

UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER - GRENOBLE I

Thèse

pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Joseph Fourier

(arrêtés ministériels du 5 juillet 1984 et du 30 mars 1992)

Discipline: Informatique

Présentée et soutenue publiquement par

Patricia SERRANO ALVARADO

Le 6 février 2004

Transactions Adaptables pour les Environnements Mobiles

Composition du jury

Président :	M Farid OUABDESSELAM
Rapporteurs :	M Patrick VALDURIEZ M Mads NYGÅRD
Examineurs :	M Jean FERRIÉ
Directeurs de thèse :	M Michel ADIBA Mme Claudia Lucía RONCANCIO

Thèse préparée au sein du laboratoire Logiciels, Systèmes, Réseaux - IMAG

*A mis padres,
María Teresa y Francisco,
por su infinito amor,
porque han vigilado y acompañado
cada uno de mis pasos,
por creer en mí.*

*Pero sobre todo, porque el amor que se profesan,
es el mejor ejemplo que han podido darme.*

*A mes parents,
María Teresa et Francisco,
pour leur amour infini,
parce qu'ils ont veillé sur moi
et ont accompagné chacun de mes pas,
parce qu'ils croient en moi.
Mais surtout, car l'amour qu'ils partagent
est le meilleur exemple qu'ils ont pu me donner.*

Remerciements

Je tiens à remercier :

Farid OUABDESSELAM, Professeur à l'Université Joseph Fourier (UJF) pour m'avoir fait l'honneur de bien vouloir présider le jury de cette thèse.

Patrick VALDURIEZ, Directeur de recherche à l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) et Mads NYGARD, Professeur à l'Université Norvégienne de Science et Technologie (NTNU) pour avoir accepté de juger ce travail et pour avoir consacré une partie de leur précieux temps à la lecture de ce manuscrit.

Jean FERRIÉ, Professeur à l'Université Montpellier II, pour avoir accepté de faire parti du jury et pour ses commentaires qui ont aidé à améliorer la qualité de ce manuscrit.

Claudia RONCANCIO, Maître de conférence à l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), qui a suivi de très près ce travail. Pour nos innombrables discussions et ses commentaires toujours très constructifs et intéressants qui ont contribué à la compréhension et la qualité de ce travail. Claudia, ta motivation, ton enthousiasme et tes encouragements ne pouvaient que m'amener à bon terme dans mon travail.

Michel ADIBA, Professeur à l'Université Joseph Fourier (UJF) pour l'intérêt qu'il a toujours porté sur mon travail et pour ses commentaires toujours intéressants qui ont aidé à la qualité de cette thèse.

Christine COLLET, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG) pour m'avoir accueillie dans son équipe où l'aspect multiculturel m'a permis d'apprendre de nouvelles choses chaque jour.

Luciano GARCÍA BAÑUELOS, tout d'abord pour son amitié et les agréables moments qu'il nous a fait passer grâce à sa bonne humeur et à ses qualités d'artiste. Pour les nombreuses discussions qui m'ont beaucoup appris. Mais surtout, je te remercie de tout mon cœur de m'avoir présenté l'homme de ma vie.

Lizbeth et Caty, mes amies et confidentes, car malgré le manque de temps, nous avons su cultiver une belle amitié.

Les membres du projet NODS : Quynh, Trinh, Giang, Pili, Trini, Khalid, Gennaro, Tanguy, Denis, Mourad, Levent, Laurent, Fabrice, qui par leurs différentes origines et cultures m'ont appris que le monde est très grand mais que les cœurs sont tous identiques. Particulièrement, Cyril LABBÉ qui a contribué à la valorisation de mon travail par une étude analytique très prometteuse. Noha IBRAHIM et Noelle MERLE qui à travers leurs projets d'étude ont contribué à la validation expérimentale d'une partie de cette thèse. Christophe BOBINEAU pour son intérêt pour mon travail, pour avoir dédié une partie de son temps à la lecture de ce manuscrit et pour toutes ses remarques qui ont beaucoup aidé à améliorer ce travail. Genoveva, qui par sa force de travail m'a motivé à plusieurs reprises. Ceux qui sont rentrés avant moi : Rafael, José Luis, Edgar, Elizabeth et Marlon.

Les membres du laboratoire Logiciels, Systèmes, Réseaux (LSR) qui font vivre cet établissement avec leur bonne humeur et leur travail.

Les membres de l'Action Spécifique CNRS Mobilité et Accès aux Données : Jalel BEN OTHMAN, Guy BERNARD, Christophe BOBINEAU, Gêrôme CANALS, Sophie CHABRIDON, Bruno DEFUDE, Jean FERRIÉ, Stéphane GANÇARSKI, Rachid GUERRAOU, Corine HARI, Ab-

delkrim LAHLOU, Cécile LE PAPE, Pascal MOLI, Gérald OSTER, Philippe PUCHERAL, Alain RINGAPAIN, Claudia RONCANCIO, Patrick VALDURIEZ et Nicolas VIDOT.

Le Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia (CONACyT) qui par son soutien économique a rendu possible ces études. J'espère que j'aurais l'occasion de contribuer au développement scientifique du Mexique afin de remercier de la confiance qui m'a été donnée.

La Société Française d'Exportation de Ressources Educatives (SFERE) pour son suivi et son soutien tout au long de mes études en France. Je pense en particulier à Anna MANETA et Cécile CHAUMIER.

La bande de copains mexicains : Tony, Manuel, Alex, Paloma, Luis Calvillo, Luis Rocha, Rosemberg, José, Héctor, Gerardo, Alejandra, Samantha, Cyril, Carmen, Bety, Raúl, Laura, Aaron, Azucena, Felipe, Toño, Humberto, Gaby et tous les autres, pour les innombrables et très agréables réunions que nous avons partagé. L'éloignement de notre pays nous a rapproché ici, de l'autre côté de l'Atlantique.

Achraf, pour avoir ouvert les portes de sa maison et de son cœur. Tu peux compter sur un chez toi au Mexique.

Joseph SIFAKIS, pour m'avoir fait l'honneur de m'accueillir au laboratoire VERIMAG les cinq premiers mois de mon séjour en France.

Raúl JACINTO MONTES, mon directeur de thèse de *master*, qui m'a motivé le premier à entreprendre cette aventure.

Israel, Lydia, Luis Fernando, Diana, Lorena et Elizabeth, mes amis de toujours.

Andrée, ma belle-mère, pour m'avoir accueillie dans sa maison, dans sa famille et dans son cœur.

Thierry, *mi cuñado* (mon beau-frère), pour sa patience pendant les longues parties d'échecs que nous pûmes avoir pendant les vacances, pour ses encouragements et sa tendresse.

Mon frère José Francisco et sa femme Avelina qui m'ont témoigné leur confiance en m'offrant le rôle de marraine de leur premier enfant, José Salvador.

Ma sœur Brenda, qui est plus que ma sœur, tu es mon amie, ma confidente, mon étoile la plus précieuse.

Stéphane, pour nos interminables discussions où l'on voulait juste comprendre et où l'on finissait par tout remettre en cause. Pour les heures que tu as passé à lire avec soin et patience ce document. Pour tes commentaires avisés qui ont beaucoup aidé à la clarté et la qualité de ce travail. Pour ta compagnie et ton soutien tout au long de cette thèse, sans toi il aurait été tellement difficile d'y arriver. Merci pour m'avoir appris à connaître et à aimer ce beau pays qu'est la France. Merci pour ta tendresse mais surtout pour ton amour.

Table des matières

1	Introduction	17
1.1	Caractérisation de l'informatique mobile	17
1.1.1	Environnements mobiles	18
1.1.2	SGBD dans les environnements mobiles	20
1.2	Transactions mobiles : problématique et objectifs	22
1.2.1	Impact de l'environnement mobile sur les transactions	22
1.2.2	Support de différents modèles d'exécution des transactions mobiles	23
1.2.3	Objectifs de la thèse	24
1.3	Contributions de notre travail	25
1.3.1	Analyse de l'état de l'art	25
1.3.2	Le modèle de transactions mobiles adaptables AMT	26
1.3.3	L'intergiciel TransMobi	27
1.3.4	Le protocole de validation CO2PC	27
1.4	Organisation du document	27
2	Techniques multibases et les environnements mobiles	31
2.1	Caractérisation des systèmes mobiles	31
2.1.1	Rapprochement des systèmes mobiles et multibases	31
2.1.2	Caractérisation des transactions mobiles	34
2.2	Techniques des transactions multibases	37
2.2.1	Sérialisabilité globale	37
2.2.1.1	Ordonnements sérialisables	39
2.2.1.2	Ordonnements fortement sérialisables	39
2.2.1.3	Ordonnements à point de sérialisation	40
2.2.1.4	Ordonnements rigoureux	41
2.2.1.5	Sérialisabilité locale	42
2.2.1.6	Sérialisabilité à deux niveaux	42
2.2.1.7	Epsilon-sérialisabilité	44
2.2.2	Validation globale	44
2.2.2.1	Validation à deux phases	45
2.2.2.2	Refaire les transactions annulées	46
2.2.2.3	Compenser les transactions annulées	47
2.3	Modèles de transactions étendues	49
2.3.1	Transactions emboîtées fermées	49
2.3.2	Transactions emboîtées ouvertes	49

2.3.3	Sagas	50
2.3.4	DOM	50
2.3.5	Transactions Flexibles	51
2.4	Conclusion	51
3	Les transactions mobiles	55
3.1	Propositions sur les transactions mobiles	55
3.1.1	Clustering	55
3.1.2	Two-tier replication	56
3.1.3	HiCoMo	56
3.1.4	IOT	57
3.1.5	Pro-motion	57
3.1.6	Reporting	58
3.1.7	Semantics-based	58
3.1.8	Prewrite	59
3.1.9	Kangourou	59
3.1.10	MDSTPM	60
3.1.11	Moflex	60
3.1.12	Pre-serialization	60
3.1.13	Produits commerciaux	61
3.1.14	Résumé et discussion	65
3.2	Les propriétés ACID pour les transactions Mobiles	66
3.2.1	Atomicité	66
3.2.1.1	Processus de validation	66
3.2.1.2	D'autres protocoles de validation	69
3.2.1.3	Discussion	70
3.2.2	Cohérence	70
3.2.2.1	Information sémantique	71
3.2.2.2	Résumé	72
3.2.3	Isolation	72
3.2.3.1	Aspects de visibilité	73
3.2.3.2	Schémas de contrôle de concurrence	73
3.2.3.3	Aspects de duplication	74
3.2.3.4	D'autres approches de contrôle de concurrence	75
3.2.3.5	Discussion	76
3.2.4	Durabilité	76
3.2.4.1	Durability Guarantees	76
3.2.4.2	Travaux liés à la journalisation	78
3.2.4.3	Discussion	79
3.3	Gestion du déplacement et de la déconnexion	80
3.3.1	Les aspects liés au déplacement et à la déconnexion	80
3.3.2	Discussion	82
3.4	Conclusions	83
4	AMT : un modèle de transactions mobiles adaptables	85
4.1	Le modèle AMT	85

4.1.1	Structure des transactions T_{AMT}	86
4.1.1.1	Le descripteur de l'environnement mobile DE_k	89
4.1.1.2	Exemple d'une transaction T_{AMT}	91
4.1.2	Les propriétés des transactions T_{AMT}	92
4.1.2.1	Atomicité sémantique des AE_k	93
4.1.2.2	Ordonnancement global des AE_k	94
4.1.2.3	Semi-atomicité des transactions T_{AMT}	94
4.1.3	Critère de correction des transactions T_{AMT}	95
4.2	Spécification formelle du modèle AMT	95
4.2.1	Définition axiomatique du modèle AMT	96
4.2.2	Analyse et déductions sur les axiomes	99
4.2.2.1	Les propriétés des t_{ki} et tc_{ki}	99
4.2.2.2	L'atomicité sémantique d'une AE_k	101
4.2.2.3	La sérialisabilité globale des AE_k	103
4.2.2.4	La semi-atomicité des T_{AMT}	104
4.3	Conclusion	108
5	Étude analytique du modèle AMT	111
5.1	Les alternatives d'exécution	111
5.1.1	Matrice du descripteur d'environnement	112
5.1.2	Probabilité de déclenchement d'une AE_k	113
5.1.3	Matrice de coût	115
5.1.4	Coût moyen des dimensions dans une AE_k	117
5.1.5	Coût moyen d'une AE_k	118
5.2	Étude analytique d'une T_{AMT}	119
5.2.1	Probabilité de déclenchement d'une T_{AMT}	119
5.2.2	Coût moyen des dimensions d'une T_{AMT}	121
5.2.3	Coût moyen d'une T_{AMT}	122
5.3	Conclusion	122
6	Mise en œuvre du modèle AMT : l'intergiciel TransMobi	125
6.1	Vue générale	125
6.2	Architecture à trois tiers de TransMobi	127
6.2.1	TMClient	127
6.2.2	TMServeur	128
6.2.3	TMAgent	128
6.2.4	Configurations possibles de l'architecture	130
6.3	Perception de l'environnement mobile	132
6.3.1	Événements de l'environnement mobile	132
6.3.2	Surveillance de l'environnement mobile	133
6.4	Techniques pour garantir les propriétés des T_{AMT}	135
6.4.1	Le protocole de validation CO2PC	136
6.4.1.1	Fonctionnement de CO2PC	136
6.4.1.2	Reprise après panne	139
6.4.1.3	Les avantages de CO2PC	140
6.4.1.4	CO2PC et TransMobi	141

6.4.1.5	Positionnement de CO2PC par rapport à d'autres protocoles	142
6.4.2	Adaptation d'OTM	144
6.4.2.1	Conditions à respecter	144
6.4.2.2	Fonctionnement d'OTM adapté	145
6.4.3	Gestion des déconnexions	148
6.5	Décomposition fonctionnelle de TransMobi	149
6.5.1	Composant TMClient	150
6.5.2	Composant TMAgent	151
6.5.3	Composant TMServeur	152
6.5.4	Interaction des trois composants	153
6.6	Le prototype TransMobi	154
6.6.1	Environnement matériel	154
6.6.2	Environnement logiciel	155
6.7	Conclusion	156
7	Conclusion et perspectives	159
7.1	Bilan des contributions	159
7.1.1	Transactions multibases et mobiles	160
7.1.2	Modèle AMT	160
7.1.3	Intergiciel TransMobi	161
7.1.4	Protocole de validation CO2PC	162
7.2	Perspectives	163
	Bibliographie	165
A	Rappel de la logique du premier ordre	175
A.1	Lois logiques	175
A.2	Règles de déduction naturelle	176
A.3	Quelques déductions faites	176
B	Le formalisme ACTA	179
B.1	Les objets, les événements	180
B.2	Les historiques et les conditions sur l'occurrence des événements	180
B.3	Dépendances des transactions	182
B.3.1	Sources de dépendances	183
B.4	Effets des transactions sur les objets	184
B.5	Quelques spécifications en utilisant ACTA	185
B.5.1	Notions de correction	185
B.5.2	Différents types d'atomicité	187
B.5.3	Transactions atomiques	188
B.5.4	Transactions réparties et emboîtées	190
	Index	191