

# CHOOSING: Cooperation on Hybrid cOmputing clOuds for energy SavING

Luciana Arantes<sup>1</sup>, Evripidis Bampis<sup>1</sup>, Daniel Batista<sup>2</sup>, Luiz Bittencourt<sup>3</sup>, Emilio Camargo Francesquini<sup>2</sup>, Johanne Cohen<sup>4</sup>, Daniel Cordeiro<sup>2</sup>, Alfredo Goldman<sup>2</sup>, Giorgio Lucarelli<sup>1</sup>, Grégory Mounié<sup>5</sup>, Joanna Tomasik<sup>6</sup>, Denis Trystram<sup>5</sup>, Kelly Rosa Braghetto<sup>2</sup>, Jean-Marc Vincent<sup>5</sup>, and Jean-Francois Mehaut<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Informatique de Paris VI (LIP6 UMR 7606), Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 4, Place Jussieu, 75005 Paris, France

<sup>2</sup>Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, Rua do Matão 1010, 05508-090 São Paulo, SP, Brazil

<sup>3</sup>Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Av. Albert Einstein 1251, CEP 13083-852, Campinas, SP – Brasil

<sup>4</sup>Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI, UMR 8623), Université Paris-Sud 91400 Orsay, France

<sup>5</sup>Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG, UMR 5217), Université de Grenoble-Alpes, 110 av. de la Chimie, BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France

<sup>6</sup>SUPELEC – Computer Science Department, E3S Systems Sciences, Plateau du Moulon, 91192 Gif sur Yvette, France

## Abstract

Le cloud computing est un facteur important pour le développement durable. Si la demande croissante d'utilisateurs entraîne la création d'importants centres de données. Cependant, l'aspect "multi-localisation" du cloud computing permet de réduire la quantité de matériel physique et, par conséquent, d'économiser de l'énergie. Il est donc impératif d'optimiser la consommation d'énergie correspondant aux activités des centres de données.

Il existe trois éléments cruciaux à propos de la consommation d'énergie d'une plateforme cloud: *la compilation, le stockage et l'infrastructure du réseau*. Par conséquent, le but de ce projet est de fournir différentes techniques pour réduire la consommation d'énergie liée à ces trois éléments.

Notre travail porte principalement sur des aspects d'économie d'énergie basés sur la virtualisation, c'est-à-dire dans l'idée d'une importante migration des systèmes classiques de stockage/compilation vers des systèmes virtuels. Nous allons étudier comment différentes organisations (dont les ressources sont combinées en clouds hybrides) peuvent coopérer entre elles pour minimiser la consommation d'énergie sans dégrader les caractéristiques imposées par le client ou la qualité du service. Ensuite, nous proposerons des solutions algorithmiques efficaces et de nouveaux mécanismes de coordination qui inciteront les fournisseurs de clouds à collaborer.

## 1 Description du problème

La communauté scientifique a aujourd'hui la capacité de combiner différentes ressources informatiques (éventuellement géographiquement réparties à travers le globe) en un puissant système distribué capable d'analyser une quantité énorme de données. Aujourd'hui, ces nouvelles plateformes de calculs viennent renforcer certains projets d'e-science, permettant à différents organismes de recherche de faire équipe et

de résoudre des problèmes scientifiques difficiles à grande échelle. Les adeptes de Calcul Haute Performance (HPC) utilisent déjà ces outils, et ce quotidiennement, pour résoudre des problèmes scientifiques. L'ensemble des ressources informatiques (machines parallèles et/ou multicoeur) de toutes les organisations est rendu accessible en tant que service pour tous les utilisateurs.

Les modèles et outils informatiques partageaient déjà leurs ressources, et ont évolué vers ce qu'on appelle maintenant le Cloud Computing. Le NIST<sup>1</sup> [22] définit le Cloud Computing comme étant: "(...) un modèle qui permet un accès réseau pratique et sur demande à un pool partagé de ressources informatiques configurables qui peut être rapidement approvisionné et disponible sans trop d'efforts de gestion ou d'interaction d'opérateurs".

Le Cloud Computing étend cette capacité de combiner des ressources de différentes organisations en rendant possible une commercialisation des fournisseurs informatiques. Une ressource peut être obtenue dynamiquement en tant que "service" et les consommateurs payent seulement le temps de service utilisé. En général, les fournisseurs de cloud offrent leurs services selon trois modèles: infrastructure en tant que service (IaaS), plateforme en tant que service (PaaS), et logiciel en tant que service (SaaS). De plus, les fournisseurs de service et les clients doivent négocier un accord de niveau de service (Service Level Agreement: SLA) qui leur procure une spécification formelle de la qualité de services (QoS) et un accord sur les exigences.

Certaines plateformes cloud, appelées *clouds hybrides*, sont composées d'un ensemble de ressources informatiques d'organisations individuelles (*clouds privés*), d'organisations collaboratives (*communauté de clouds*), et de services publics provenant de fournisseurs commerciaux (*clouds publics*), procurant ainsi un accès facile à une quantité extraordinaire de puissance informatique à bas prix, ce qui permet à n'importe quel chercheur (ou développeur) de mener des travaux anciennement réservés à ceux qui avaient accès aux superordinateurs. En résumé, dans un cloud hybride, les ressources peuvent être allouées à partir soit d'un cloud privé soit d'un cloud public sur une base de prix par utilisation. Cependant, des problèmes tels que de mauvaises performances de réseau, des variations de performances, et la surcharge induite par le système d'exploitation virtuel, crée de nouveaux défis pour l'exécution d'applications de Calcul Haute Performance (HPC) sur ce genre de plateformes [19].

Le problème ci-dessus peut être résolu en pratique lors que les ressources informatiques sont physiquement proches les unes des autres, ce qui mène à la création d'énormes centres de données, composés de milliers de serveurs. Néanmoins, cette solution augmente considérablement le coût lié à l'énergie, alimentant des préoccupations sérieuses de durabilité. En 2012, il a été estimé [18] que les centres de données mondiaux consomment approximativement 30 milliards de watts en électricité, globalement équivalente à la production de 30 centrales nucléaires. Les efforts des fournisseurs commerciaux de Cloud Computing sur la réduction de dépense d'énergie ont une priorité supérieure à celle de l'amélioration de la puissance informatique des centres de données [21]. Dr. Eric Schmidt, ancien CEO de Google, a déclaré [18] que "ce qui importe le plus aux computer designers de Google n'est pas la vitesse, mais la faible puissance, car des centres de données peuvent consommer autant d'électricité qu'une ville."

Le Cloud Computing est un facteur important pour le développement durable. Si, d'un côté, la demande croissante de clients conduit à la création de larges centres de données, d'un autre côté, l'aspect "multi-localisation" du Cloud Computing (actuellement, à travers l'usage de la virtualisation, plusieurs utilisateurs peuvent partager une unique ressource physique) permet la réduction de matériel physique, économisant, ainsi, de l'énergie. Par conséquent, il est impératif d'optimiser la consommation d'énergie au sein des centres de données.

Il existe trois éléments cruciaux à propos de la consommation d'énergie d'une plateforme cloud: *la compilation, le stockage et l'infrastructure du réseau*. Ce projet a pour but d'étudier différentes techniques pour réduire la consommation d'énergie liée à ces trois éléments.

La consommation d'énergie due à la compilation sera analysée en utilisant des techniques pour la *consolidation de serveurs* [17] et *l'échelle dynamique de vitesses* [1]. Le premier point réfère à la capacité de transférer des machines virtuelles entre différentes machines avec pour but de réduire le nombre de machines physiques actives sur une période donnée de temps, alors que le second point réfère à la capacité de choisir la vitesse à laquelle le processeur devrait s'exécuter. L'énergie dépensée est généralement une fonc-

---

<sup>1</sup>American National Institute of Standards and Technology

tion convexe de la vitesse choisie [1], de telle sorte que les organisations coopérantes pourraient gagner à contrôler l'échange de tâches entre elles.

En prenant en compte les dépenses d'énergie du service de stockage, un centre de données personnel ou un réseau de serveurs à haute capacité est loin d'être au maximum de son utilisation. Quand un serveur de stockage est actif, il consomme la même quantité d'énergie indépendamment de la quantité de données qu'il stocke. Les services de stockage par cloud consomment beaucoup moins d'énergie pour traiter la même quantité de données qu'un centre de données traditionnel, car l'utilisation des dispositions "communes" de stockage est plus grande. Pour cette raison, nous sommes convaincus que la transition vers le Cloud Computing ne va cesser de s'accélérer.

Le pourcentage de l'énergie consommée par le stockage dépend grandement de la quantité et la fréquence des accès aux données [3]. Dans des cas extrêmes avec des transferts de données très fréquents, le coût énergétique du champ de routeurs et d'amplificateurs devient important et ne peut être négligé [3]. En fait, l'énergie dépensée par les hubs, les switches et les routeurs des centres de données est estimée à 6 TW · h/ans (seulement aux États-Unis) [23]. Des études récentes ont montré l'impact de la charge du trafic sur la consommation d'énergie [13]. Ces problèmes mènent à des études sur le *network-aware cloud* [2, 27] et le *green networking* [7], ayant pour but l'optimisation des ressources au niveau du réseau.

Dans ce projet, nous proposons une analyse de l'aspect économie d'énergie concernant les services virtualisés en exploitant la migration des systèmes classiques de stockage/compilation aux systèmes virtuels. Au regard de tous les problèmes énoncés dans cette section, nous verrons comment plusieurs organisations, dont les ressources sont combinées pour former un cloud hybride [10], peuvent coopérer entre elles dans le but de minimiser la consommation d'énergie. Nous relèverons ce défi au moyen de modèles mathématiques adaptés, dans l'espoir de trouver des solutions algorithmiques efficaces pour minimiser la consommation d'énergie sur les plateformes de Cloud Computing, tout en respectant les SLA des clients.

## 2 Etat de l'Art

**A notre connaissance, l'aspect économie d'énergie de la virtualisation de service dans les Clouds n'a pas été abordé comme nous le faisons dans ce projet, malgré les nombreuses contributions obtenues par des scientifiques dans ce domaine.** L'objectif commun est de consolider la connaissance dans ce domaine. Dans des études récentes, certains auteurs [4–6] montrent des travaux qui modélisent des problèmes d'ordonnancement au sein d'un centre de données unique utilisant des modèles complexes d'économie d'énergie. La complexité de ces modèles vient du fait qu'ils prennent en compte différentes parties du site considéré [20] telles que des systèmes de disques, la mémoire, le coeur CPU, les systèmes de refroidissement [24] etc. . . A ce niveau de détails, les paramètres techniques des équipements sont inclus dans le modèle de consommation d'énergie. Certains travaux traitent le problème d'économie de l'énergie pour des architectures dédiées aux grilles informatiques [16]. De manière générale, les solutions proposées dans ce domaine sont basées sur l'adaptation d'algorithmes d'ordonnancement existant qui prennent en compte la contrainte d'énergie. J. Chase et al. in [14] propose le système d'exploitation MUSE qui bénéficie d'une ressource redirigeant le trafic entrant vers des serveurs éligibles en prenant en compte l'énergie.

**Un autre problème réside dans le fait que les propositions existantes sont habituellement testées en utilisant des traces de grille d'applications ou des accès à des serveurs web [15], au lieu d'être testées avec des applications exécutées dans des clouds [28].** Un travail récent [29] utilise des traces du groupe Google. De plus, la majorité des propositions existantes ignorent la tendance croissante en consommation d'énergie des réseaux [11].

## 3 Notre approche

### 3.1 Contexte

Contrairement à l'approche commune décrite ci-dessus, notre but est d'étudier la consommation de tous les centres de données et serveurs connectés à un réseau donné. **Nous proposerons des algorithmes de**

### répartition des tâches des utilisateurs qui

1. prend en compte l'accessibilité des ressources du réseau et des dispositions des services
2. respecte les SLA des utilisateurs
3. minimisent leur consommation globale d'énergie.

Nous voulons élaborer des algorithmes de répartition de charge conditionnée par la consommation d'énergie du système global et des exigences de l'utilisateur.

Le projet sera divisé en cinq tâches. L'image 1 montre la décomposition de ces tâches et leur durée sachant que le projet durera trois ans. Le résumé de chaque tâche est présenté ci-dessous :

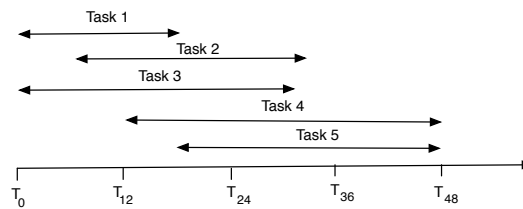


Figure 1: Décomposition globale des tâches.

- Tâche 1: **Allocation liée aux données et aux transferts, dans un cloud privé.**: porte sur l'ordonnancement lié au coût et à la consommation d'énergie pour des clouds hybrides. En résumé, nous développerons des algorithmes d'approximation pour réduire la consommation d'énergie dans les clouds privés.
- Tâche 2: **Migration directe des machines virtuelles**: chargé de comprendre l'impact de la migration de machines virtuelles sur l'ordonnancement. Ensuite, nous proposerons des algorithmes qui décideront quelles machines doivent être migrées et quand. Une telle tâche devrait également prendre en compte les pics de demandes.
- Tâche 3: **Réseau cloud écologique.**: formule un problème d'optimisation et quelques heuristiques avec pour objectif de minimiser la consommation d'énergie des éléments du réseau qui lient les différents clouds.
- Tâche 4: **Économie d'énergie dans les clouds hybrides**: le but de cette tâche est d'étudier comment coordonner plusieurs ressources dans des clouds hybrides composés de plusieurs clouds connectés par un réseau. Le problème serait résolu en utilisant plusieurs techniques telles que la technique de multi-optimisation et la théorie des jeux.

## 3.2 Methodologie

Nous supposons que les problèmes abordés par les différentes tâches sont NP-Difficile. Dans un premier temps, nous aimerions faire une analyse théorique sur la complexité des problèmes, pour estimer la qualité des solutions que nous pouvons fournir. Nous pensons qu'il n'y a pas d'approximation pour ces problèmes. Il n'est pas exclu que même pour des instances de petite taille, certains problèmes restent très difficiles à résoudre. D'un autre côté, ces analyses théoriques nous permettront de mieux comprendre comment concevoir des algorithmes efficaces basés sur des heuristiques. Dans ce cas, comme **les solutions proposées seront basées sur des heuristiques, leur performances seront à évaluer. En gardant à l'esprit la taille et la difficulté du problème, nous devons trouver un algorithme s'exécutant en un temps acceptable au détriment de la précision de la solution. C'est pourquoi une procédure intense de validation doit être menée au moyen de simulation d'événements discrets, et d'expérimentations faites sur des plateformes d'émulation de Cloud Computing comme OpenStack (<http://openstack.org>) ou Eucalyptus (<http://www.eucalyptus.com>). Les données d'entrée seront obtenues à partir de scénarios**

qui représentent différents comportements d'utilisateurs. Grâce à ce large ensemble d'instances d'entrées, nous devrions être en mesure d'arriver à des conclusions concernant l'allocation des ressources de stockage/compilation qui respecte les SLA des utilisateurs et qui est la plus efficace au niveau de la consommation énergétique.

**Nos solutions algorithmiques permettrons aux fournisseurs de services virtuels de réduire leurs OPEX et, d'un point de vue plus global, de réduire l'impact écologique de l'industrie informatique.**

Vous devez également savoir que, dans ce projet, nous nous intéressons également au problème de minimisation de consommation d'énergie des serveurs et des routeurs en prenant en compte toutes les exigences de qualité comprises dans les SLA des utilisateurs.

## 4 Conduite du projet

Comme toutes les tâches du projet impliquent les compétences et expertises des membres des équipes française et brésilienne, ces deux équipes participeront à toutes les tâches présentées dans les sections suivantes.

### 4.1 Tâche 1: Allocation liée aux données et aux transferts, dans un cloud privé

**Participants: Daniel M. Batista, Luiz F. Bittencourt, Johanne Cohen, Daniel Cordeiro, Grégory Mounié, Joanna Tomasik**

On suppose qu'à partir du modèle de consommation d'énergie d'un cloud privé, l'utilisateur peut estimer ses dépenses d'énergie. De plus, l'estimation de la quantité d'énergie consommée par une tâche ou un ensemble de tâches peut avoir un impact sur la décision d'exporter ou non cette tâche ou cet ensemble de tâche vers un cloud public. En analysant les demandes du cloud privé et en les associant à un modèle énergétique, nous avons l'intention de développer un ordonnancement lié au coût et à l'énergie pour les clouds hybrides.

Par exemple, les données à stocker peuvent être distribuées dans plusieurs centres de données. Le but est de remplir complètement la capacité disponible de stockage en prenant en compte l'état actuel énergétique (ON, OFF, STAND-BY) de chaque serveur. Nous formulons un problème de minimisation correspondant en terme de graphes. Un graphe représente les contraintes des SLAs des utilisateurs. Les utilisateurs qui ont des exigences de QoS similaires peuvent être regroupés en classes. Nous devons prendre particulièrement en compte les exigences temporelles exprimées dans les SLAs. Nous sommes convaincus que le problème de minimisation sous-jacent est NP-Difficile. Nous pensons cependant que, pour certaines instances, nous pouvons essayer de trouver une solution optimale pas l'analyse des paramètres de complexité.

### 4.2 Tâche 2: Migration directe des machines virtuelles

**Participants: Luciana Arantes, Evripidis Bampis, Daniel M. Batista, Luiz F. Bittencourt, Johanne Cohen, Daniel Cordeiro, Pierre-François Dutot, Alfredo Goldman, Giorgio Lucarelli, Joanna Tomasik, Denis Trystram**

La décision d'envoyer des tâches dans des clouds publics doit être prise avec soins pour ne pas avoir de ressources des clouds privés sous-utilisées, ce qui conduirait à une perte d'énergie. Actuellement, les ordonnanceurs recherchent un compromis entre coût et performance lorsqu'ordonnant une tâche (ou un ensemble de tâches) dans les clouds privés ou publiques. Cependant, ces algorithmes ne prennent pas explicitement en compte l'utilisation de ressources dans le cloud privé, mais se concentrent plutôt sur les paramètres de QoS des tâches tels que les deadlines [8]. Par conséquent, l'ensemble des ressources locales peut être sous-utilisé pendant des périodes de temps pendant lesquelles les exécutions des tâches sont prises en charge dans les clouds publiques, entraînant une perte d'énergie ainsi qu'une double dépense pour l'utilisateur du cloud (coût d'exécution du cloud privé avec sous-utilisation plus coût de location de ressources du cloud public).

En utilisant les techniques de migration directe des machines virtuelles [12], en principe, l'ensemble des serveurs physiques en position ON requit pourrait être réduit dynamiquement à un ensemble minimum,

économisant ainsi de l'énergie, car les temps morts des machines physiques, qui ont autorisé la migration de leurs machines virtuelles, peuvent être mises en mode STAND-BY. Cependant, la migration des machines virtuelles et le transfert de données induisent une consommation d'énergie supplémentaire. D'où le fait que la décision de migrer une machine virtuelle, visant la réduction de consommation d'énergie, soit un compromis entre le SLA de l'utilisateur, le coût de la migration elle-même et la charge de la machine physique qui contient la machine virtuelle en question, et de la machine physique destinataire candidate.

Une des motivations pour exporter des tâches vers des clouds publics est d'étendre la capacité informatique pour être capable de faire face aux pics de demandes. Une fois qu'un pic est atteint et que le cloud privé a été étendu par les ressources du cloud public, l'étape suivante consiste à détecter à quel point les tâches peuvent être ramenées en toute sécurité au cloud privé. Ces deux étapes impliquent des déplacements performants entre les ressources des clouds privés et publics, ainsi que la détermination des coûts d'exécution du cloud privé. Ce problème peut être abordé en développant des algorithmes d'ordonnancement dynamique qui incorporent ce comportement de changement de la charge du cloud privé pour décider quand migrer les tâches vers les clouds publiques et quand les ramener vers leur cloud privé. Pour être efficace, un tel ordonnanceur dynamique a besoin en entrée d'informations sur les demandes de tâches, les performances des ressources, et sur la consommation d'énergie des composants du cloud privé.

**L'équipe de l'USP a récemment obtenu des résultats à l'aide d'un algorithme d'ordonnancement/migration préliminaire basé sur le problème du sac à dos. L'algorithme dans sa version initiale a déjà réduit le nombre de serveurs en position ON de 6% (1629 serveurs, soit approximativement une économie de 73KWatts). De plus, les serveurs qui étaient maintenus en mode ON étaient utilisés au maximum de leur capacité, avec une efficacité maximale de l'énergie.**

### 4.3 Tâche 3: Réseau cloud écologique

**Attendees: Daniel M. Batista, Luiz F. Bittencourt, Johanne Cohen, Grégory Mounié, Joanna Tomasik**

Comme nous sommes tous intéressés par la consommation d'énergie liée aux réseaux, il est important de considérer l'énergie consommée par les composants des réseaux. Les routeurs jouent un rôle important lorsque les données des serveurs se propagent à travers le réseau. Chaque routeur peut être vu, en terme de consommation d'énergie, comme un équipement en 3 parties : il a un ou plusieurs coeurs, un châssis et un ou plusieurs ports. Quand une donnée circule à travers un port, ce dernier entraîne une consommation d'énergie. Pour cela, la réduction du nombre de ports actifs induit un gain au niveau de la consommation d'énergie. Si, pendant la durée de vie des applications cloud, deux ports d'un routeur sont actifs, la consommation d'énergie est supérieure que si seulement un des ports est actif. Dans le cas où les SLAs sont respectés avec seulement un port actif, cette configuration devrait être privilégiée [25]. D'un autre côté, s'il y a un petit nombre de ports actifs, le trafic doit circuler à travers peu de routes, ce qui peut entraîner un embouteillage ou des pertes de paquets. Le défi est alors de savoir comment trouver un compromis entre consommation d'énergie et respect des exigences du réseau des machines virtuelles/applications qui ont un impact sur les SLAs des clients.

Un autre aspect qui doit être pris en compte est la consommation des cartes réseau des serveurs. La plupart de ces cartes a une grande capacité de transfert et quand elles opèrent au maximum de cette capacité, la consommation d'énergie ne peut être négligée.

Un paramètre de QoS qui peut être offert au clients du cloud est la bande passante entre les instances de VM du cloud [9]. Un moyen de fournir une telle bande passante, est d'allouer des chemins de réseau virtuels parmi les machines physiques où les instances des utilisateurs s'exécutent. Dans un scénario de multiples requêtes d'allocations dynamiques et cumulatives, la manière dont ces chemins sont alloués peut influencer la consommation d'énergie dans le réseau si ses composants peuvent être éteints complètement ou partiellement. D'un autre côté, chercher seulement à économiser de l'énergie peut empêcher plus d'allocations d'être exécutées, augmentant le nombre de requêtes sans surveillance. En résumé, l'allocation de réseaux virtuels liée à l'énergie est importante pour réduire la consommation d'énergie, tout en étant capable de répondre au plus de requêtes possible. Nous devrions également noter que les algorithmes développés pour allouer des réseaux virtuels dans ce scénario doit s'exécuter rapidement pour adapter la topologie des réseaux virtuels selon les requêtes entrantes des VMs.

Nous allons formuler un problème d'optimisation et des heuristiques qui prendront en considération tous les problèmes ci-dessus, avec pour objectif de minimiser la consommation d'énergie des éléments du réseau qui lient différents clouds. Dans les propositions, nous considérerons également la distance entre les routeurs, car de plus grandes distances nécessitent un grand nombre d'amplificateurs, et par conséquent, plus d'énergie. Les détails de l'application, comme le nombre de tâches et de temps nécessaire pour les exécuter, seront également pris en considération.

**L'équipe de l'USP a récemment implémenté, en utilisant la librairie glpk<sup>2</sup>, une première version d'un programme linéaire qui a pour but de minimiser la consommation d'énergie dans un environnement cloud en prenant en compte seulement les cartes réseau des serveurs (les routeurs ont été laissés de côté dans cette version). Comme prévu, le temps et la mémoire nécessaires pour trouver la solution augmentent de manière exponentielle avec le nombre de machines (un scénario avec 10 machines a consommé toute la mémoire d'un ordinateur possédant 16GB de RAM). Les techniques de relaxation seront utilisées pour réduire la complexité de la solution.**

#### 4.4 Tâche 4: Économie d'énergie dans les clouds hybrides

**Attendees: Daniel M. Batista, Luciana Arantes, Evripidis Bampis, Luiz F. Bittencourt, Johanne Cohen, Daniel Cordeiro, Pierre-François Dutot, Giorgio Lucarelli, Denis Trystram**

In this task, it is assumed that the private clouds have an estimation on how much energy a cloud task (or a set of cloud tasks) will consume if run in on-premise computing facilities (see Task 1). This knowledge impacts in the scheduling decision to outsource or not that virtual machines to a public cloud (this will be based on results given by Task 2). According to migration decision, some algorithms (outcome of Task 3) are designed to build the communication group with the objective of minimizing the energy consumption of the network components.

The aim of this task is to study how to coordinate various resources in hybrid clouds composed of several clouds managed locally and connected by a network. The problem corresponds to compute efficient solution for several objectives simultaneously. Usually, most of the related results consider the multi-objective optimization problem as a single objective optimization one. In our context, it is not pertinent to use these techniques (since energy and SLA's constraints are conflicting objectives). In multiobjective optimization, a tool to capture the trade-off between conflicting objectives is the notion of Pareto set. A Pareto set represents the set of feasible solutions such that there is no better solution that improve one objective without degrading other objective. A possible work is to design algorithm to compute some elements in this Pareto set.

However, in practice each particular cloud is mostly interested in the performance obtained for its own jobs rather than any global performance that the community can achieve as a whole. The aim is to study the dichotomy between the local and global objectives of the hybrid clouds. On the one hand, it is crucial to determine schedules that optimize the allocation of the jobs for the whole platform in order to achieve good system performances. On the other hand, it is important to guarantee the performance perceived by each cloud in order to provide incentive for all clouds to collaborate.

Moreover, we will also focus on cooperation in order to reduce the energy cost. We propose to exploit the recent advances of algorithmic game theory in order to investigate whether it is possible to design mechanisms that are able to enforce cooperation among the private clouds. In terms of the game theory we can express two divergent goals realized at each storage/computing server. On the one hand it has to fulfill locally the SLAs of the users' tasks, and on the other hand, the entire energy consumption has to be minimal at the same time. The game theory helps us to express a trade-off between local and global costs.

In addition, It is assumed that the private clouds have no incentive to try to manipulate the public cloud in order to optimize some individual criteria (for instance the own energy consumption, the completion times of their own jobs). Such manipulations can occur if some private cloud take advantage by declaring some wrong needs. Thus a complementary direction concerns the study of the impact of to behave honestly and/or try to make the best possible estimation of their true needs.

---

<sup>2</sup><https://www.gnu.org/software/glpk/>

## 4.5 Task 5: performance of HPC architectures on a cloud environment

Until the last decade, the performance of HPC architectures has been quantified almost exclusively by their processing power, which is usually measured by the number of floating-point operations per second (or Flops). Nowadays, in some contexts, energy efficiency (Flops/Watt) is as important as processing power and has become a critical aspect to the development of scalable systems. Taking these aspects in mind, the official DARPA/IPTO report [33] emphasized that the acceptable power budget to reach the exascale would be 20MW, which means that an HPC architecture should perform 50 GFlops/W. Yet, the number one ranked machine in the last (November/2013) Green500<sup>3</sup> list (TSUBAME-KFC) has an efficiency of 4.5 GFlops/W, at least ten times less efficient than DARPA/IPTO's recommendation.

For a long time high performance computing (HPC) was restricted to the use of specialized and custom built machines. In the last years, however, the use of cloud resources for high-performance computing has become much more common. From a cloud provider's standpoint it is desirable to provide the best performance for HPC applications but, at the same time, save the most energy possible since energy consumption accounts for an important share of the total operational costs. For this reason the scientific community has been seeking alternatives to lower current power consumption [32, 34]. Recently, a new class of highly-parallel processors called *light-weight manycore processors* was unveiled. Tiler Tile-Gx [35] and Kalray MPPA-256 [31] are examples of such processors, providing high levels of parallelism with hundreds or even thousands of cores. Differently from Graphics Processing Units (GPUs), they feature autonomous cores that can be used to accomplish both data and task parallelism.

Although manycore processors may present better energy efficiency than state-of-the-art general-purpose multicore processors [30], they can also make the development of efficient scientific parallel applications a challenging task due to their architectural idiosyncrasies. Some of these processors are built and optimized for certain classes of embedded applications like signal processing, video decoding and routing. Additionally, processors such as MPPA-256 have important memory constraints, limited amount of directly addressable memory (2 MB) and absence of cache coherence protocols. Furthermore, efficient execution on these processors requires data transfers in conformance to the Network-on-Chip (NoC) topology to mitigate the, otherwise high, communication costs.

We intend to investigate not only the performance of these new processor architectures on a cloud environment, but also how a cloud-based solution for the utilization of these newest processors can be utilized. Problems to be investigated include, but are not limited to, the virtualization of these many-core processors, migration of processes and virtual-machines between virtualization nodes, resource scheduling and load-balancing.

## 5 Planning

Les deux centres sont fortement motivés et impliqué par ce domaine de recherche et nous voulons avoir une forte coopération entre les deux pays. Nous impliquerons des jeunes chercheurs directement sur le projet (deux postdoctorants du coté brésilien et un doctorant et un postdoctorant pour du coté français).

Nous envisageons d'effectuer deux visites de trois semaines par année pour chacune des équipes.

- 2015 : 2 visites en France de chercheurs du Brésil ; 2 visites au Brésil de chercheurs de France.
- 2016 : 2 visites en France de chercheurs du Brésil ; 2 visites au Brésil de chercheurs de France.
- 2017-2018 : nous envisageons de continuer la coopération en augmentant probablement le nombre de personnes impliquées. Il est cependant trop tôt pour fournir un programme détaillé. Ce programme pourra être fourni après 2 ans lors de la demande de renouvellement du projet.

---

<sup>3</sup>The Green500 (<http://www.green500.org>) provides a ranking of the most energy-efficient supercomputers in the world.



## 6 Antécédents de coopération entre le consorsium

Jusqu'à présent, les deux centres n'ont pas eu de coopérations directes, cependant les participants de ce projet ont déjà participé à des projets similaires. Les participants d'USP ont eu de forts liens avec plusieurs équipes françaises de recherche comme on peut le voir dans la liste ci-dessous.

- **CNPq-CNRS - Coordinators: Nelson Maculan and Denis Trystram;** (fin en 2000)
- **USP-Cofecub - Coordinators: Alfredo Goldman and Denis Trystram;** (2003-2004)
- **FAPESP-Inria - Coordinators: Alfredo Goldman and Afonso Ferreira;** (2004-2006)
- **CAPES-Cofecub - Coordinators: Alfredo Goldman and Denis Trystram;** (2009-2013)
- **CNPq-CNRS - Coordinators: Raimundo Macêdo and Achour Mostefaoui.**

De plus, Luciana Arantes a eu des collaborations avec plusieurs équipes brésiliennes :

- **CNPq-INRIA - Coordinators: Raimundo Macêdo and Achour Mostefaoui** (2010-2012).
- **CNRS/FAPESP - SAMPA: Scalability analysis of MapReduce Applications,** avec UFSCR, Sao Carlos, et USP (Polytechnic School), Sao Paulo, Brésil. (Coordinateurs: Luciana Arantes et Hermes Senger)
- **INRIA/FABESP - ONDINA: Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Répartis Dynamiques pour des Réseaux Ad-Hoc et Grilles de Calcul,** avec UFBA, Bahia, Brésil. Coordinateurs: Pierre Sens et Fabiola Greve.

Jean-François Méhaut a encadré la thèse d'Emilio Francesquini avec Alfredo Goldman.

Alfredo Goldman a obtenu son doctorat à l'INPG de Grenoble en 1999 et il encadre deux doctorants en cotutelle avec l'INPG de Grenoble : Emilio Francesquini (co-encadrement avec Jean-François Méhaut) et Vinicius Gama Pinheiro (co-encadrement avec Denis Trystram). D'ailleurs, il encadre aussi deux FAPESP chercheurs postdoctoraux (incluant Daniel de Angelis Cordeiro, participant de ce projet).

Les différents participants ont tous déjà collaboré et ont des vingtaines publications communes (J. Parallel Distrib. Comput. (JPDC), Theor. Comput. Sci. (TCS), IPDPS, Euro-par, Concurrency and Computation: Practice and Experience).

## Bibliography

- [1] S. Albers and A. Antoniadis. Race to idle: new algorithms for speed scaling with a sleep state. In *Proceedings of the ACM-SIAM SODA*, pages 1266–1285. SIAM, 2012.
- [2] M. Alicherry and T. V. Lakshman. Network aware resource allocation in distributed clouds. In *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, pages 963–971. IEEE, 2012.
- [3] J. Baliga, R. W. A. Ayre, K. Hinton, and R. S. Tucker. Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and Transport. *Proceedings of the IEEE*, 99(1):149–167, 2011.
- [4] A. Beloglazov, J. H. Abawajy, and R. Buyya. Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing. *Future Generation Comp. Syst.*, 28(5):755–768, 2012.
- [5] A. Beloglazov, R. Buyya, Y. C. Lee, and A. Zomaya. A Taxonomy and Survey of Energy-Efficient Data Centers and Cloud Computing Systems. *Advances in Computers*, 82:47–111, 2011.
- [6] A. Berl, E. Gelenbe, M. di Girolamo, G. Giuliani, H. de Meer, M. Q. Dang, and K. Pentikousis. Energy-Efficient Cloud Computing. *The Computer Journal*, 2009.
- [7] A. Bianzino, C. Chaudet, D. Rossi, and J. Rougier. A Survey of Green Networking Research. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 14(1):3–20, 2012.

- [8] L. F. Bittencourt and E. R. M. Madeira. HCOC: a cost optimization algorithm for workflow scheduling in hybrid clouds. *Journal of Internet Services and Applications*, 2(3):207–227, 2011.
- [9] L. F. Bittencourt, E. R. M. Madeira, and N. L. S. da Fonseca. Impact of communication uncertainties on workflow scheduling in hybrid clouds. In *IEEE GLOBECOM*, 2012.
- [10] L. F. Bittencourt, E. R. M. Madeira, and N. L. S. da Fonseca. Scheduling in hybrid clouds. *IEEE Communications Magazine*, 50(9):42–47, 2012.
- [11] R. Bolla, R. Bruschi, F. Davoli, and F. Cucchietti. Energy efficiency in the future internet: A survey of existing approaches and trends in energy-aware fixed network infrastructures. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 13(2):223–244, 2011.
- [12] C. C., F. K., H. S., H. J.G., J. E., L. C., P. I., and W. A. Live migration of virtual machines. In *Proceedings of the 2nd Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI)*, 2005.
- [13] J. Chabarek, J. Sommers, P. Barford, C. Estan, D. Tsiang, and S. J. Wright. Power awareness in network design and routing. In *INFOCOM*, pages 457–465. IEEE, 2008.
- [14] J. Chase, D. Anderson, P. Thakar, A. Vahdat, and R. Doyle. Managing Energy and Server Resources in Hosting Centres. In *Proc. ACM Symp. Operating System Principles*, pages 103–116., 2001.
- [15] Y. Chen, A. Das, W. Qin, A. Sivasubramaniam, Q. Wang, and N. Gautam. Managing server energy and operational costs in hosting centers. *SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.*, 33(1):303–314, 2005.
- [16] L. Cong, Q. Xiao, S. Kulkarni, W. Chengjun, L. Shuang, A. Manzanares, and S. Baskiyar. Distributed Energy-Efficient Scheduling for Data-Intensive Applications with Deadline Constraints on Data Grids. In *Proc. of IEEE IPCCC*, pages 26–33, 2008.
- [17] T. C. Ferreto, M. a.S. Netto, R. N. Calheiros, and C. a.F. De Rose. Server consolidation with migration control for virtualized data centers. *Future Generation Computer Systems*, 27(8):1027–1034, 2011.
- [18] J. Glanz. Power, pollution and the internet. *The New York Times*, 23:A1, 2012.
- [19] A. Gupta and D. Milojicic. Evaluation of HPC applications on cloud. Technical Report HPL-2011-132, HP Laboratories, 2011.
- [20] J. Koomey. Estimating Total Power Consumption by Servers in the US and the World. *Analytics Press*, 2007.
- [21] J. Markoff and S. Lohr. Intel’s huge bet turns iffy. *The New York Times*, 2002.
- [22] P. Mell and T. Grance. Draft NIST Working Definition of Cloud Computing. 14, 2009.
- [23] B. Nordman and K. Christensen. Reducing the energy consumption of networked devices. In [www.csee.usf.edu/~christen/energy/lbnl\\_talk.pdf](http://www.csee.usf.edu/~christen/energy/lbnl_talk.pdf), 2005.
- [24] P. Ranganathan, P. Leech, D. Irwin, and J. Chase. Ensemble-Level Power Management for Dense Blade Servers. In *Proc. of ISCA*, pages 66–77, 2006.
- [25] E. Rodriguez, G. P. Alkmim, D. M. Batista, and N. L. S. da Fonseca. Trade-off Between Bandwidth and Energy Consumption Minimization in Virtual Network Mapping. *IEEE Latin America Transactions*, 11(3):983–988, 2013.
- [26] S. Srikantaiah, A. Kansal, and F. Zhao. Energy Aware Consolidation for Cloud Computing. 2008.
- [27] M. Steiner, B. G. Gaglianella, V. K. Gurbani, V. Hilt, W. D. Roome, M. Scharf, and T. Voith. Network-aware service placement in a distributed cloud environment. In *ACM SIGCOMM 2012 Conference*, pages 73–74, 2012.

- [28] Truong Vinh Truong Duy and Y. Sato and Y. Inoguchi. Performance Evaluation of a Green Scheduling Algorithm for Energy Savings in Cloud Computing. In *Proceedings of the IEEE IPDPS*, pages 1–8, 2010.
- [29] Q. Zhang, M. F. Zhani, R. Boutaba, and J. Hellerstein. Harmony: Dynamic heterogeneity-aware resource provisioning in the cloud. In *Proceedings of ICDCS*, 2013.
- [30] Pascal Aubry, Pierre-Edouard Beaucamps, and F. Blanc *et. al.* Extended Cyclostatic Dataflow Program Compilation and Execution for an Integrated Manycore Processor. In *International Conference on Computational Science (ICCS)*, volume 18, pages 1624–1633, Barcelona, Spain, 2013. Elsevier.
- [31] Benoît Dupont de Dinechin, Pierre Guironnet de Massasa, and G. Lagera *et. al.* A Distributed Runtime Environment for the Kalray MPPA-256 Integrated Manycore Processor. In *Intl. Conference on Computational Science (ICCS)*, volume 18, pages 1654–1663, Barcelona, Spain, 2013. Elsevier.
- [32] Dominik Göddeke and Dimitri Komatitsch *et al.* Energy Efficiency vs. Performance of the Numerical Solution of PDEs: An Application Study on a Low-power ARM-based Cluster. *J. Comput. Physics*, 237:132–150, 2013.
- [33] Kogge, Peter *et. al.* ExaScale Computing Study: Technology Challenges in Achieving Exascale Systems. Technical report, Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Notre Dame, USA, 2008.
- [34] N. Rajovic *et. al.* The Low-Power Architecture Approach Towards Exascale Computing. In *Workshop on Scalable Algorithms for Large-Scale Systems (ScalA)*, pages 1–2, New York, USA, 2011. ACM.
- [35] Tiler Co. TILE-Gx Processor. <http://www.tilera.com>. Accessed: January 2014.