

**UNIVERSITÉ PARIS SUD**

**UFR SCIENTIFIQUE D'ORSAY**

**THÈSE**

**Présentée pour obtenir le grade de**

**DOCTEUR EN SCIENCES  
DE L'UNIVERSITÉ PARIS XI ORSAY**

**Spécialité : Informatique**

**Préparée au département informatique de Supélec à Gif-sur-Yvette**

**par**

**MOHAMED FEREDJ**

**SUJET :**

**Étude des Méthodes de Conception  
de Composants Domaine-Polymorphes**

Soutenue publiquement le 02 décembre 2005 devant la commission d'examen

Rapporteur	M. Charles ANDRÉ	Université Nice Sophia-Antipolis
Examineur	M. Frédéric BOULANGER	Supélec
Rapporteur	M. Paul CASPI	Université Grenoble I
Examineur	M. Jean-Paul SANSONNET	CNRS
Examineur	M. François TERRIER	CEA Saclay
Directeur de thèse	M. Guy VIDAL-NAQUET	Université Paris-Sud Orsay et Supélec

# Résumé

Les systèmes embarqués sont utilisés dans plusieurs domaines d'application et mélangent plusieurs technologies, ce qui fait d'eux des systèmes hétérogènes complexes. Ainsi, ils sont composés de sous systèmes dont chacun obéit à un modèle de calcul qui lui est approprié. Les modèles de calcul sont des lois qui régissent les interactions des systèmes.

En effet, la conception d'un système doit faire coexister les modèles de calcul régissant ses composants au sein du modèle qui le représente, ce qui revient à faire communiquer des composants obéissants à des modèles de calcul différents. Pour cela, on peut utiliser l'approche hiérarchique ou l'approche non hiérarchique. L'approche hiérarchique structure un système en niveaux hiérarchiques dont chacun contient des composants qui obéissent au même modèle de calcul. On est ainsi obligé de changer de niveau hiérarchique pour passer d'un modèle de calcul à un autre.

Au contraire, l'approche non hiérarchique permet d'utiliser plusieurs modèles de calcul à un même niveau de la hiérarchie en les séparant en sous ensembles homogènes interfacés par des composants à interfaces hétérogènes.

Actuellement, pour exécuter un composant atomique, dont le comportement est spécifié suivant la sémantique d'un modèle de calcul, dite sémantique de spécification, sous différents modèles de calcul, on peut utiliser soit l'approche hiérarchique, soit l'approche non hiérarchique, soit des composants domaine-spécifiques. Un composant domaine-spécifique étant un composant qui est conçu pour fonctionner selon un modèle de calcul particulier, et dont le fonctionnement correct n'est donc garanti que pour le domaine correspondant.

Cependant, ces approches présentent plusieurs désavantages. L'approche hiérarchique mène à une explosion verticale des niveaux hiérarchiques, nuit à la modularité du modèle, et n'explique pas les interactions entre les modèles de calcul. L'approche non hiérarchique oblige à spécifier la sémantique des interactions entre modèles de calcul deux-à-deux, ce qui conduit à une explosion combinatoire en fonction du nombre de modèles de calcul supportés. Quant aux composants domaine-spécifiques, ils sont coûteux car ils sont générés à partir d'une même spécification pour chacun des modèles de calcul dans lesquels on veut les utiliser. Ils ne sont donc pas réutilisables dans d'autres modèles de calcul, et ont un coût de mise-à-jour élevé.

Pour éviter ces problèmes, nous proposons dans cette thèse un nouveau modèle de composant, appelé composant domaine-polymorphe. Un composant domaine-polymorphe est un composant atomique ayant la capacité d'exécuter son comportement interne suivant la sémantique de spécification tout en garantissant un fonctionnement correct sous différents modèles de calcul. En découplant la sémantique de spécification et celle d'exécution, cette approche offre une bonne modularité. L'adaptation à la sémantique d'exécution étant automatique, ces composants sont facilement réutilisables et paramétrables afin d'expliquer les interactions entre modèles de calcul, ce qui augmente la productivité et facilite la maintenabilité ainsi que le processus de validation.

**Mots Clés :** Systèmes Embarqués, Modèles de Calcul, Conception Hétérogène, Ingénierie Logicielle, Composants, Acteurs.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction Générale</b>	<b>1</b>
1.1	Conception des systèmes embarqués hétérogènes . . . . .	2
1.2	Motivations de nos travaux . . . . .	6
1.3	Contributions . . . . .	7
1.4	Organisation du mémoire . . . . .	9
<b>I</b>	<b>Conception des Systèmes et Composants Hétérogènes</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Conception des Systèmes Embarqués Hétérogènes</b>	<b>13</b>
2.1	Système temps réel . . . . .	13
2.2	Systèmes embarqués . . . . .	14
2.2.1	Exemple d'un système embarqué . . . . .	14
2.3	Conception des systèmes embarqués . . . . .	15
2.3.1	Modèle, modélisation et conception . . . . .	15
2.3.2	Modèles de calcul . . . . .	17
2.4	Conception hétérogène . . . . .	20
2.4.1	Conception hétérogène amorphe . . . . .	21
2.4.2	Conception hétérogène hiérarchique . . . . .	22
2.4.3	Conception hétérogène non hiérarchique . . . . .	25
2.5	Outils de conception des systèmes hétérogènes . . . . .	26
2.6	Méthodologie de conception orientée acteur . . . . .	29
2.6.1	Introduction . . . . .	29
2.6.2	Concepts . . . . .	30
2.6.3	Intérêts . . . . .	31
2.6.4	Structures de l'acteur et du modèle . . . . .	31
2.6.5	Primitives abstraites . . . . .	33
2.7	Problématique traitée dans cette thèse . . . . .	34
2.8	Conclusion . . . . .	36

<b>3</b>	<b>Conception des Composants Domaine-Spécifiques Synchrones</b>	<b>37</b>
3.1	Introduction . . . . .	37
3.2	Systèmes réactifs, langage synchrone et mise en œuvre . . . . .	38
3.2.1	Systèmes réactifs et l'hypothèse synchrone . . . . .	38
3.2.2	Esterel : Un Formalisme basé sur l'hypothèse synchrone . . . . .	39
3.2.3	Précédentes mises en oeuvre des modules synchrones . . . . .	41
3.2.4	Discussion . . . . .	44
3.3	Conception de composants domaine-spécifiques synchrones . . . . .	45
3.3.1	Composants domaine-spécifiques . . . . .	45
3.3.2	Techniques interfaçage et intégration des modules synchrones . . . . .	46
3.3.3	Problématique . . . . .	47
3.3.4	CDS Synchrone . . . . .	49
3.3.5	Cas d'adaptation étudiés . . . . .	50
3.3.6	Variables et opérations du CDS Synchrone . . . . .	55
3.3.7	Exécution du CDS Synchrone . . . . .	57
3.4	Composants domaine-spécifiques pour d'autres sémantiques . . . . .	58
3.5	Conclusion . . . . .	59
<b>4</b>	<b>Composant Domaine-Polymorphe</b>	<b>61</b>
4.1	Introduction . . . . .	61
4.2	Faiblesses des composants domaine-spécifiques . . . . .	62
4.3	Qu'est ce qu'un composant domaine-polymorphe ? . . . . .	63
4.3.1	Définition . . . . .	63
4.3.2	Propriétés du composant domaine-polymorphe . . . . .	64
4.3.3	Composant domaine-polymorphe vs. acteur générique . . . . .	64
4.4	Techniques pour le polymorphisme . . . . .	65
4.4.1	Que signifions nous par polymorphisme ? . . . . .	65
4.4.2	Techniques de l'approche objet pour le polymorphisme . . . . .	66
4.4.3	Technique des conteneurs pour le polymorphisme . . . . .	68
4.4.4	Réflexion pour le polymorphisme . . . . .	70
4.4.5	Programmation orientée aspect pour le polymorphisme . . . . .	75
4.5	Conclusion . . . . .	80

<b>5</b>	<b>Conception de Composant Domaine-Polymorphe</b>	<b>81</b>
5.1	Vers un modèle de composant domaine-polymorphe . . . . .	81
5.1.1	Objectifs et contraintes . . . . .	81
5.1.2	Composant domaine-spécifique modulaire et composable . . . . .	82
5.1.3	Composant domaine-spécifique flexible . . . . .	86
5.1.4	Composant domaine-polymorphe . . . . .	89
5.2	Opérations du composant domaine-polymorphe . . . . .	92
5.3	Différents degrés du polymorphisme . . . . .	95
5.3.1	Degré lié à la concrétisation de la politique de transformation . . . . .	95
5.3.2	Degré lié à la concrétisation de la politique de sélection . . . . .	96
5.3.3	Synthèse . . . . .	99
5.4	Evaluations . . . . .	100
5.4.1	Par rapport à la représentation des systèmes . . . . .	100
5.4.2	Par rapport à la modification des systèmes déjà représentés . . . . .	100
5.4.3	Par rapport à l'évolution du nombre de domaines . . . . .	101
5.4.4	Synthèse . . . . .	102
5.5	Modèle de composant domaine-polymorphe amélioré . . . . .	102
5.5.1	Limites du modèle actuel de CDP . . . . .	103
5.5.2	Architecture . . . . .	103
5.5.3	Variables du CDP après assemblage . . . . .	107
5.5.4	Opérations . . . . .	107
5.5.5	Polymorphisme de messages . . . . .	112
5.6	Méta modèle de composants domaine-polymorphes . . . . .	113
5.7	Modèle d'exécution du composant domaine-polymorphe . . . . .	114
5.8	Conclusion . . . . .	116
<b>6</b>	<b>Conception Hétérogène à base de Composants Domaine-Polymorphes</b>	<b>119</b>
6.1	Introduction . . . . .	119
6.2	Composant domaine-polymorphe : Une approche hétérogène atomique . . . . .	119
6.3	Conception hétérogène atomique . . . . .	120
6.3.1	Spécification des composants CASs . . . . .	121
6.3.2	Cas de mélange des modèles de calcul . . . . .	129
6.4	Conclusion . . . . .	131

<b>II</b>	<b>Intégration, Validation et Simulation dans Ptolemy II</b>	<b>133</b>
<b>7</b>	<b>Intégration de l'Approche de Conception de CDP dans PTOLEMY II</b>	<b>135</b>
7.1	Introduction . . . . .	135
7.2	Aperçu sur PTOLEMY II . . . . .	135
7.2.1	Architecture . . . . .	136
7.2.2	Acteur . . . . .	137
7.2.3	Directeur . . . . .	139
7.2.4	Acteur composite opaque . . . . .	139
7.2.5	Manager . . . . .	140
7.2.6	Exécution d'un acteur atomique . . . . .	141
7.3	Intégration du composant domaine-polymorphe dans PTOLEMY II . . . . .	142
7.3.1	Architecture de l'implémentation . . . . .	142
7.3.2	Appellations adoptées dans PTOLEMY II . . . . .	144
7.3.3	Description des classes de base . . . . .	145
7.3.4	Intégration de la phase d'exécution du CDP dans l'itération . . . . .	152
7.4	Intégration du composant domaine-polymorphes dans Vergil . . . . .	154
7.4.1	Aperçu sur Vergil . . . . .	154
7.4.2	Intégration des composants domaine-polymorphes dans la librairie d'acteurs de Vergil . . . . .	155
7.5	Conclusion . . . . .	157
<b>8</b>	<b>Exemple de Conception à base de Composants Domaine-Polymorphes</b>	<b>159</b>
8.1	Introduction . . . . .	159
8.2	Atelier de production automatisé . . . . .	159
8.3	Spécification des contrôleurs de l'atelier suivant la sémantique synchrone . . . . .	161
8.3.1	Identification des contrôleurs . . . . .	161
8.3.2	Spécification des contrôleurs . . . . .	161
8.4	Spécification des capteurs de l'atelier suivant la sémantique synchrone . . . . .	174
8.5	Conception et simulation basées CDP de l'atelier sous Ptolemy II . . . . .	176
8.5.1	Conception du modèle Ptolemy II de l'atelier . . . . .	176
8.5.2	Simulation du fonctionnement de l'atelier . . . . .	179
8.6	Conclusion . . . . .	180

<b>9 Conclusion et Perspectives</b>	<b>181</b>
9.1 Apports de la thèse . . . . .	182
9.1.1 Modèle de composant domaine-polymorphe . . . . .	182
9.1.2 Modèle de composant domaine-spécifique flexible . . . . .	182
9.1.3 Hétérogénéité atomique . . . . .	183
9.1.4 Réalisations . . . . .	183
9.2 Perspectives . . . . .	184
<b>III Annexes</b>	<b>185</b>
<b>A Intégration des Modules ESTEREL dans PTOLEMY II</b>	<b>187</b>
A.1 Chaîne de compilation d'Esterel . . . . .	187
A.2 Description du format ssc des modules Esterel . . . . .	188
A.3 Traduction du format ssc en composants Ptolemy II . . . . .	192