bien que cette solution soit avantageuse pour les performances (monde virtuel restreint), elle s'est révélée contraignante : correspondance des blocs, régulation du trafic, etc. On a donc préféré plusieurs « villes » complètes, pour ce qui concerne le réseau routier, en laissant néanmoins une combinatoire sur la signalisation, les passages-piétons et le « décor ».

4.2.1.3 Solutions approfondies

Ce réseau a été conçu en fonction des scénarios les plus fréquents d'accidents d'enfants-piétons (cf RES-DSS-1, RES-DSS-10), respecte les préconisations de l'INRETS, du SETRA et du CERTU sur les principes d'aménagement des voies urbaines, et intègre des éléments d'infrastructures variés :

- Par leur limite de vitesse : rues de ville et route de campagne
- Par leur forme : rue droite, en courbe, en zig-zag
- Par leur largeur : voie unique jusqu'à 2 x 2 voies, éventuellement voies de stationnement
- Par leur nature : voie routière ou à priorité piétonne
- Carrefours : en T, Y, X, flèche, giratoire
- Avec des passages surbaissés pour des sorties de garage
- Avec un parking

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Figure 12. Plan de la ville

Des variantes ont été créées en modifiant seulement les sens de circulation.

Les passages-piétons sont volontairement à un niveau différent de celui du trottoir. Ainsi, lorsque l'élève descend sur la chaussée, il le perçoit immédiatement par un changement de hauteur du regard.

La régulation des feux a été réalisée conformément aux normes en vigueur, par un membre du projet expert en la matière.

La signalisation et les passages-piétons sont regroupés en fonction :

- du sens de circulation,
- de leur localisation : en ligne droite, en courbe, ou à proximité d'un carrefour,

afin de faciliter le paramétrage d'un exercice par le maître (voir ci-après).

4.2.1.4 Perspectives

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Il serait intéressant d'étudier l'influence de la signalisation (sémantique du sens interdit ou unique, présence de flèches au sol, orientation des panneaux) sur la reconnaissance par l'enfant des sens de circulation.

Le développement d'outils permettant aux maîtres ou aux élèves de créer leur propre infrastructure, pour, par exemple, reproduire leur quartier, pourra être envisagé ultérieurement.

4.2.2 Avatar du piéton-élève

4.2.2.1 Problématique

L'enfant ne se voit pas en phase de simulation, puisqu'il se trouve en vue subjective. Cependant, en phase de « revoir », il doit s'identifier à son avatar, ce qui laisse supposer une certaine proximité entre sa morphologie réelle et celle de son avatar.

Il convient également de différencier les capacités de perception et de déplacement de l'enfant de celles des piétons adultes qui l'entourent.

Le piéton-élève est relativement libre de ses mouvements. Faut-il l'immobiliser en cas de choc avec un objet fixe ? Quelle hauteur d'obstacle peut-il franchir ? Est-il susceptible de heurter des objets fins tels que des poteaux ?

4.2.2.2 Solutions envisagées

Nous excluons pour l'heure la possibilité d'une personnalisation complète de l'avatar, même s'agissant seulement du visage. Bien que techniquement possible, ceci supposerait des photos numérisées des visages de tous les enfants et des outils pour les intégrer au logiciel. Qui plus est, seul un enfant agit à un instant donné sur un poste de simulation, et il n'est donc pas nécessaire de différencier les enfants entre eux.

Nous avons envisagé une différenciation basée sur le sexe, la taille (par paliers), la couleur de peau (4), la couleur de cheveux (4) et le port de lunettes. Techniquement, ces personnages seront obtenus par paramétrage de 2 objets 3D de base, un par sexe.

4.2.2.3 Solutions approfondies

Nous ne disposions que d'un avatar de jeune garçon pour nos expérimentations, ce qui n'a pas posé de problème majeur (cf RES-REX), mais une différenciation a minima par sexe est souhaitable.

La hauteur du regard est paramétrable.

Les capacités de vitesse, en marche et en course, sont également paramétrables pour l'avatar du piéton-élève et pour les autres piétons virtuels.

Pour la détection de collision, les objets sont classés en deux catégories, en fonction de leur hauteur (par défaut la hauteur réelle) :

- ceux que l'enfant peut franchir : rebord de trottoir, îlot, muret

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

- ceux qui provoquent une collision : bâtiment, mur haut, clôture, rambarde, mobilier urbain, signal, arbre, etc, quel que soit leur volume ; une collision est synonyme d'arrêt brutal

4.2.2.4 Perspectives

La collision avec glissement sur l'obstacle faciliterait les déplacements.

Le paramétrage de la couleur des vêtements, pour les rendre plus ou moins conspicuitaires, est techniquement possible. Encore faut-il qu'il ait une influence sensible sur le comportement des véhicules.

Le choix de l'équipement de protection serait un sujet à aborder pour d'autres modes de déplacement : roller, trottinette ou vélo.

4.2.3 Autres piétons

Les autres piétons virtuels ont été abordés au chapitre 2. On traite donc ici uniquement de leurs interactions avec les véhicules, l'avatar de l'élève et avec les fonctions pédagogiques (guidage, évaluation, scénarios).

4.2.3.1 Problématique

Ils doivent être capable de transgresser le code de la route, mais ne doivent pas provoquer d'accident.

La présence d'un très grand nombre de piétons serait susceptible de renforcer le mimétisme de comportement entre le piéton-élève et ces autres piétons.

De nombreux accidents sont liés à l'impulsivité, provoqués fréquemment par la reconnaissance ou un signe d'un membre de la famille ou d'un ami. Comment intégrer ce phénomène dans un environnement virtuel ?

4.2.3.2 Solutions envisagées

Pour des raisons de performance, nous ne pouvons pas intégrer un grand nombre de piétons virtuels. On se limitera à une dizaine d'individus, voire moins sur des ordinateurs peu performants.

4.2.3.3 Solutions approfondies

Le niveau de transgression est paramétrable et concerne :

- le respect du feu piéton rouge,
- le choix du passage-piéton comme site de traversée.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Des considérations plus « fines » (bonne position latérale sur le passage-piétons ou sur le trottoir, absence de traversée entre des véhicules en stationnement, etc) ne sont ni paramétrables, ni totalement respectées par ces autres piétons.

Ils perçoivent les véhicules avec certitude, sans tenir compte des obstacles à la vue ou à l'ouïe, afin d'éviter tout risque de collision ou même de freinage d'urgence lors d'une traversée.

4.2.3.4 Perspectives

On pourrait imaginer que les piétons virtuels aient un rôle quant au guidage de l'élève vers son but (voir ci-après). Si le message qu'un piéton virtuel n'est transmissible que pendant une courte période, par exemple tant qu'il fait un signe, ceci pourrait attirer temporairement l'attention de l'enfant et les autres piétons seraient ainsi des éléments « distracteurs ».

Il conviendra de mettre en cohérence l'algorithme de recherche et de suivi de chemin des piétons virtuels avec l'évaluation, afin qu'un piéton virtuel, paramétré sans transgression, soit capable de réaliser la mission de l'élève avec un minimum d'erreurs.

4.2.4 Véhicules

Pour que le simulateur remplisse son rôle éducatif, les véhicules doivent présenter un comportement à la fois réaliste et contrôlable..

4.2.4.1 Problématique

Un véhicule peut être en stationnement, en manœuvre de stationnement, ou roulant.

Quels véhicules choisir : imaginaires ou réels ? Par quoi remplacer leur numéro d'immatriculation ?

Les véhicules doivent réagir en fonction du comportement des piétons, de la signalisation et des autres véhicules. Leur niveau de transgression doit être paramétrable, comme celui des autres piétons.

Voit-on les conducteurs ? Si oui, doit-on modéliser la communication par le regard ou par des actions (avertisseur sonore, etc) entre les conducteurs et les piétons ?

Les caractéristiques dynamiques, en particulier le freinage, doivent être conformes au véhicules couramment en circulation Faut-il modéliser l'adhérence, qui intervient surtout en cas de freinage d'urgence par temps de pluie ?

Faut-il modéliser l'éblouissement par les phares ?

4.2.4.2 Solutions envisagées

Les infractions très dangereuses, par exemple la circulation à contresens, ne sont pas modélisées car elles pourraient engendrer des accidents entre véhicules.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

4.2.4.3 Solutions approfondies

On a séparé le modèle décisionnel du modèle physique, comme pour les piéton virtuels, et le modèle décisionnel est basé sur la même méthode de représentation que celle des piétons virtuels (cf ci-avant).

Pour ce qui concerne les caractéristiques physiques, nous avons choisi :

- en majorité des véhicules hauts, de type monospace
- un véhicule bas atypique, un cabriolet
- deux camions

Leurs caractéristiques dynamiques (freinage, couple en fonction du régime moteur, résistance au roulement et aérodynamique, etc) sont issues de données réelles.

Le conducteur est visible dans les véhicules roulants, mais il est figé (aucun signe ni mouvement de tête). Chaque véhicule perçoit visuellement les objets devant lui, avec un champ de vision paramétrable, et également derrière lui.

Le comportement de chaque conducteur est paramétrable sur de nombreux plans :

- Par rapport à la route : respect des vitesses limites, accélération maximale en courbe
- Par rapport à la signalisation : aspect des feux (jaune interprété comme vert ou rouge selon les cas)
- Par rapport aux autres véhicules : temps intervéhiculaire
- Communication en général : usage ou non des indicateurs de changement de direction
- Par rapport aux piétons en attente ou en cours de traversée : arrêt ou poursuite selon que le piéton est devant ou sur un passage-piéton, prise en compte du geste du bras

Chaque conducteur suit un itinéraire calculé initialement en fonction des buts à atteindre par l'élève.

L'évitement de collision avec un piéton se fait uniquement par un freinage, et non par un changement de direction.

4.2.4.4 Perspectives

Les phases de stationnement, dans la rue ou sur un parking, devront faire l'objet d'une modélisation complémentaire, en particulier celles qui nécessitent une marche arrière.

Les conditions de visibilité ou d'adhérence réduites restent à étudier. Elles sont complexes à modéliser, fonctionnellement et visuellement (éclairage, éblouissement).

La prise du contrôle d'un véhicule par le maître, via le clavier ou la manette de jeu, peut être envisagée à condition de présenter deux vues à l'écran, celle du piéton-élève et celle du véhicule piloté.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

L'ajout d'un autobus ou d'un autocar est souhaitable, même sans modéliser la phase de descente ou montée dans le véhicule. D'autres véhicules de transport en commun, comme les tramways, seraient aussi intéressant, d'autant plus qu'ils sont prioritaires par rapport aux piétons.

La descente ou montée dans un véhicule léger fait partie de l'APER et pourra être modélisée ultérieurement, bien qu'elle soit complexe du fait de l'interaction avec le conducteur.

Les deux-roues sont prévus dans le modèle mais n'ont pas été intégrés pour l'heure.

Les aspects marketing et juridiques liés à l'utilisation de véhicules dont la forme ou la marque sont reconnaissables devront être résolus avant d'envisager une diffusion dans les écoles.

4.2.5 Décor

Par décor nous désignons tous les autres éléments physiques du monde virtuel : constructions, mobilier urbain, clôture, rambarde, végétation, déchets, etc.

Les éléments de décor hauts interviennent en tant qu'obstacle à la vue ou au déplacement. Leur présence doit donc pouvoir être paramétrée afin de contrôler la difficulté d'observation et de déplacement, et éventuellement pour forcer une descente sur la chaussée à cause d'un trottoir encombré (cas courant avec des poubelles).

L'usage de rambardes pour réduire voire supprimer le problème du choix du site de traversée est à approfondir.

4.2.6 Conditions climatiques et astronomiques

L'étude de l'accidentologie de l'enfant-piéton (cf RES-DSS-1) montre que de nombreux accidents se produisent en condition de visibilité réduite.

Il est possible d'ajouter du brouillard et de modifier la luminosité ambiante, mais sans influence sur la perception des acteurs virtuels.

La pluie, avec toutes ses conséquences (gouttes qui tombent, sol mouillé, essuie-glace des véhicules, adhérence réduite, reflets, bruit, etc), n'a pas encore été modélisée.

4.3 ASPECTS PEDAGOGIQUES

4.3.1 Scénarios

Un scénario consiste à choisir un lieu, une mission pour l'enfant-piéton et des acteurs virtuels qui vont évoluer autour de l'avatar de l'enfant. Il privilégie l'apprentissage de certaines compétences (cf RES-DSS-15).

La multiplicité des scénarios, facilitée par le paramétrage des éléments fixes ou mobiles de l'environnement, permet de décontextualiser les apprentissages.

4.3.1.1 Problématique

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Doit-il exister une contrainte de temps, et, le cas échéant, faut-il l'afficher ?

Comment choisir un scénario : plutôt en fonction du lieu, comme le suggère l'APER, ou plutôt en fonction des compétences principales travaillées ?

La simulation offre une très grande liberté de paramétrage. On peut décider de la présence ou de l'absence d'une entité (par exemple, un passage-piéton particulier), de la présence ou de l'absence d'une famille d'entité (par exemple, tous les feux), de modifier les caractéristiques statiques d'entités (la largeur des trottoirs, par exemple), et même de modifier des paramètres de comportement pour les acteurs, par individu ou pour l'ensemble de la population (par exemple, augmenter la vitesse des véhicules). Quel paramétrage doit-on rendre accessible au maître ?

Quel choix laisse-t-on à l'élève ?

4.3.1.2 Solutions approfondies

Pour le maître, la première étape de la création d'un scénario consiste à choisir :

- La ville et une mission :
- Soit un déplacement sur voie à priorité piéton ; 1 but à atteindre
- Soit une insertion dans le trafic (traversée) ; 1 but à atteindre
- Soit un parcours complet, avec plusieurs buts à atteindre

Ensuite, il affine son choix en fonction des missions effectivement préparées :

- En ligne droite
- En courbe
- A un carrefour
- Dans un rond-point

Puis il peut modifier la difficulté en paramétrant :

- La présence de passages-piétons
- La présence de feux
- Le stationnement, le cas échéant (présence de voies de stationnement sur le parcours) : aucun / avec des places libres / toutes places occupées
- Les obstacles au déplacement et/ou à la visibilité sur les trottoirs : aucun / quelques uns / obstruction totale
- Le trafic routier (cf RES-DSS-15) :

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

- en densité : un véhicule passe occasionnellement / un ou deux véhicules toujours visibles / des véhicules passent tout le temps
- en comportement : proportion de conducteurs (0, 25%, 50%, 75%, 100%), sur trois thèmes discrétisés en trois niveaux :
  - d'infraction au déplacement (vitesse, distance intervéhiculaire, feu jaune)
  - de communication à autrui (signalement de ses intentions)
  - de respect du piéton

- Les autres piétons
  - en densité : aucun / un de temps en temps / toujours un visible
  - en comportement : proportion de piétons respectueux (feux et passages-piétons) / moyennement respectueux / irrespectueux
- La durée : sans ou avec une certaine valeur, affichée en permanence ou non

Une interface simple d'utilisation est envisagée (cf RES-CRR-16), graphique et « à tiroirs » : on fait apparaître le détail du paramétrage seulement sur demande. De nombreux scénarios entièrement paramétrés seront fournis.

En fonction des paramètres choisis, apparaissent les compétences principales mises en jeu.

L'élève se voit affecter des scénarios, dont il ne peut que choisir l'ordre de réalisation. Il peut effectuer plusieurs fois le même scénario. Tous les résultats des élèves sont enregistrés et le maître peut les analyser avec des interfaces spécifiques.

4.3.1.3 Perspectives

De nombreux scénarios ont été conçus mais peu ont été implémentés. Les interfaces n'ont pas été finalisées.

Pour « densifier » les scénarios ou rendre reproductible l'occurrence d'événements, il conviendrait d'utiliser des règles pour modifier temporairement le comportement de certains acteurs, les véhicules en particulier, en fonction de la position ou des actions de l'élève (cf RES-REX). Ce dispositif a été implémenté mais peu utilisé jusqu'à présent. Il conviendrait d'étendre ce dispositif avec un « casting dynamique » des acteurs : ceux qui ont un comportement particulier, guidé par des règles, ne seraient pas identifiés a priori mais seraient choisis dynamiquement dans le trafic présent, à l'instant et à l'endroit voulus.

Le développement d'un éditeur graphique, pour construire des scènes et des missions, est envisageable. Différentes interfaces sont à prévoir selon que l'on s'adresse au concepteur du simulateur ou au professeur d'école.

4.3.2 Guidage

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Le guidage est la fonction du logiciel qui explique à l'enfant sa mission et qui vérifie, éventuellement, qu'il la respecte.

Par ailleurs, tous les enfants concernés ne sont pas censés savoir lire, d'où un choix de communication orale ou illustrée.

4.3.2.1 Problématique

Le guidage ne doit pas être trop précis afin de laisser un choix d'itinéraire à l'enfant, en particulier celui des sites de traversée. Il ne doit pas se substituer à l'évaluation.

Il pourrait être envisagé à divers moments et sous diverses modalités :

- Au fur et à mesure, ou initialement, avec plusieurs étapes à mémoriser ; la charge mentale est plus importante dans le deuxième cas
- Sous forme sonore, visuelle en « 3D » ou en « 2D » (carte à mettre en relation avec le monde virtuel 3D)
- Sous forme absolue (tracé de l'itinéraire) ou relative (indications de changement de direction)
- Autorise-t-on l'élève a demander à tout moment qu'on lui rappelle le but à atteindre ?
- Que faire en cas de non-respect de l'itinéraire ? Interdire l'erreur, repositionner correctement ou simplement avertir ?

4.3.2.2 Solutions envisagées

En plus de la solution retenue, basés sur des messages sonore et visuels délivrés au fur et à mesure de la progression, on a envisagé brièvement diverses formes de guidage :

- Sous forme indirecte, par exemple en donnant un nom de rue et un numéro, sous réserve que ceux-ci soient représentés visuellement (pour les enfants qui savent lire)
- Sous forme de « road-book », avec une distance parcourue ou des points remarquables et des indications de changement de direction, sous forme de flèches ; ce road-book serait affiché sur demande, voire en alternance avec l'image pour détourner temporairement l'attention de la rue
- Sous forme de carte avec dessin des buts, à supposer que l'enfant mette en relation la représentation cartographique et le monde en vue subjective
- Sous forme orale par le biais des autres piétons virtuels, qu'il faudrait alors approcher pour qu'il donnent oralement leur indication

Nous avons privilégié une solution adaptée à tous les enfants, et qui limite leur charge mentale de compréhension et de suivi d'itinéraire.

4.3.2.3 Solution retenue

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Dans la version actuelle du logiciel, le message est transmis au fur et à mesure, sous forme visuelle et sonore, pour éviter tout risque de mauvaise interprétation.

En effet, le son seul ne suffit pas car l'objet but est désigné par un nom générique (le cinéma, etc), alors qu'il faut indiquer lieu spécifique. C'est pourquoi on met le but en surbrillance, pendant une durée limitée. Ceci implique un effort de mémorisation, cependant limité car il est possible à tout moment de réactiver l'indication visuelle et sonore du but.

Un contrôle du suivi de l'itinéraire par l'élève est effectué par le logiciel. Nous avons privilégié, pour plus de réalisme, une continuité de l'action, c'est-à-dire l'absence de repositionnement automatique de l'avatar, même en cas de divagation par rapport au but. Un message sonore avertit l'enfant quand il quitte l'espace autorisé et lui remontre automatiquement le but quand il revient dans cet espace (cf RES-CRR-12).

4.3.2.4 Perspectives

Deux thèmes sont à privilégier :

- La carte, qui peut faire le lien avec les disciplines scolaires ; la carte pourrait intégrer les parcours de et les erreurs de plusieurs élèves, pour les comparer et ainsi leur permettre de comprendre et de corriger leurs erreurs
- L'information par les autres piétons virtuels, car elle renforce le rôle de ces piétons – l'élève serait alors tenté de les suivre, alors qu'ils ont des possibilités différentes – et car elle met en avant la nécessité de collaborer pour atteindre un objectif ; on peut également imaginer que ces piétons donnent de mauvaises indications ou d'autres échanges d'information avec le piéton élève (réprimande en cas d'erreur, demande de justification, etc)

4.3.3 Evaluation

L'évaluation a pour but de détecter les erreurs de l'élève, qu'il s'agisse de non-respects du code ou d'imprudences. Bien que cette évaluation puisse être utilisée en tant que telle (score), elle est surtout le point de départ d'une démarche d'apprentissage, fondée sur la recherche des compétences ayant fait défaut.

4.3.3.1 Problématique

Quelle échelle de valeurs adopter ?

Comment pondérer relativement les différentes erreurs ? En particulier, comment quantifier une collision qui se produit effectivement par rapport à une grave mise en danger de sa vie, mais qui ne se traduit pas par un accident du fait de l'absence de véhicule ?

Comment relier les erreurs au référentiel de compétences ?

Faut-il indiquer les erreurs au fur et à mesure de leur occurrence, attendre la fin de la mission, voire attendre l'intervention du maître ?

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Un parcours parfaitement réalisé doit-il conduire à une « note » maximale, sachant que cela pourrait engendrer une surconfiance chez l'enfant ?

Faut-il montrer le parcours idéal à l'enfant, plutôt que le laisser essayer de le trouver par essais / erreurs ?

Que montrer en cas d'accident ?

4.3.3.2 Solutions envisagées

Une première version de l'évaluation a été implémentée pour la démonstration de septembre 2002, basée sur le document RES-DSS-11. Elle était basée essentiellement sur la présence du piéton dans des zones à risque. Elle se concrétisait par un score sur 100. Bien que simplifiée, cette évaluation a montré que le score final était une source de motivation pour la plupart des enfants.

Une démarche d'évaluation basée sur le diagnostic cognitif a également été abordée (cf rapport de DEA de M. DESINDE).

4.3.3.3 Solutions approfondies

Les erreurs reportées par le simulateur sont listées dans le tableau ci-après et avec la légende suivante :

- CR : erreur inscrite au Code de la Route
- « ! » : mise en danger de sa vie
- Compétences : compétences ayant fait défaut

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Erreur	CR	!	Compétences
Collision	non	oui	Facteurs humains
Collision évitée de justesse	non	oui	Estimer les intervalles intervéhiculaires, anticiper le comportement d'autrui, choisir le site de traverser, analyser le trafic, facteurs humains
Panneau interdit aux piétons outrepassé	R411-25	non	Conduite civique
Mauvaise position sur la chaussée (sans trottoir)	R412-36	oui	Se déplacer en fonction des véhicules
Mauvaise position sur le trottoir (raser les murs ou sur le bord dos au trafic)	non	oui	Se déplacer en fonction des véhicules
Défaut d'observation (n'a bas bien regardé)	R412-37	oui	Analyser le trafic
Défaut de visibilité (a regardé mais n'a pas bien vu à cause d'obstacles)	R412-37	oui	Choisir le site de traversée
Traversée hors passage piéton à moins de 50 m	R412-37	non	Conduite civique, choisir le site de traversée
Feu rouge piéton non respecté	R412-38	oui	Conduite civique, analyser le trafic
Traversée trop longue en distance	R412-39	oui	Déterminer la trajectoire de traversée
Traversée trop longue en temps	non	non	Déterminer la trajectoire de traversée, stationner en fonction des véhicules
Traversée non perpendiculaire	R412-39	oui	Déterminer la trajectoire de traversée
Présence à l'intérieur d'un carrefour	R412-39	oui	Stationner en fonction des véhicules
Présence prolongée sur la chaussée	non	non	Stationner en fonction des véhicules
Course sur la chaussée	non	oui	Déterminer la trajectoire de traversée, facteurs humains

Tableau 13. Erreurs détectées par le simulateur

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Les compétences sont issues du référentiel de compétences de l'enfant-piéton (cf RES-DSS-15).

Les erreurs ne sont pas quantifiées les unes par rapport aux autres.

Aucune erreur n'est signalée en cours de simulation, car on recherche une mise en situation la plus réaliste possible.

Aucun parcours idéal n'est indiqué. L'enfant dispose de facilités pour revoir et refaire (voir ci-après).

En cas d'accident, un écran noir s'affiche pendant 2 secondes, accompagné d'un bruit de choc.

4.3.3.4 Perspectives

L'évaluation utilise un modèle de perception et de mémorisation dual de l'élève :

- Lorsqu'il dirige son regard « suffisamment » longtemps vers des entités, par exemple des véhicules, on mémorise cette information, pendant un « certain » temps ; on suppose donc que regarder = voir et savoir interpréter
- Les calculs d'intervisibilité sont nécessairement simplifiés ; par exemple, si un enfant est plus petit qu'un véhicule, on considère qu'il ne voit pas ce qui est derrière ce véhicule, en dépit de la transparence des vitres ; il peut donc y avoir un écart entre ce que le simulateur considère comme vu et ce que l'enfant a effectivement vu

De plus, de nombreux paramètres internes fixent des seuils (positions, angles, durées, etc), au dessus desquels on considère qu'il y a erreur. Ces paramètres devront être ajustés.

La recherche de la cause d'une erreur pourrait être l'occasion d'une démarche interactive, guidée par le maître ou avec l'aide du logiciel, éventuellement par l'intermédiaire d'un personnage référent ou d'une voix off. Chaque erreur pourrait être expliquée de manière générique, puis « affinée » avec les éléments du contexte. Il serait alors également intéressant de pouvoir accéder à une description textuelle ou sonore des caractéristiques des conducteurs (à quelle vitesse circulait-il, avait-il perçu les piétons, quelle est en général son comportement vis à vis des piétons, etc).

Une refonte de l'évaluation basée sur l'observation des comportements situés de nombreux enfants (RES-DSS-11, 13 et 14) pourrait être envisagée ultérieurement.

4.3.4 Revoir et refaire

Revoir son comportement permet de l'analyser, puis de le comprendre. Recommencer permet de le corriger.

Le simulateur permet ainsi la décentration (prise du point de vue d'un autre) et l'interaction avec ses pairs (autres élèves) et le maître, bénéfiques pour l'apprentissage.

4.3.4.1 Problématique

Comment enregistrer ?

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Comment recommencer à partir d'un instant quelconque ?

4.3.4.2 Solutions envisagées

Nous aurions pu enregistrer l'image, le son, et les actions de l'élève avec un logiciel ou un dispositif physique externe. Cette solution est évidemment exclue car elle ne met pas à profit les possibilités d'un simulateur interactif avec images de synthèse, pour lequel on peut revoir en re-simulant à partir de données enregistrées.

4.3.4.3 Solutions approfondies

Le simulateur enregistre à intervalle régulier, paramétrable, l'état du système. Ces enregistrements, baptisés « clichés » sont des points de reprise potentiels pour revoir ou recommencer. En outre, les actions sur la manette de jeu ou sur le clavier sont enregistrées en continu (car aléatoires).

A partir d'une erreur datée, on peut donc revenir en arrière pour revoir les événements qui ont précédé l'erreur.

L'utilisateur peut déplacer librement le point de vue, l'attacher à l'enfant-piéton ou l'attacher à un acteur de la scène – piéton ou véhicule – en le désignant à l'aide de la souris, comme le montre l'image suivante avec trois points de vues (élève – véhicule – général) de la même situation.

Figure 14. Trois points de vue différents de la même scène

Le logiciel a été optimisé pour autoriser de multiples « revoir » ou « recommencer », avec un délai de lancement très court.

4.3.4.4 Perspectives

La vue en poursuite mériterait d'être testée lorsque l'on revoit la scène, car elle n'obligerait pas l'utilisateur – élève ou maître – à intervenir pour déplacer l'observateur, tout en fournissant des informations à la fois sur le piéton-élève et sur son environnement fixe ou mobile.

La présentation de plusieurs points de vue en alternance (piéton, véhicule, vue générale) pourrait être automatisée. On peut également envisager l'affichage de ces 3 images simultanément.

L'enregistrement de toutes les missions génère un gros volume de données qu'il conviendra d'optimiser.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

4.3.5 Intégration à l'école

En plus des fonctionnalités évoquées au chapitre « évaluation », de nombreuses fonctions pédagogiques peuvent être ajoutées aisément au simulateur :

- Affichage et impression (transfert sur papier) de cartes de la ville, à différentes échelles
- Localisation spatiale et temporelle des erreurs, éventuellement avec impression
- Matérialisation au sol d'un parcours
- Mise en évidence d'objets d'une catégorie donnée (signalisation , véhicules, etc), par exemple en enlevant la texture des autres catégories
- Représentation du champ visuel d'un acteur ou des objets qu'il perçoit
- Mise en évidence des objets dangereux car non perçus
- Affichage du contenu de la mémoire d'un acteur virtuel
- Matérialisation des « fantômes », points à observer avant de pénétrer sur la chaussée

La possibilité d'utiliser le simulateur dans plusieurs enseignements des programmes scolaires a été abordée dans RES-DSS-4.

En cours de projet (B.O n°40 du 31 octobre 2002) est apparue l'Attestation de Première Education à la Route (APER). Pour une intégration plus rapide avec les pratiques pédagogiques en vigueur, le simulateur éducatif devra présenter des interfaces conformes à l'APER, tout en faisant le lien avec le référentiel de compétences de l'enfant-piéton établi dans le cadre du présent projet.

4.4 ASPECTS LOGICIELS ET MATERIELS

La conformité aux standard est un gage de portabilité (sur divers ordinateurs), de compatibilité (avec d'autres logiciels ou données), de « maintenabilité » (facilité de correction des anomalies) et d'évolutivité (faculté à intégrer de nouvelles fonctionnalités).

4.4.1 Conception et codage

La conception est formalisée au travers de diagrammes de classes UML (Unified Modeling Language, cf RES-DSC-1 à 7).

Pour faciliter la transition de la conception vers l'implémentation, nous avons établi un schéma de correspondance univoque entre les concepts UML et les classes GFC (Generic Fields and Containers), détaillé dans RES-RET.

En outre, tous les champs des classes ont été catégorisés en fonction de leur durée de vie :

- Attribut de définition : GFC, lu depuis un fichier
- Variable d'état : GFC, sauvegardée dans un cliché

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

- Variable intermédiaire : non GFC, modifiée en cours de cycle
- Donnée redondante : non GFC, déduite statiquement ou dynamiquement d'autres données

Cette catégorisation améliore la lisibilité du code source.

Le codage respecte également des règles strictes (cf RES-REG et RES-DEV).

4.4.2 Format des données

Les principales bibliothèques de données du simulateur sont basées sur des formats standard :

- Objets 3D au format VRML (Virtual Reality Modeling Language) 97, standard pour la représentation des mondes virtuels sur Internet
- Sons au format « wav »
- Textures dans un format d'image reconnu par DevIL (actuellement, SGI RGB mais plusieurs dizaines d'autres formats sont possibles)
- Images d'interface (pictogrammes, etc) dans un format d'image reconnu par Qt (actuellement « bmp »)

Quant aux autres données du simulateur, elles sont au format générique GFC, sur-ensemble de VRML.

Cette standardisation va dans le sens d'échanges avec d'autres outils et favorise une évolution vers Internet.

4.4.3 Portabilité des logiciels

Le simulateur RESPECT réutilise les librairies logicielles du marché suivantes :

- Qt : gestion des fenêtres, menus, etc
- OpenGL : rendu des images de synthèse
- OpenAL : restitution sonore
- DevIL : gestion des images 2D pour les textures

Le logiciel est écrit en C++, et utilise des évolutions de librairies réalisées par CORYS TESS : CORAIL (modèle géométrique des routes), ALICES (structures de données de base) et GFC (programmation générique).

Ces choix assurent la portabilité PC (Windows et Linux) et Macintosh de l'application. Seules quelques développements mineurs devront être adaptés (manette de jeu, certains accès aux fichiers).

Ils sont conformes aux tendances actuelles pour le développement d'applications visuelles 3D, à savoir OpenML (= OpenGL + OpenAL + DevIL + gestion périphériques).

4.4.4 Matériel informatique et performance

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Le simulateur éducatif, en tant que logiciel et accessoirement périphérique (manette de jeu), doit pouvoir être exploité sur de nombreux ordinateurs existant dans les écoles.

A cet effet, de nombreuses optimisations ont d'ores et déjà été implémentées :

- Structures de données redondantes pour accélérer le modèle de perception entre acteurs
- Champ de vision modélisé par sélection de sphères englobantes vis à vis d'une pyramide
- Détection de collision et calcul d'occultation basés sur des approximations polygonales 2D
- Quadtree pour sélectionner les objets 3D visibles
- Tris rapides pour le rendu OpenGL des objets 3D
- Maillage automatique des triangles indépendants sur les objets 3D complexes (logiciel développé mais non utilisé)

Certains paramètres resteront à la charge de l'utilisateur pour adapter le logiciel aux possibilités de son matériel : résolution d'affichage, facteur de réduction des textures, qualité de filtrage des textures, utilisation de la compression, distance de visibilité, nombre maximum de véhicules et de piétons.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

5. ORGANISATION

5.1 PARTENAIRES

En ce qui concerne la nécessaire articulation de techniques et de savoir issus de domaines différents, les quatre partenaires du projet réunissent l'ensemble des compétences requises pour la spécification et la réalisation du simulateur éducatif.

- Le Laboratoire de Psychologie de la Conduite (LPC-INRETS) apporte ses compétences en sécurité routière et en psychologie du développement des compétences routières.
- Le Centre de Recherches en Psychologie, Cognition et Communication (CRP2C) laboratoire bicéphale Université de Rennes 2 - IUFM de Bretagne (EA 1285) apporte ses compétences en psychométrie, en matière d'évaluations pédagogiques (avec ou sans logiciel) et en psychologie du développement.
- Le Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH-UVHC) apporte les compétences de 2 équipes, l'une, spécialiste en raisonnement automatique, pour le pilotage des mobiles virtuels, l'autre en biomécanique pour la simulation des marcheurs.
- CORYS T.E.S.S., pilote du projet, apporte son savoir-faire technologique dans la création de simulateur de trafic et de conduite.

En outre, Madame MENNESSIER, Conseillère Technique Education Nationale à la DISR, a participé à de nombreuses réunions du projet et nous a apporté, entre autres, des éléments sur les nouveaux programmes scolaires liés à l'enseignement de la sécurité routière à l'école primaire.

L'accord de partenariat RES-IPR décrit les droits de propriété, d'utilisation et de commercialisation des produits du présent projet.

5.2 REUNIONS

Les réunions du projet sont de deux types :

- Générales, avec une fréquence mensuelle : elles réunissent au moins un membre de chaque partenaire ; elles de déroulent à Paris ou Arcueil, pour des raisons pratiques
- Techniques, à la demande : elles réunissent certains partenaires, autour d'un thème précis (définition pédagogique et sécurité routière ; modélisation et développement logiciel) ; elles se déroulent chez l'un des partenaires

La plupart des réunions générales ont donné lieu à un compte rendu (17 RES-CRR). Ce compte rendu sert également au suivi d'actions ponctuelles.

5.3 PRODUITS

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Tous les produits communs du projet décrits ci-après, qu'il s'agisse de documents, données ou de logiciels, sont regroupés sur un cédérom.

Le projet a produit les documents écrits suivants, hors documents contractuels, publications ou communications externes décrites en annexe :

Des compte rendus de réunion (CRR) : RES-CRR-1 à RES-CRR-17

Des dossiers de spécification (DSS) :

- RES-DSS-1 : scénarios d'accidents d'enfants-piétons
- RES-DSS-2 : typologie des mouvements principaux des piétons
- RES-DSS-3 : modélisation du comportement des piétons virtuels
- RES-DSS-4 : apprentissages scolaires
- RES-DSS-5 : architecture du simulateur
- RES-DSS-6 : simulateur de Glasgow
- RES-DSS-7 : comportement des piétons
- RES-DSS-8 : parcours d'apprentissage
- RES-DSS-9 : comportement du conducteur
- RES-DSS-10 :scénarios
- RES-DSS-11 : maillage pour l'évaluation
- RES-DSS-12 : scénarios (suite)
- RES-DSS-13 : évaluation
- RES-DSS-14 : évaluation (suite)
- RES-DSS-15 : référentiel des compétences de l'enfant-piéton
- RES-DSS-16 : recommandations pour l'aménagement d'infrastructures
- RES-DSS-17 : importance de la transgression
- RES-DSS-18 : capacités cognitives impliquées dans la tâche de traversée

Des dossiers de conceptions (DSC) :

- RES-DSC-1 : trafic
- RES-DSC-2 : visuel
- RES-DSC-3 : moteur de simulation
- RES-DSC-4 : représentation des entités du monde réel
- RES-DSC-5 : modules
- RES-DSC-6 : conception du réseau routier
- RES-DSC-7 : animation des « premiers » piétons virtuels

Des dossiers de développement :

- RES-DEV : principes de développement
- RES-GFC : classes GFC
- RES-REG : règles d'implémentation, de nommage et de présentation

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Parallèlement au projet, des étudiants du DESS ICHM du LAMIH on rédigé un rapport sur l'ergonomie du démonstrateur RESPECT (RES-RDI).

Les résultats de l'expérimentation formelle menée en juillet 2003 sont consignés dans le document RES-REX.

Les produits logiciels suivants ont également été réalisées :

- Données : scènes, objets 3D, textures 2D, images 2D, sons, mouvements
- Logiciels : démonstrateur RESPECT (septembre 2003), exécutables ResEle (élève) et ResMai (maître), modules logiciels C++, modules MATLAB

Ci-après des enfants de 8 ans qui utilisent le logiciel élève.

Figure 15. Enfants utilisant le simulateur éducatif

5.4 EXPERIMENTATIONS

Des expérimentations informelles ont été réalisées avec des enfants à l'occasion :

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

- Du Mondial de l'Automobile 2002, où le démonstrateur RESPECT était installé sur le stand de la Sécurité Routière
- A la foire de Bordeaux 2003,
- Lors de journées Science en Fête à l'INRETS et au LAMIH
- Par les étudiants du DESS ICHM au LAMIH pour une étude ergonomique
- Lors d'une journée portes ouvertes à CORYS TESS
- A CORYS, en décembre 2003, avec un enfant de 13 ans.

Une expérimentation avec un cadre plus formel a été réalisée dans une école de la région bordelaise en juillet 2003.

5.5 COMMUNICATIONS

Le démonstrateur RESPECT se trouvait sur le stand de la Sécurité Routière lors du Mondial de l'Automobile de septembre 2002 et à été présenté, entre autres personnalités à :

- Madame Massin, Déléguée Interministérielle à la Sécurité Routière
- Madame Boisseau, Secrétaire d'Etat aux Handicapés
- Monsieur Raffarin, Premier Ministre
- Monsieur De Robien, Ministre de l'Equipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer
- Monsieur Jacob, Ministre Délégué à la Famille

Il a également été présenté à des représentants du cabinet du Ministère de l'Education Nationale.

Des spots radio ont été et seront diffusés par France Bleu Isère / AREA dans la région Rhône-Alpes.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

6. CONCLUSION

6.1 BILAN

Grâce au projet RESPECT, on sait désormais que :

- L'éducation routière est possible précocement et elle peut ne pas se limiter à un apprentissage des rituels comportementaux impliqués dans la traversée. Il est possible d'éduquer à la sécurité routière les jeunes enfants en axant l'apprentissage sur les compétences cognitives et sociales en jeu dans le déplacement piéton. Ces compétences sont éducables chez l'enfant dans des situations d'interaction et le simulateur lui permet de les développer sans risque dans l'espace routier. Ces compétences sont d'autant plus intéressantes à aborder précocement qu'un certain nombre d'entre elles sont également impliquées dans les autres modes de déplacement.

- Le simulateur interactif est un bon moyen d'amener ces apprentissages, grâce à des mises en situations à la fois réalistes au plan des comportements observables et contrôlées au plan des compétences visées. Ces situations sont sources de construction des savoirs et savoir-faire requis par l'activité piétonne. Grâce à la situation simulée, on est capable de donner à l'enfant une expérience de l'espace routier qui lui permette d'apprendre à utiliser des compétences déjà présentes mais pas encore appliquées à l'espace routier.

- Ce simulateur peut fonctionner sur un ordinateur standard, tel que ceux que l'on trouve dans les écoles

La collaboration entre des équipes de recherche en sciences humaines et sociales, des équipes de recherche technologique et un industriel, s'est concrétisée par la production de nombreux documents et publications, dans le domaine de la sécurité routière et de la pédagogie de l'enfant-piéton, ainsi que dans le celui du raisonnement automatisé et de la biomécanique. Elle a également débouché sur le développement d'un logiciel qui montre bien le potentiel de la simulation pour la pédagogie de la sécurité routière.

L'accueil unanime par les enfants, enseignants ou responsables politiques, nous encourage à poursuivre nos efforts dans cette voie.

6.2 PERSPECTIVES

En premier lieu, pour répondre à l'objectif premier qui est la diminution du nombre d'accidents d'enfants-piétons, le simulateur doit déboucher à court terme sur un outil d'éducation, largement diffusé dans les écoles élémentaires. Pour cela, tous les scénarios spécifiés doivent être implémentés, et des fonctions pédagogiques doivent être ajoutées, grâce à une collaboration avec des enseignants du primaire. Les interfaces homme-machine doivent être finalisés, et les modèles de comportement véhicule et piéton virtuel enrichis. La performance, la robustesse et la portabilité du logiciel doivent également être améliorés pour atteindre cet objectif.

Deuxièmement, on peut dériver de la technologie et des connaissances développées dans RESPECT un outil d'évaluation des compétences des enfants, qu'ils soient piétons, passagers ou utilisateurs d'autres modes de transport (roller, trottinette, vélo). Cet outil devra permettre d'évaluer les compétences de

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

l'enfant en situation simulée et ainsi de situer les enfants à la fois par rapport aux critères de l'Attestation de Première Education à la Route, document officiel en usage dans les écoles, et par rapport aux référentiels de compétences en cours de construction.

Enfin, le simulateur peut être utilisé, moyennant des évolutions mineures, comme outil de recherche. D'une part, RESPECT constitue une plate-forme de démonstration et de validation des concepts de l'intelligence artificielle et la biomécanique mis en œuvre dans le logiciel, pour le LAMIH et pour CORYS TESS. D'autre part, il permet une observation sans risque des compétences sociales et cognitives de l'enfant et de l'adolescent. L'INRETS et le CRP2C envisagent d'ailleurs son utilisation dans le cadre du projet PREDIT « Développement social et sécurité routière ». Le simulateur devrait permettre une interrogation et une validation du référentiel des compétences impliquées dans la mobilité piétonne, qui est pour l'instant à l'état de construction théorique. Le simulateur serait également utile dans une interrogation sur d'autres modes de transport pour discerner quelles sont les compétences transférables et transférées, par exemple à la conduite automobile, dans l'idée du répertoire des compétences communes à tous les modes de transport qui vient d'être établi par l'Education Nationale en collaboration avec le Ministère des Transports et l'INRETS.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

7. ANNEXE : BIBLIOGRAPHIE

7.1.1 Pédagogie et sécurité routière pour l'enfant-piéton

Alexander, K., Cave, T., & Little, J. K. (1990). *The role of alcohol and age in predisposing pedestrian accidents*. Victoria: Australian Road Safety Division.

Ampofo Boateng, K., & Thomson, J. A. (1990). Child pedestrian accidents : a case for preventive medicine. *Health Education Research, 5*(2), 265-274.

Ampofo Boateng, K., & Thomson, J. A. (1991). Children's Perception of Safety and Danger on the Road. *British Journal Of Psychology, 82*(4), 487-505.

Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Bandura, A. (1991). Social cognition theory of moral thought and action. In W. M. Kurtines & J. L. Gewirtz (Eds.), *Handbook of moral behavior and development* (Vol. 1, pp. 45-103). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Barjonnet, P.-E. (1988). *Vitesse, risque et accident: psychosociologie de la sécurité*. Caen: Paradigme.

Berk, L. E. (2000). *Child Development* (Vth ed.). Boston: Allyn & Bacon.

Borke, H. (1975). Piaget's mountains revisited: changes in the egocentric landscape. *Developmental Psychology, 11*, 240-243.

Bremner, G. (1993). Spatial representation in infancy and early childhood. In C. Pratt & F. Garton (Eds.), *Systems of representation in children: development and use*. Chichester: Wiley.

Brun, F. (1996). *Comment faire de l'éducation routière à l'école maternelle ?* Lyon: CRDP.

Bruner, J. S. (1983). *Child's talk: learning to use language*. Oxford: Oxford University Press.

Burkhardt, J. M., Bardy, B., & Lourdeaux, D. (2003). Immersion, réalisme et présence dans la conception et l'évaluation des environnements virtuels. *Psychologie Francaise, 48*(2), 35-42.

Butterworth, G. E., & Grover, L. (1988). The origins of referential communication in human infancy. In L. Weiskrantz (Ed.), *Thought without language*. Oxford: Clarendon.

Carter, D. B., & Patterson, C. J. (1982). Sex roles as social conventions : the development of children's conceptions of sex role stereotypes. *Developmental Psychology, 18*, 812-824.

Chauvigne, C., Coulet, J.-C., & Gosselin, P. (2002). Une méthode d'élaboration d'un référentiel de compétences. Rennes: Université Rennes II.

Cox, M. V. (1991). *The child's point of view* (2nd ed.). New York: Hearvester Wheatsheaf.

DeMarie-Dreblow, D., & Miller, P. H. (1988). The development of children's strategies for selective attention: evidence for a transitional period. *Child Development, 59*, 1504-1513.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Demetre, J. D. (1997). Applying developmental psychology to children's road safety: problems and prospects. *Journal of Applied Developmental Psychology, 18*(2), 263-270.

Demetre, J. D., & Gaffin, S. (1994). The salience of occluding vehicles to child pedestrians. *British Journal Of Educational Psychology, 64*, 243-251.

Demetre, J. D., Lee, D. N., Pitcairn, T. K., Grieve, R., Thomson, J. A., & Ampofo-Boateng, K. (1992). Errors in young children's decisions about traffic gaps: experiments with roadside simulations. *The British Journal of Psychology, 83 (Pt 2)*, 189-202.

Demetre, J. D., Tarzi, S., & Argyriou, V. (1994). *A cognitive-developmental analysis of road-crossing choices*. Paper presented at the Annual Conference of the British Psychological Society Developmental Section, Portsmouth, England.

Donaldson, M. (1978). *Children's minds*. London: Fontana.

Flavell, J. H. (1988). The Development of children's knowledge about the mind: from cognitive connections to mental representations. In J. W. Astington & P. L. Harris & D. R. Olson (Eds.), *Developing theories of mind*. New-York: Cambridge University Press.

Flavell, J. H. (1992). Perspectives on perspective taking. In H. Beilin & P. Pufall (Eds.), *Piaget's theory: prospects and possibilities* (pp. 107-139). Hillsdale: Erlbaum.

Flavell, J. H., Green, F. L., & Flavell, E. R. (1986). Development of knowledge about the appearance-reality distinction. *Monographs of Society for Research in Child Development, 51*(1, Serial N°212).

Flavell, J. H., Shipstead, S. G., & Croft, K. (1978). Young children's knowledge about visual perception: hiding objects from others. *Child Development, 49*, 1208-1211.

Fleury, D., & Brenac, T. (2001). Accident prototypical scenarios, a tool for road safety research and diagnostic studies. *Accident Analysis & Prevention, 33*(2), 267-276.

Fontaine, H., & Gourlet, Y. (1997). Fatal pedestrian accidents in France: a typological accident. *Accident Analysis & Prevention, 29*(3), 303-312.

Gabbard, C. (1992). *Lifelong motor development*. Dubuque, IA: Wm. C. Brown.

Gibson, E. J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. New-York: Appleton-Century-Crofts.

Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton-Mifflin.

Gibson, J. J., & Gibson, E. J. (1955). Perceptual learning: differentiation or enrichment? *Psychological Review, 62*, 32-41.

Girouard, P. C., Ricard, M., & Gouin Décarie, T. (1998). Une analyse de la coordination des perspectives visuelles de niveau 1. *Enfance, 2*, 139-157.

Gopnik, A., & Astington, J. W. (1988). Children's understanding of representational change and its relation to the understanding of the false belief and appearance-reality distinction. *Child Development, 59*, 26-37.

Granié, M. A. (2001, 25-26 mai). *Education à la sécurité routière et zone proximale de développement*. Paper presented at the XIXème conférence du Groupe Francophone d'Etude du Développement de l'Enfant Jeune (GROFRED), Trente, Italie.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Granié, M. A. (2002). Education scolaire et éducation parentale à la sécurité routière: premiers questionnements. *Autoroute et Mobilité, 15,* 6.

Granié, M. A. (2003). La construction des règles de sécurité routière chez l'enfant: analyse du contenu d'entretiens auprès d'enfants de 5 et 8 ans. *Revue Transport et Sécurité, à paraître.*

Granié, M. A., & Assailly, J. P. (2000). *Evaluation de l'action éducative en sécurité routière de l'école maternelle Condé à Lyon. Rapport sur convention DSCR/INRETS 1999.* Arcueil: I.N.R.E.T.S.

Granié, M. A., & Assailly, J. P. (2001, 22-26 août). *The role of traffic safety education action in socialization process.* Paper presented at the Xth European Conference on Developmental Psychology, Uppsala, Suède.

Grayson, G. B. (1975). *The Hampshire child pedestrian accident study* (TRRL Laboratory Report 668). London: Department of the Environment.

Grusec, J. E. (1988). *Social development: History, theory, and research.* New-York: Springer-Verlag.

Guttentag, R. E. (1984). The mental effort requirement of cumulative rehearsal: a developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology, 37*, 92-106.

Hillman, M., Adams, J., & Whitelegg, J. (1990). *One false move... A study of children's independent mobility.* London: Policy Studies Institute.

Hoffman, M. L. (1983). Affective and cognitive process in moral internalization. In E. T. Higgins & D. N. Ruble & W. W. Hartup (Eds.), *Social cognition and social development: a sociocultural perspective* (pp. 236-274). Cambridge: Cambridge University Press.

Hughes, M., & Donaldson, M. (1979). The use of hiding games for studying co-ordination of viewpoints. *Educational Review, 31*, 133-140.

Hugues, M., & Donaldson, M. (1979). The use of hiding games for studying the coordination of view-points. *Education Review, 31*, 133-140.

Keogh, J., & Sudgden, D. (1985). *Movement skill development.* New-York: Mac Millan.

Kochanska, G. (1993). Toward a synthesis of parental socialization and child temperament in early development of conscience. *Child Development, 64*, 325-347.

Kochanska, G., Casey, R. J., & Fukumoto, A. (1995). Toddlers' sensitivity to standard violations. *Child Development, 66*, 643-656.

Kochanska, G., DeVet, K., Goldman, M., Murray, K., & Putman, S. P. (1994). Maternal reports of conscience development and temperament in young children. *Child Development, 65*, 852-868.

Kochanska, G., Murray, K., & Coy, K. C. (1997). Inhibitory control as contributor to conscience in childhood: from toddler to early school age. *Child Development, 68*, 263-277.

Kopp, C. B. (1987). The growth of self-regulation: Caregivers and children. In N. Eisenberg (Ed.), *Contemporary tpoics in developmental psychology* (pp. 34-55). New-York: Wiley.

Krevans, J., & Gibbs, J. C. (1996). Parents' use of inductive discipline: Relations to children's empathy and prosocial behavior. *Child Development, 67*, 3263-3277.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Lee, D. N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception, 5*, 437-459.

Lee, D. N. (1980). The optic flow field: the foundation of vision. In H. C. Longuet-Higgins & N. S. Sutheland (Eds.), *The psychology of vision*. London: The Royal Society.

Lee, D. N., Young, D. S., & McLaughlin, C. M. (1984). A roadside simulation of road crossing for children. *Ergonomics, 27*(12), 1271-1281.

Lee, D. N., Young, D. S., Reddish, P. E. S., Lough, T. H., & Clayton, T. M. H. (1983). Visual timing in hitting an accelerating ball. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 35*, 333-346.

Light, P., & Nix, C. (1983). "Own view" versus "good view" in a perspective-taking task. *Child Development, 54*, 480-483.

Loveland, K. A. (1984). Learning about point of view: spatial perspective and the acquisition of "I/You". *Journal of Child Language, 11*, 535-556.

Malrieu, P., & Malrieu, S. (1973). La socialisation. In H. Gratiot-Alphandery & R. Zazzo (Eds.), *Traité de psychologie de l'enfant Vol. V*. Paris: Presses Universitaires de France.

McComas, J., MacKay, M., & Pivik, J. (2002). Effectiveness of virtual reality for teaching pedestrian safety. *Cyber Psychology & Behavior, 5*(3), 185-190.

Messer, S. (1976). Impulsivity-reflectivity: a review. *Psychological Bulletin, 83*(1026-1052).

Miller, P. H., Haynes, V. F., DeMarie-Dreblow, D., & Woody-Ramsey, J. (1986). Children's strategies for gathering information in three tasks. *Child Development, 57*, 1429-1439.

Mills, R., & Grusec, J. E. (1989). Cognitive, affective, and behavioral consequences of praising altruism. *Merill-Palmer Quarterly, 35*, 299-326.

Mischel, W., Shoda, Y., & Peake, P. K. (1988). The nature of adolescent competencies predicted by preschool delay of gratification. *Journal of Personality and Social psychology, 54*, 687-696.

Murphy, C. M., & Messer, D. J. (1977). Mothers, infants and pointing: study of gesture. In H. R. Schaffer (Ed.), *Studies in mother-infant interaction*. London: Academic Press.

National Highway Traffic Safety Administration. (1983). *Program assessment kit for pedestrian and bicyclist safety education programs*. Washington D.C.: U.S. Department of Transportation.

Newcombe, N., & Huttenlocher, J. (1992). Children's early ability to solve perspective-taking problems. *Developmental Psychology, 28*, 635-643.

Nodine, C. S., & Steurle, N. L. (1973). Development of perceptual and cognitive strategies for differenciating graphemes. *Journal of Experimental Psychology, 97*, 158-166.

Nucci, L. (1981). Conceptions of personal issues: a domain distinct from moral and societal concepts. *Child Development, 52*, 114-121.

Nucci, L., & Nucci, M. (1982). Children's social interactions in the context of moral and conventional transgressions. *Child Development, 53*, 403-412.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Nucci, L., & Turiel, E. (1978). Social interactions and the development of social concepts in preschool children. *Child Development, 49*, 400-407.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *Psychology of the Child*. London: Routledge & Kegan Paul.

Power, T. G., Olvera, N., & Hays, J. (2002). Maternal socialization of safety practices among Mexican American children. *Journal of Applied Developmental Psychology, 23*(1), 83-97.

Reason. (1990). *Human error*. Cambridge: Cambridge University Press.

Renaud, L. (1988). Le jeu de simulation: une stratégie efficace pour l'éducation à la sécurité routière. *Apprentissage et socialisation, 11*(2), 95-103.

Ricard, M., Girouard, P. C., & Gouin Décarie, T. (à paraître). Personal pronouns and perspective taking in toddlers. *Journal of Child Langage*.

Rivara, F. P., Booth, C. L., Bergman, A. B., Rogers, L. W., & Weiss, J. (1991). Prevention of pedestrian injuries to children: effectiveness of a school training program. *Pediatrics, 88*(4), 770-775.

Roberts, I., & Norton, R. (1994). Auckland children's exposure to risk as pedestrians. *The New Zealand Medical Journal, 107*(984), 331-333.

Routledge, D. A., Repetto-Wright, R., & Howarth, C. I. (1974). A comparison of interviews and observation to obtain measures of children's exposure to risk as pedestrians. *Ergonomics, 17*(5), 623-638.

Saad, F. (1975). *Structuration de la tâche et activités perceptives dans la conduite automobile*: Document ONSER.

Saad, F. (1988). Prise de risque ou non perception du danger. *Recherche - Transports - Sécurité, septembre*(18-19), 55-62.

Sandels, S. (1968/1975). *Children in traffic*. London: Paul Elek.

Sandels, S. (1995). Young Children in Traffic. *Injury Prevention, 1*(2), 112-115.

SARTRE. (1995). *European drivers and traffic safety: in-depth analysis*. Orléans: Paradigme.

SARTRE. (1998). *Les attitudes et comportements des conducteurs d'automobile européens face à la sécurité routière* (Vol. n°2. Analyses approfondies). Paris: Jouve.

Scottish Development Department. (1989). *Must to better: a study of child pedestrian accidents and road crossing behaviour in Scotland*. (Scottish Office, Central Research Unit Papers). Edinburgh: Scottish Development Department.

Serbin, L. A., & Sprafkin, C. (1986). The salience of gender and the process of sex-typing in three- to seven-year-old children. *Child Development, 57*, 1188-1199.

Shoda, Y., Mischel, W., & Peake, P. K. (1990). Predicting adolescent cognitive and self-regulation competencies from preschool delay of gratification: Identifying diagnostic conditions. *Developmental Psychology, 26*, 978-986.

Siegler, R. S. (1982). Mechanisms of cognitive growth: variation and selection. In R. J. Sternberg (Ed.), *Mechanisms of cognitive development*. New-York: Freeman.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Siegrist, S. (Ed.). (1999). *Driver training, testing and licensing - Toward theory-based management of young drivers' injury risk in road traffic*. Berne: BFU - BPA - UPI.

Smetana, J. G. (1981). Preschool children's conceptions of moral and social rules. *Child Development, 52*, 1333-1336.

Smetana, J. G. (1985). Preschool children conceptions of transgressions: effects of varying moral and conventional domain-related attributes. *Developmental Psychology, 21*(1), 18-29.

Smetana, J. G., & Braeges, J. L. (1990). The development of toddlers' moral and conventional judgements. *Merill-Palmer Quarterly, 36*, 329-346.

Surwillo, W. W. (1977). Developmental changes in the speed of information processing. *Journal of Psychology, 97*, 102.

Thomson, J. A., Ampofo-Boateng, K., Lee, D. N., Grieve, R., Pitcairn, T. K., & Demetre, J. D. (1998). The effectiveness of parents in promoting the development of road crossing skills in young children. *The British Journal of Educational Psychology, 68 (Pt 4)*, 475-491.

Thomson, J. A., Tolmie, A. K., & Mamoon, T. P. (2001). *Road accident involvement of children from ethnic minorities: a literature review* (Road safety research report n°19). London: Department Environment, Transport and Regions DETR.

Thomson, J. A., Tolmie, A. K., Foot, H. C., & McLaren, B. (1996). *Child Development and the Aims of Road Safety Education: A Review and Analysis*. London: H.M.S.O.

Tolmie, A. K., & Thomson, J. A. (2002). *Child pedestrian accidents: modelling the determining processes*. Paper presented at the Traumatismes, Quebec.

Tolmie, A., Thomson, J., Foot, H., Whelan, K., Sarvary, P., & Morrison, S. (2003). *Training children in safe use of designated crossings*. London: Department of Transport.

Turiel, E. (1983). *The development of social knowledge: morality and convention*. Cambridge: Cambridge University Press.

Turiel, E. (1998). The development of morality. In N. Eisenberg (Ed.), *Handbook of child psychology* (Vol. 3: Social, emotional and personality development, pp. 863-932). New-York: Wiley.

Van der Molen, H. H. (1981). Child pedestrian's exposure, accidents and behavior. *Accident Analysis & Prevention, 13*(3), 193-224.

Van der Molen, H. H. (1983). *Pedestrian ethology*. Groningen: University of Groningen.

Van der Molen, H. H., Rothengatter, J. A., & Vinjé, M. P. (1981). Blueprint of an analysis of the pedestrian's task - I Method of analysis. *Accident Analysis & Prevention, 13*(3), 175-191.

Vergnaud, G. (2000). *Lev Vygotsky, Pédagogue et penseur de notre temps*. Paris: Hachette.

Vinjé, M. P. (1981). Children as pedestrians: abilities and limitations. *Accident Analysis & Prevention, 13*(3), 225-240.

Vinjé, M. P., & Groeneveld, J. (1980). *Understanding visibility in traffic: an experiment with preschool children* (N° 78-05). Groningen, Netherlands: University of Groningen Traffic Research Centre Report.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

von Benda, H., & Hoyos, C. G. (1983). Estimating hazards in traffic situations. *Accident Analysis & Prevention, 15*(1), 1-9.

von Hofsten, C. (1982). Eye-hand coordination in new borns. *Developmental Psychology, 18*, 450-461.

von Hofsten, C. (1983). Catching skills in infancy. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance, 9*, 75-85.

Vygotski, L. (1998). *Pensée et langage*. Paris: La Dispute (3ème édition).

Vygotsky, L. (1934/1998). *Pensée et langage*. Paris: La Dispute (3ème édition).

Wallon, H. (1941). *L'évolution psychologique de l'enfant* (10ème ed.). Paris: Armand Colin.

Wallon, H. (1954/1985). Les milieux, les groupes et la psychogenèse de l'enfant. *Enfance, n° spécial H. Wallon*, 287-296.

Wallon, H. (1985). Les milieux, les groupes et la psychogenèse de l'enfant. *Enfance, n° spécial H. Wallon*, 287-296.

Wickens, C. D., & Bendel, D. C. R. (1982). The development of time-sharing skills. In J. A. S. Kelso & J. E. Clark (Eds.), *The development of movement control and coordination*. New-York: Wiley.

Williams, H. G. (1983). *Perceptual and motor development*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Wright, J. C., & Vlietstra, A. G. (1975). The development of selective attention: from perceptual exploration to logical search. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behaviour* (Vol. 10). New-York: Academic Press.

Zeedyk, M. S., & Kelly, L. (2003). Behavioural observations of adult-child pairs at pedestrian crossings. *Accident Analysis & Prevention, In Press, Corrected Proof.*

Zeedyk, M. S., Wallace, L., Carcary, B., Jones, K., & Larter, K. (2001). Children and road safety: increasing knowledge does not improve behaviour. *The British Journal of Educational Psychology, 71*(4), 573-594.

7.1.2 Modélisation des autres piétons virtuels

7.1.2.1 Références de la partie modélisation du comportement des piétons virtuels

Arkin, R.. (1998) *Behavior-based robotic*., The MIT Press.

Arnaud, P. (2000) *Des Moutons et des robots*, Presse polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.

Aylett, R., Luck, M.,(2000) Applying Artificial Intelligence to Virtual Reality: Intelligent virtual environments, *Applied Artificial Intelligence*, 14 (1), 3-32.

Badler, N., Webber, B., Becket, W., Geib, C., Moore, M., Pelachaud, C., Reich, B., & Stone, M. (1995) Planning and parallel transition networks: Animation's new frontiers. In S. Y. Shin & T. L. Kunii (eds.), *Computer Graphics and Applications: Proc. Pacific Graphics '95*, World Scientific Publishing, River Edge, NJ, 101-117.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Badler, N., Bindiganavale, R., Bourne, J., Allbeck, J., Shi, J. , & Palmer, M. (1999) *Real time virtual humans*. International Conference on Digital Media Futures, Bradford, UK, April.

Brooks R. (1986) A Robust Layered Control System for a Mobile Robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2, April, 14-23.

Cremer, J., Kearney, J., & Papelis, Y. (1995) HCSM: A framework for behavior and scenario control in virtual environments. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 5 (3), 242-267.

Girard B. (2003) *Intégration de la navigation et de la sélection de l'action dans une architecture de contrôle inspirée des ganglions de la base*. Thèse de doctorat de l'université, Paris 6, 12 sept.

Kallman, M., Monzani, J.S., Caicedo, A., & Thalmann, D., (2000) *ACE : A platform for the real Time Simulation of Virtual Human Agents*. EGCAS'2000 11th Eurographics Work on Animation and Simulation 2000, Interlaken, Switzerland, August.

Low K.H., Leow W.K., Ang M.H. (2002) *A Hybrid Mobile Robot Architecture with Integrated Planning and Control*. Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and MAS (AAMAS'02), Bologna, Italy, July 15-19, 219-226.

Maes, P., (1989) *The dynamics of action selection*. Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence-'89, Morgan Kaufmann, Detroit.

Moreau, G. (1998) *Modélisation du comportement pour la simulation interactive : application au trafic routier multimodal*. Thèse de l'université de Rennes, Mention informatique, 13 nov.

Noser, H., & Thalmann, D. (1995) Synthetic vision and audition for digital actors. In F.H. Post and M. Göbel (eds.), *Proceedings of Eurographics'95*, Maastricht, The Netherlands, 325-336.

Noser, H., Thalmann, D., & Huang (1996) How to create a virtual life?, *Interactive computer animation*, Prentice Hall, 263-291.

Sukthankar R., Baluja S. (1998) Multiple Adaptive Agents for Tactical Driving. *International Journal of Artificial Intelligence*, 9, 1-20.

Thalmann, D., Farenc, N., & Boulic, R. (1999) Virtual human life simulation and databases: Why and how. In *Proceedings International Symposiumon Database Applications in Non-Traditional Environments (DANTE'99)*, Kyoto, Japan, IEEECS Press, 471-480.

Thalmann D. (2003) *Concepts and Models for Inhabited Virtual Worlds*. First International Workshop on Language Understanding and Agents for Real World Interactions, Hokkaido University, Sapporo, Japan, July 13.

Thomas, G. (1999) *Environnements virtuels urbains : modélisation des informations nécessaires à la simulation de piétons*. Thèse de l'université de Rennes 1, mention informatique, 16 déc.

Tyrrell T. (1993) *Computational Mechanisms for Action Selection*. Ph. D. Thesis, university of Edinburgh.

Zeghal K. (1993) *Champs de forces symétriques : un modèle de coordination d'actions réactive appliqué au trafic aérien*. Rapport LAFORIA 93/14, Institut B. Pascal, Paris VI et VII.

7.1.2.2 Publications relatives à la modélisation du comportement des piétons virtuels

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Grislin-Le Strugeon, E., Hanon, D., Pudlo, P., & Lepoutre, F.X. (2002) *Agent-based modelling of autonomous virtual humans*. In D. Plemenos (Ed.), Proceedings of 5th International Conference Computer Graphics and Artificial Intelligence (3IA 2002), Limoges, France. (pp. 170-174). Clermont-Ferrand: Diazo1.

Hanon, D. (2002) *Génération de comportements autonomes pour la simulation de piétons virtuels*. Rapport de DEA AISIH, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, sept.

Hanon D., Grislin-Le Strugeon E., Mandiau R. (2003) A Behavior-Based Architecture for the Control of Virtual Pedestrians. The 2nd International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems (CIRAS'03), Singapore, Dec. 15-18.

7.1.2.3 Références pour la génération de mouvements

Allard P., Blanchi J.P., Gautier G., Aïssaoui R. (1990). Technique de lissage et de filtrage de données biomécaniques. Science & Sports, 5, 27-38.

Bruderlin A., Williams L., (1995). Motion Signal Processing. Proceedings of ACM SIGGRAPH'95, 97-108, Los Angeles, California.

Cappozo A., Catani F., Croce U., Leardini A., (1995). Position and orientation in space of bones during movements : anatomical frame definition and determination. Clinical Biomechanics, 10(4), 171-178.

Earnshaw R., Magnenat-Thalmann N., Terzopoulos D., Thalmann D., (1998). Computer Animation for virtual humans. IEEE Computer Graphics and Application, 1998, 18(5), 20-3.

El Hafi F., (2000). Modélisation dynamique du mouvement : application à la marche et à l'enjambement d'obstacle. Thèse de doctorat. Université de Paris XII Val de Marne.

Huang Z., Boulic R., Thalmann D., (1999). Motion Editing using Multiresolution Filtering.

Kapandji I.A. (1994). Physiologie articulaire, Fascicule II, membre inférieur. Librairie Maloine S.A., ISBN : 2 224 01052-4.

Kochanek D., Bartels R., (1984). Interpolating Splines with Local Tension, Continuity, and Bias Control. Computer Graphics, 18(3), 33-41.

Leardini et al. (1999).Validation of a functional method for the estimation of hip joint centre location. Journal of biomechanics, 32(1), 99-103.

Multon F., (1998). Contrôle du mouvement des humanoïdes de synthèse. Thèse de doctorat. Université de Rennes I.

Multon F., Arnaldi B., (1996). Modèle de synthèse de marche humaine fondé sur l'analyse multirésolution au moyen d'ondelettes. Club Locomotion'96.

Nougaret J-L., (1996). Contrôle du mouvement pour l'animation. Thèse de doctorat. Université de Rennes I.

Pina A., Cerezo E., Seron F., (2000). Computer animation : from avatars to unrestricted autonomous actors (a survey on replication and modelling mechanisms). Computers & Graphics, 24, 297-311.

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

Thalmann D., Magnenat-Thalmann N., (1996). Computer Animation. Handbook of Computer Science, CRC Press, 1300-1318.

Thévenet F., (1999). Animation en 3D de personnages virtuels à partir des systèmes de capture du mouvement. Thèse de doctorat. Université de Paris VIII.

Unuma M., Anjyo K., Takeuchi R., (1995). Fourier Principles for Emotion-based Human Figure Animation. Proceedings of ACM SIGGRAPH'95, 91-96, Los Angeles, California.

Wu G., Cavanagh P.R. (1995). ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. Journal of Biomechanics, 28(10), 1257-1261.

7.1.2.4 Publications de la génération de mouvements

Ebel, A., Hanon, D., Stanciulescu, B., Pudlo, P., Grislin-le Strugeon, Lepoutre, F-X. (2002). Modèle d'animation comportemental de piétons virtuels. XVème Journée de l'Association Française d'Informatique Graphique (AFIG), 9-11 décembre, Lyon.

Ebel, A., Lempereur, M., Hanon, D., Pudlo, P., Grislin-Le Strugeon, E., Lepoutre, F-X. (2002). L'animation d'humanoïdes au LAMIH, 9ème journée du Groupe de Travail Animation et Simulation. AFIG et GRD-PRC ALP. ENSEIRB, Bordeaux, 12/13 juin.

Lempereur, M., Pudlo, P., Lepoutre, F-X. (2002). Modelling of the walking speed for the animation of virtual characters. XXVIIème Congrès de la Société de Biomécanique, Valenciennes, France.

Lempereur, M., Pudlo, P., Gorce, P., Lepoutre, F-X. (2003a). Toward a car ergonomic evaluator : simulation of accessibility movement. Congress of the International Society of Biomechanics. 6-11 july.

Lempereur, M., Pudlo, P., Gorce, P., Lepoutre, F-X. (2003b). A biomechanical computational model to simulate accessibility movement for car ergonomics evaluation. Proc. of the IEEE International Conference on Computational Engineering in Systems Applications. July 9-11. Lille. France.

Lempereur, M., Pudlo, P., Gorce, P., Lepoutre, F-X. (2003c). Modélisation biomécanique du mouvement d'accessibilité au véhicule automobile. HUMANOIDES. Livre édité par la Société de Biomécanique. ISBN : 2-84875-423-0. p 137-146.

Lempereur, M., Pudlo, P., Gorce, P., Lepoutre, F-X. (2003d). Computational method for the automobile accessibility movement simulation. XXVIIIème Congrès de la Société de Biomécanique. Poitiers. France. En soumission.

Lempereur, M., Pudlo, P., Gorce, P., Lepoutre, F-X. (2003e). An optimization procedure to reconstruct the automobile accessibility movement. Proc. of the IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics.

Pudlo, P. (2003). « Synthèse des mouvements » : de la recopie à la modélisation des mouvements humains. Colloque organisé par MécaBio. Paris. 13 décembre.

7.1.3 Modélisation informatique

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .

7.1.3.1 Bibliographie

Alloyer O., Bonakdarian E., Cremer J., Kearney J., Willemsen P. – Embedding Scenarios in Ambient Traffic – DSC'97, Lyon, septembre 1997

Bayarri S., Fernandez M., Perez M., Rodriguez R.. – A Database Model for Urban and Motorway Driving Simulation – Processing of the first seminar on traffic generation, Paris, juin 1994

Espié S., Bourbia N., Djemane N. – Génération de traffic avec ARCHISIM – Proceedings of the first seminar on traffic generation, Paris, juin 1994

Fernandez M., Coma I., Martin G., Bayarri S. – A Hierarchical Object Oriented Architecture for the Management of Complex Driving Simulation Scenarios – DSC'99, Paris, juillet 1999

Kelada J.M., Kemeny A., Lailler D. – Scenario Control Tools for a Dynamic Truck Simulator – DSC'97, Lyon, septembre 1997

Lourdeaux D. (Thèse) – Réalité Virtuelle et Formation : Conception d'Environnements Virtuels Pédagogiques, Octobre 2001

Van Wolffelaar P., Van Vimsum W. – Traffic Modelling and Driving Simulation : an Integrated Approach – DSC'95, Sophia-Antipolis, septembre 1995

7.1.3.2 Publications CORYS

Gathmann R., Jung S. - CORINT, a new realistic and controllable traffic model – DSC'2000, Paris, septembre 2000

Jung S. – Modèles visuels et comportementaux utilisés en simulation de conduite de train – SMAI 2001, Pompadour, mai 2001

Jung S. - Outils de modélisation pour la synthèse d'image temps-réel appliquée à la simulation de conduite – Journées Modeleurs Géométriques, Grenoble, septembre 1997

Treffer J., Jung S. – ELSTAR Technical Report WP4.b – Low-cost simulators / Analysis of the environment to be simulated » - EUCLID RTP 11.8, février 1999

7.1.3.3 Documentation externe

H-Anim : http://h-anim.org

UML : http://www.omg.org/uml/

VRML97 : http://www.web3d.org/Specifications/VRML97/

Ce document est la propriété commune de CORYS TESS, du CRP2C , de l'INRETS, et du LAMIH, partenaires dans le cadre du projet RESPECT .