



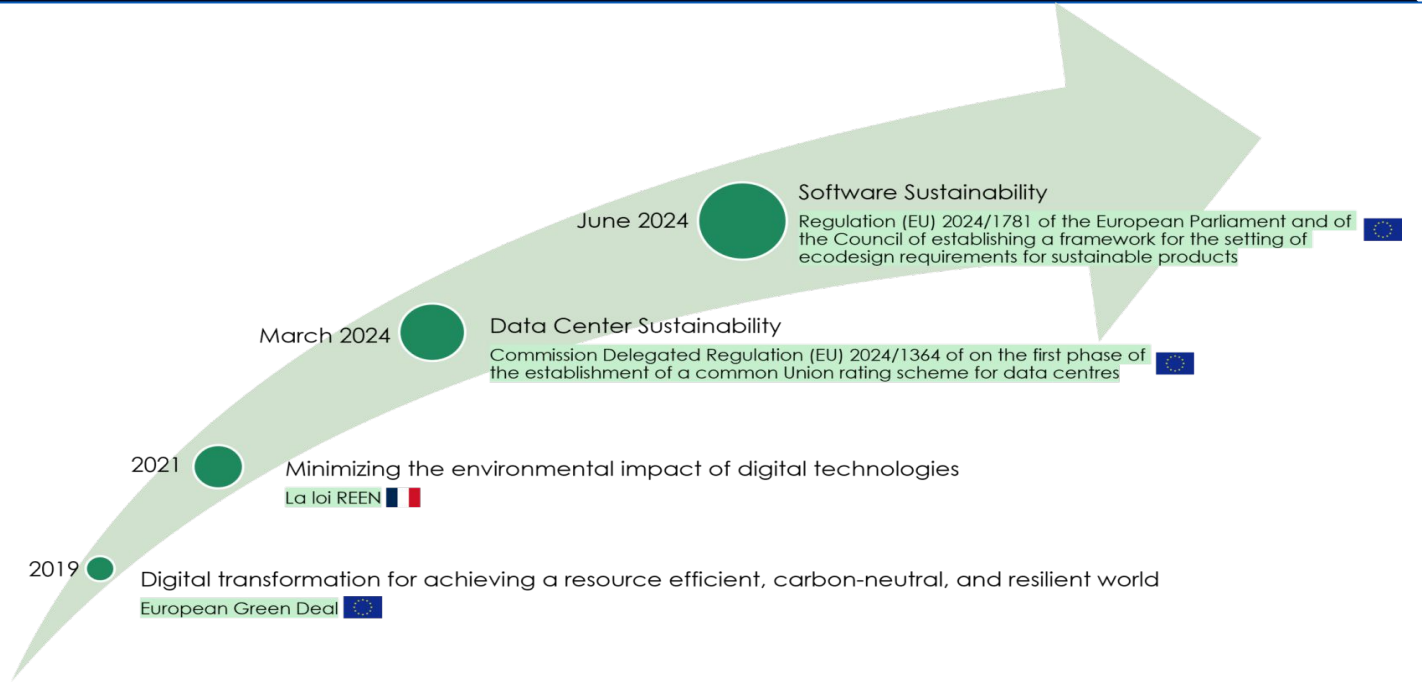
Mesures des consommations énergétiques des systèmes numériques

Gwendal Tréhin - Erwan Poncin

Contexte - Pourquoi mesurer l'énergie des logiciels ?

- Les systèmes numériques représentent désormais près de 6 % de la consommation énergétique mondiale, un niveau supérieur aux émissions de l'aviation civile.
- Avec la généralisation du cloud, du SaaS et des architectures distribuées, l'impact environnemental des logiciels devient un enjeu critique.
- Des mesures de consommation sont désormais prises par les organisations publiques et privées pour :
 - réduire l'empreinte carbone des applications,
 - optimiser les infrastructures,
 - répondre aux exigences de sobriété numérique,
 - et guider les choix d'architecture et de conception logicielle.

More restrictions over time



Verhaeghe, Benoît. *You can not avoid it! — measuring the energy consumption of software systems has become essential*. BL Research, 13 janvier 2025.

Ce que font les entreprises aujourd'hui

- Mesurent surtout l'utilisation des ressources (CPU, RAM, I/O) comme indicateur indirect d'énergie
- Utilisent des tests de charge pour observer l'impact énergétique de scénarios d'utilisation typiques.
- Comparent la consommation entre différentes architectures (ex : client lourd vs SaaS).
- Appuient leurs analyses sur des outils de monitoring classiques (observabilité, performance).

Problèmes et limites

- Les chiffres obtenus sont souvent peu précis, car basés sur des proxys.
- Les résultats dépendent fortement de l'infrastructure (VM, serveur, cloud), rendant la comparabilité difficile.
- Les mesures sont faites trop tard (souvent après développement).
- Différentes équipes utilisent des méthodes différentes → absence de standardisation.
- Incapacité à mesurer l'impact des services tiers (APIs, services cloud) utilisés par les logiciels.

Choix de la métrique

Mesure d'énergie :

- Watt (W)
- kiloWattheure (kWh)
- Joule (J)

Points de comparaison entre les différents outils

- Niveau de la mesure
- Précision
- Définition temporelle
- Overhead ajouté

Niveaux de mesure

- Centre de donnée
- Machine
- Composant
- Application

Technique avec Matériel additionnel

- Matériel Basique (wattmètre à l'extérieur de la machine)
- Matériel spécifiques :
 - cartes intégrées dans la machine pour mesurer par composant

N'induit pas de overhead dans la machine mesurée

Techniques logicielles

- Estimation utilisant la spécification
 - Utilise le TDP (Thermal Design Power) du CPU
 - $\text{Taux d'utilisation} \times \text{TDP} \times \text{Temps de d'exécution} = \text{Consommation estimée}$

Ajoute un overhead dans la machine mesurée qu'il faut prendre en compte

Techniques logicielles

- Mesures utilisant les model-specific registers
 - Inclus depuis une quinzaine d'année sur les processeurs
 - Intel Running Average Power Limit (RAPL),
 - AMD Average Power Management (APM),
 - NVIDIA Management Library (NVML)

→ Outils se basant sur ces mesures :

- ◆ EnergiBridge
- ◆ PowerAPI
- ◆ PowerJoular

Ajoute un overhead dans la machine mesurée qu'il faut prendre en compte

Limites

- Tous les outils ne font que des estimations au niveau application
- Le nombre d'unités de calcul se multiplie et se diversifie
- Les consommations additionnelles (refroidissement) ne sont pas comptées par les méthodes logicielles
- Toutes ces techniques présentent un coût additionnel limitant leur adoption

Saint Thomas

« Si je ne vois dans ses mains la marque des clous, et si je ne mets mon doigt dans la marque des clous, et si je ne mets ma main dans son côté, je ne croirai pas. »



Passons à la démo !

FIN

Merci pour votre attention - Des questions ?

Bibliographie

- Freina, D., Jansen, M., & Trivedi, A. (2024). A Survey of Energy Measurement Methodologies for Computer Systems. Atlarge Research. Récupéré de <https://atlarge-research.com/pdfs/2024-dfreina-litsurvey.pdf>
- Castor, F. (2024). Estimating the Energy Footprint of Software Systems: a Primer. arXiv. <https://arxiv.org/pdf/2407.11611>
- Verhaeghe, B. (2025). You can not avoid it! — Measuring the energy consumption of software systems has become essential. BL Research. Récupéré de <https://www.research-bl.com/you-can-not-avoid-it-measuring-the-energy-consumption-of-software-systems-has-become-essential/>
- Gelenbe, E. (2023). Electricity Consumption by ICT: Facts, Trends, and Measurements. Ubiquity, ACM, 2023 (août), 1-15. <https://doi.org/10.1145/3613207>