

N° d'ordre: 2661

# THÈSE

Présentée devant

**l'Université de Rennes 1**

pour obtenir

le grade de : DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES 1  
Mention INFORMATIQUE

par

Frédéric LE MOUËL

Équipe d'accueil : IRISA

École Doctorale : Mathématiques, Informatique, Signal et Électronique et  
Télécommunications (MATISSE)

Composante universitaire : IFSIC

TITRE DE LA THÈSE :

*Environnement adaptatif d'exécution distribuée  
d'applications dans un contexte mobile*

soutenue le 1<sup>er</sup> décembre 2003 devant la commission d'examen

COMPOSITION DU JURY :

M. :	Daniel	HERMAN	Président
Mme :	Isabelle	DEMEURE	Rapporteurs
M. :	Hervé	GUYENNET	
Mme :	Françoise	ANDRÉ	Examineurs
M. :	Bertil	FOLLIOT	
Mme :	Maria-Teresa	SEGARRA	

*« C'est l'imagination qui étend pour nous la mesure des possibles, soit en bien, soit en mal,  
et qui, par conséquent, excite et nourrit les désirs par l'espoir de les satisfaire. »*

Jean-Jacques Rousseau.

À mes grands-parents, Joachim et Renée,  
à mes parents, Gilbert et Jacqueline,  
à mon frère, Julien,  
à mon étoile, Dubhe.

## Remerciements

Je remercie Daniel HERMAN, Professeur à l'Université de Rennes 1, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

Je remercie Isabelle DEMEURE, Maître de Conférences au GET / ENST Paris, et Hervé GUYENNET, Professeur à l'Université de Franche Comté d'avoir accepté d'évaluer ma thèse. J'ai particulièrement apprécié leurs rapports détaillés et approfondis témoignant de l'intérêt porté à mon travail.

Bertil FOLLIOT, Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, et Maria-Teresa SEGARRA, Maître de Conférences au GET / ENST Bretagne ont également accepté de juger ce travail. Leurs questions m'ont permis de défendre et valoriser mon travail. Je les en remercie.

J'exprime ma plus sincère reconnaissance à Françoise ANDRÉ, Professeur à l'Université de Rennes 1, qui a dirigé ma thèse. La justesse de ses conseils, la motivation et la confiance qu'elle m'a prodigué me furent très précieuses pour mener à bien cette thèse.

Je tiens aussi à remercier les personnes avec lesquelles j'ai travaillé, je travaille ou je continue de partager des bouts de vie, Maria-Teresa SEGARRA pour nos longues discussions et émulsions d'idées, notre soutien mutuel en période de doute et les fameuses soirées Paella-Mecano, Erwan SAINT POL pour son inépuisable énergie et bonne humeur et pour m'avoir fait découvrir le bruit (*La Noise !*).

Merci également à toutes les personnes dont l'amitié m'a apporté les moments de réconfort et distraction nécessaires lors du déroulement d'un tel projet, notamment, le Club Chicogné, pour sa disponibilité à toutes heures, et la communauté hispanophone de Rennes (Mexicaine en particulier), pour ses dégustations et soirées Salsa !

Je dédie cette thèse à ma famille. J'y puise une ouverture d'esprit, un soutien, une confiance et un amour indéfectibles que j'espère rendre pareillement et transmettre à mon tour. Parrain et mémé, j'aurais aimé que vous assistiez à ma soutenance, mais je sais que vous êtes, de toutes façons, avec moi. Papa, maman, Juju, merci de votre amour et d'être toujours là quand j'en ai besoin. Dubhe, merci pour ton sourire éclatant, tes yeux pétillants et ton amour qui me font oublier tout le reste.

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>11</b>
<b>I Le contexte de la thèse</b>	<b>15</b>
<b>1 Du fixe vers le mobile ...</b>	<b>17</b>
1.1 Les terminaux . . . . .	17
1.1.1 Caractéristiques des terminaux portables . . . . .	17
1.1.2 Comparaisons avec les stations fixes . . . . .	18
1.2 Les réseaux . . . . .	20
1.2.1 Topologies des réseaux sans-fil . . . . .	20
1.2.2 Technologies des réseaux sans-fil . . . . .	23
1.2.3 Comparaison avec les réseaux filaires . . . . .	24
1.3 Discussion . . . . .	26
<b>2 Systèmes d'adaptation aux environnements mobiles</b>	<b>29</b>
2.1 Définitions . . . . .	30
2.2 Transparence de la mobilité . . . . .	32
2.2.1 Transparence de l'adressage IP . . . . .	32
2.2.2 Transparence au niveau du protocole TCP . . . . .	33
2.2.3 Transparence des systèmes de fichiers . . . . .	37
2.2.4 Transparence au niveau du protocole HTTP . . . . .	40
2.2.5 Résumé . . . . .	41
2.3 Le besoin de spécialisation . . . . .	42
2.3.1 Spécialisation de la qualité de service . . . . .	42
2.3.2 Spécialisation de comportement d'exécution incluant des stratégies d'adaptation spécifiques . . . . .	46
2.3.3 Résumé . . . . .	49
2.4 Adaptation et réflexivité . . . . .	50
2.4.1 Résumé . . . . .	54
2.5 Discussion . . . . .	54

<b>3</b>	<b>Stratégies d'adaptation en environnements mobiles</b>	<b>59</b>
3.1	Stratégies de gestion des données . . . . .	59
3.1.1	Transformation des données . . . . .	59
3.1.2	Préchargement . . . . .	63
3.1.3	Réplication et cohérence des données . . . . .	67
3.1.4	Résumé . . . . .	70
3.2	Stratégies de gestion des ressources . . . . .	71
3.2.1	Nommage, découverte et localisation des ressources . . . . .	71
3.2.2	Modèles de conception de systèmes distribués . . . . .	74
3.2.3	Partage et équilibrage de charge . . . . .	84
3.2.4	Résumé . . . . .	90
<b>II</b>	<b>Généricité, gestion des ressources et distribution des applications en environnements mobiles</b>	<b>91</b>
<b>4</b>	<b>Organisation générale du système d'adaptation</b>	<b>93</b>
4.1	Objectifs . . . . .	93
4.2	Définitions . . . . .	94
4.3	Architecture du système d'adaptation . . . . .	95
4.3.1	Le cadre de conception . . . . .	98
4.3.2	La boîte à outils . . . . .	100
4.4	Conclusion . . . . .	102
<b>5</b>	<b>Conception d'un système d'adaptation et de réaction dynamique à granularité variable</b>	<b>105</b>
5.1	Propriétés du système d'adaptation et de réaction . . . . .	105
5.2	Modèle du système d'adaptation et de réaction . . . . .	106
5.2.1	Définition d'une entité . . . . .	107
5.2.2	Définition d'une entité adaptative . . . . .	109
5.2.3	Entité adaptative et réaction . . . . .	117
5.2.4	Entité adaptative et synchronisation d'adaptations multiples . . . . .	120
5.3	Définition des modèles de conception par spécialisation d'entité . . . . .	122
5.3.1	Hiérarchie de représentation des abstractions de conception . . . . .	123
5.3.2	Propagation des adaptations au sein de l'échelle de niveaux d'abstractions	125
5.3.3	Exemples de spécialisations de modèles de conception . . . . .	126
5.4	Conclusion . . . . .	127
<b>6</b>	<b>Conception d'un système de gestion de ressources et de distribution d'applications en environnements mobiles</b>	<b>131</b>
6.1	Propriétés du système de gestion de ressources et de distribution d'applications	132
6.2	Caractérisation de l'environnement mobile . . . . .	133
6.2.1	Définition du modèle de Ressources / Entités utilisatrices . . . . .	133
6.2.2	Particularités liées à l'environnement mobile . . . . .	137

6.2.3	Gestion du modèle au niveau d'une entité . . . . .	138
6.3	Caractérisation des applications . . . . .	141
6.4	Caractérisation du système de gestion des ressources et de distribution des applications . . . . .	142
6.4.1	Architecture du système et passage à l'échelle des services . . . . .	142
6.4.2	Services et politiques . . . . .	145
6.4.3	Définitions des services et politiques par spécialisations d'entités . . . . .	150
6.4.4	Contrôle des adaptations . . . . .	151
6.5	Conclusion . . . . .	153
<b>III Le système AeDEn</b>		<b>155</b>
<b>7</b>	<b>Mise en œuvre et expérimentations</b>	<b>157</b>
7.1	Mise en œuvre d'AeDEn . . . . .	157
7.1.1	Préliminaires Molène . . . . .	157
7.1.2	Définition du composant adaptatif Molène par spécialisation d'entité adaptative . . . . .	159
7.1.3	Communication par évènement . . . . .	160
7.1.4	Exemple : mise en œuvre du SGEL . . . . .	161
7.2	Expérimentations d'utilisation d'AeDEn . . . . .	167
7.2.1	Navigateur pour environnement mobile . . . . .	167
7.2.2	Résultats des performances de l'application . . . . .	169
7.2.3	Résultats des utilisations des ressources propres à l'environnement mobile . . . . .	172
7.3	Bilan . . . . .	176
<b>Conclusion</b>		<b>179</b>
<b>A Grammaire de description des éléments de l'environnement</b>		<b>183</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>186</b>

## Table des figures

1.1	Architecture d'un réseau sans-fil à point d'accès . . . . .	21
1.2	Architecture d'un réseau sans-fil ad hoc . . . . .	22
2.1	Interactions entre application, système d'adaptation et environnement mobile . . . . .	30
2.2	Système adaptatif à comportement spécialisable dynamiquement et à stratégie contextuelle dynamique (CSD-scd) . . . . .	31
2.3	Support de la mobilité dans Mobile-IP . . . . .	33
2.4	Indirection d'une connexion TCP dans I-TCP . . . . .	34
2.5	Protocole de réception de paquets dans le module Snoop . . . . .	35
2.6	Protocole de réception d'acquittements dans le module Snoop . . . . .	35
2.7	Architecture d'un client NFS/M . . . . .	38
2.8	Architecture du système MFS . . . . .	38
2.9	États et transitions du processus Venus . . . . .	39
2.10	Modèle d'interception des requêtes HTTP par WebExpress . . . . .	40
2.11	Méthodes d'émission de paquets supportées dans MosquitoNet . . . . .	43
2.12	Pile des protocoles WAP et interconnexions avec les protocoles existants . . . . .	44
2.13	Architecture de la plateforme du projet MOST . . . . .	46
2.14	Fonction de satisfaction selon la bande passante dans Mobeware . . . . .	47
2.15	Architecture du système Odyssey . . . . .	49
2.16	Description d'un cluster dans RAM . . . . .	52
2.17	Structure de réification dans 2K/DynamicTAO . . . . .	53
2.18	Comparatif des approches transparentes, applicatives et réflexives selon la puissance d'expression de l'adaptation et la facilité d'utilisation en environnements mobiles . . . . .	55
3.1	Architecture du système Mowgli . . . . .	60
3.2	Processus de sélection des variantes d'une donnée dans l'approche de Chalmers et al. . . . .	64
3.3	Relations entre stratégies de préchargement, d'invalidation, de cohérence, de mise à jour et de diffusion . . . . .	67
3.4	Paradigmes des systèmes distribués . . . . .	74
3.5	Architecture du système Rover . . . . .	76
3.6	<i>High Level Proxy</i> dans l'approche de Zenel et al. . . . .	77
3.7	<i>Low Level Proxy</i> dans l'approche de Zenel et al. . . . .	77

3.8	Contrôle interne et externe des filtres par gestion à évènements . . . . .	77
3.9	Architecture du système D'Agents . . . . .	79
3.10	Architecture du système LEAP . . . . .	80
3.11	<i>Filtering Agent</i> dans L <sup>2</sup> imbo . . . . .	82
3.12	Architecture des espaces de n-uplets dans Lime . . . . .	83
3.13	Classification des algorithmes de placement . . . . .	85
3.14	Architecture d'un serveur TACC . . . . .	87
3.15	Architecture du système SOMA avec les services additionnels pour la mobilité . . . . .	88
3.16	Allocation de ressources par politique à enchères dans MARS . . . . .	89
4.1	Spécialisation et instanciation (ou spécialisation et modification d'instance) du système d'adaptation . . . . .	96
4.2	Fonctionnalités du cadre de conception . . . . .	99
4.3	Principales implantations de la boîte à outils . . . . .	100
5.1	Acteurs du système d'adaptation et de réaction . . . . .	107
5.2	Structure d'une entité . . . . .	108
5.3	Relations entre éléments de la structure d'une entité et spécialisations possibles de ces éléments . . . . .	108
5.4	Structure d'une entité adaptative . . . . .	109
5.5	Relations entre éléments de la structure d'une entité adaptative . . . . .	110
5.6	Redirection de l'appel <code>applyAdaptation(a, args[])</code> de l'entité fonctionnelle vers l'entité d'adaptation . . . . .	111
5.7	Routage de l'appel <code>applyAdaptation(a, args[])</code> dans le type <code>EntityAdapter</code> vers l' <i>Adaptation</i> adéquate . . . . .	111
5.8	Possibilités d'adaptation d'une entité . . . . .	112
5.9	Relations entre adaptations et éléments de la structure de l'entité fonctionnelle . . . . .	113
5.10	Méthodes d'introspection et d'intercession d'une entité . . . . .	114
5.11	Méthodes d'introspection et d'intercession de l'entité adaptative (illustrées par le type <i>AInteraction</i> de l'entité d'adaptation) . . . . .	115
5.12	Utilisation des méthodes d'introspection et d'intercession pour appliquer une adaptation d'implantation . . . . .	116
5.13	Structure d'une entité auto-adaptative . . . . .	117
5.14	Stratégie d'adaptation pour un service de transmission d'images compressées . . . . .	118
5.15	Relations entre éléments de la structure d'une entité auto-adaptative . . . . .	119
5.16	Synchronisation des adaptations multiples . . . . .	120
5.17	Adaptations appliquées de manière séquentielle . . . . .	121
5.18	Adaptations appliquées de manière parallèle synchronisée . . . . .	121
5.19	Regroupement des entités du système d'adaptation et de réaction . . . . .	123
5.20	Échelle de représentation des abstractions de conception . . . . .	124
5.21	Exemple de propagation des adaptations au sein de l'échelle de niveaux d'abstractions . . . . .	125
5.22	Modèle objet par spécialisation d'entité adaptative . . . . .	126
5.23	Modèle agent par spécialisation d'entité adaptative . . . . .	126



5.24	Modèle intergiciel par spécialisation d'entité adaptative . . . . .	127
6.1	Modèle Ressources / Offres et Entités utilisatrices / Demandes . . . . .	134
6.2	Exemples de classification des ressources par spécialisation . . . . .	135
6.3	Exemple d'implantation de la méthode de concordance et de la métrique de décision au sein d'une offre de mémoire disponible . . . . .	136
6.4	Structure d'une Ressource / Entité utilisatrice . . . . .	138
6.5	Relations entre éléments de la structure d'une Ressource / Entité utilisatrice . .	139
6.6	Modèle application par spécialisation d'entité adaptative . . . . .	141
6.7	Implantation des services selon deux niveaux d'abstractions : local et global . .	143
6.8	Architecture du système de gestion des ressources et de distribution des appli- cations . . . . .	144
6.9	Introduction des politiques au sein des services . . . . .	147
6.10	Exemple de politique adaptative de décision de placement . . . . .	148
6.11	Exemple de stratégie pour la politique d'enregistrement . . . . .	148
6.12	Exemple de stratégie pour la politique de gestion de l'état de l'environnement .	149
6.13	Exemple de stratégie pour la politique de décision de placement . . . . .	149
6.14	Modèle service (global et local) et politique adaptative par spécialisation d'en- tité adaptative . . . . .	150
6.15	Relations entre éléments de la structure d'une entité adaptative et service de contrôle de la propagation des adaptations . . . . .	151
6.16	Interception de l'appel <code>applyAdaptation(a, args[])</code> de l'entité d'adaptation vers le service de contrôle de la propagation des adaptations . . . . .	152
7.1	Structure de Molène . . . . .	158
7.2	Structure fonctionnelle d'un composant Molène . . . . .	159
7.3	Modèle composant adaptatif Molène par spécialisation d'entité adaptative . . .	159
7.4	Hierarchie de classes pour la communication dans Molène . . . . .	160
7.5	Communication au sein du service de gestion de l'environnement local . . . . .	162
7.6	Interactions au sein de la politique d'initialisation de l'environnement local . .	163
7.7	Politique d'enregistrement mis en œuvre par un composant adaptatif Molène .	164
7.8	Interactions au sein de la politique d'enregistrement lors d'une mise à disposi- tion totale des éléments . . . . .	165
7.9	Interactions au sein de la politique d'enregistrement lors d'une mise à disposi- tion partielle des éléments . . . . .	166
7.10	Interactions au sein de la politique d'enregistrement lors d'une mise à disposi- tion nulle des éléments . . . . .	167
7.11	Placement des composants du navigateur . . . . .	168
7.12	Décharge de la batterie selon son utilisation . . . . .	172
7.13	Débit mesuré de la bande passante selon l'algorithme de détection et notifica- tion utilisé . . . . .	173
7.14	Courbe de distribution des probabilités dans le cas de l'algorithme immédiat . .	174
7.15	Courbe de distribution des probabilités dans le cas de l'algorithme périodique .	175

## Liste des tableaux

1.1	Caractéristiques physiques des terminaux . . . . .	19
1.2	Caractéristiques des architectures des réseaux sans-fil . . . . .	23
1.3	Caractéristiques des technologies des réseaux sans-fil . . . . .	25
2.1	Exemple de table de routage dans MosquitoNet . . . . .	43
2.2	Comparatif des propriétés des approches transparentes, applicatives et réflexives	57
3.1	Types de données et axes de dégradation dans BARWAN . . . . .	62
7.1	Mesures du temps d'exécution des composants du navigateur selon leur station d'exécution . . . . .	170
7.2	Mesures des données transférées sur le lien sans fil . . . . .	171
7.3	Mesures de l'impact de la migration sur les performances du navigateur . . . .	171