

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université ElHadj Lakhdar- Batna  
Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Département d'Informatique

## Mémoire de Magistère

En vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Informatique  
Option : Informatique Industrielle

Présenté par

**Toufik Messaoud MAAROUK**

Thème

---

# Spécification formelle des systèmes mobiles temps-réel

---

Soutenu devant le jury composé de :

<b>Dr. Abdel Madjid ZIDANI</b>	<b>Président</b>	<b>M.C</b>	<b>U.Batna</b>
<b>Dr. Djamel-Eddine SAIDOUNI</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>M.C</b>	<b>U.Constantine</b>
<b>Dr. Chawki BATOUCHE</b>	<b>Examineur</b>	<b>Pr</b>	<b>U.Constantine</b>
<b>Dr. Mohammed BENMOHAMMED</b>	<b>Examineur</b>	<b>M.C</b>	<b>U.Constantine</b>

**Année : 2005/2006**

# Notations générales

Dans ce mémoire on va utilisé les notations suivantes :

- – **Substitution** : On note  $P\{y_1/x_1, \dots, y_n/x_n\}$ , ou  $P\{y_i/x_i\}_{1 \leq i \leq n}$ , ou  $P\{\tilde{y}/\tilde{x}\}$ , pour la substitution simultanée de  $y_i$  pour toutes les occurrences libres de  $x_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) dans  $P$ .  $\sigma$  pour une substitution arbitraire.
- **Tuples** : On note par  $\tilde{x}$ , le vecteur  $\{x_1, \dots, x_n\}$  de noms et  $n \geq 1$ .
- **Relations et prédicats** : Etant donnée deux relations  $\mathcal{R}$  et  $\mathcal{R}'$ ,
  - \* **fermeture réflexive** de  $\mathcal{R}$  et on note  $r(\mathcal{R})$  la plus petite (au sens de l'inclusion) relation réflexive définie sur  $E$  contenant  $\mathcal{R}$ . Autrement dit  $r(\mathcal{R})$  est la relation binaire définie sur l'ensemble  $E$  telle que :
    - $r(\mathcal{R})$  est réflexive
    - $\mathcal{R} \subseteq r(\mathcal{R})$
    - Pour toute relation binaire  $\mathcal{R}'$  réflexive définie sur l'ensemble  $E$ , si  $\mathcal{R}' \subseteq \mathcal{R}$  alors  $\mathcal{R}' \subseteq r(\mathcal{R})$
  - \* **fermeture transitive** de  $\mathcal{R}$  et on note  $t(\mathcal{R})$  la plus petite (au sens de l'inclusion) relation transitive définie sur  $E$  contenant  $\mathcal{R}$ . Autrement dit  $t(\mathcal{R})$  est la relation binaire définie sur l'ensemble  $E$  telle que :
    - $t(\mathcal{R})$  est transitive
    - $\mathcal{R} \subseteq t(\mathcal{R})$
    - Pour toute relation binaire  $\mathcal{R}'$  transitive définie sur l'ensemble  $E$ , si  $\mathcal{R}' \subseteq \mathcal{R}$  alors  $\mathcal{R}' \subseteq t(\mathcal{R})$
  - \* Nous employons les conventions suivantes :  $\mathcal{R}\mathcal{R}'$  c'est la composition des relations  $\mathcal{R}$  et  $\mathcal{R}'$  tel que  $\{(x, y) \mid \exists z, x\mathcal{R}z\mathcal{R}'y\}$ ;
  - \*  $\mathcal{R}^{-1}$  pour la relation inverse  $\{(y, x) \mid x\mathcal{R}y\}$ ,
  - \*  $\mathcal{R}^*$  est la fermeture transitive de relation  $\mathcal{R}$ .

# Résumé

Notre sujet d'étude est la programmation de systèmes répartis, temps réel. De tels systèmes comportent de nombreux ordinateurs interconnectés par un réseau. L'étude de ce type de système fait appel à des méthodes formelles permettant de répondre aux exigences auxquelles sont soumises ces applications. Dans la littérature, il a été proposé un grand nombre de techniques dotées d'un support mathématique pour raisonner sur la conformité des systèmes informatiques.

La notion importante dans ces systèmes, est le temps, c'est à dire des systèmes dotés d'un comportement qui est contraint par le temps. Un système temps-réel doit interagir correctement avec son environnement non seulement au regard des informations échangées, mais également au regard des instants au quels ces interactions se réalisent.

Dans ce contexte, les sémantiques de vrai parallélisme, comme la sémantique de maximalité, conviennent à être employées lorsqu'on s'abstrait de l'hypothèse de l'atomicité temporelle et structurelle des actions. Le modèle D-LOTOS<sup>1</sup>, extension temporelle à l'algèbre de processus LOTOS<sup>2</sup>, intégrant à la fois contraintes temporelles et durées des actions.

L'étude exposée dans ce document s'inscrit dans le cadre de la conception de systèmes temps-réel et mobiles, en s'appuyant sur les modèles mobiles, et les méthodes formelles, temps réel. Le modèle proposé (MD-LOTOS)<sup>3</sup>, représente un langage de programmation directement utilisable il est implémentable de manière répartie, il s'inspire largement de deux modèles (Join-calcul, D-LOTOS).

**Mots-clés** Systèmes mobiles, Algèbres de processus, Systèmes temps-réel, Durée d'action, Spécification formelle, LOTOS, Langage D-LOTOS, MD-LOTOS.

---

<sup>1</sup>Duration LOTOS

<sup>2</sup>Language Of Temporal Ordering Specification

<sup>3</sup>Mobil D-LOTOS

# Table des matières

Notations générales	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
<b>1 Introduction</b>	<b>6</b>
1.1 Contexte . . . . .	6
1.2 Contributions . . . . .	7
1.3 Plan du document . . . . .	8
<b>2 Modèles algébriques de spécification des applications mobiles</b>	<b>9</b>
2.1 Introduction aux algèbres de processus . . . . .	9
2.1.1 CCS : Calculus of Communicating Systems . . . . .	9
2.1.2 Algèbre de processus à synchronisation multiple : LOTOS . . . . .	13
2.2 $\pi$ -calcul . . . . .	17
2.2.1 $\pi$ -calcul monadique . . . . .	20
2.2.2 $\pi$ -calcul polyadique . . . . .	22
2.2.3 Sémantique opérationnelle du $\pi$ -calcul . . . . .	22
2.2.4 Equivalences . . . . .	27
2.2.5 Applications . . . . .	29
2.3 Join-Calcul . . . . .	32
2.3.1 Machine chimique abstraite . . . . .	32
2.3.2 La machine chimique réflexive (RCHAM) . . . . .	33
2.3.3 Equivalences . . . . .	37
2.3.4 Le calcul ouvert . . . . .	39
2.3.5 Localité, migration et pannes . . . . .	42
2.4 Calcul des Ambients . . . . .	50
2.4.1 Présentation . . . . .	50
2.4.2 Mobilité . . . . .	50
2.4.3 Sémantique opérationnelle . . . . .	52

2.4.4	Exemples . . . . .	52
2.4.5	Communication . . . . .	54
2.5	Logique de réécriture . . . . .	56
2.5.1	Définitions de base . . . . .	57
2.5.2	Structure sémantique pour modèles de concurrence . . . . .	60
2.5.3	MAUDE . . . . .	62
2.5.4	Système temps-réel . . . . .	66
2.5.5	Modèles de temps et théorie de réécriture temps réel . . . . .	67
2.5.6	Théorie temps réel intériorisée dans la logique de réécriture . . . . .	69
2.6	Conclusion et discussion . . . . .	69
2.6.1	$\pi$ -calcul et join-calcul . . . . .	70
2.6.2	Les ambients et le join-calcul . . . . .	72
<b>3</b>	<b>Modèles algébriques de spécification des applications temps réel</b>	<b>73</b>
3.1	Extension temporelle de LOTOS . . . . .	73
3.2	Le langage D-LOTOS . . . . .	79
3.2.1	Sémantique de maximalité . . . . .	79
3.2.2	Introduction des durées et des contraintes temporelles . . . . .	82
3.2.3	Sémantique opérationnelle structurée de D-LOTOS . . . . .	83
3.2.4	Relations de bissimulation . . . . .	85
3.3	Limites du langage D-LOTOS . . . . .	87
3.4	Conclusion . . . . .	87
<b>4</b>	<b>MD-LOTOS (mobil D-LOTOS) : Un modèle de spécification des applications temps réel et mobiles.</b>	<b>88</b>
4.1	Présentation de MD-LOTOS . . . . .	88
4.1.1	Traitement local et global . . . . .	92
4.1.2	Syntaxe et sémantique opérationnelle de maximalité . . . . .	93
4.2	Etude de cas (Gigue d'information) . . . . .	99
4.3	Outil de compilation . . . . .	100
4.3.1	L'outil Ocamllex . . . . .	102
4.3.2	L'outil Ocaml yacc . . . . .	103
4.3.3	Outil de compilation pour MD-LOTOS . . . . .	104
4.3.4	Etape d'analyse . . . . .	110
4.4	Conclusion . . . . .	110
<b>5</b>	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>111</b>