



Etude de l'influence de la température du processeur sur la consommation des serveurs

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

► To cite this version:

Yewan Wang, David Nörtershäuser, Stéphane Masson, Jean-Marc Menaud. Etude de l'influence de la température du processeur sur la consommation des serveurs. ComPAS 2018 - Conférence d'informatique en Parallélisme, Architecture et Système, Jul 2018, Toulouse, France. pp.1-8. hal-01807805

HAL Id: hal-01807805

<https://inria.hal.science/hal-01807805>

Submitted on 5 Jun 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 de la température du processeur sur la consommation des serveurs

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

Orange Labs R&D, 2 Avenue Pierre Marzin, 22300 Lannion, France
IMT Atlantique, 4 Rue Alfred Kastler, 44307 Nantes, France
yewan1.wang@orange.com, david.nortershauser@orange.com,
stephane.lemasson@orange.com, jean-marc.menaud@imt-atlantique.fr

Résumé

La part croissante des data centers dans la consommation énergétique mondiale suscite beaucoup d'inquiétude. Pour bien identifier les impacts énergétiques des matériels et logiciels utilisés dans les data centers, les travaux décrits ici visent à développer un outil de modélisation prédictive de la consommation énergétique des serveurs en tenant compte de l'architecture matérielle, du service rendu et de leur environnement technique. L'influence des CPU¹ est particulièrement étudiée car il s'agit du composant électronique du serveur consommant le plus. En situation réelle, la consommation énergétique du CPU dépend principalement de la charge informatique. Etant donné que la puissance augmente, la chaleur dissipée augmente et la température du composant également. Par ailleurs cette augmentation de la température induit une augmentation des courants de fuite, qui contribue aussi à une augmentation de la consommation énergétique et cela n'a pas été caractérisé précisément. Pour bien déterminer cet impact, nous avons utilisé des serveurs équipés de différentes générations de CPU sous une même sollicitation logicielle et nous avons fait varier la température de la surface du CPU en changeant la vitesse de ventilateurs. Ces derniers sont alimentés par une source d'alimentation DC externe afin que la consommation énergétique globale soit indépendante du fonctionnement du ventilateur. Nos résultats montrent que cet impact peut être très important. Des essais supplémentaires montrent que l'influence de la température des autres composants sur la consommation du serveur peut être négligée.

Mots-clés : température du CPU, consommation du serveur, température ambiante, courant de fuite

1. Introduction

Depuis quelques années, le matériel IT a pris une importance croissante dans les réseaux de télécommunications en raison de l'évolution des services. On observe ainsi une augmentation de la consommation énergétique de l'IT et de son environnement technique (conversion d'énergie et refroidissement). L'efficacité énergétique des data center a suscité de plus en plus d'attention 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

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

consommer jusqu'à 200 fois plus d'électricité que les espaces bureautiques) [16]. Il apparaît primordial pour un opérateur de connaître la consommation énergétique des équipements de réseau et de calcul en fonction des services rendus et de la maîtriser [3, 1, 10]. Le travail présenté ici s'inscrit dans cette logique. Il vise à développer un outil de modélisation prédictive de la consommation énergétique des serveurs en tenant compte de l'architecture matérielle, du service rendu et de leur environnement technique.

Après une étude bibliographique, il apparaît que l'influence des CPU suscite beaucoup d'intérêt car il s'agit du composant électronique du serveur consommant le plus. Il doit donc faire partie des grandeurs à considérer dans un modèle de consommation. Réciproquement, la température du CPU varie donc en fonction de la charge, de la température ambiante, du système de refroidissement (dissipateur, ventilateur et régulation associée) et de la gestion dynamique de la tension d'alimentation et de la fréquence de l'horloge (DVFS) [19]. Certaines études [15] [6] montrent qu'en sus des sollicitations classiques des serveurs, l'augmentation de la température du CPU fait croître la consommation électrique du serveur en raison de l'augmentation associée de la vitesse de rotation du ventilateur. Par ailleurs, cette augmentation de la température induit une augmentation des courants de fuite [9, 13], qui contribue aussi à une augmentation de la consommation énergétique. Cet impact n'a pas fait l'objet d'études suffisamment vastes (plusieurs types de CPU) ni d'une caractérisation précise, ce que nous proposons de corriger. Dans cette étude expérimentale, l'influence de la température des CPU et des autres composants sur la consommation énergétique du serveur va être étudiée en considérant 3 modèles différents de serveurs.

2. Travaux connexes

Patterson et al. [15] ont 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. Les travaux récents montrent qu'en sus des sollicitations classiques des composants électroniques (CPU, mémoire, réseau, stockage), la consommation énergétique d'une machine varie en fonction de la température de l'air ambiant [14, 20, 18]. Certaines études ont confirmé qu'il y a une forte relation entre la température du CPU et la puissance du serveur et ils l'ont choisi comme une des variables pour établir le modèle [6, 2, 5, 11]. De plus, certaines études trouvent que la période d'échauffement du CPU va causer une latence de puissance réelle car le CPU a besoin de temps pour atteindre une température stable [7, 12]. Et ils ont proposé des méthodes comme prolonger le temps d'exécution pour réduire cet impact sur la modélisation. Mais les serveurs objets de cette étude sont tous basés sur une architecture d'AMD. Les contributions de cet article portent sur :

- La caractérisation de l'impact de la température du CPU sur la consommation énergétique des serveurs.
- L'évaluation de l'impact de la température des autres composants (hors CPU) sur la consommation énergétique du serveur.
- L'évaluation de l'impact de la température sur la performance du serveur.
- Les tests sont menés sur des serveurs avec CPUs de différentes générations, cela nous permet d'avoir une conclusion plus globale.

3. Méthodologies et résultats des tests

Trois types de tests ont été réalisés pour identifier et caractériser l'impact de la température des différents composants sur la consommation énergétique du serveur.

Le test A vise à caractériser l'impact de la température du CPU sur la consommation du serveur. L'architecture de banc de test 1 est présentée en figure 1. Les SUTs (Server Under Test) sont placés dans le même environnement avec une température ambiante constante à 23°C. Le benchmark « cpuburn » a été lancé sur les SUTs pendant plus de 30 minutes. « cpuburn » est un benchmark qui peut maximiser la production du chaleur du CPU [17]. Tous les cœurs ont été utilisés à 100% et tous les threads sont activés durant le test. La température du CPU a été réglée via le ventilateur externe et suit la même évolution (voir 3.2). Le coefficient de Spearman a été calculé pour vérifier si les deux variables, la température du CPU et la puissance du serveur sont corrélées.

Le test B vise à évaluer l'influence de la température des autres composants que le CPU sur la consommation énergétique du serveur. L'architecture de banc de test 2 est présentée en figure 2. Le benchmark « Stream » a été utilisé pour imposer une charge intensive sur la mémoire ainsi que sur le CPU [8]. Dans ce test, une étuve est utilisée afin de contrôler finement la température de l'environnement du serveur. L'alimentation du serveur a été placée en dehors de l'étuve pour éliminer toute variation de rendement de cette dernière avec la température. La température d'étuve a été réglée à 25°C puis à 35°C. Par contre, la température du CPU a été maintenue constante via le contrôle manuel du flux d'air forcé. Le test 2 n'est effectué que sur les serveurs Gigabyte et SuperMicro en raison d'une taille d'étuve limitée.

Le test C est effectué afin de mettre en évidence l'influence de la température du CPU sur le service rendu (performance) du serveur. Comme le benchmark « cpuburn » ne peut nous fournir cette indication, nous avons créé un programme multithread en utilisant le command « bzip2 ». Ce programme sert à utiliser tous les threads disponibles dans le système, chaque thread compressant un dossier N (N>10). Nous comparons le temps d'exécution entre deux cas : CPU « chaud » et CPU « froid ».

<i>SUT</i>	<i>Gigabyte mw50-sv0</i>	<i>SuperMicro x10sdv-tln4f</i>	<i>PowerEdge R630</i>	<i>PowerEdge R740</i>
Processeur	Intel Xeon E5-2609v3, 6 cœurs, 1.9GHz	Xeon D-1540, 20 cœurs, 2.0 GHz	2 x Intel Xeon E5-2650L v4, 56 cœurs, 1.7GHz	2 x Intel Xeon Gold 6138, 80 cœurs, 2.0GHz
Date de sortie du CPU	Q3 2014	Q1 2015	Q1 2016	Q3 2017
Mémoire	4 x 16Go DDR4 2133MHz	4 x 16Go DDR4, 2400MHz	4 x 32 Go DDR4, 2400MHz	16 x 12Go DDR4, 2400MHz
Stockage	480Go SSD	400Go SSD	400Go SSD	400Go SSD
Test	A, B, C	A, B, C	A, C	A, C

TABLE 1 – Caractéristiques et configurations des SUTs (serveur sous test)

4. Architecture du banc de test

L'architecture du banc test est présentée sur les figures 1 et 2. Elle comprend quatre parties : le contrôleur, le SUT, le système de mesure et le système de contrôle thermique.

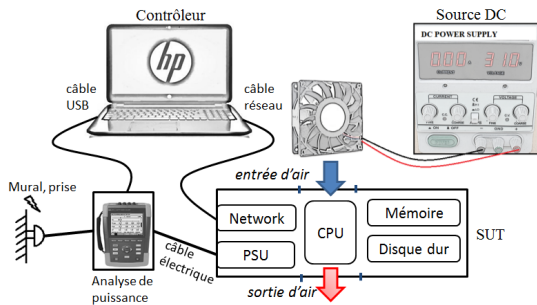


FIGURE 1 – Architecture du banc de Test A

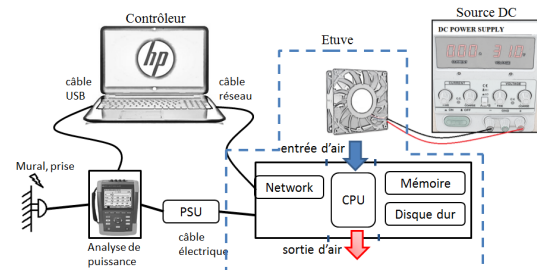


FIGURE 2 – Architecture du banc de Test B

Pour le Test A et Test B :

- Un analyseur de puissance électrique : Fluke 430T. Il permet de mesurer la puissance du serveur en temps réel, côté AC.

$$\text{Précision} = \text{Puissance}_{\text{affichée}} \times (\pm 1\%) \quad (1)$$

- Le contrôleur sert à lancer les commandes de test au SUT, récupérer les mesures de puissance et de température du CPU (la température moyenne de tous les cœurs en utilisant la commande « ls-sensors »), ainsi que les résultats du test. Toutes les données sont échantillonnées avec une fréquence de 1 seconde et sont synchronisées avec l'analyseur de puissance. 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. Les technologies avancées de gestionnaire de la puissance comme « DVFS », « Turbo Boost » sont tous désactivés. L'option du gouverneur du CPU est configurée à « performance » pour que le CPU démarre à la fréquence maximale.
- Le système de contrôle thermique : Le ventilateur interne du SUT a été enlevé et remplacé par un ventilateur externe qui est alimenté par une source DC. Le contrôle de la température de la surface du CPU est réalisé par la modification de la tension d'alimentation. L'étuve est mise en place pour le Test B, pour faire varier la température de la surface des autres composants.

4.1. Résultats du test A :

Les résultats du test A sont présentés en figure 3, nous pouvons observer qu'avec une sollicitation logicielle constante, l'évolution de la température du CPU et la puissance consommée par serveur sont bien corrélées (coefficient de Spearman est > 0.93 pour tous les serveurs). La puissance du serveur varie de plus de 10W suivant la température du CPU pour les serveurs Gigabyte, Dell PowerEdgeR630 et PowerEdgeR740.

4.2. Résultats du test B :

Les résultats du test B sont présentés en figure 5. La figure 4 représente la distribution de la température du CPU durant le test; ils montrent que celle-ci est bien maintenue quand la

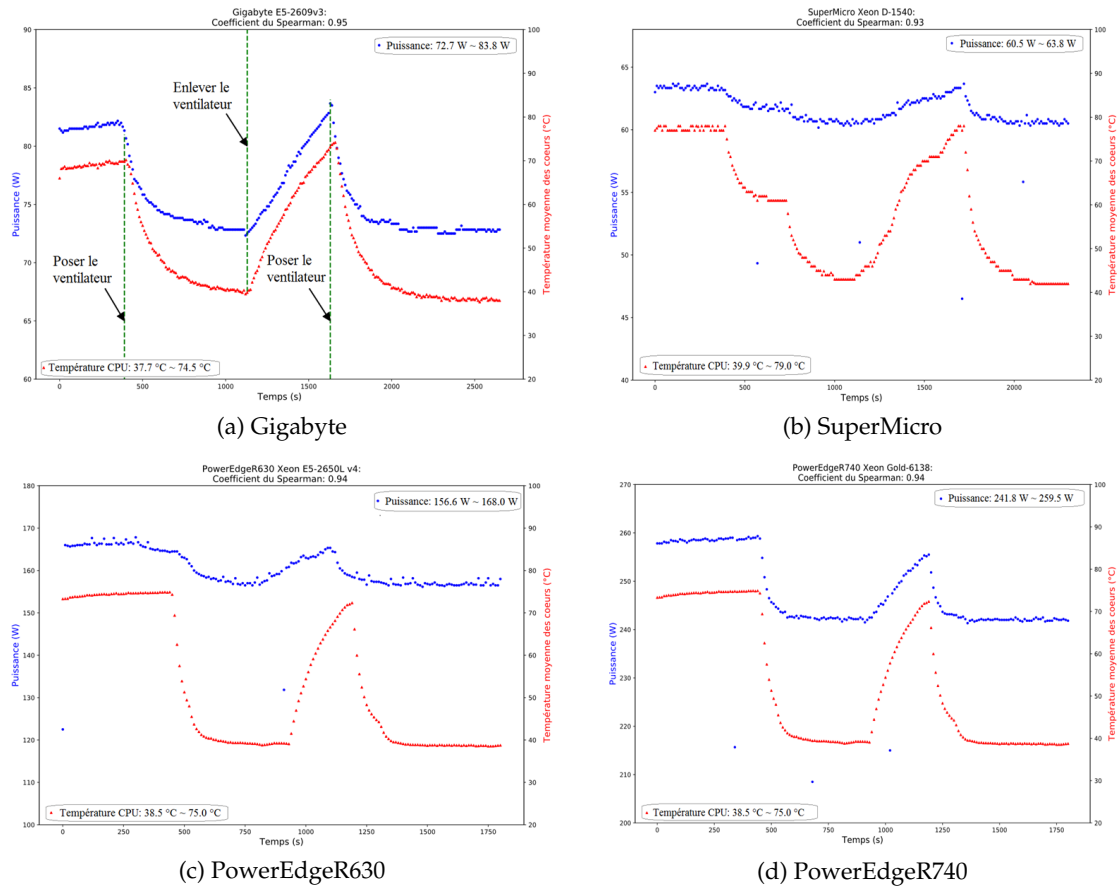


FIGURE 3 – Résultats du Test A

température d'étuve (ambiante) passe de 25°C à 35°C. Les deux derniers graphiques mettent en évidence que la variation de la température des autres composants n'a pas d'impact mesurable sur la puissance du serveur. La plage de température retenue pour ces tests (10°C) est supérieure à ce qui pour l'instant appliqué au niveau des data centers Orange (Classe ASHRAE recommandée = 9°C [4]).

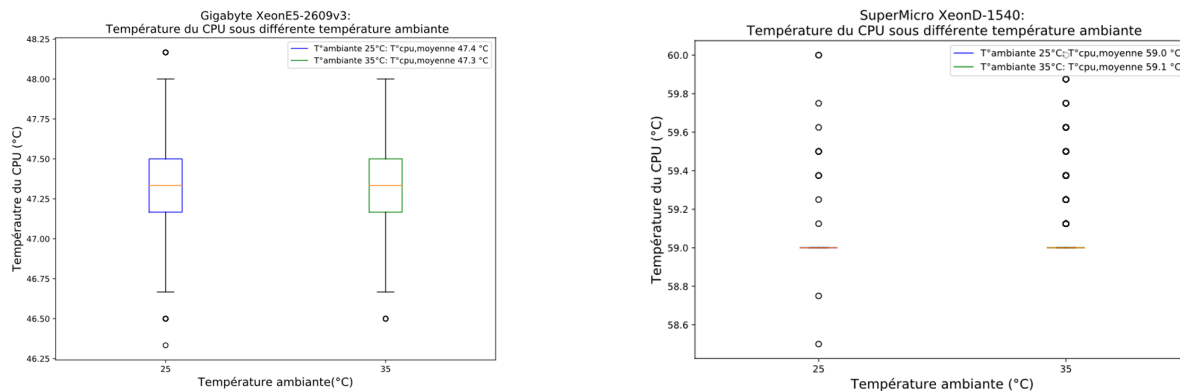


FIGURE 4 – Distribution de la température du CPU

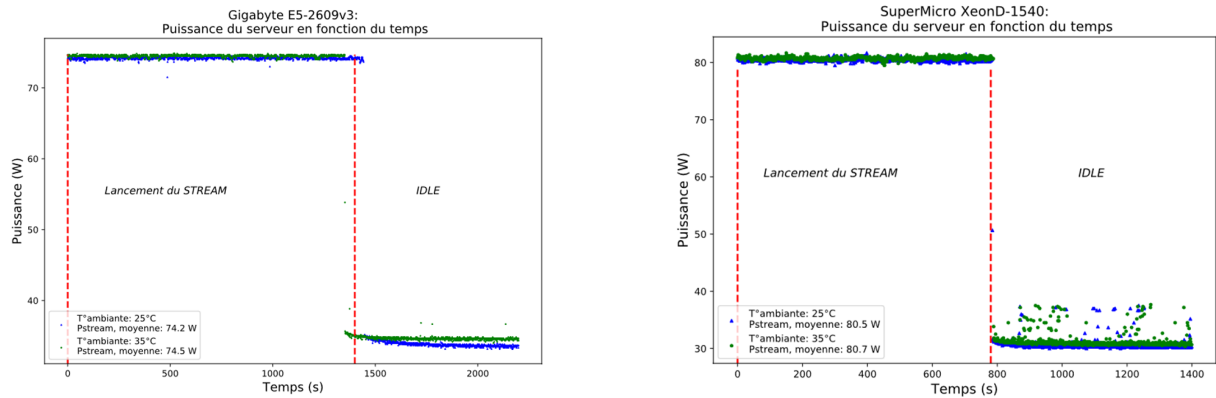


FIGURE 5 – Résultat du Test B

4.3. Résultats du test C :

Les résultats du test C sont présentés en figure 6 et la température moyenne des cœurs pendant le lancement du « stream » sont indiqués dans le tableau au-dessous. Ils montrent que la température du CPU n'a pas d'impact sur le service rendu (performance) du serveur.

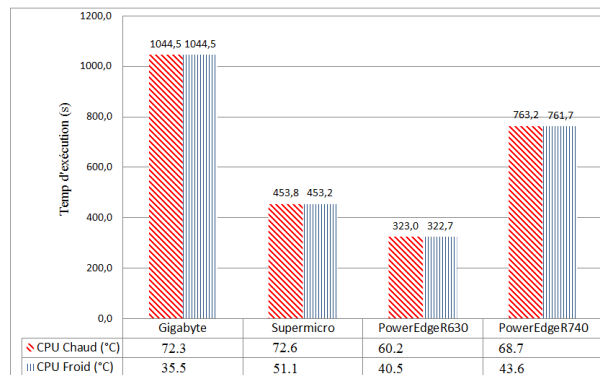


FIGURE 6 – Temps d'exécution du benchmark "bzip2" pour 2 températures du CPU

5. Conclusion

Cette étude démontre par des mesures expérimentales que la température du CPU peut induire une variation importante de la puissance des serveurs. Ainsi, pour des serveurs basés sur un CPU Intel Xeon v3 (E5-2609v3), la puissance électrique augmente de 16% quand la température du CPU passe de 37.7°C à 74.5°C. Le résultat du test B a montré que la variation de la température des autres composants du serveur a peu d'influence et peut être négligée. De plus, le test C a mis en évidence que la performance du serveur ne varie pas en fonction de la température. Il apparaît donc que la température du milieu ambiant impacte la consommation des serveurs via deux contributions : la consommation des ventilateurs et la consommation

du CPU dont les courants de fuite varient quand sa température augmente. Ces résultats sont importants pour le développement de modèles de prédiction de la consommation énergétique car ils indiquent que pour établir un modèle précis, tenir compte de la charge informatique du CPU ne suffit pas ; la connaissance de la température des cœurs doit aussi être prise en compte. Ils permettent également d'insister sur l'intérêt des méthodes de refroidissement liquides qui permettent de maintenir des températures de CPU plus basses, et dont l'impact sur la consommation du serveur a été sous-estimé.

Des travaux ultérieurs permettront d'ajouter dans le modèle la prise en compte de la puissance variable des ventilateurs en fonction de la température. Il sera alors possible de définir les conditions d'ambiance conduisant à la consommation énergétique la plus basse. Par ailleurs, l'impact de la technologie DVFS sur les performances et la consommation des serveurs sera étudié. Enfin, ces résultats pourront être utilisés pour modifier empiriquement les lois établissant les courants de fuite et puissances correspondantes.

Bibliographie

1. Basmadjian (R.) et de Meer (H.). – 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*, p. 12. ACM, 2012.
2. Bircher (W. L.) et John (L. K.). – Complete system power estimation using processor performance events. *IEEE Transactions on Computers*, vol. 61, n4, 2012, pp. 563–577.
3. Canuto (M.), Bosch (R.), Macias (M.) et Guitart (J.). – A methodology for full-system power modeling in heterogeneous data centers. – In *Utility and Cloud Computing (UCC), 2016 IEEE/ACM 9th International Conference on*, pp. 20–29. IEEE, 2016.
4. Committee (A. T.). – Data center power equipment thermal guidelines and best practices. [Online ; accessed 2018-03-02].
5. Garraghan (P.), Al-Anii (Y.), Summers (J.), Thompson (H.), Kapur (N.) et Djemame (K.). – A unified model for holistic power usage in cloud datacenter servers. – In *Utility and Cloud Computing (UCC), 2016 IEEE/ACM 9th International Conference on*, pp. 11–19. IEEE, 2016.
6. Haywood (A. M.), Sherbeck (J.), Phelan (P.), Varsamopoulos (G.) et Gupta (S. K.). – The relationship among cpu utilization, temperature, and thermal power for waste heat utilization. *Energy Conversion and Management*, vol. 95, 2015, pp. 297–303.
7. Jarus (M.), Oleksiak (A.), Piontek (T.) et Węglarz (J.). – Runtime power usage estimation of hpc servers for various classes of real-life applications. *Future Generation Computer Systems*, vol. 36, 2014, pp. 299–310.
8. John (M.). – Stream : Sustainable memory bandwidth in high performance computers. [Online ; accessed 2018-04-01].
9. Kursun (E.) et Cher (C.-Y.). – Temperature variation characterization and thermal management of multicore architectures. *IEEE micro*, vol. 29, n1, 2009, pp. 116–126.
10. Lewis (A. W.), Ghosh (S.) et Tzeng (N.-F.). – Run-time energy consumption estimation based on workload in server systems. *HotPower*, vol. 8, 2008, pp. 17–21.
11. Mair (J.), Huang (Z.) et Eysers (D.). – Manila : Using a densely populated pmc-space for power modelling within large-scale systems. – In *Parallel Processing Workshops (ICPPW), 2016 45th International Conference on*, pp. 210–219. IEEE, 2016.
12. Mair (J.), Huang (Z.), Eysers (D.) et Zhang (H.). – Myths in pmc-based power estimation. – In *European Conference on Energy Efficiency in Large Scale Distributed Systems*, pp. 35–50. Springer, 2013.

13. Moss (D.) et Bean (J. H.). – Energy impact of increased server inlet temperature. *APC white paper*, vol. 138, 2009.
14. Orgerie (A.-C.), Lefevre (L.) et Gelas (J.-P.). – Demystifying energy consumption in grids and clouds. – In *Green Computing Conference, 2010 International*, pp. 335–342. IEEE, 2010.
15. Patterson (M. K.). – The effect of data center temperature on energy efficiency. – In *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2008. ITherm 2008. 11th Intersociety Conference on*, pp. 1167–1174. IEEE, 2008.
16. Poess (M.) et Nambiar (R. O.). – Energy cost, the key challenge of today's data centers : a power consumption analysis of tpc-c results. *Proceedings of the VLDB Endowment*, vol. 1, n2, 2008, pp. 1229–1240.
17. Robert (R.). – Ubuntu manpage : cpuburn, burnbx, burnk6, burnk7, burnmmx, burnp5, burnp6 - a collection, 2011. [Online ; accessed 2018-05-28].
18. Sampath (S.). – *Thermal Analysis of High End Servers Based on development of detail model and experiments*. – Rapport technique, The university of texas at Arlington, 2012.
19. von Kistowski (J.), Block (H.), Beckett (J.), Spradling (C.), Lange (K.-D.) et Kounev (S.). – Variations in cpu power consumption. – In *Proceedings of the 7th ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering*, pp. 147–158. ACM, 2016.
20. Wendy (T.), Kevin (B.) et Victor (A.). – *The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures*. – Rapport technique, Schneider Electric, 2011.