

UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
HOUARI BOUMEDIÈNE

FACULTÉ D'ELECTRONIQUE ET INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Thèse de Doctorat

Tolérance aux Défaillances dans les
Systèmes Répartis en Environnement
Mobile

Haroun BENKAOUHA

Soumis en vue de l'obtention du Diplôme de Docteur en
Informatique

07 / 04 / 2016.

Soutenue devant le Jury :

Prof. Abdelkader BELKHIR	Président,
Prof. Makhlouf ALIOUAT	Exammateur,
Prof. Wakid-Khaled HIDOUCI	Examineur,
Prof. Abdellah BOUKERRAM	Examineur,
Dr. Djamel TANDJAOUI	Examineur.
Directeur de Thèse: Prof. Nadjib BADACHE.	

Résumé

Avec les avancées des nouvelles technologiques dans le domaine des systèmes et communications sans fils ont donné naissance aux systèmes distribués modernes. Ceci a engendré une augmentation dans le développement d'applications réparties mobiles est observée. En outre, les systèmes distribués modernes sont sujets à de nouvelles contraintes qu'il faut prendre en considération et parmi ces contraintes la panne qui est devenue plus fréquente avec la vulnérabilité des unités de calcul. De ce fait, la tolérance aux pannes devient une propriété cruciale dans ce contexte et particulièrement pour les réseaux mobiles ad hoc (MANETs).

Notre travail consiste à développer des protocoles et mécanismes de tolérance aux pannes dans cet environnement très contraignant.

Nous nous intéressons particulièrement au contexte du bon déroulement d'une application distribuée. En effet, en cas de panne, il faut arrêter le calcul et un protocole de recouvrement doit être lancé. Il s'agit de trouver un moyen pour remplacer le nœud défaillant et reprendre par la suite le calcul à partir d'un point de reprise. Le point de reprise représente un état global cohérent par lequel est passé ou aurait pu passer le calcul. Pour définir de tels points, il faut enregistrer l'état global du système (pendant le déroulement du calcul distribué calcul) qu'on appelle point de contrôle. Cet enregistrement nécessite la disponibilité d'une mémoire stable pour chaque nœud. La tâche de calcul des points de contrôle (checkpointing) doit se dérouler en arrière plan.

Pour réaliser un tel mécanisme, nous proposons dans ce document un ensemble de protocoles : détection de pannes, checkpointing, mémoires stables virtuelles et un protocole de recouvrement arrière. Une analyse des performances de ces protocoles est donnée.

Mots clés : *Tolérance aux pannes, Système réparti, Application distribuée, Calcul distribué, MANETs, mobilité, ad hoc, défaillance, panne franche, détection de pannes, battement de cœur, point de contrôle, point de reprise, recouvrement arrière, protocole.*

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Contexte et Problématique	1
1.2	Objectif et méthodologie	4
1.3	Organisation du document	5
2	La Tolérance aux Pannes	6
2.1	Introduction	6
2.2	Les systèmes répartis	7
2.2.1	Généralités sur les Systèmes Répartis Asynchrones	7
2.2.2	Sûreté de fonctionnement	7
2.3	Les pannes (Fautes)	9
2.3.1	Caractéristiques des fautes	9
2.3.2	Classification des défaillances	10
2.3.3	Quelques défaillances connues	11
2.4	Techniques de tolérance aux fautes	12
2.4.1	Le Comptage	13
2.4.2	Délai de garde (Timeout)	13
2.4.3	Tolérance aux fautes matérielle	13
2.4.4	La réplication	14
2.4.5	Recouvrement et points de reprise	15
2.4.6	Groupes de processus	17
2.4.7	Communication de groupe fiable	18
2.4.8	Diffusion atomique	18
2.4.9	Consensus	18
2.4.10	Les Quorums	19
2.5	Conclusion	19
3	L'environnement Mobile	21
3.1	Introduction	21
3.2	Définition de l'environnement mobile	22
3.2.1	Contraintes de mobilité	22
3.2.2	Avantages des réseaux mobiles	25
3.3	Classes de réseaux mobiles	25

3.3.1	Environnement mobile cellulaire.	26
3.3.2	Environnement mobile ad hoc	27
3.4	Système réparti en environnement mobile	29
3.5	Tolérance aux fautes en environnement mobile	31
3.6	Conclusion	31
4	Détection de Pannes	33
4.1	Introduction	33
4.2	L'origine du problème	34
4.2.1	Le problème du consensus	34
4.2.2	Impossibilité FLP	34
4.3	Les détecteurs de pannes non fiables	35
4.3.1	Les propriétés d'un détecteur de pannes	35
4.3.2	Les classes de détecteur de défaillances	37
4.3.3	Classification des techniques de Détection de Pannes	38
4.4	Travaux antérieurs	40
4.4.1	Algorithme de Chandra et Toueg (1996)	42
4.4.2	Algorithme de Mostéfaoui <i>et al.</i> (2004)	43
4.4.3	Algorithme de Larrea <i>et al.</i> (2005)	44
4.4.4	Algorithme de Bhatti et Conan (2005)	46
4.4.5	Algorithme de Jiménez <i>et al.</i> (2006)	49
4.4.6	Algorithme de Sens <i>et al.</i> (2008)	51
4.4.7	Algorithme de Arantes <i>et al.</i> (2010)	52
4.4.8	Algorithme de Grève <i>et al.</i> (2012)	54
4.4.9	Algorithme de Lafuente <i>et al.</i> (2015)	56
4.5	Conclusion	58
5	Points de Contrôle et Recouvrement	59
5.1	Introduction	59
5.2	Définitions préliminaires	60
5.2.1	Point de contrôle local	60
5.2.2	Point de contrôle global	60
5.2.3	Mémoire stable	61
5.2.4	Effet domino	61
5.2.5	Ramasse miettes	62
5.2.6	Protocole de calcul de points de contrôle	62
5.3	Classification des protocoles de calcul de points de contrôle	63
5.3.1	Classe de protocoles non coordonnés	64
5.3.2	Classe de protocoles coordonnés	65
5.3.3	Classe de protocoles induits communication	66
5.4	Travaux antérieurs	67
5.4.1	Travaux de Acharya et Badrinath (1994)	67
5.4.2	Travaux de Manivanan et Singhal (1996)	69

5.4.3	Travaux de Quaglia <i>et al.</i> (1998)	70
5.4.4	Travaux de Prakesh et Singhal (1996)	71
5.4.5	Travaux de Cao et Singhal (2001)	73
5.4.6	Travaux de Benkaouha (2003)	75
5.4.7	Travaux de Gupta <i>et al.</i> (2006)	77
5.4.8	Travaux de Li et Shu (2006)	78
5.4.9	Travaux de Ono et Higaki (2007)	79
5.4.10	Travaux de Tuli et Kumar (2011)	80
5.4.11	Travaux de Jaggi et singh (2011)	81
5.4.12	Travaux de Singh et Jaggi (2013)	81
5.5	Conclusion	82
6	Un Outil de Tolérance aux Pannes	84
6.1	Introduction	84
6.2	Contexte de travail	85
6.3	Description de l'environnement	86
6.4	Hypothèses	87
6.5	Fonctionnement global de l'outil	88
6.6	Synchronisation des protocoles	90
6.7	Idée de base du protocole de détection de pannes	92
6.8	Idée de base du protocole de calcul de points de contrôle	94
6.9	Conclusion	97
7	Protocoles de Détection de Pannes	98
7.1	Introduction	98
7.2	Environnement et hypothèses	99
7.3	Principes de fonctionnement des protocoles	100
7.4	Protocole FDAN	101
7.4.1	Structures de données	102
7.4.2	Messages	103
7.4.3	Description détaillée du protocole	104
7.5	Protocole AFDAN	107
7.5.1	Structures de données	108
7.5.2	Messages	109
7.5.3	Description détaillée du protocole	110
7.6	Protocole FDRAM	119
7.6.1	Structures de données	120
7.6.2	Les messages	120
7.6.3	Description détaillée du protocole	121
7.7	Discussion	127
7.8	Analyse des Performances	129
7.9	Conclusion	133

8	Protocoles de Checkpointing et Recouvrement	135
8.1	Introduction	135
8.2	Concepts de Base	136
8.2.1	Hypothèses	136
8.2.2	Idée de Base	136
8.3	Description du protocole 2PACA	137
8.3.1	Phase 1 (Quasi-Synchrone)	137
8.3.2	Phase 2 (Coordination)	141
8.4	Discussion	144
8.4.1	Initiatives concurrentes	144
8.4.2	Gestion de la mémoire locale	145
8.4.3	Gestion des contraintes de mobilité	146
8.4.4	Mémoire Stable	149
8.5	Recouvrement	150
8.6	Analyse théorique	151
8.6.1	La Cohérence	151
8.6.2	La terminaison	152
8.6.3	Performances théoriques	153
8.7	Analyse des Performances	153
8.7.1	Première série de simulations	155
8.7.2	Seconde série de simulations	156
8.8	Conclusion	160
9	Conclusions	161
9.1	Bilan	161
9.2	Perspectives	162
9.2.1	Analyse formelle	162
9.2.2	Amélioration du protocole de détection de pannes	164
9.2.3	Amélioration du protocole de checkpointing et recouvrement	164