

THÈSE  
présentée devant  
L'UNIVERSITÉ PAUL SABATIER – TOULOUSE III

en vue de l'obtention du titre de  
**Docteur de l'Université Paul Sabatier**  
Spécialité : informatique — intelligence artificielle

par  
**Philippe MULLER**

**Éléments d'une théorie du mouvement  
pour la formalisation du raisonnement spatio-temporel de sens commun**

Soutenue le 16 décembre 1998 devant le jury :

Mario BORILLO	Directeur de recherches, CNRS Irit/Université Paul Sabatier	(Directeur de thèse)
Anthony COHN	Professeur Université de Leeds, Angleterre	
Michel CAYROL	Professeur Irit/Université Paul Sabatier	
Luis FARIÑAS del CERRO	Directeur de recherches, CNRS Irit/Université Paul Sabatier	
Anthony GALTON	Professeur Université d'Exeter, Angleterre	
Gérard LIGOZAT	Professeur LIMSI/Université Paris Sud	(Rapporteur)
Bernard VICTORRI	Directeur de recherches, CNRS ELSAP/Université de Caen	(Rapporteur)
Laure VIEU	Chargée de recherches, CNRS Irit/Université Paul Sabatier	

Institut de recherche en informatique de Toulouse  
Université Paul Sabatier

Comme le cyclisme, la recherche est un sport individuel qui se pratique en équipe, à moins que ce ne soit l'inverse. Cette thèse n'aurait donc pas vu le jour sans tous ceux qui m'ont coaché, entraîné, tiré dans les cols, shooté à l'EPO, etc, et que je tiens à remercier ici:

Mario Borillo, d'abord, pour m'avoir fourni le vélo, les cartes IGN, m'avoir appris les stratégies de course, tout en fournissant une équipe qui donne envie de travailler.

Laure Vieu, qui m'a encouragé à chaque mètre d'ascension, surveillé chaque coup de pédale, et m'a appris à freiner dans les descentes pour ne pas trop prendre de ravin et à utiliser le petit levier sur la gauche.

Gérard Ligozat et Bernard Victorri pour s'être intéressé à ce travail, d'avoir accepté de le lire attentivement, et pour les discussions passionnantes que nous avons eu au-delà de nos divergences.

Tony Cohn pour l'intérêt qu'il a manifesté pour ces travaux et pour ses remarques pertinentes sur certains de ses aspects.

Anthony Galton, pour avoir inspiré largement certains développements de cette thèse et avoir accepté de venir en discuter.

Luis Fariñas et Michel Cayrol pour avoir accepté de participer à ce jury, et pour les échanges enrichissants que nous avons eu depuis mon arrivée à l'IRIT.

Mes compagnons d'échappée, Laure Sarda et Nicolas Maudet avec qui ce fut un plaisir de franchir des dead-lignes d'arrivée.

Les autres avec qui les échappées sont en cours ou entre parenthèses et dont les discussions m'ont toujours apporté quelque chose, comme Jérôme Lang, Elsa Pascual, ou bien les stars étrangères recrutées à prix d'or comme Joan Busquets, Andi Herzig, Claudio Masolo, ainsi que les membres du team : Myriam Bras, Mohammed Bouajjani, Pierre Gambarotto, Bruno Gaume, et tous ceux qui font maintenant d'autres parcours: Hervé Pensec, Nathalie Daver, Jean-Christophe Aurisset, Jacqueline Hassan, Pascal Amsili, Pierre Sablayrolles, Jean-Pierre Goulette, Michel Gagnon.

Je n'oublie pas le travail de préparation physique que m'ont fourni Christophe Luc, Mohammed et Pierre (et donc Olli, Norbert, Rodi et Harald). Le mouvement c'est bien, mais c'est fatigant...

Tous les membres de l'ERSS qui m'ont supporté lors de mes fréquentes visites, fait du café, offert des petits gâteaux...

Tous les membres du réseau Spacenet qui ont fourni un lieu d'échange formidable sur le raisonnement spatial.

Je remercie aussi tous mes amis qui n'ont pas participé à cet effort, ne liront jamais cette thèse et qui ont de bonnes raisons. Je ne les oublie pas.

Les citations des chapitres 2, 3, et 7 sont tirées du *Dictionnaire de la bêtise*, dans la collection "Bouquins". Je n'ai jamais rien lu de Saint Augustin et la citation au chapitre 6 vient d'un livre de Philippe K. Dick dont j'ai oublié le titre. L'exergue qui suit a été prise dans une encyclopédie médicale électronique dont j'ai perdu l'adresse, et fait écho à projet d'étude datant de 1992 que j'ai passé à travailler sur le mal de l'espace ou en anglais le "motion sickness" (je sais que personne ne va me croire).

## **Motion Sickness**

**DEFINITION** An unpleasant, temporary disturbance that occurs while traveling, characterized by dizziness and stomach upset.

**SEX OR AGE MOST AFFECTED** Both sexes; all ages.

### **SIGNS & SYMPTOMS**

- Loss of appetite.
- Nausea and vomiting.
- Spinning sensation.
- Weakness and unsteadiness.
- Confusion.
- Yawning.

### **How To Treat** GENERAL MEASURES

Once you have the symptoms, try to rest in a dark room with a cool cloth over the eyes and forehead. Allowing yourself to vomit can help the nausea. Don't make yourself vomit.

- Don't eat large meals or drink alcohol before and during travel.
- Recline in your seat, if possible.
- Breathe slowly and deeply.
- Avoid areas where others are smoking, if possible.
- Don't read.
- Psychological factors contribute to motion sickness. Try to resolve concerns about travel before leaving home. Maintain a positive attitude.
- Consider preventive therapy. One technique involves desensitization (special training for using your eyes that may help avoid the symptoms of motion sickness).

### **POSSIBLE COMPLICATIONS**

- Dehydration from vomiting.
- Falls and injuries from unsteadiness.

**PROBABLE OUTCOME** Spontaneous recovery when the trip is over or soon thereafter.



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Modéliser le sens commun :</b>	
	<b>Objectifs et méthodes</b>	<b>11</b>
1.1	La nature du sens commun . . . . .	11
1.1.1	Intelligence et sens commun . . . . .	11
1.1.2	La représentation des connaissances . . . . .	12
1.1.3	Le raisonnement qualitatif . . . . .	13
1.1.4	L'espace et le sens commun . . . . .	14
1.1.5	Sens commun, perception et "réalité" physique . . . . .	16
1.2	Principes méthodologiques . . . . .	18
1.2.1	Une approche axiomatique . . . . .	20
1.2.2	Le rôle du langage . . . . .	21
1.2.3	Validation opératoire . . . . .	22
1.3	Résumé de l'étude . . . . .	22
1.4	Notations . . . . .	23
<b>2</b>	<b>Représentations classiques du mouvement</b>	<b>25</b>
2.1	L'héritage de la physique classique en I.A. . . . .	27
2.1.1	Prédominance des modèles de l'espace absolu . . . . .	27
2.1.2	La physique qualitative . . . . .	28
2.1.3	Approches absolues récentes . . . . .	33
2.1.4	Les limites des approches absolues pour le raisonnement spatial . . . . .	34
2.2	Études linguistiques du mouvement . . . . .	35
2.2.1	Liens entre raisonnement qualitatif et linguistique . . . . .	35
2.2.2	Le mouvement en tant que chemin . . . . .	36
2.2.3	Le mouvement en tant que relation . . . . .	41
2.2.4	Classifications basées sur des corpus . . . . .	44
2.2.5	Synthèse des apports de la linguistique lexicale . . . . .	46
2.3	Approches spatio-temporelles en I.A. . . . .	47
2.3.1	Les histoires de Hayes . . . . .	47
2.3.2	Une approche relationnelle par les points . . . . .	50
2.4	Synthèse . . . . .	51

<b>3</b>	<b>Temps et espace : approches qualitatives</b>	<b>53</b>
3.1	Approches qualitatives de l'espace . . . . .	53
3.1.1	Les approches à base de régions . . . . .	55
3.1.2	La méréologie . . . . .	56
3.1.3	Méréologie et topologie . . . . .	58
3.2	Le temps d'une théorie qualitative . . . . .	64
3.2.1	Intervalles et instants . . . . .	65
3.2.2	Logiques temporelles d'instantes . . . . .	66
3.2.3	Logiques d'intervalles . . . . .	67
3.3	Liens entre les différentes structures . . . . .	71
3.3.1	Liens entre instants et intervalles . . . . .	72
3.3.2	Liens entre points et régions de l'espace . . . . .	74
<b>4</b>	<b>Une logique spatio-temporelle</b>	<b>79</b>
4.1	Représentation du mouvement sur une base qualitative . . . . .	79
4.1.1	Le mouvement qualitatif dans une approche à base de régions . . . . .	79
4.1.2	Une approche combinant topologie et orientation des régions . . . . .	81
4.2	Pour une réunification spatio-temporelle . . . . .	83
4.2.1	La méréo-topologie spatio-temporelle . . . . .	85
4.3	Topologie et ordre temporel . . . . .	88
4.3.1	Axiomatisation de la Topologie . . . . .	88
4.3.2	L'ordre temporel . . . . .	90
4.4	Contraintes sur l'espace-temps . . . . .	92
4.4.1	Liens temps/ espace-temps . . . . .	92
4.4.2	Parties temporelles . . . . .	93
4.4.3	Tranches temporelles et structure temporelle . . . . .	95
4.5	Étude des modèles . . . . .	98
4.5.1	Définition des modèles . . . . .	98
4.5.2	Sémantique . . . . .	100
4.5.3	Consistance de la théorie . . . . .	100
4.5.4	Complétude . . . . .	101
4.6	Conclusion . . . . .	106
<b>5</b>	<b>La Continuité</b>	<b>107</b>
5.1	Enjeux et problèmes . . . . .	107
5.2	Différentes définitions de la continuité . . . . .	109
5.2.1	Continuités mathématiques . . . . .	109
5.2.2	Voisinages conceptuels et continuité . . . . .	110
5.2.3	La Quasi-continuité de Galton . . . . .	112
5.2.4	Continuité et granularité de la représentation spatiale . . . . .	114
5.3	Une continuité qualitative . . . . .	118
5.3.1	Définition . . . . .	118
5.3.2	Relations purement spatiales . . . . .	122
5.3.3	Le problème des voisinages conceptuels . . . . .	124
5.4	Vers une théorie du mouvement de sens commun . . . . .	127

<b>6</b>	<b>Mouvement et sémantique du langage naturel</b>	<b>131</b>
6.1	Enjeux . . . . .	131
6.2	Représentation de concepts spatiaux dans la langue . . . . .	132
6.3	Une ontologie pour la référence aux objets et aux événements concrets . . . . .	133
6.3.1	Le problème de la référence aux objets et événements . . . . .	133
6.3.2	Contraintes spatio-temporelles sur les référents concrets . . . . .	136
6.4	Classification des verbes et sémantique . . . . .	138
6.4.1	Pourquoi utiliser des classifications sémantiques . . . . .	139
6.4.2	Classifications sémantiques des verbes de mouvement . . . . .	140
6.4.3	Une classification des verbes de déplacement . . . . .	141
6.5	Représentation des traits sémantiques dans le lexique . . . . .	145
6.5.1	La place des traits sémantiques dans le lexique . . . . .	145
6.5.2	Le cas des médians . . . . .	147
6.5.3	Caractérisation formelle des traits sémantiques des verbes de déplacement . . . . .	147
6.6	Bilan . . . . .	150
<b>7</b>	<b>Raisonnement qualitatif sur le mouvement</b>	<b>153</b>
7.1	Apports linguistiques . . . . .	153
7.2	Représentation de mouvement naturels . . . . .	154
7.2.1	Quelques concepts spatio-temporels intuitifs . . . . .	154
7.2.2	Classes naturelles . . . . .	156
7.3	Raisonner sur les classes de mouvement naturelles . . . . .	157
7.3.1	La combinaison du mouvement et d'informations temporelles . . . . .	157
7.3.2	Combinaison d'un mouvement et d'informations spatiales . . . . .	160
7.4	Classes de représentation complètes . . . . .	161
7.4.1	Caractéristiques des mouvements de base . . . . .	161
7.4.2	Subdivision exhaustive des mouvements de base . . . . .	164
7.5	Conclusion . . . . .	166
<b>8</b>	<b>La représentation d'itinéraires</b>	<b>169</b>
8.1	Mouvement et itinéraires . . . . .	169
8.2	Approches comparées . . . . .	170
8.2.1	Représentations issues de la planification d'itinéraires . . . . .	170
8.2.2	Modèles cognitifs . . . . .	171
8.2.3	Modèles computationnels . . . . .	173
8.3	Représentation dans un cadre qualitatif . . . . .	176
8.3.1	Distinctions ontologiques . . . . .	177
8.3.2	Grain le moins fin: réseaux, graphes . . . . .	178
8.3.3	Segments, tronçons et repères . . . . .	179
8.3.4	Structures d'itinéraire . . . . .	183
8.4	Représentation de certains éléments lexicaux . . . . .	186
8.4.1	Prépositions . . . . .	186
8.4.2	Verbes de déplacement . . . . .	188
8.5	Description d'itinéraires et raisonnement qualitatif . . . . .	188
8.6	Conclusion . . . . .	189

<b>9</b>	<b>Espace-temps, langage et vision</b>	<b>191</b>
9.1	Un cadre empirique pour le raisonnement spatial . . . . .	191
9.2	Quelques approches de la description de scènes . . . . .	192
9.2.1	Le projet VITRA (VISual TRANslator) . . . . .	193
9.2.2	Le projet Wire . . . . .	194
9.2.3	Bilan . . . . .	196
9.3	Intentions descriptives et données spatiales . . . . .	196
9.3.1	Quelques exemples de descriptions simples . . . . .	197
9.3.2	Événements . . . . .	199
9.3.3	Intentions plus complexes. . . . .	199
9.4	Le cas des itinéraires. . . . .	200
9.5	Conclusion . . . . .	202
	<b>Conclusion</b>	<b>203</b>
<b>A</b>	<b>Démonstrations des théorèmes de ST</b>	<b>205</b>
A.1	Théorèmes du chapitre 4, section 3.2 . . . . .	205
A.2	Théorèmes de la section 4 du chapitre 4 . . . . .	206
A.3	Tables de composition . . . . .	210
A.3.1	Composition mouvement et information temporelle . . . . .	210
A.3.2	Composition d'un mouvement et d'une information statique . . . . .	211
<b>B</b>	<b>Liste des verbes de déplacement considérés</b>	<b>215</b>
<b>C</b>	<b>Mise en oeuvre expérimentale</b>	<b>219</b>

# Table des figures

1.1	La méthodologie du sens commun vu par (Davis, 1990).	19
1.2	Trois aspects de la validation d'une théorie.	20
2.1	Analyse d'une situation cinématique dans FROB	31
2.2	Les sept relations de Asher et Sablayrolles	40
2.3	Les quatre cas de trajets de points	42
2.4	Les sept cas de mouvement "linéaires" (cas 3).	43
2.5	Inclusion d'histoires	49
3.1	Une interprétation 2D des relations méreotopologiques	60
3.2	Les relations de Allen pour le temps.	69
3.3	La construction de points à partir d'intervalles	73
3.4	La construction de points à partir d'intervalles	77
4.1	Exemple de mouvement relatif et sa description	82
4.2	Une interprétation spatio-temporelle de $O(\text{verlap})$	88
4.3	Les relations temporelles	92
4.4	Tranche temporelle : $x$ est une tranche de $w$ .	94
4.5	Un exemple d'entremêlage d'entités temporellement non connexes	97
4.6	Entremêlage réciproque.	97
5.1	Voisinages conceptuels des relations de Allen	111
5.2	Voisinages conceptuels de RCC8	112
5.3	Schéma de dominance pour RCC8 et deux objets	114
5.4	Une région non continue	119
5.5	Un cas limite: un ouvert $u$ téléporté.	120
5.6	Création d'un archipel et continuité.	121
5.7	Evasion d'une région sans passer par overlap.	122
5.8	Une région faiblement connectée.	122
5.9	Exemple de connection forte.	123
5.10	Exemple de forte connexion temporelle.	123
5.11	Relations purement spatiales	125
5.12	Non continuité de la transition PP/EC	126
5.13	Non continuité d'une transition DC/PO.	127
5.14	Un cas limite de transition DC/PO.	127
5.15	Transition PP/PP <sup>-1</sup>	128

5.16	Transition NTPP/PO . . . . .	129
6.1	Illustration spatio-temporelle 2D d'une classe de mouvement (initial, interne). . . .	148
6.2	Illustration spatio-temporelle des classes finales (initial, interne). . . . .	149
6.3	Illustration des classes médianes. . . . .	150
7.1	Les six classes de mouvement "naturelles" . . . . .	156
7.2	Un Exemple de composition d'information (temps+mouvement) . . . . .	158
7.3	Un Exemple de combinaison mouvement/localisation de deux repères . . . . .	161
7.4	Contre-exemple de mouvement simple . . . . .	163
7.5	Illustrations des cas de contact. . . . .	165
7.6	Illustrations des cas de recouvrement. . . . .	166
8.1	Construction linéaire d'après un exemple de Gryl. . . . .	174
8.2	Représentation avec niveaux de granularité, d'après un exemple de Timpf. . . . .	176
8.3	Différentes structures d'itinéraires. . . . .	177
8.4	Les trois zones déterminées par un repère . . . . .	179
8.5	Chevauchement de tronçons lexicaux. . . . .	181
8.6	La structure d'itinéraire adoptée. . . . .	185
8.7	Information attachée à un segment. . . . .	185
9.1	Degrés d'applicabilité pour "derrière" . . . . .	194
9.2	Scénario exemple. . . . .	197
C.1	Environnement exemple: un plan de quartier. . . . .	220
C.2	Le plan prétraité. . . . .	220
C.3	Organisation des différents modules mis en jeu pour l'observation. . . . .	221
C.4	Trajet d'un mobile dans le quartier. . . . .	221