

Synthèse : Mesure de la consommation énergétique des systèmes numériques

Erwan Poncin, Gwendal Tréhin

November 2025

La consommation énergétique du numérique représente aujourd’hui un enjeu majeur, tant du point de vue environnemental qu’industriel. Avec la généralisation du cloud, la multiplication des services en ligne et l’augmentation continue du volume de calcul, les logiciels sont devenus des contributeurs significatifs à la dépense énergétique globale. Dans ce contexte, la mesure de l’énergie consommée par les systèmes numériques ne relève plus d’un simple exercice d’optimisation : elle constitue un outil stratégique pour piloter les choix d’architecture, améliorer l’efficacité des infrastructures et répondre aux objectifs de sobriété numérique.

Pourquoi mesurer l’énergie des logiciels ?

Historiquement, les organisations se contentaient d’observer des métriques indirectes telles que l’utilisation CPU ou mémoire, en les considérant comme des indicateurs approximatifs de la consommation énergétique. Cependant, ces mesures ne reflètent que partiellement la réalité : l’utilisation CPU n’est pas proportionnelle à la puissance consommée, et certaines charges peuvent produire un coût énergétique minimal malgré des pics d’utilisation apparents.

La mesure énergétique devient essentielle pour :

- comprendre l’impact réel des architectures distribuées et des environnements cloud ;
- comparer différentes implémentations ou organisations logicielles ;
- identifier les sources d’inefficacité énergétique ;
- orienter les choix technologiques vers des solutions plus sobres.

Limites des approches actuelles

Malgré leur importance, les pratiques industrielles actuelles présentent plusieurs limites :

- absence de standardisation dans les méthodes de mesure ;

- grande variabilité des résultats selon l'infrastructure (VM, serveurs physiques, cloud) ;
- mesures souvent réalisées après le développement, rendant difficile toute action corrective ;
- difficulté à isoler l'impact des services tiers et des couches d'abstraction logicielles.

Cette situation rend complexe la comparaison entre projets ou entre architectures, et limite la reproductibilité des résultats.

Approches matérielles

Les méthodes matérielles consistent à utiliser des outils externes ou intégrés au système pour mesurer directement la puissance consommée. Elles se subdivisent en deux catégories :

Appareils externes. Les wattmètres ou multiprises connectées permettent d'obtenir une mesure simple, fiable et indépendante des logiciels utilisés. Elles fournissent cependant une vision globale, sans distinction entre les composants internes.

Instrumentation interne. Certaines plateformes intègrent du matériel de mesure dédié permettant d'observer la consommation au niveau des composants (CPU, GPU, mémoire). Cette approche est très précise et n'induit aucun overhead, mais nécessite un accès privilégié au matériel et reste limitée à certaines configurations.

Approches logicielles

Les méthodes logicielles s'appuient soit sur des modèles théoriques, soit sur des registres matériels exposés par les constructeurs.

Modèles basés sur les spécifications. Ces méthodes estiment la consommation à partir du TDP (*Thermal Design Power*) du processeur et du taux d'utilisation observé. Bien que faciles à mettre en œuvre, elles manquent de précision car le TDP reflète une enveloppe maximale et non la consommation réelle.

Registres matériels (MSR). De nombreux processeurs modernes exposent des données énergétiques via des registres spécifiques, tels que :

- Intel RAPL (Running Average Power Limit),
- AMD APM (Average Power Management),
- NVIDIA NVML pour les GPU.

Ces registres permettent une mesure directe, fine et temporellement précise de la consommation. Ils sont utilisés par des outils tels que PowerAPI, EnergiBridge ou PowerJoular. Leur principal inconvénient réside dans l'overhead induit par la collecte et dans la dépendance au matériel.

Choisir une méthode adaptée

Le choix d'une méthode dépend des objectifs :

- pour comparer plusieurs architectures ou algorithmes, une mesure logicielle légère et granulaire est suffisante ;
- pour analyser la consommation d'un poste complet ou d'un serveur, un wattmètre externe est plus adapté ;
- pour une étude scientifique détaillée au niveau composant, l'accès à des registres matériels ou à de l'instrumentation dédiée est indispensable.

Une approche combinée, mélangeant mesures globales et observations fines, constitue généralement la meilleure stratégie pour obtenir une vision complète.

Conclusion

La mesure de la consommation énergétique des logiciels constitue aujourd'hui un élément incontournable du développement et de l'exploitation des systèmes numériques. Les méthodes disponibles sont nombreuses mais hétérogènes, et l'enjeu principal réside désormais dans leur intégration au cycle de développement, afin que les décisions techniques soient éclairées par une compréhension précise des coûts énergétiques associés. L'avenir du numérique durable passe par une généralisation de ces outils de mesure et une standardisation des pratiques.