RenPar'18 / SympA'2008 / CFSE'6
Fribourg, 11 au 13 février 2008

Étude de performance des systèmes de découverte de ressources

Heithem Abbes[1,2] Christophe Cérin[2] Jean-Christophe Dubacq[2] Mohamed Jemni[1]
[1]École supérieure des sciences et techniques de Tunis, Unité de recherche UTIC
5, Av. Taha Hussein, B.P. 56, Bab Mnara, Tunis, Tunisia
Tel : (+216) 71 496 066 Fax : (+216) 71 391 166
heithem.abbes@esstt.rnu.tn mohamed.jemni@fst.rnu.tn

[2]LIPN, UMR 7030, CNRS, Université Paris-Nord
99, avenue Jean-Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse, France
Tel : +33-(0)1.49.40.35.78 Fax : +33-(0)1.48.26.07.12
{christophe.cerin,jean-christophe.dubacq}@lipn.univ-paris13.fr

---

Résumé
Les grilles de PC (Desktop Grid) sont une technologie qui consiste à exploiter des ressources géographiquement dispersées, pour traiter des applications complexes demandant une grande puissance de calcul et une capacité de stockage importante. Cependant, comme le nombre de ressources augmente, les besoins de changement d'échelle, d'auto-organisation, de reconfiguration dynamique, de décentralisation et de performance deviennent de plus en plus indispensables. Comme ces propriétés sont présentes dans les systèmes P2P (pair-à-pair), la convergence des grilles et des systèmes P2P semble naturelle. Dans ce contexte, l'article évalue l'adaptation au changement d'échelle et la performance des outils P2P pour la publication/découverte de services. Trois bibliothèques sont évaluées à cet effet : Bonjour, Avahi et Pastry. Nous étudions leur comportement vis à vis des critères qui sont le temps écoulé pour l'enregistrement des services et le temps nécessaire pour en découvrir de nouveaux. Notre objectif est d'analyser ces résultats afin de choisir le meilleur protocole que nous pourrons utiliser à terme afin de créer un intergiciel décentralisé pour les Desktop Grid.

Mots-clés : Desktop Grid, Évaluation de performance, Découverte de services, ZeroConf, Pastry.

---

1. Introduction

Les grilles de calcul répondent aux différents besoins de calcul avec un coût économique. Une variante est la grille de PC (Desktop Grid) où les nœuds sont simplement constitués de PC de bureau. Cette variante constitue notre cadre de travail. La majorité des intergiciels pour les grilles de PC actuels sont centralisés. Dans ce contexte, notre travail consiste à concevoir un intergiciel de Desktop Grid de calcul décentralisé et basé sur les systèmes P2P. Pour réaliser cela, nous voudrions profiter des systèmes P2P décentralisés existants. Dans ce travail, nous supposons que nous disposons d'un intergiciel de haut niveau capable à virtualiser le réseau (nous n'avons plus de problèmes avec les pare-feu et NAT) et nous pouvons exécuter Bonjour, Avahi et Pastry au dessus de cet intergiciel (Bonjour, Avahi et Pastry fonctionnent sur un réseau local). Instant Grid / Private Virtual Cluster [4] est l'un des candidats pour la virtualisation des réseaux. Ses principales exigences sont : 1) une configuration simple du réseau 2) pas de dégradation de la sécurité d'une ressource 3) pas de besoin de réimplémenter des applications distribuées existantes. Sous ces hypothèses, il est raisonnable de s'intéresser aux performances de Bonjour, Avahi et Pastry.
La découverte de services dans la grille est parmi les principaux défis à relever. Par exemple, l'intergiciel Globus met en œuvre le service publication/découverte, un mécanisme fondé sur le contrôle et la découverte de Services (MDS-2) [2]. Ce protocole utilise un serveur d'enregistrement centralisé. MDS-2 est en fait une architecture hiérarchique, mais il est encore très vulnérable avec un seul point de défaillance. En outre, l'adaptation à la dynamicité de serveurs est un autre défi pour MDS-2. Une autre alternative consiste à utiliser une approche décentralisée pour la découverte de services [8]. Récemment, la communauté P2P a élaboré un certain nombre de protocoles totalement décentralisés, tels que Bonjour [6], Avahi [11] et Pastry [5, 12] pour l'enregistrement, le routage et la découverte dans les réseaux P2P.

L'idée de base derrière ces protocoles est d'établir l'auto-organisation et la configuration dynamique des organisations virtuelles lorsque de nouveaux nœuds rejoignent ces organisations.
L'article est organisé comme suit : dans le paragraphe 2 nous présentons la notion de grilles de PC et nous illustrons les avantages des systèmes P2P pour construire de telles grilles. Par la suite, dans le paragraphe 3, nous décrivons la procédure des tests d'expérimentation pour analyser la performance de Bonjour, Avahi et Pastry. Dans les paragraphes 4, 5 et 6, nous discutons les résultats numériques que nous avons obtenus après plusieurs expérimentations faites sur la plate-forme Grid'5000 (jusqu'à 308 machines). Une conclusion et des perspectives clôturent l'article.

2. Les grilles de PC (Desktop Grid)

Les grilles de calcul (comme Grid'5000) visent à fournir une infrastructure avec une qualité de service garantie entre des ressources (relativement) homogènes et des communautés certifiées. En revanche, les systèmes P2P se concentrent sur la construction d'une très grande infrastructure entre grandes communautés non certifiées, entre individus anonymes et entre ressources volatiles. Toutefois, la convergence des deux systèmes semble naturelle [1]. En fait, les travaux de recherche sur les systèmes P2P cherchent de plus en plus à fournir des infrastructures capables de supporter des applications diversifiées alors que la recherche en grille commence à se soucier de la massification et de l'extensibilité.
Sous l'hypothèse d'un réseau virtualisé [4], le choix de Avahi et Bonjour est justifié par le fait qu'ils sont deux implémentations du protocole ZeroConf (Zero Configuration Networking) qui a déjà prouvé sa fiabilité dans le domaine des réseaux locaux et qui peut être extensible sur les réseaux WAN (en utilisant l'envoi Unicast et le DNS). Parmi les protocoles basés sur une DHT (Distributed Hash Table) tels que CAN [3] et CHORD [7], nous avons choisi Pastry car, d'une part, il offre les possibilités de réplications et de DHT et, d'autre part, il existe une implémentation open-source directement exploitable [12].

2.1. Bonjour

Bonjour est une implémentation par Apple du protocole ZeroConf. Le but est d'obtenir un réseau IP fonctionnel sans dépendance d'une infrastructure comportant un serveur DHCP et un serveur DNS ou d'une expertise réseau. Bonjour est architecturé autour de trois fonctionnalités : il permet l'allocation dynamique d'adresses IP sans serveur DHCP, il assure la résolution de noms et adresses IP sans serveur DNS et effectue la recherche des services sans annuaire. Au niveau technique, Bonjour utilise les adresses de lien-local. Lorsque le serveur DHCP échoue ou n'est pas disponible, le lien-local permet à un ordinateur d'obtenir une adresse IP (de type IPv4) tout seul. En IPv4, l'adresse de lien-local est sélectionnée au moyen d'un générateur pseudo-aléatoire dans la plage d'adresses de 169.254.1.0 à 169.254.254.255 incluses. La vérification d'unicité d'adresse de lien-local fonctionne à partir de trois requêtes *ARP probes* qui sont diffusées sur le lien local. Si l'adresse IP est déjà utilisée (ou demandée) par une autre machine, alors on tente une autre adresse fournie par le générateur. Lorsque la machine trouve une adresse libre, elle diffuse en broadcast deux annonces ARP avec l'adresse source IP contenant l'adresse sélectionnée. En fait, si à un moment quelconque on obtient une adresse par DHCP alors on utilise cette adresse et on abandonne le processus d'auto-configuration sur le lien local. Comme les adresses de lien-local, lorsque les serveurs DNS ne sont pas disponibles ou inaccessibles, les machines peuvent encore se référer les uns aux autres par nom en utilisant le protocole mDNS (Multicast DNS). Bonjour utilise le protocole DNS-SD (DNS Service Discovery) pour découvrir les services publiés dans un réseau local. Puisque DNS-SD est construit au dessus de DNS (ce sont des requêtes avec le champs TXT qui sont utilisées), il travaille non seulement avec les mDNS, mais aussi avec les DNS classiques pour la découverte de services à distance.

2.2. Avahi

Avahi est un système qui facilite la découverte de services sur un réseau local. Il permet à des programmes de publier et de découvrir les services et les hôtes fonctionnant sur un réseau local sans aucune configuration spécifique. Avahi est une mise en œuvre des spécifications DNS-SD et Multicast DNS de ZeroConf. Avahi est essentiellement basé sur l'implémentation Linux de mDNS. Il utilise D-Bus (une bibliothèque de communication asynchrone entre processus) pour la communication entre applications.

2.3. Pastry

Pastry permet de construire un réseau P2P fondé sur les clés de hash distribuées, il réalise une correspondance entre un identifiant et une valeur de hash [5]. Cette correspondance permet de placer directement une ressource dans le réseau de pairs. Pastry est une infrastructure générique, évolutive et efficace pour les applications P2P. Les nœuds de Pastry forment un réseau de pairs (ou anneau logique) décentralisé, auto-organisé et tolérant à la panne. Ceci le différencie des précédents protocoles étudiés. La construction de l'anneau Pastry commence par la création du nœud *bootstrap*. Par la suite, tous les nouveaux arrivés contactent le nœud bootsrap pour rejoindre l'anneau logique. Chaque nœud a un identifiant unique (*nodeId*) et une table de routage et un *leaf set* qui contient les *nodeId* des nœuds voisins. Lorsqu'il est présenté avec un message et une clé, un nœud Pastry route efficacement le message au nœud qui a le *nodeId* le plus proche numériquement de la clé, à travers tous les nœuds couramment vivants. Pastry est complètement décentralisé, évolutif, auto-organisé et auto-déterministe ; il s'adapte automatiquement à l'arrivée, le départ ou l'échec de connexion de nœuds. Pastry tient compte de la localité dans le réseau ; il vise à réduire le temps de transfert des messages, en minimisant le nombre de sauts de routage IP.

3. Description de la phase expérimentale

La plate-forme expérimentale utilisée est Grid'5000 [13], hautement reconfigurable et contrôlable, qui rassemble 9 sites géographiquement distribués en France. Tous les sites sont connectés par le réseau RENATER (10 Gb/s). Nos tests sont appliqués sur le site d'orsay, où les nœuds sont connectées par un réseau de 1 Gb/s. Nous avons utilisé presque la totalité des machines disponibles dans ce site (plus de 300 machines). Toutes les machines ont des processeurs AMD Opterons et des cartes réseaux 1 Gb/s.
Nous représentons les nœuds par des services pour construire un réseau virtuelle sur la palteforme Grid'5000. En effet sur chaque machine nous enregistrons un service, ainsi, si le service fonctionne alors la machine est connectée sur le reseau, sinon (nous désactivons ou nous supprimons le service) la machine est déconnectée.
Notre objectif est d'étudier la capacité de massification et le temps de réponse des systèmes P2P décrits plus haut. En fait, nous cherchons le nombre maximal de nœuds qui peut être supporté par ces outils et le temps de réponse nécessaire pour découvrir un nouveau nœud qui vient de se connecter sur le réseau (selon l'état de la grille). Les mêmes critères de mesures sont appliqués pour les trois systèmes.

3.1. Construction d'un noyau spécifique pour Grid'5000

Grid'5000 offre une infrastructure avec des noyaux standards. Pour exécuter nos tests expérimentaux, nous avons personnalisé un noyau pour supporter Avahi, Bonjour et Free-Pastry. Ainsi, nous avons créé un noyau spécifique contenant tous les packages nécessaires à l'exécution de nos codes. Par la suite, en utilisant les deux outils OAR [10] et Kadeploy [9], nous réservons et nous déployons le noyau spécifique sur toutes les machines réservées selon la procédure maintenant classique pour les utilisateurs.

3.2. Enregistrements séquentiels

Dans ce test, la première étape est de réserver N nœuds sur Grid'5000 (N varie de 100 nœuds jusqu'à atteindre la valeur de saturation pour l'enregistrement de services). Le nombre N représente le maximum de nœuds qui peut être utilisé pour l'expérimentation. Chaque nœud demande une inscription pour un service donnée à un instant t. Initialement, tous les nœuds ont le code adéquat pour enregistrer un service qui reste inactif tant que la demande n'est pas encore activée. Soit δ le temps d'activation de la demande. Nous activons séquentiellement (chaque δ seconds) toutes les demandes (et nous recevons un accusé de notification). Ainsi, la k^{e}demande sera exécutée à la $k \times \delta$ unité de temps. Nous augmentons δ pour analyser le comportement du système lorsque le délai entre les événements devient plus grand. Evidemment, au début, le nombre d'enregistrements est petit, ainsi le temps d'enregistrement est minime. Nous cherchons à analyser la massification des systèmes sans saturer le réseau : dans ce type de tests, seulement un envoi multicast apparaît dans un temps donné.

3.3. Enregistrements simultanés

Dans le premier test, les enregistrements sont exécutés d'une manière séquentielle, à un instant t chaque nœud envoie un seul message, par conséquent le nombre de communication est limité. Dans ce type d'expérimentations, nous « stressons » la scalabilté du système et sa capacité à gérer les communications

entre les nœuds enregistrés. Par conséquent, nous demandons N (nombre des nœuds réservés) enregistrements simultanés et nous mesurons le temps nécessaire pour terminer la phase d'enregistrement. Si nous obtenos un temps de réponse raisonnable, nous augmentons la valeur de N jusqu'à arriver à une valeur de saturation. Autrement, nous cherchons le nombre maximum de nœuds qui peut être enregistré lorsque plusieurs communications (de type multicast) sont présentes sur le réseau.

3.4. Découverte de services

Pour évaluer les trois systèmes candidats, nous avons aussi pris comme métrique d'évaluation le temps de découverte d'un service. En effet, le temps de découverte est le temps écoulé entre la fin d'enregistrement d'un service et sa découverte par le programme *browser* qui tourne sur une seule machine. Notons que le temps de réponse dépend du nombre de nœuds enregistrés. Le programme *browser* écoute n'importe quel nouvel événement, i.e. un nouvel enregistrement ou la suppression d'un service.
Avec les deux types d'enregistrements mentionnés ci-dessus, nous pouvons analyser l'efficacité de la découverte des services pour les trois systèmes candidats.

4. Performances de l'enregistrement des services

4.1. Enregistrement des services de Bonjour

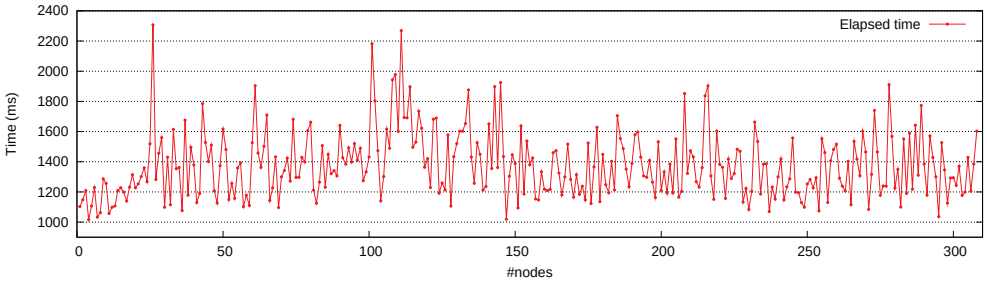

FIGURE 1 – Temps écoulé pour l'enregistrement simultané des services de Bonjour

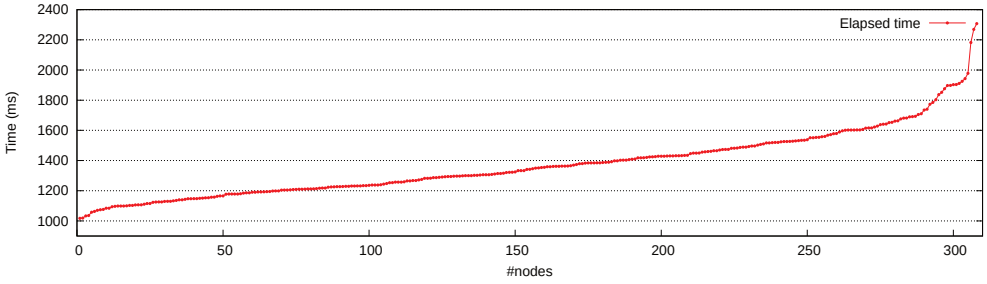

FIGURE 2 – Temps écoulé (triés dans l'ordre croissant) pour l'enregistrement simultané des services de Bonjour

Bonjour commence par faire une requête DHCP pour obtenir une adresse. En cas d'absence du DHCP, il effectue une (jusqu'à 3) requête(s) ARP ; or quand on démarre le noyau, une IP est déjà attribuée, donc on ne peut pas tenir compte du temps écoulé dans cette première phase. Bonjour fait, ensuite, en sorte d'informer toutes les machines que le nœud a le service en question, il s'agit donc de mettre à jour les caches ARP. Il pourrait y avoir un coût de gestion supplémentaire lié à des remplacements dans le cache mais la taille par défaut des caches ARP est 1040 entrées ce qui est supérieur au nombre de services que l'on déclenche dans le pire cas de nos expériences. On ne peut pas raisonnablement incriminer la gestion des caches ARP dans la dégradation des performances. Bonjour continue par une vérification que le service est unique. Une première annonce ARP est faite avec une attente d'une seconde (*Probe wait* = 1s). S'il n'y a pas eu de réponse dans la seconde (c'est bien le cas, car tous les services ont été choisis avec un nom unique), alors le nom est considéré comme unique.

La figure 1 illustre les temps d'enregistrement simultané. Jusqu'à 308 machines, le temps écoulé pour l'enregistrement varie entre 1017 ms et 2307 ms. Sur cette figure l'axe des abscisses donne le numéro de service et l'axe des ordonnées sont les temps (chaque machine i enregistre le service i). Il se peut que le service k s'enregistre avant le service k-p (k et p $>$ 0) ce qui explique l'aspect « bruit de fond » de la figure 1.
L'enregistrement séquentiel (la figure n'est pas donnée faute de place), montre une réduction des temps d'enregistrement des services. En effet, les mesures effectuées sur 308 machines donnent des temps d'enregistrement compris entre 1015 et 1030 ms (presque stable). Pour mieux analyser le comportement de l'enregistrement simultané de services, nous avons tracé la courbe de la figure 2 en triant dans l'ordre croissant les temps d'enregistrement simultané. En effet, comme nous l'avons mentionné, dans le test séquentiel le coût varie entre 1015 ms et 1030 ms, dans le cas simultané, on retrouve cette constante mais il faut en plus accéder au bus à tour de rôle et cela coûte de l'ordre de 10 à 30 ms, ce qui engendre une augmentation cumulé du temps d'enregistrement de 1017 ms à 2307 ms.

4.2. Enregistrement des services de Avahi

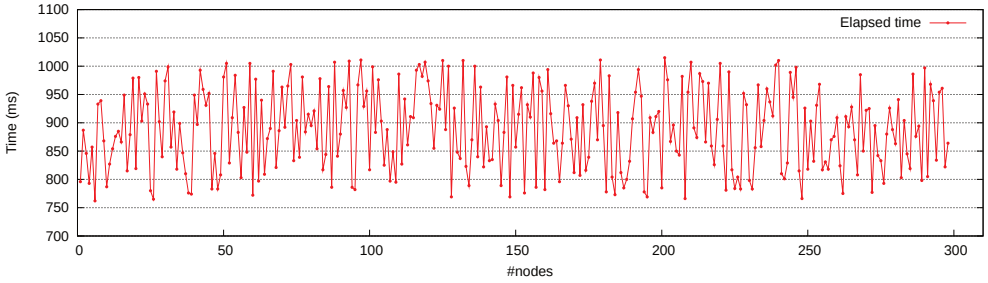

FIGURE 3 – Temps écoulé pour l'enregistrement simultané des services de Avahi

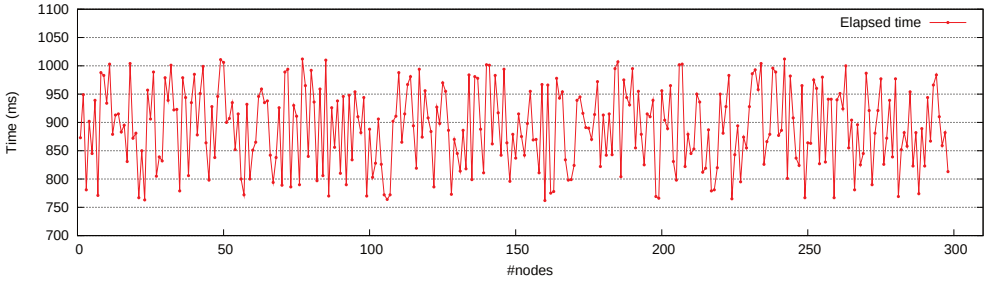

FIGURE 4 – Temps écoulé pour l'enregistrement séquentiel des services de Avahi

Sur chaque nœud du réseau Avahi, il y'a un démon *avahi-daemon* qui tourne. Ce démon implémente les deux protocoles mDNS/DNS-SD de Zeroconf. L'enregistrement d'un service revient à publier un service avec un envoi multicast à tous les nœuds en utlisant D-Bus comme protocole de transport et mettre à jour les caches de chaque nœud. Ces protocoles ont montré une grande efficacité dans l'enregistrement des services. En effet, les figures 3 et 4 montrent que Avahi donne presque les mêmes temps d'enregistrements dans les tests séquentiels et simultanés. Le temps écoulé varie entre 760 et 1110 ms. En comparaison avec Bonjour, Avahi donne de meilleurs temps d'enregistrements.

4.3. Enregistrement des services de Pastry

Contrairement à Avahi et Bonjour, Pastry montre une grande différence entre les tests d'enregistrements séquentiels et simultanés. En effet, la figure 5, montre que dans l'enregistrement simultané, jusqu'au 160^{e}service, le temps écoulé varie entre 600 et 1000 ms. Au delà, le temps d'enregistrement augmente d'un enregistrement à un autre pour atteindre 320 000 ms. D'autre part, la figure 4 montre que l'enregistrement séquentiel donne de meilleurs temps d'enregistrement. Nous remarquons que Pastry donne des temps

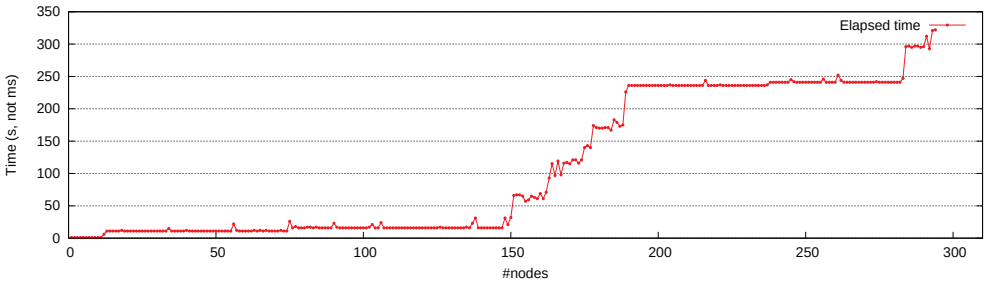

FIGURE 5 – Temps écoulé pour l'enregistrement simultané des services de Pastry

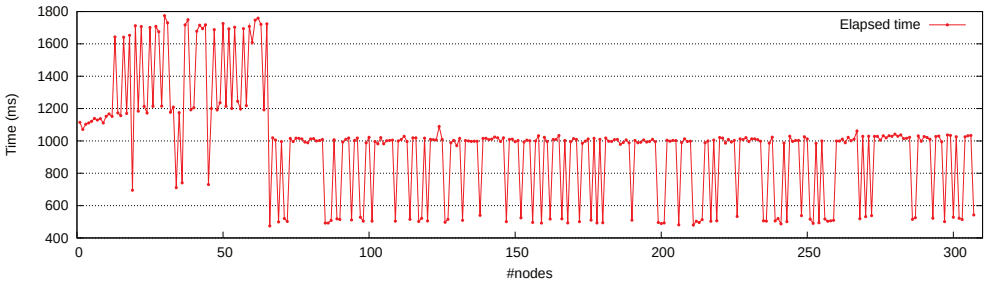

FIGURE 6 – Temps écoulé pour l'enregistrement séquentiel des services de Pastry

d'enregistrement réduits par rapport à Avahi et Bonjour (30% des services, parmi 307, sont enregistrés dans l'intervalle de 450 à 550ms). En effet, lorsque nous enregistrons un service, nous exigeons la connexion à la machine bootstrap (pour ne pas créer plusieurs anneaux). Ainsi dans l'enregistrement simultané, la machine bootstrap ne peut pas répondre à toutes les requêtes simultanées, d'où la croissance très rapide des temps d'enregistrement depuis le service n° 160. En plus Pastry met à jour les *leaf sets* pour maintenir la cohérence du système, et c'est peut être aussi pour cette raison que dans la version simultanée les temps d'enregistrement arrivent à 320 s. Alors que dans la version séquentielle, la machine bootstrap ne reçoit qu'une seule requête chaque minute ; la mise à jour des *leaf sets* et des tables de routage est ainsi recouvrée d'où des temps d'enregistrement minimes (2s au maximum).

5. Performances de la découverte de services

La deuxième métrique consiste à mesurer le temps nécessaire à la découverte d'un service enregistré. Ainsi, pour chaque système (Bonjour, Avahi and Pastry), nous mesurons le temps écoulé entre la fin de l'enregistrement et l'instant de découverte. Nous reprenons les mêmes mesures pour les deux types d'enregistrements simultané et séquentiel. Pour cela, nous consacrons une machine pour exécuter le programme d'écoute (ou *Browser*) pour la découverte de services.

5.1. Comportement de la découverte de Bonjour

Bonjour prouve une haute performance en découverte de services. En effet, il est capable de découvrir, dans les deux versions (séquentielles et simultanées), 307 services enregistrés sur 307 machines (un service par machine). Le temps de découverte ne dépasse pas 1 seconde. Cela nous conduit à affirmer que l'implementation par Apple de DNS-SD fonctionne très bien et donne des résultats satisfaisants.

5.2. Comportement de la découverte de Avahi

Comme nous l'avons déjà mentionné, Avahi utilise le démon *avahi-daemon* et fait une requête via D-Bus pour publier un service par un paquet multicast. La machine qui lance le programme de découverte (un programme *Browser* qui reste à l'écoute des services), perd 60% des services enregistrés d'une manière simultanée. En plus, le temps de découverte augmente au delà de 49 enregistrements pour atteindre 900 s dans l'enregistrement du 73^{e}service. Au delà, le programme de découverte d'Avahi passe autour de 220 s

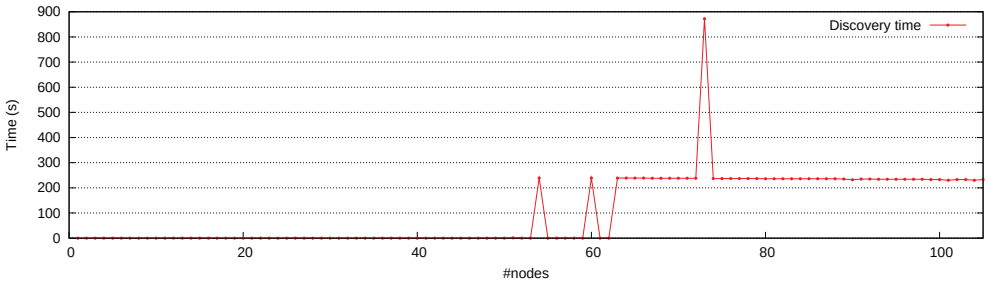

FIGURE 7 – Temps de découverte pour l'enregistrement simultané des services de Avahi

pour découvrir un service enregistré (voir figure 7). Contrairement à l'enregistrement simultané, lorsque nous enregistrons les services d'une manière séquentielle (chaque minute, nous enregistrons un service), le programme *Browser* est capable de découvrir plus de services (303 parmi 307 services enregistrés). En plus, le temps de découverte est meilleur (4 s au maximum) pour 204 services sauf que pour 9 services demandent des temps de l'intervalle 2835–8686 s.
La machine de découverte (*browser*), qui a le démon *avahi-daemon* en exécution, n'arrive pas à recevoir, à un instant donné, tous les envois multicasts émis par les nœuds qui ont enregistré les services au même instant (cas simultané), ce qui peut expliquer la perte des services dans la version simultanée. Alors que dans la version séquentielle, le *browser* nécessite plus de temps ($> 8686s \simeq 2.5$ heures) pour la découverte des quatre services perdus.

5.3. Comportement de la découverte de Pastry

Dans les deux types d'enregistrements séquentiel et simultané, pastry donne des temps de réponse rapide de découverte (au plus en 1s). Quant au nombre de services découverts, pour l'enregistrement simultané, le *browser* découvre 270 parmi 293 services, alors que pour l'enregistrement séquentiel, le *browser* découvre 275 des 292 services ce qui correspond à une légère amélioration vis à vis du cas précédent. Cela peut nous conduis à affirmer que la machine *Browser* n'arrive pas à récupérer tous les annonces de publications des services si nous dépassons environ 270 enregistrements.

6. Synthèse

La comparaison des trois bibliothèques Bonjour, Avahi et Pastry du point de vue des temps d'enregistrements simultanés d'environ 300 services sur la plate-forme Grid'5000 (un service par machine) montre que Avahi est le meilleur puisqu'il met le moins de temps (le dernier service enregistré demande 1000 ms). Bonjour nécessite 1300ms de plus pour enregistrer le dernier service. Pastry donne des temps proches de ceux mis par Avahi jusqu'à l'enregistrement de 150 services, mais au delà il met des temps nettement plus grands (jusqu'à 32000ms) que ceux de Avahi et Bonjour.
Quand nous enregistrons séquentiellement un service sur chaque machine (nous arrivons jusqu'aux environs de 300 machines), nous pouvons mentionner qu'il n'y a pas une grande différence entre les trois bibliothèques. En fait, Bonjour et Avahi donnent des résultats semblables. Pastry met presque le même temps pour enregistrer 60% des services, a besoin de moins de temps pour enregistrer les premiers 30% mais de plus de temps que Avahi et Bonjour pour les 10% qui restent.

7. Conclusion

Avec la croissance de la taille des grilles, il est très envisageable d'utiliser les systèmes P2P reconnus pour leur capacité de massification et leur gestion de la volatilité. À ce propos, nous avons étudié dans cet article trois protocoles P2P pour la découverte de ressources qui sont Bonjour, Avahi et Pastry. Les trois protocoles ont montré de hautes performances sauf qu'Avahi n'a pas réussi à découvrir tous les services dans la version simultanée et que Pastry met un temps considérablement long pour enregistrer tous les services dans la version simultanée. Nous continuerons à travailler à terme avec les trois protocoles. En effet, Bonjour est très performant dans l'enregistrement et la découverte dans les deux versions séquentielle

et simultanée. Pastry a aussi prouvé sa performance dans l'enregistrement séquentiel et aussi dans la version simultanée pourvu qu'on ne dépasse pas les 160 services à un instant donné ce qui ne représente pas vraiment un point de faiblesse si on ne travaille pas avec 10 millions de nœuds. En fait, comme nous l'avons déjà mentionné, étant donné que le grand nombre de connexions à la même machine bootstrap est à l'origine de ce problème, nous pouvons y remédier par la création d'un deuxième bootstrap pour initialiser un deuxième anneau logique. Avahi présente l'avantage d'être libre avec le code source accessible, ce qui rend son étude beaucoup plus facile que Bonjour. Du point de vue technique, l'API de ZeroConf n'offre pas toutes les fonctionnalités pour construire un intergiciel de grille, alors que Pastry offre une API open source développée avec Java contenant les fonctions préliminaires nécessaires à l'élaboration de cet intergiciel. Notre objectif final est de construire un intergiciel de Desktop Grid basé sur l'un de ces protocoles.

Remerciements

Les expériences présentées dans cet article ont été réalisées sur la plate-forme expérimentale Grid 5000, une initiative du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche à travers l'action incitative ACI GRID, l'INRIA, le CNRS, RENATER et d'autres partenaires (see [13]). Nous tenons à remercier Mathieu Jan pour ses commentaires sur une version préliminaire de cet article.

Bibliographie

1. Ian Foster and Adriana Iamnitchi. On death, taxes, and the convergence of peer-to-peer and grid computing. In M. Frans Kaashoek and Ion Stoica, editors, *Peer-to-Peer Systems II, Second International Workshop, IPTPS 2003*, volume 2735 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Verlag, 2003.
2. Ian Foster, Carl Kesselman, Jeffrey M. Nick, and Steven Tuecke. Grid services for distributed system integration. *Computer*, 35(6):37–46, 2002.
3. Sylvia Ratnasamy, Paul Francis, Mark Handley, Richard Karp, and Scott Schenker. A scalable content-addressable network. In *SIGCOMM '01: Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pages 161–172, New York, NY, USA, 2001. ACM Press.
4. Ala Rezmerita, Tangui Morlier, Vincent Néri, and Franck Cappello. Private virtual cluster: Infrastructure and protocol for instant grids. In Wolfgang E. Nagel, Wolfgang V. Walter, and Wolfgang Lehner, editors, *Euro-Par 2006, Parallel Processing, 12th International Euro-Par Conference*, volume 4128 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 393–404. Springer, August 2006.
5. Antony I. T. Rowstron and Peter Druschel. Pastry: Scalable, decentralized object location, and routing for large-scale peer-to-peer systems. In *Middleware '01: Proceedings of the IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms*, pages 329–350, London, UK, 2001. Springer-Verlag.
6. Daniel Steinberg and Stuart Cheshire. *Zero Configuration Networking: The Definitive Guide*. O'Reilly Media, Inc., first edition, December 2005.
7. Ion Stoica, Robert Morris, David Karger, M. Frans Kaashoek, and Hari Balakrishnan. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications. In *SIGCOMM '01: Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pages 149–160, New York, NY, USA, 2001. ACM Press.
8. Qi Xia, Weinong Wang, and Ruijun Yang. A fully decentralized approach to grid service discovery using self-organized overlay networks. In Peter M. A. Sloot, Alfons G. Hoekstra, Thierry Priol, Alexander Reinefeld, and Marian Bubak, editors, *Advances in Grid Computing - EGC 2005, European Grid Conference*, volume 3470 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 164–172. Springer-Verlag, February 2005.
9. KADeploy. URL: `http://gforge.inria.fr/projects/kadeploy/`.
10. OAR. URL: `http://gforge.inria.fr/projects/oar/`.
11. Avahi. URL: `http://www.avahi.org`.
12. FreePastry. URL: `http://www.freepastry.org`.
13. Grid'5000. URL: `http://www.grid5000.fr`.