

Contexte

- L'augmentation considérable de l'utilisation des technologies de l'information et de communication (TIC)
- Selon le Shift Project ¹
 - La demande énergétique des activités numériques en 2019 était de 6%
 - L'augmentation de 6.2% par an (2015 -> 2019)
 - Les émissions mondiales de gaz à effet de serre en 2019 étaient de 3,5% (+ que l'aviation civile)
- Les centres de données et les services cloud sont au centre de cette croissance
- Afin d'améliorer leur efficacité énergétique, la possibilité de **mesurer la consommation énergétique du matériel et des logiciels** est une exigence importante

Wattmètres logiciels (CPU)

- PowerAPI ⁴ avec SmartWatts
- Scaphandre ⁵
- Energy Scope ⁶

Wattmètres matériels

Le moyen le plus précis pour mesurer la consommation énergétique d'un serveur



- ✓ Précis et utilisés depuis longtemps
- ✗ Difficiles à mettre en place à grande échelle et peuvent être coûteux
- ✗ Capables de mesurer uniquement la consommation globale du serveur
 - Sans détails de consommation à la finesse d'un composant serveur, d'un processus, d'une machine virtuelle ou d'un conteneur

Interfaces internes

- Intel RAPL
- Nvidia NVML

- ✓ Fournissent des informations sur la consommation énergétique des différents composants (**CPU, RAM et GPU**)
- ✓ Disponibles sur la quasi-totalité des serveurs récents
- ✓ Les valeurs données par ces interfaces ont une bonne précision^{2 3}
- ✗ Donnent la consommation uniquement du CPU, de la RAM et du GPU
- ✗ L'utilisation directe de ces interfaces est relativement compliquée

Étude comparative expérimentale

Différents critères considérés

- Compatibilité matérielle
- Technologies sous-jacentes utilisées
- Intrusivité
- Modèles d'estimation utilisés
- Qualité de la documentation
- Qualité de l'estimation
- Leurs points forts et leurs limites

Méthode d'évaluation

Environnement – Grid'5000 ⁷ - Cluster Gemini Lyon

- 2 CPUs Intel Xeon E5-2698 v4 – 20 cœurs/CPU
- 8 GPU Nvidia Tesla V100 (32Gib)
- Disponibilité des wattmètres physiques
- Disponibilité des données de consommation avec BMC (Contrôleur de gestion de la carte mère)

Benchmarks - NAS Parallel Benchmarks (NPB) ⁹

- Embarassingly Parallel (**EP**) - CPU
- Multi-Grid on a sequence of meshes (**MG**) - RAM
- Lower-Upper Gauss-Seidel solver (**LU**) - CPU+RAM

Figure 1. Energie consommée par les benchmarks EP et LU

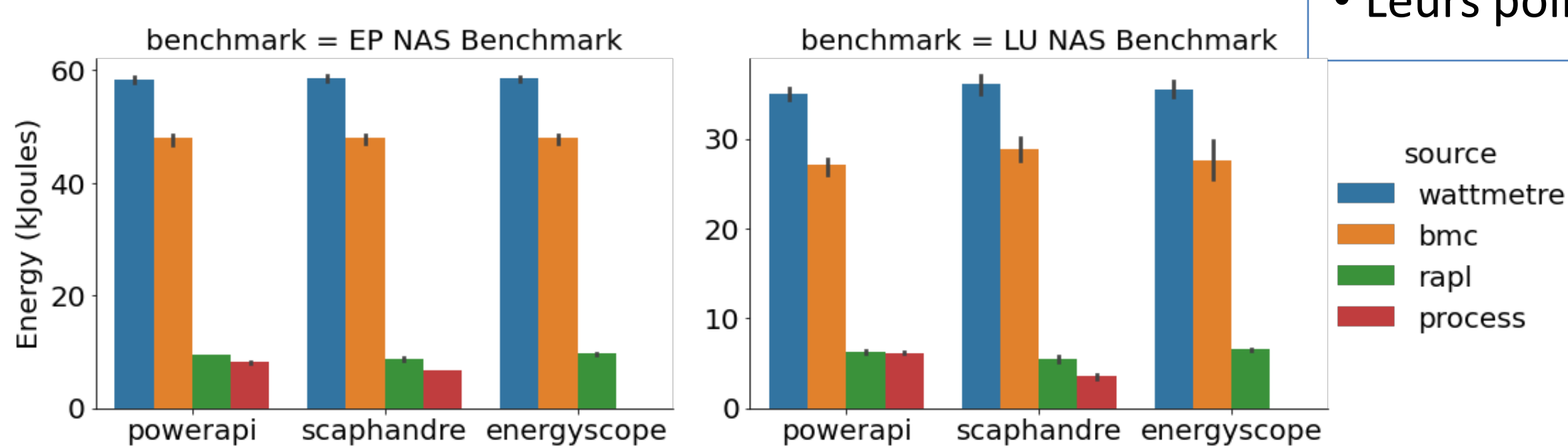


Figure 3. Corrélation avec le wattmètre physique

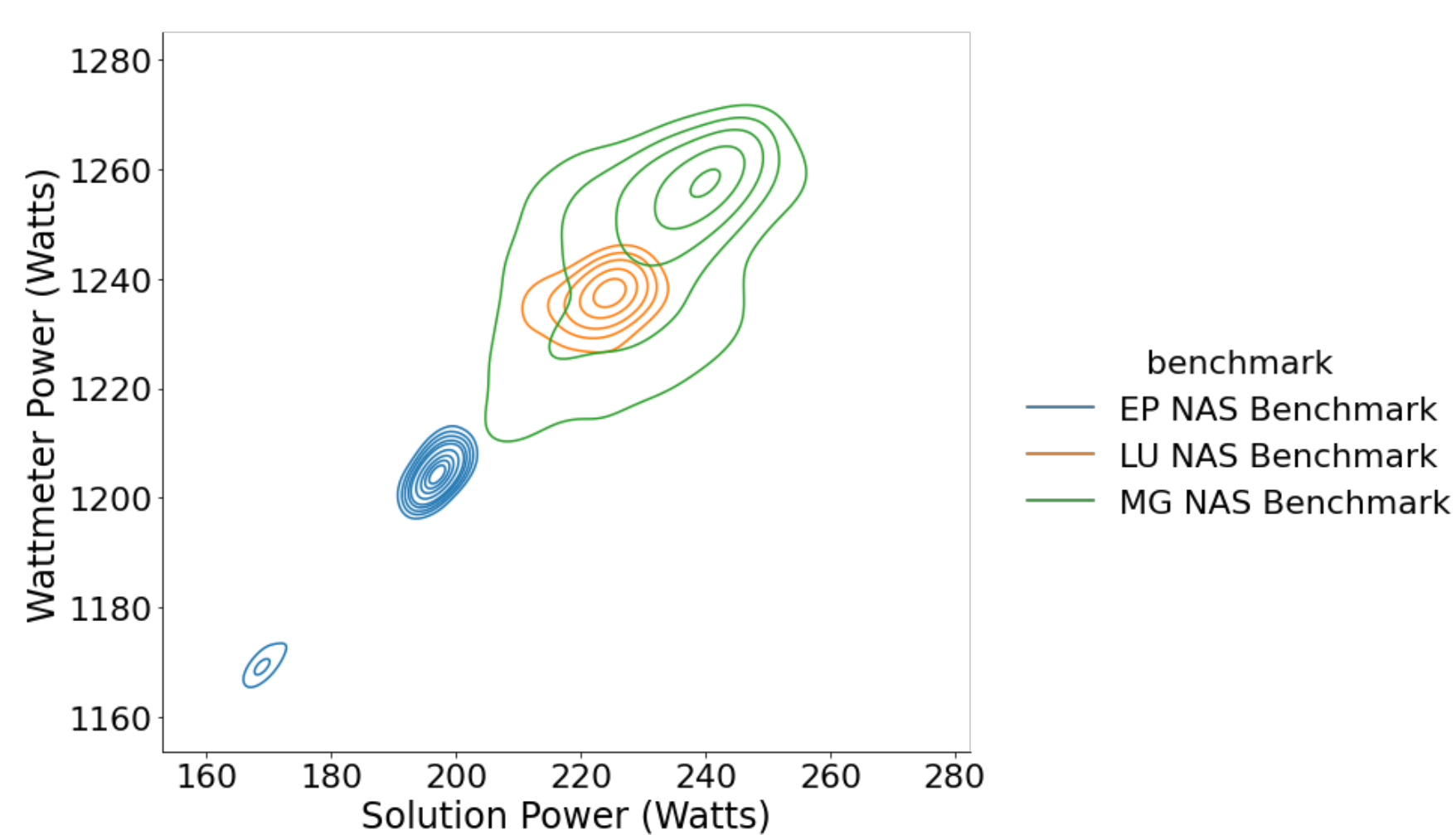


Figure 2. Profilage de puissance

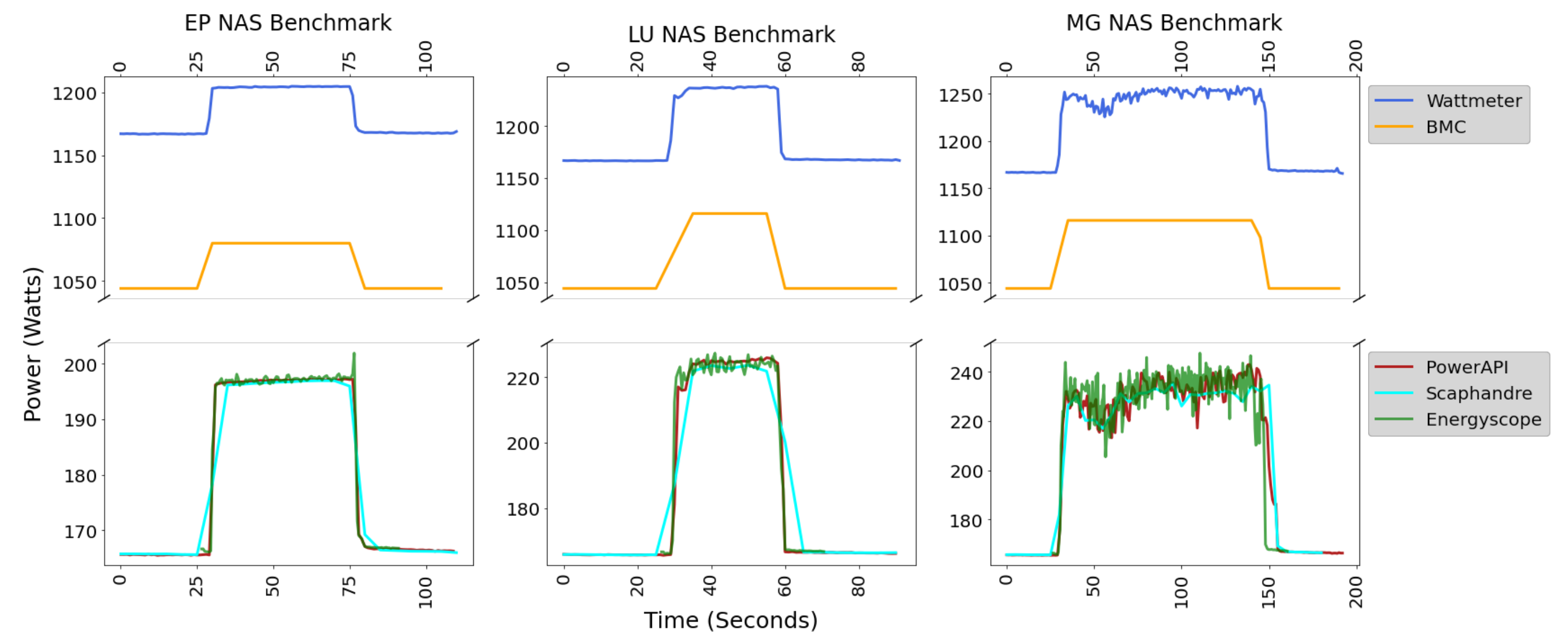


Tableau 1. Tableau comparatif

	Wattmètre	PowerAPI (SmartWatts)	Scaphandre	Energy Scope
Année de sortie		2013 (2019)	2020	2021
Granularité	Machine	CPU, RAM, Process	CPU, RAM, Process	CPU, RAM, GPU
Support de virtualisation	Non applicable	Oui	Oui	Non
Technologie hardware utilisée	Non applicable	RAPL	RAPL	RAPL, NVML
Modèle d'estimation utilisé (processus)	Non applicable	Régression Ridge	Utilisation du CPU	Non applicable
Nombre maximale de processus estimés	Non applicable	Moins de 6	Plus de 200	Non applicable
Fréquence d'acquisition maximale (Hz)	50	20	0.5	50
Estimation en temps réel	Oui	Oui	Oui	Non
Flexibilité de configuration	Non applicable	Très bonne	Très bonne	Bonne
Disponibilité du code source	Non applicable	Oui	Oui	Non
Facilité d'installation et d'utilisation	Très compliqué	Compliqué	Moyenne	Simple
Formats de sortie	HTTP Endpoint	MongoDB, InfluxDB, CSV, Socket, File, Prometheus	Prometheus, Riemann, Warp10, JSON, STDOUT	JSON

Analyse

- ✓ **PowerAPI** et **Scaphandre** estiment la consommation du CPU à l'échelle d'un processus (conteneur ou machine virtuelle)
- ✓ **PowerAPI** et **Scaphandre** sont utilisables dans un environnement virtualisé
- ✗ **PowerAPI** et **Scaphandre** ne prennent pas en charge les GPU dédiés
- ✓ **PowerAPI** estime la consommation de la RAM à l'échelle d'un processus
- ✗ **PowerAPI** est capable d'estimer moins de 6 processus à la fois
- ✓ **Scaphandre** est capable d'estimer plus de 200 processus à la fois
- ✓ **Energy Scope** prend en charge les GPU dédiés et a la fréquence d'acquisition maximale la plus élevée
- ✓ **Toutes les solutions** ont une surcharge CPU presque négligeable (< 3-4%)
- ✓ **Bonne corrélation des valeurs données par toutes les solutions** avec un wattmètre matériel

Contact

Vladimir Ostapenco
Univ Lyon, EnsL, UCBL, CNRS, Inria, LIP
Email: vladimir.ostapenco@inria.fr

Ce travail est réalisé en collaboration avec Mathilde Jay

References

1. The Shift Project: IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE: TENDANCES À 5 ANS ET GOUVERNANCE DE LA 5G. page 47, Mars 2021
2. D. Hackenberg et al, "An Energy Efficiency Feature Survey of the Intel Haswell Processor," in IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop, (Hyderabad, India), pp. 896–904, May 2015.
3. Y. Arafa et al., "Verified instruction-level energy consumption measurement for NVIDIA GPUs," in ACM International Conference on Computing Frontiers, pp. 60–70, 2020.
4. A. Bourdon et al., "PowerAPI : A Software Library to Monitor the Energy Consumed at the Process-Level," ERCIM News, vol. 92, pp. 43–44, Jan. 2013. <https://powerapi-ng.github.io>
5. B. Petit, "Scaphandre : A monitoring agent, dedicated to energy consumption metrics." <https://github.com/hubblo-org/scaphandre>
6. H. Matthieu, "Energy Scope : A software package to do energy measurements and to identify energy profile of HPC codes." https://sed-bso.gitlabpages.inria.fr/datacenter/energy_scope.html
7. D. Balouek et al., "Adding virtualization capabilities to the Grid'5000 testbed," vol. 367, pp. 3–20, 2013
8. D. Bailey et al., "The NAS Parallel Benchmarks," RNR Technical Report, p. 79, 1994