



## Etude de l'influence des aspects thermiques sur la consommation et l'efficacité énergétique des serveurs

Yewan Wang, David Nörtershäuser, Stéphane Le Masson, Jean-Marc Menaud

### ► To cite this version:

Yewan Wang, David Nörtershäuser, Stéphane Le Masson, Jean-Marc Menaud. Etude de l'influence des aspects thermiques sur la consommation et l'efficacité énergétique des serveurs. SFT 2018 - 26ème Congrès Français de Thermique, May 2018, Pau, France. pp.1-8. hal-01763524

**HAL Id: hal-01763524**

**<https://hal.inria.fr/hal-01763524>**

Submitted on 11 Apr 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Etude de l'influence des aspects thermiques sur la consommation et l'efficacité énergétique des serveurs

**Yewan WANG<sup>1</sup>, David NORTERSHAUSER<sup>1</sup>, Stéphane LE MASSON<sup>1</sup>, Jean-Marc MENAUD<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Orange Labs R&D, 2 Avenue Pierre Marzin, 22300 Lannion, France

<sup>2</sup> IMT Atlantique, 4 Rue Alfred Kastler, 44307 Nantes, France

## Résumé

La consommation énergétique croissante des data centers dans la consommation mondiale suscite beaucoup d'inquiétude. Dans un contexte d'évolution et de multiplication des services (Cloud, Big Data, vidéo à la demande sur appareil mobile, etc.), la maîtrise de cette consommation devient stratégique.

Les études récentes montrent qu'en plus des sollicitations classiques des serveurs, la consommation énergétique d'une machine varie en fonction de certaines variables externes. Pour bien déterminer l'influence de ces paramètres, des tests ont été menés sur 15 serveurs identiques, en utilisant un benchmark standardisé. Les études présentées permettent d'évaluer l'influence de la température, de la tension d'alimentation et du placement des serveurs dans une baie sur la consommation énergétique. Les premiers résultats expérimentaux permettent d'améliorer les méthodes de mesure et ainsi d'affiner la précision des outils prédictifs.

## 1. Introduction

L'efficacité énergétique des data center a suscité de plus en plus d'attention ces dernières années en raison de son impact économique et environnemental. Un data center typique peut consommer autant d'énergie que 25 000 foyers. A superficie égale, un data center peut consommer jusqu'à 200 fois plus d'électricité que les espaces bureautiques [1]. Pour bien identifier les impacts énergétiques des matériels et logiciels utilisés dans les data centers, certains travaux en cours ont pour objectif de développer des outils de modélisation prédictive de la consommation énergétique des serveurs, en fonction des besoins applicatifs, de l'architecture serveur retenue, des solutions logicielles mises en place, et de l'environnement technique adopté [2][3][4]. La consommation énergétique des serveurs peut varier fortement [5]. Comprendre cette variation et identifier les différentes influences constitue un véritable challenge, nécessaire à la bonne modélisation mathématique de la consommation du serveur et des salles. Pour identifier ces paramètres, nous avons comparé la consommation énergétique de 15 serveurs identiques en utilisant une même procédure de test. Les résultats montrent qu'il y a une différence notable de consommation électrique entre ces serveurs identiques et que la procédure de mesure est importante pour obtenir des résultats précis.

## 2. Travaux connexes

Les travaux récents montrent qu'en plus des sollicitations classiques des composants électroniques (CPU<sup>1</sup>, mémoire, réseau, stockage), la consommation énergétique d'une machine varie en fonction de variables externes comme la température de l'air

---

<sup>1</sup> CPU (Central Processing Unit) : Le processeur est un composant électronique qui exécute des programmes informatiques.

ambiant, la proximité d'autres sources de chaleur et l'agencement des serveurs au sein d'une armoire [6]. Par exemple, l'augmentation de la température ambiante de la salle est une méthode connue pour diminuer la consommation du data center: elle peut toutefois influencer l'efficacité énergétique des serveurs et finalement augmenter la consommation totale [7]. Certaines études adressent d'autres impacts tels que les spécificités matérielles. Les auteurs ont comparé la consommation et l'efficacité de serveurs de trois marques avec des caractéristiques matérielle proches. Ils ont observé 5% de différence de consommation entre des serveurs identiques Intel. Pour en identifier les causes, ils ont réalisé des tests supplémentaires en échangeant les composants principaux entre eux. Leurs premiers résultats de test montrent que cette variation n'est pas due à la variabilité des alimentations. Les CPUs sont probablement responsables de la variation de consommation d'énergie. Par contre, les mesures menées dans leurs expérimentations sont limitées à une petite quantité de serveurs ce qui ne permet pas de conclure. Patterson [8], a fait une analyse de l'effet de l'augmentation de la température ambiante sur l'efficacité des composants clé du data center. Il en déduit que les composants dont la consommation énergétique dépend le plus de la température sont le CPU et le ventilateur interne. Ils ont conclu qu'il existe une température ambiante optimale pour le data center en tenant compte des équipements informatiques, du système de refroidissement et de la localisation de la salle. Cette dépendance à la température ambiante pourrait être réduite en utilisant d'autres techniques de refroidissement telles que le liquid cooling qui permet de mieux contrôler la température des composants [9]. Orgerie et al. [6] ont mesuré la puissance électrique d'un serveur d'IBM en état *idle*<sup>2</sup> positionné dans une même baie composée d'autres serveurs en marche ou éteints. Ils ont constaté qu'il y a 5.5% de différence entre les deux situations. Ils pensent que la consommation d'un serveur ne dépend pas seulement de son architecture et de sa sollicitation, mais dépend également de sa position dans la baie et donc des sources de chaleur alentour, c'est-à-dire des conditions aux limites. Par contre, ce test n'est effectué que sur un seul serveur, et ils n'ont pas suivi l'évolution de la température ce qui permet pas d'analyser complètement le problème.

Les contributions de cet article portent sur:

- La comparaison de la consommation électrique de 12 serveurs identiques équipés de processeurs Intel Xeon E5-2630L v4 et fabriqués en même temps.
- L'utilisation d'un outil industriel permettant de calibrer les charges sur les composants principaux du serveur (voir tableau 1). Les différents niveaux de charges permettent de mieux déterminer l'importance des impacts externes (la conception et/ou la température) sur la consommation énergétique ainsi que sur la performance du serveur.
- L'étude du positionnement des serveurs dans une baie.

### 3. Méthodologies

L'IMT Atlantique à Nantes est un des sites du réseau Grid5000 [10] qui est un réseau de serveurs répartis dans 8 villes. Les expérimentations sont effectuées à Nantes sur un groupe de 48 serveurs identiques. Nous pouvons ainsi réaliser des tests sur des serveurs homogènes, dans une salle récente et isolée de toute autre infrastructure matérielle.

---

<sup>2</sup> Idle : Etat du système informatique sans aucun programme à part l'OS, mais prêt à réagir.

### 3.1 SERT

SERT est l'abréviation de « Server Efficiency Rating Tool »: c'est un des outils développés par SPEC qui est une association créant des benchmarks et des outils standardisés pour évaluer la performance et l'efficacité énergétique de systèmes informatiques. Dans notre expérimentation, nous avons choisi 4 sous-tests (dénommés « worklet » dans SERT) car ils permettent de solliciter les composants clés du serveur, supposés être les plus énergivores: les détails se trouvent dans le tableau ci-dessous.

Worklet	Composant	Description	Niveau de charge
LU	CPU	Opération intensive sur des matrices	100%, 75%, 50%, 25%
SHA256	CPU	Algorithme de cryptage	100%, 75%, 50%, 25%
Sequential	Stockage	Ecriture/Lecture séquentielle	100%, 50%
Capacity3	Mémoire	Validation de fiche XML	Base, Max
Idle	Machine	Aucune application à part l'OS	Pas de charge

Tableau 1 : Tests utilisés dans l'expérimentation

Le temps d'exécution pour une procédure de 5 tests est d'environ 40 minutes. Chaque test comporte trois phases : « l'échauffement », la calibration et la mesure. La phase d'échauffement permet de stabiliser le serveur, dans un second temps, SERT détermine le débit maximal que la machine peut supporter pendant la phase de calibration, ce débit est défini pour une charge de 100% pour le SUT (System Under Test). Différents niveaux de sollicitation sont exécutés sur le SUT pendant la phase de mesure.

### 3.2 Architecture du banc de test

L'architecture du banc test est présentée sur la figure 1 et comprend trois parties: le contrôleur, le SUT et le système de mesure.

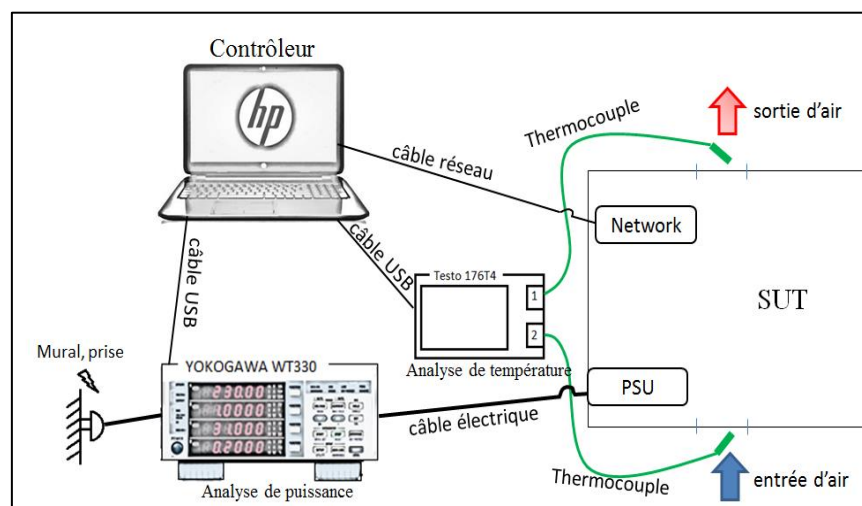


Figure 1 : Architecture du banc de test

- Le système de mesure comprend deux appareils :

**Yokogawa WT330** : Un analyseur de puissance électrique. Il permet de mesurer la puissance, la tension et le courant pendant le test, côté AC.

$$\begin{aligned} \text{Précision} &= \text{Erreur d'affichage} \times (\pm 0.1\%) + \text{Erreur de gamme} \times (\pm 0.1\%) \\ &= \text{Puissance affichée} \times (\pm 0.1\%) + 0.15W \end{aligned}$$

**Testo 176 + Thermocouple\*2** : Un thermomètre avec deux thermocouples (type K, avec diamètre 0.1mm) connectés. Ils mesurent respectivement la

- température à l'entrée et la sortie d'air du serveur pour les tests B et C dans la section 4.
- Le contrôleur sert à lancer les commandes de test au SUT, récupérer les mesures de puissance et de température, ainsi que les résultats du test. Toutes les données sont échantillonnées avec une fréquence de 1 seconde et sont synchronisées. Cette fréquence a été déterminée expérimentalement suite à l'observation des variations à des fréquences plus élevées, et à l'application du critère de Shannon.
  - Le SUT est équipé d'un système exploitation Linux compatible avec l'outil SERT, pour le test.

### 3.3 Expérimentations réalisées et ses résultats

Trois types de tests ont été réalisés pour identifier et comparer les impacts sur la consommation énergétique du serveur.

Le test A vise à vérifier si des serveurs identiques, soumis aux mêmes sollicitations et placés dans le même environnement peuvent présenter des consommations énergétiques différentes. Ils visent également à établir si des conditions limites différentes (position dans la baie) peuvent avoir une influence.

Le test B est effectué afin de mettre en évidence l'influence de sources de chaleur externes.

Le test C vise à évaluer l'influence de la variation de tension d'entrée (230V AC +/- 10%) sur la consommation énergétique du serveur.

<i>SUT</i>	<i>PowerEdge R630</i>	<i>Gigabyte mw50-sv0</i>	<i>PowerEdge R630</i>
Processeur	2 x Intel Xeon E5-2630L V4, 1.8GHz, 20 cores, 40 threads	Intel Xeon E5-2609v3, 6 coeurs, 6 threads, 1.9GHz	Intel Xeon E5-2650L v4, 28 coeurs, 56 threads, 1.7GHz
Mémoire	8 x 16Go DDR4, 2400MHz	4 x 16Go DDR4 2133MHz	4 x 32 G0 DDR4 2400MHz
Stockage	400Go SSD	480Go SSD	400Go SSD
OS	Debian	RedHat entreprise 7.4	CentOS
Test	A et B	C	C

Tableau 2: *Caractéristiques et configurations des SUTs*

Les Tests A et B sont réalisés sur les serveurs de Grid5000 à Nantes. La figure 2 ci-dessous montre la position et l'agencement des serveurs, désignés Sx, à tester. S1 à S24 sont installés de façon espacée dans les baies 1 et 2, S25 à S48 sont installés de manière accolée dans les baies 3 et 4. La salle du serveur est équipée d'un climatiseur pour maintenir une température ambiante stable de 18°C.

Le Test C est effectué indépendamment sur un serveur Gigabyte MW50-SV0 et un serveur Dell PowerEdge R630. Les informations sur les SUTs sont précisées dans le tableau 2.

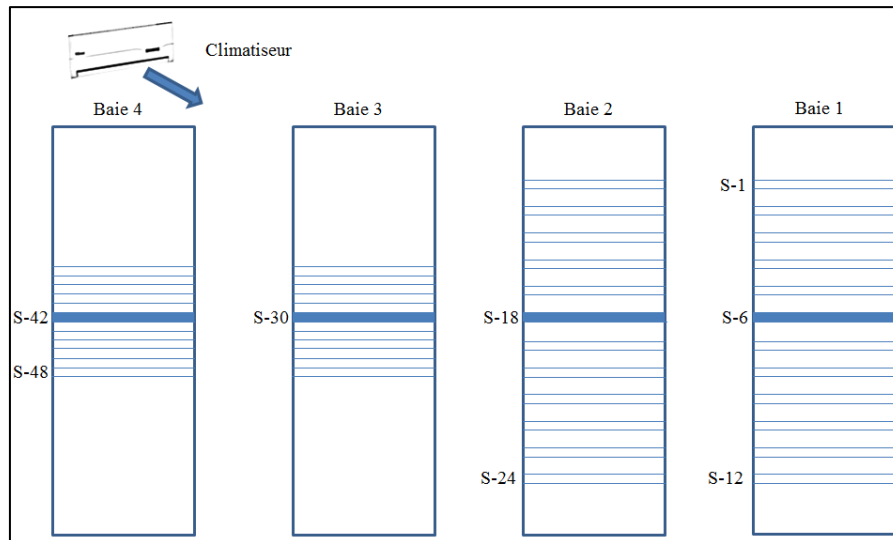


Figure 2 : Agencement des serveurs dans la salle

### 3.4 Test A : Comparaison de la consommation énergétique de 12 serveurs identiques dans la baie 1

Les tests SERT sont lancés un par un sur les 12 serveurs placés dans la baie 1 (voir figure 1). La Figure 3 représente les puissances moyennes normalisées<sup>3</sup> des serveurs sur 7 tests. La figure 4 précise les pourcentages de variation par rapport à la moyenne pour ces mêmes tests. On constate que la variation de consommation entre serveurs peut atteindre 7.8%. S4, S5, et S6 ont une puissance moyenne plus élevée que les autres serveurs. La variation est plus évidente pour les tests « LU » (voir Tableau 1) ; c'est un test de calcul qui sollicite de façon intensive le processeur.

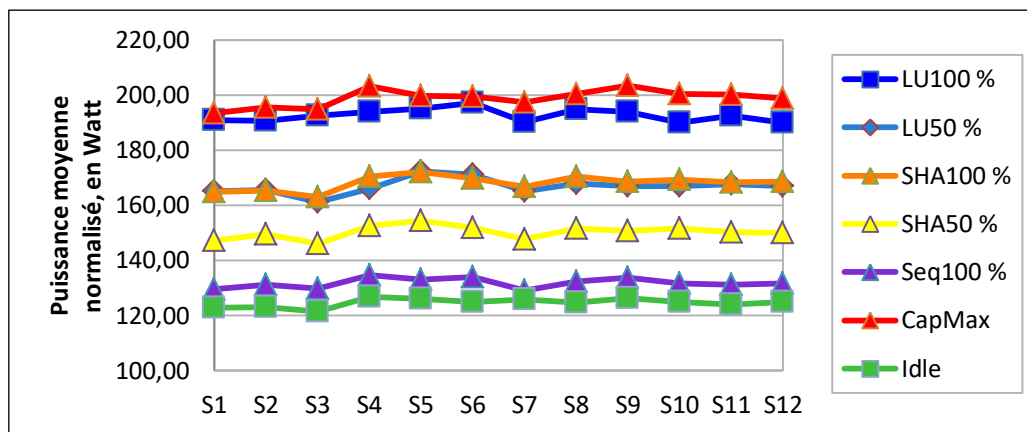


Figure 3: Puissances moyennes normalisées des serveurs 1 à 12

Pour vérifier la stabilité et la fiabilité de SERT, les tests ont été répétés 2 fois sur les serveurs S1 à S5. Les variations de performance et de puissance moyenne sont toutes inférieures à 1%, ce qui démontre que les résultats sont reproductibles.

Le Test A démontre que des différences de consommation existent sur des serveurs supposés identiques, soumis à des sollicitations et un environnement semblables. Il n'est pas suffisant pour identifier les causes exactes de ces supposées dispersions de fabrication.

<sup>3</sup> La puissance moyenne normalisée représente la puissance moyenne corrigée en tenant compte du fait que le nombre d'opérations effectuées d'un test à l'autre varie (de 0 à 3%).

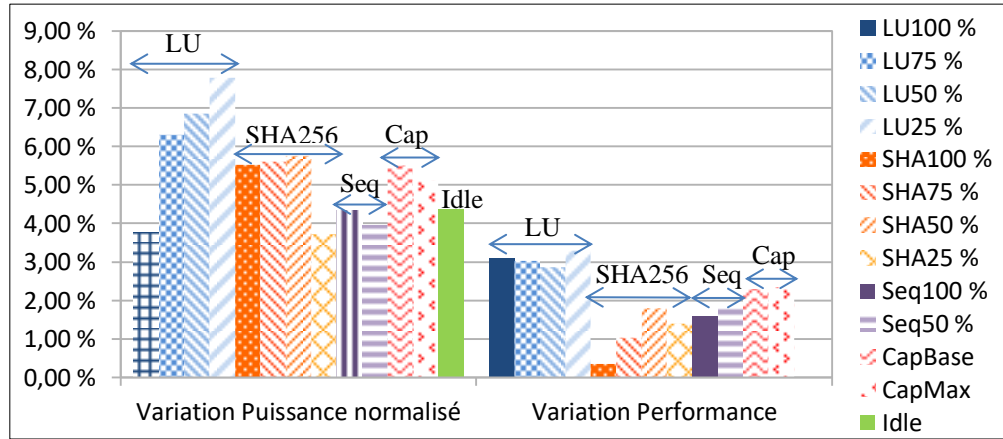


Figure 4 : Pourcentages de variation de la puissance moyenne et de la performance

### 3.5 Test B : Comparaison de la consommation énergétique de 4 serveurs ayant la même position dans 4 baies

Les différences de consommation peuvent provenir d'au moins trois paramètres : la construction du serveur, la température de l'environnement et la variation de la tension d'alimentation. L'influence des sources externes est étudiée ici.

SERT est lancé 2 fois sur 4 serveurs : S6, S18, S30 et 42, qui se trouvent à la même hauteur dans des baies distinctes (voir figure 2). Pour la première expérience, SERT est lancé sur le SUT et les autres serveurs de la baie sont éteints. Pour une seconde expérience, le test est relancé en allumant les autres serveurs. On compare la différence de consommation sur le même serveur dans les deux cas avec la formule (1):

$$Difference = \frac{P2_{moyenne}(W) - P1_{moyenne}(W)}{P1_{moyenne}(W)} * 100\% \quad (1)$$

P1 : Puissance moyenne du SUT avec les autres serveurs éteints ; P2 : Puissance moyenne du SUT avec tous les autres serveurs en fonctionnement

La figure 5 présente les résultats mesurés. Comme remarqué dans le test A, les variations du test SERT sur un même serveur sont inférieures à 1% (reproductibilité), par contre, des variations observées d'un serveur à l'autre sont plus élevées ce qui indique des dispersions de fabrication. Ainsi S30 présente une consommation inférieure de 10 Watt à la puissance moyenne si tous les autres serveurs sont éteints.

De plus, dans plupart des cas, la puissance consommée en présence de serveurs « voisins » en fonctionnement est plus élevée, en raison de l'augmentation de la température qui va diminuer l'efficacité énergétique du serveur (consommation des ventilateurs notamment).

L'examen des températures d'entrée et sortie d'air des serveurs S6, S30 S18 et S42 (voir Figure 6) fait apparaître des différences d'un serveur à l'autre ( $\Delta T_{S18} > \Delta T_{S30}$ ).

Ces premiers résultats qualitatifs mettent en évidence une dispersion de fabrication qui doit être investiguée : l'hypothèse la plus probable réside dans des différences se situant au niveau du composant de plus forte puissance, le CPU.

Par ailleurs, la différence de consommation suivant l'état des sources de chaleur environnantes montre qu'un ou des composants du serveur y sont sensibles.

Ces effets doivent être quantifiés précisément dans un environnement contrôlé (étuve) avec des dispositifs de mesure précis.

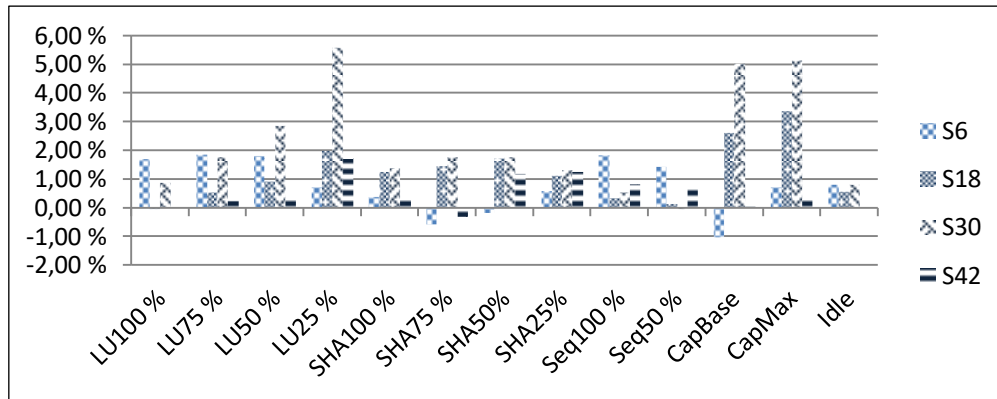


Figure 5 : Pourcentage de différence de puissance entre deux configurations de test

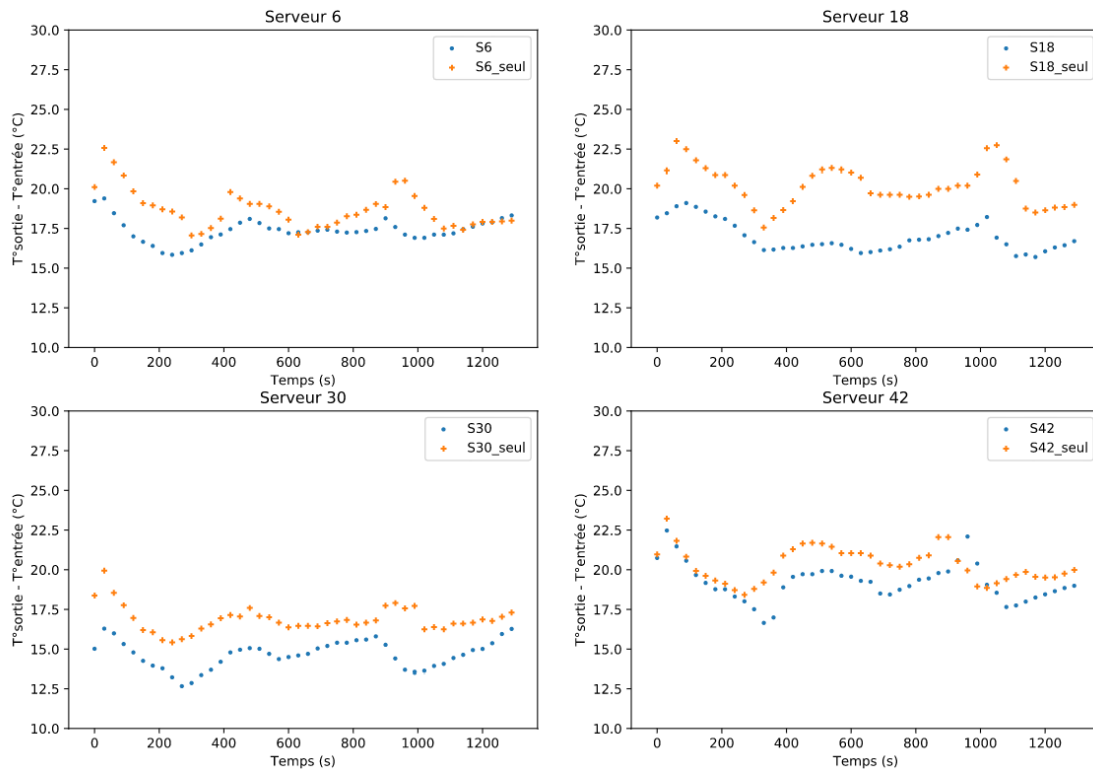


Figure 6 : Différence des températures d'air entre sortie et entrée des serveurs: avec tous les autres serveurs éteints (« seul ») ou allumés

### 3.6 Test C : Etude de l'impact de la variation de la tension d'alimentation électrique sur la consommation du serveur

Au cours des tests A et B, il a été constaté des variations de quelques % au niveau de la tension d'alimentation AC, sans toutefois que cette grandeur ait été mesurée tout au long des tests. Il est important de pouvoir réduire le nombre de paramètres influents. Ainsi une nouvelle campagne de mesure est réalisée dans un laboratoire où la température et la tension d'alimentation des serveurs sont contrôlées et maîtrisées. Nous avons réalisé de nouvelles expérimentations où la température est contrôlée et stable (23,5°C). La tension d'alimentation des serveurs est délivrée par une source AC qui permet d'avoir une tension précise et stable dans le temps (vérifiée à l'analyseur de puissance). (Voir figure 1). Les SUTs sont un serveur Gigabyte et Dell (voir Tableau 2). SERT est lancé sur ces serveurs en faisant varier la tension d'alimentation aux valeurs RMS suivantes 207V, 230V et 253V.

Sur le Gigabyte, les résultats montrent qu'il y a peu de variation sur la puissance moyenne normalisée (<2%), sous les trois tensions testées. Deux tests effectués sur le



serveur Dell en fixant la tension à 207V et 253V montrent là aussi peu de variation (2.78% pour le benchmark de stockage et < 1.5% pour tous les autres benchmarks).

## 4. Conclusion

Cette étude démontre par des mesures expérimentales qu'un grand nombre de facteurs influencent la consommation électrique d'un serveur. Selon notre premier résultat, la construction intrinsèque du serveur et la température de l'environnement (ambiance et sources de chaleur alentour) peuvent induire avec une variation de la puissance moyenne de 7.8%. Dans la configuration testée (flux d'air traversant horizontalement), l'agencement du serveur, espacé ou accolé a eu peu d'impact sur la variation de la consommation. La variation de la tension d'alimentation sur le serveur a elle aussi peu d'influence et peut être négligée.

Cependant, ces expérimentations montrent que le mode opératoire est très important pour des résultats significatifs : il convient par exemple de maîtriser totalement des paramètres. Pour réaliser un modèle de consommation électrique d'un serveur en fonction des sollicitations informatiques et environnantes, il est nécessaire de réaliser de nouveaux tests en maîtrisant parfaitement l'environnement. Les perspectives sont maintenant de poursuivre ce travail expérimental pour relier les paramètres influant (environnement, architecture interne du serveur, tri des composants) sur la consommation électrique des serveurs.

## Références

- [1] M. Poess and R. O. Nambiar, "Energy Cost, The key Challenge of Today's Data Centers: A power Consumption Analysis of TPC-C Results," *Proc. VLDB Endow.*, vol. 1, no. 2, pp. 1229–1240, 2008.
- [2] M. Canuto, R. Bosch, M. Macias, and J. Guitart, "A methodology for full-system power modeling in heterogeneous data centers," *Proc. 9th Int. Conf. Util. Cloud Comput. - UCC '16*, pp. 20–29, 2016.
- [3] R. Basmadjian and H. de Meer, "Evaluating and modeling power consumption of multi-core processors," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Future Energy Systems: Where Energy, Computing and Communication Meet*, 2012, no. 12.
- [4] A. Lewis, S. Ghosh, and N. F. Tzeng, "Run-time Energy Consumption Estimation Based on Workload in Server Systems," in *Proceedings of the Workshop on Power Aware Computing and Systems (HotPower '08)*, 2008, pp. 17–21.
- [5] Y. Kodama, S. Itoh, T. Shimizu, S. Sekiguchi, H. Nakamura, and N. Mori, "Imbalance of CPU temperatures in a blade system and its impact for power consumption of fans," *Cluster Comput.*, 2013.
- [6] A. C. Orgerie, L. Lerevre, and J. P. Gelas, "Demystifying energy consumption in grids and clouds," in *Green Computing Conference, 2010 International. IEEE*, 2010, pp. 335–342.
- [7] D. Nörtershäuser, J. Gautier, and S. Le Masson, "A Step towards green datacenters : Enlarging climatic ranges – Studying the effects of the building," *Telecommun. Energy Conf. 2008. INTELEC 2008. IEEE 30th Int.*, pp. 1–5, 2008.
- [8] M. K. Patterson, "The effect of data center temperature on energy efficiency," in *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2008. ITherm 2008*, 2008, pp. 1167–1174.
- [9] F. Douchet, D. Nörtershäuser, S. L. E. Masson, and H. Noel, "Refroidissement des équipements électroniques par immersion dans un liquide diphasique."
- [10] R. Bolze et al., "Grid'5000: A large scale and highly reconfigurable experimental Grid testbed," *Int. J. High Perform. Comput. Appl.*, vol. 20, no. 4, pp. 481–494, 2006.