

# Rapport sur le manuscrit de Thèse présenté par

**Adrian Muresan**

**pour l'obtention du Doctorat en Informatique  
de l'Université de Lyon - École Normale Supérieure de Lyon**

Rapporteur : Stéphane GENAUD,  
Maître de conférences habilité à diriger les recherches,  
Université de Strasbourg.

Titre du document évalué :

## ***Scheduling and Deployment of Large-Scale Applications on Cloud Platforms***

Le document présenté par Adrian Muresan décrit les recherches qu'il a menées dans le cadre de sa thèse, sous la direction de Frédéric Desprez, directeur de recherches à l'INRIA, et d'Eddy Caron, Maître de Conférences à l'ENS Lyon, au sein de l'équipe-projet INRIA Avalon.

### **Contexte de l'étude**

Le cadre général du travail est celui de la gestion des ressources de calcul provenant de clouds IaaS. Ce sujet a pris une importance majeure depuis quelques années car il correspond à une mutation économique profonde de la façon de consommer de la puissance de calcul ou de stockage. Deux éléments nouveaux viennent fondamentalement changer la façon dont nous concevons les intergiciels : i) les utilisateurs ou les fournisseurs de ressources peuvent faire varier à tout moment le nombre et le type de ressources utilisées à travers l'allumage ou l'extinction de machines virtuelles, et peuvent ainsi adapter dynamiquement l'infrastructure aux besoins des applications, et ii) les ressources sont facturées à l'usage uniquement.

La thèse couvre un large spectre des problèmes nouveaux qui se posent dans ce contexte. Le travail aborde trois problèmes. Le premier est le dimensionnement automatique de la plateforme en fonction de la charge attendue. Le deuxième problème concerne le modèle de régulation nécessaire pour que l'usage des ressources soit à la fois maximisé et que l'équité d'accès à ces ressources entre utilisateurs soit préservée. Le troisième problème est lié à l'exploitation d'applications de type workflow sur ces plateformes. L'ensemble du travail forme un tout cohérent, bien que chacun des problèmes abordés soit bien distinct.

### **Analyse du document présenté**

Le document, rédigé en anglais, est organisé en trois parties comptant 6 chapitres au total.

La première partie est introductive. Elle comporte une courte introduction et un chapitre *Resource Management in Cloud platforms* dédié à l'état de l'art. Cette revue du domaine, qui est annoncée comme introductive au sujet traité par la thèse, est assez brève au regard du grand nombre de travaux et projets existants dans le domaine des clouds IaaS. C'est cependant un choix judicieux, évitant l'écueil de broser un panorama trop large de manière superficielle. Ce chapitre se concentre sur les travaux relatifs en matière de dimensionnement (*scaling*) et d'équilibrage de charge, utilisés comme base pour le chapitre suivant. Les états de l'art concernant les deux dernières problématiques de la

thèse sont reportés à l'intérieur de chacune de ces parties. L'état de l'art fait dans ce chapitre cite, à juste titre, de nombreuses solutions commerciales, souvent plus matures que leurs équivalents *open-source*. L'exposé que fait Adrian Muresan du paysage actuel montre qu'il maîtrise parfaitement ce que contiennent les technologies (et les concepts qui se cachent derrière) proposées aujourd'hui. Seule la section sur le monitoring référence des projets un peu dépassés et le fait de manière trop superficielle.

La deuxième partie comporte deux chapitres traitant chacun une des grandes problématiques abordées dans la thèse. Ces deux problématiques concernent la gestion des ressources.

**Auto-scaling Cloud Applications** Le premier chapitre de cette partie (chapitre 3) est intitulé *Auto-scaling Cloud Applications*. Il décrit la contribution qu'apporte ce travail au dimensionnement automatique de ressources. On distingue généralement deux types d'approche pour anticiper un changement dans la demande de ressources : l'approche réactive, qui établit des règles selon lesquelles le système doit se comporter pour réagir à un état de sur- ou sous-charge constaté, et l'approche prédictive qui vise à prévoir le changement de charge pour anticiper le sur- ou sous-dimensionnement nécessaire. Ce travail utilise l'approche prédictive. Celle-ci fait l'hypothèse qu'il existe des régularités dans la charge, et l'objectif est de détecter des motifs répétitifs dans des traces d'utilisation. Ce problème a été étudié assez largement dans d'autres contextes et son efficacité diffère beaucoup selon la nature des traces observées. Ici, le travail reprend l'algorithme de Knuth-Morris-Pratt pour résoudre le problème de *string matching* et l'adapte pour tenir compte des spécificités du contexte. Les difficultés dans ce genre d'approche résident beaucoup dans la détermination des paramètres de l'algorithme : la longueur de la séquence prédite, le seuil d'erreur tolérée pour décider s'il s'agit d'une correspondance ou non, etc. La contribution, outre la méthode spécifique proposée, repose donc beaucoup sur l'évaluation de cette solution, en nous montrant dans quelles conditions cette méthode est applicable. Ici, l'évaluation faite est menée de manière rigoureuse et apporte des résultats convaincants sur les cas choisis. Un effort est fait pour tester la généralité des prédictions en procédant à des tests croisés : à partir d'un ensemble de traces réelles provenant de la *Grid Workload Archive*, l'expérience évalue quelle erreur est observée dans la prédiction d'une trace en utilisant l'historique d'une autre trace. Les résultats sont satisfaisants dans l'ensemble et ouvrent la perspective qu'une telle méthode de prédiction, bien réglée, et utilisant des traces adaptées au domaine, peut permettre un dimensionnement automatique satisfaisant de la plateforme.

**Economic based resource management** Dans le deuxième chapitre de cette partie, intitulé *Economic based resource management*, Adrian Muresan s'intéresse à intégrer des ressources cloud IaaS dans une infrastructure de grille. En l'occurrence, l'intergiciel de grille visé est DIET, développé de longue date dans l'équipe. Cette question est tout à fait d'actualité étant donné l'existant important dans le domaine des applications développées pour des grilles. Après avoir rapidement décrit les choix architecturaux pour l'intégration, le problème de fond de l'équité entre utilisateurs de l'accès aux ressources est abordé. Il est proposé de le résoudre à l'aide d'un modèle économique. Cette approche a été étudiée dans le cadre des grilles et la thèse montre bien les différentes alternatives. Adrian Muresan choisit une approche existante (utilisée pour un système de réseaux de capteurs) pour l'adapter à l'intergiciel DIET. La formulation même du problème d'optimisation multi-objectifs et pour de multiples acteurs est difficile et la présentation qui en est faite ici ne la dévoile que progressivement, à travers des sous-objectifs du problème, présentés les uns après les autres. Une discussion du problème général en préambule aurait éclairé le plan de résolution adopté. Néanmoins, l'introduction progressive des choix faits (le provider choisit parmi les allocations celle qui maximise la fonction utilité de l'utilisateur, le client choisit la stratégie de priorité par risque) est très pédagogique. Les arguments sont justifiés au fur à mesure par des expériences menées par simulations qui sont réalisées avec le logiciel GridSim. Dans l'ensemble, le chapitre couvre une problématique très complexe et décrit une étude fouillée de stratégies d'allocation pour un intergiciel existant. Les conclusions sont convaincantes et encouragent à implanter ces mécanismes dans DIET.

**Running workflow-based applications in Cloud environments** La troisième partie est composée d'un seul chapitre, *Running workflow-based applications in Cloud environments*, traitant de l'ordonnancement de workflows sur ces infrastructures cloud IaaS. Si l'ordonnancement des workflows sur la grille a déjà été largement étudié, la nature dynamique du cloud modifie les objectifs. Alors que le *makespan* minimum était quasiment le seul objectif dans les grilles, le budget devient ici un objectif au moins aussi important que le *makespan*. Le problème est formulé ici comme un problème d'ordonnancement sous contrainte (budgétaire). Il s'appuie sur l'algorithme CPA et son extension biCPA, qui est choisi ici pour l'allocation des ressources. Le travail conduit fait des hypothèses qui rendent particulièrement complexe l'ordonnancement : les workflows considérés sont non déterministes (des chemins alternatifs peuvent être pris de manière imprévisible). D'autre part, chaque noeud représentant une tâche de calcul peut être une tâche parallèle exécutée sur plusieurs ressources de calcul. Ces workflows sont donc extrêmement généraux et sont complètement en phase avec les applications réelles. En revanche, il est particulièrement difficile de déterminer la quantité exacte de ressources à réserver. La contribution du travail est une méthode de décomposition automatique d'un workflow en sous-workflows élémentaires sur lesquels on peut raisonner. Adrian Muresan propose une approche probabiliste supposant que le nombre de fois qu'un workflow élémentaire est exécuté suit une loi normale. Le modèle d'allocation doit également tenir compte de la ré-utilisation possible de ressources non utilisées complètement pour le temps loué (et donc gratuites). L'ordonnancement est effectué avec toutes ces estimations, avec comme guide le budget alloué à chaque sous-workflow. Comme dans le chapitre précédent, la méthodologie du travail est rigoureuse : les hypothèses sont formulées, introduites dans le modèle et le résultat est observé à travers des simulations. Dans cette partie, il faut aussi saluer l'application à un code réel, ce qui implique un lourd travail de mise en place. La méthode proposée est une contribution très intéressante dans la mesure où elle a traité de workflows très généraux et qu'elle a fait l'objet d'un prototype qui pourrait certainement rapidement s'intégrer dans un intergiciel réel.

## Conclusion

Ce document de thèse rapporte un travail remarquable sur trois problématiques importantes des clouds IaaS. Si ces problématiques sont toutes trois parties intégrantes des clouds IaaS, elles nécessitent des efforts et des techniques bien distincts. Ceci ne fait qu'augmenter le mérite d'Adrian Muresan d'avoir traité successivement ces trois questions importantes dans ce seul manuscrit.

La rédaction soignée du document et la rigueur avec laquelle est conduit le travail sont pleinement satisfaisantes. L'équilibre entre la théorie et la mise en application sur des cas concrets est également particulièrement satisfaisante. Étant donné le champ très vaste de questions étudiées, il était difficile d'aller plus loin dans l'expérimentation réelle, mais ouvre naturellement des perspectives d'expérimentations (et de comparaison avec les simulations) très intéressantes dans le domaine de l'allocation de ressources régulée par modèle économique et dans celui des workflows.

Au final, cette thèse apporte des contributions importantes sur plusieurs questions majeures des clouds, et démontre une très grande maîtrise du domaine, à la fois scientifique et technologique, de l'auteur. Il faut noter aussi que ce travail a fait l'objet d'un nombre très important de publications internationales (trois articles de revues et quatre conférences internationales). Pour toutes ces raisons, je suis très favorable à la soutenance de cette thèse.

fait à Strasbourg, le 14 novembre 2012.

