

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BÉJAÏA  
FACULTÉ DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR  
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE  
ÉCOLE DOCTORALE EN INFORMATIQUE

---



Mémoire de Magistère

en Informatique

Option réseaux et systèmes distribués

**Thème**

# Équilibrage de charge sur une topologie dynamique, mise en oeuvre pour un problème scientifique

Présenté le 29 Novembre 2005 par  
**Abderrahmane Sider**

**Devant le Jury**

Président	Moussa Kerkar	Professeur à l'Université Abderrahmane Mira de Béjaïa Béjaïa, Algérie
Rapporteur	Jaques Mohcine Bahi	Professeur à l'Université de Franche-Comté, Franche-Comté, France
Examineur	Mouloud Koudil	Maître de Conférences à l'Institut National de formation en Informatique (INI), Oued Smar, Alger, Algérie
Examineur	Karima Benatchba	Maître de Conférences à l'Institut National de formation en Informatique (INI), Oued Smar, Alger, Algérie
Invité	Raphaël Couturier	Maître de Conférences à l'Université de Franche-Comté, Franche-Comté, France

©Abderrahmane Sider, 2005

## Résumé

L'équilibrage de charge est l'un des problèmes centraux à résoudre lors du développement d'une application parallèle. Son objectif est d'accélérer l'exécution de l'application en distribuant efficacement le travail sur les processeurs de telle manière à ce qu'ils aient approximativement la même quantité de charge à traiter. Le contexte des applications s'exécutant sur Grid, les réseaux mobiles Ad hoc et Peer-to-Peer pose le problème de la fiabilité des algorithmes d'équilibrage de charge développés jusque-là pour des réseaux statiques, lorsque des coupures de liens de communications surviennent. Ceci peut être virtuel par l'effet de la congestion ou réel par la perte totale du lien de communication. Le nombre de processeurs est supposé constant mais les liens de communications coupés varient au cours de l'exécution. Notre travail a consisté à étudier les différents algorithmes d'équilibrage de charge sur topologies statiques et dynamiques et à comparer leur vitesse de convergence et la qualité de l'équilibre global qu'ils permettent de réaliser avec différents taux de coupures. La seconde contribution de ce travail est un algorithme distribué pour implémenter la stratégie M2LL (*Most To Least Loaded*) utilisée par la méthode d'équilibrage de charge GAE (*Generalized Adaptive Exchange*). M2LL choisit d'équilibrer prioritairement la charge des processeurs présentant le plus grand déséquilibre d'un domaine de voisinage en tenant compte des coupures. GAE est une version adaptée aux topologies dynamiques de GDE (*Generalized Dimension Exchange*), l'une des méthodes les plus efficaces pour l'équilibrage de charge sur topologies statiques. Les résultats montrent que GAE M2LL est bien adaptée aux topologies dynamiques et converge plus rapidement que RFOS. De plus, lorsque l'équilibre local dans tous les domaines de voisinage est atteint, GAE M2LL aboutit à un équilibre global borné par le diamètre de la topologie du réseau d'interconnexion, et reste stable pour une structure donnée indépendamment de la probabilité de coupures, ce qui fait de GAE M2LL un algorithme bien adapté au partage de charge. Finalement, nous avons appliqué l'équilibrage de charge sur une application distribuée pour la résolution d'un système d'équations linéaires. Les résultats montrent que l'équilibrage apporte une accélération certaine à l'application quelque soit le taux de coupures présentes dans le réseau.

**Mots Clés :** équilibrage de charge, réseaux dynamiques, diffusion relaxée, dimension exchange généralisé, dimension exchange adaptatif, M2LL, méthode itérative de Jacobi.

## Abstract

Load Balancing is one of the central issues to be addressed in the development of an efficient parallel application. It aims at speeding up the execution and thus reducing the completion time by efficiently distributing the total computation workload among available processors. This is achieved in a manner that after the load balancing operation, each of the processors have to process approximately the same amount of work. In the emerging areas of grid computing, mobile ad hoc and peer-to-peer networks, this task faces the unpredictable loss of communication links between processors. This can happen virtually because of contention or timeouts associated with communication protocols or physically by the crash of the communication link. This new context has given raise to the question of the reliability of known load balancing algorithms designed primarily for static networks in the presence of broken edges. The main target of this work is to investigate related work, to implement different load balancing algorithms and to compare their behaviour when different rates of broken edges appear in the most popular interconnection networks. Our second contribution is a distributed implementation of the M2LL (*Most To Least Loaded*) policy, which is used by the GAE (*Generalized Adaptive Exchange*) algorithm. M2LL chooses to balance first the most unbalanced processors of every neighborhood. GAE is especially designed for load balancing on dynamic topologies and is an improved version of GDE, the well known load balancing method on static topologies. Results show that GAE M2LL is very efficient even when high rates of edges are broken and upon reaching a local balanced state, GAE M2LL can perform a globally balanced state bounded by the diameter of the considered topology. In addition to be suitable in cases where only load sharing is needed, this quality showed to be noticeably stable even when different rates of broken edges are used. Finally, load balancing is applied to a real distributed application for solving a linear system of equations. It comes out that load balancing speeds up the application whatever the rate of broken edges in the network is.

**Key words :** load balancing, dynamic networks, relaxed diffusion, generalized dimension exchange, generalized adaptive exchange, M2LL, the Jacobi iterative method.

## Dédicaces

*A Mes Parents,*

*A mon collègue et ami Kacem Chahine Que Dieu l'accueille en Son Vaste Paradis,*

*A tous les Hommes épris de Savoir, de Paix et de Justice*

## Remerciements

Un certain nombre de personnes très proches ou très lointaines en termes de distance ou de présence - c'est selon - ont contribué à ce que ce travail voit le jour puis qu'il progresse, j'aimerais leur exprimer ici chacun mes remerciements infinis.

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de thèse, Mr Bahi, professeur à l'université de Franche-Comté pour m'avoir accordé l'honneur et le plaisir de travailler dans un domaine aussi pointu et intéressant que celui de l'équilibrage de charge sur topologies dynamiques. Sans lui, ce travail, n'aurait jamais existé.

Mr Couturier, Professeur à l'Université de Franche-Comté a été pour moi un guide, un fin critique et un encourageur discret. Nos échanges abondants sur maintes questions m'ont permis d'avancer sur l'essentiel et les détails. Ses nombreuses remarques, orientations et Stops! transparaissent le long de cette thèse. Je vous suis très reconnaissant.

Je remercie beaucoup Mmes et Mrs les membres du jury qui ont accepté de me faire l'honneur de juger mon travail.

J'en viens à mes collègues et amis de l'école doctorale en Informatique Résyd. J'aimerais tout d'abords adresser mes sincères remerciements à tous sans exception, d'avoir été là; sans vous tous Résyd n'est qu'un sigle. Ensuite, mes remerciements les plus chaleureux vont à toutes les personnes qui de près ou de loin, à quelque niveau que ce soit de l'échelle de responsabilité, se sont donnés corps et âmes ou apporté ce qu'ils peuvent, notamment les professeurs, pour que notre formation soit une réussite.

Je tiens à remercier tout particulièrement mes amis Abdelaziz Babakhouya, Said Yahiaoui, Said Gharout, Mohammed Abdelghani Bouaissa, Ahcène Bendjoudi, Yacine Belhoul, Kamel Mehaoued et Rosa Bouzbid. Certains d'entre vous se sont simplement intéressés à ce que je faisais, d'autres m'ont permis de comprendre que faire comprendre peut être instructif même à soi-même et toi Aziz tu m'as donné des idées, Merci! Que les autres que je ne cite pas nommément ne m'en tiennent pas rancune, vos amitiés et encouragements sont gravés dans ma mémoire. Les moments de stress, de joie et de détente que nous avons passés ensemble sont ce qui reste des deux années écoulées. Ils sont les témoins récents d'un chemin que nous avons pris ensemble. Que Dieu vous assiste dans vos projets les plus fous et que la réussite soit de votre côté dans la santé et le bonheur.

Je n'oublie pas de remercier tous les membres de la famille, frères, soeur et proches pour leurs encouragements et soutien constants tout au long de ces deux années d'études. Que tous mes ami(e)s trouvent ici l'expression de ma gratitude.

# Table des matières

Table des matières

Liste des algorithmes	iv
Liste des tableaux	v
Liste des figures	x
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
Description du problème et motivations . . . . .	1
Contenu du document . . . . .	4
<b>1 Équilibrage de charge sur topologies statique et dynamique</b>	<b>6</b>
1.1 Critères de performance d'un algorithme d'équilibrage de charge . . . . .	7
1.2 Classification des algorithmes d'équilibrage de charge . . . . .	9
1.2.1 Équilibrage statique vs dynamique de charge . . . . .	9
1.2.2 Équilibrage de charge local vs global . . . . .	10
1.2.3 Équilibrage de charge centralisé vs distribué . . . . .	10
1.2.4 Équilibrage initié par l'émetteur, le récepteur ou symétrique . . . . .	11
1.2.5 Équilibrage de charge synchrone vs asynchrone . . . . .	11
1.3 Algorithmes pour topologies dynamiques . . . . .	12
1.3.1 L'algorithme naturel . . . . .	12
1.3.2 Les algorithmes de type diffusion . . . . .	14
1.3.2.1 La diffusion de premier ordre : FOS . . . . .	14
1.3.2.2 FOS sur réseaux avec topologie dynamique . . . . .	16
1.3.3 La diffusion relaxée RFOS . . . . .	18
1.3.4 Les algorithmes de type Dimension Exchange . . . . .	18

1.3.4.1	DE sur topologies dynamiques . . . . .	21
1.3.4.2	GDE sur topologies dynamiques (GAE) . . . . .	21
1.4	Conclusion . . . . .	22
<b>2</b>	<b>Algorithme distribué pour la stratégie M2LL</b>	<b>24</b>
2.1	Analyse . . . . .	25
2.1.1	Point de vue d'un processeur . . . . .	25
2.1.2	Un problème de choix . . . . .	26
2.1.3	Un problème de points de vue différents . . . . .	27
2.1.4	Un problème de charge à mi-chemin . . . . .	27
2.2	Solution proposée . . . . .	28
2.2.1	Intérêt d'un processeur pour l'équilibrage de charge . . . . .	28
2.2.2	Meilleur intérêt et ensemble de processeurs intéressants . . . . .	28
2.2.3	Processeur le plus intéressant . . . . .	29
2.2.3.1	Cas avec un problème de charge à mi-chemin . . . . .	30
2.2.3.2	Cas sans problème de charge à mi-chemin . . . . .	31
2.2.4	Pair d'un processeur . . . . .	32
2.2.5	Processeur décidé . . . . .	32
2.2.6	Préférence d'un processeur . . . . .	33
2.2.6.1	Un choix simple . . . . .	33
2.2.6.2	Un choix complexe . . . . .	33
2.2.7	Propriétés de M2LL . . . . .	35
2.3	L'algorithme GAE avec la stratégie M2LL . . . . .	37
2.4	Conclusion . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Comparaison de GAE M2LL, GDE et RFOS</b>	<b>39</b>
3.1	Contexte de travail . . . . .	39
3.1.1	Paramètres d'échange et de relaxation . . . . .	40
3.1.2	Simulation des coupures . . . . .	41
3.1.3	Mesures de performance . . . . .	42
3.1.3.1	Convergence . . . . .	42
3.1.3.2	Qualité de l'équilibre . . . . .	43
3.2	Comparaison sur topologies statiques . . . . .	44
3.2.1	Convergence . . . . .	44
3.2.1.1	Nombre d'itérations . . . . .	44

3.2.1.2	Temps d'exécution de la phase de décision . . . . .	45
3.2.1.3	Coût en communication de la phase de migration . . . . .	46
3.2.1.4	Choix d'un algorithme . . . . .	47
3.2.2	Qualité de l'équilibre . . . . .	47
3.3	Comparaison sur topologies dynamiques . . . . .	49
3.3.1	Influence des coupures sur la convergence . . . . .	49
3.3.1.1	Influence des coupures sur le nombre d'itérations . . . . .	49
3.3.1.2	Influence des coupures sur le temps d'exécution de la phase de décision . . . . .	51
3.3.1.3	Influence des coupures sur le coût en communication de la phase de migration . . . . .	52
3.3.2	Influence des coupures sur la qualité de l'équilibre . . . . .	54
3.4	Conclusion . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Application au problème d'un solveur de Jacobi</b>	<b>57</b>
4.1	Description séquentielle de l'application . . . . .	58
4.1.1	La méthode Jacobi . . . . .	58
4.1.2	Critère d'arrêt . . . . .	60
4.2	Description distribuée de la méthode de Jacobi . . . . .	61
4.2.1	Prise en compte des liens coupés . . . . .	63
4.2.2	Détection de convergence et terminaison . . . . .	64
4.3	Équilibrage de charge et l'application . . . . .	65
4.3.1	Notion de charge . . . . .	65
4.3.2	Interaction calculs/équilibrage . . . . .	65
4.4	Tests et résultats . . . . .	66
4.4.1	Vitesse de convergence d'une distribution de charge initiale équilibrée	67
4.4.1.1	Convergence sur topologies statiques . . . . .	67
4.4.1.2	Convergence sur topologies dynamiques . . . . .	68
4.4.2	Vitesse de convergence d'une distribution de charge initiale déséqui- librée . . . . .	72
4.4.2.1	Convergence sur topologies statiques . . . . .	72
4.4.2.2	Convergence sur topologies dynamiques . . . . .	72
4.4.3	Apport de l'équilibrage de charge . . . . .	77
4.4.3.1	Sur une topologie statique . . . . .	79
4.4.3.2	Sur topologies dynamiques . . . . .	81

*TABLE DES MATIÈRES*

iv

4.5 Conclusion . . . . . 84

**Conclusion générale et perspectives 86**