

## Lean/low energy code

Compte rendu rédigé par ANDSI et Pierre Delort

### **En bref...**

Georges-André SILBER, maître-assistant à Mines Paris-PSL, a présenté ses recherches sur le code sobre en énergie (*lean/low energy code*), notamment la production, pour Amadeus et sur Azure, d'un code à faible consommation, en détaillant sa démarche et ses résultats.

*L'Association Nationale des Dirigeants en Sciences de l'Information organise des débats dont elle diffuse les comptes rendus. Les opinions exprimées dans ces documents n'engagent que leurs auteurs. L'association se réserve également le droit de diffuser les commentaires que ces publications pourraient susciter.*

### **Logiciel responsable**

Georges-André SILBER (GAS) explique que dans le cadre de la responsabilité environnementale, l'objectif est de consommer moins d'énergie et de prolonger la durée de vie du matériel. En matière de responsabilité sociétale, il s'agit de produire des logiciels qui sont à la fois libres et plus sûrs.

### **Contexte environnemental : un dépassement des limites planétaires**

Le forçage radiatif a atteint en 2023 2,72 W par mètre carré. Parallèlement, l'érosion de la biodiversité se traduit par une chute massive des populations de végétaux.

### **L'impact environnemental croissant du numérique**

La consommation d'énergie de l'industrie du numérique s'accroît. L'empreinte embarquée, qui intègre la consommation liée à la fabrication, à l'élimination et au recyclage d'un appareil, est significative par rapport à l'empreinte d'utilisation. De nos jours, la quasi-totalité des éléments chimiques est employée dans les circuits intégrés. Or aucune méthode de recyclage n'existe pour tous ces éléments.

### **Contexte technologique**

En 1995, Niklaus WIRTH énonce dans son article « *A plea for lean software* » le principe selon lequel « le logiciel ralentit plus vite que le matériel n'accélère ». De son côté, Nathan MYHRVOLD observe que les logiciels ont tendance à occuper tout « l'espace » disponible.

**Int :** En matière de puissance consommée, quelle comparaison peut-on établir actuellement avec la version de Vim que l'on utilisait il y a trente ans ?

**GAS :** La différence est d'un ou deux ordres de grandeur.

La taille moyenne d'une page web en 2022 atteignait 2,2 Mo.

## Contexte : la qualité du logiciel

L'accroissement de la puissance du matériel (*hardware*) doit peu à l'innovation, mais bien plus à la miniaturisation et à la production industrielle. À l'inverse, le développement d'un logiciel (*software*) requiert du temps, de la réflexion et de l'innovation.

**Int :** Il n'est même plus possible de produire du bon code aujourd'hui, car les environnements sont devenus très lourds.

**Int :** Les donneurs d'ordre ne tolèrent plus le temps nécessaire à la production d'un logiciel.

F.P. BROOKS, dans son ouvrage de 1975, « The Mythical Man-Month », explique que la transformation d'un programme en un composant réutilisable multiplie l'effort de développement par trois. L'intégration de ce composant dans un système logiciel complet le multiplie encore par trois, ce qui porte le facteur global à neuf pour une architecture logicielle complète. Par ailleurs, le logiciel open source constitue une modalité vertueuse, à condition qu'un effort continu soit consacré à l'amélioration de la sécurité.

## Le logiciel : un fort potentiel d'amélioration

Une publication de Charles LEISERSON en 2020 dans Science affirme que « *There is plenty of room at the top* », notamment en ce qui concerne les méthodes fondées sur Python et Java.

**Int :** La consommation d'énergie instantanée par seconde est-elle similaire, quelle que soit la méthode utilisée ?

**GAS :** Tout à fait.

Le classement Top500 recense les supercalculateurs dédiés à la simulation numérique. En novembre 2025, le trio de tête était composé d'El Capitan, de Frontier et d'Aurora. Cependant, ces machines n'atteignent que 64 % de leur performance crête sur des codes denses. Les tests ne se limitent plus au code dense et incluent désormais la méthode du gradient conjugué où les performances s'effondrent : la machine Fugaku, par exemple, n'exploite au mieux que 2,8 % de sa puissance crête dans ce cas.

## Pourquoi est-il compliqué d'obtenir automatiquement du code efficace ?

Les performances des unités de stockage et des périphériques d'un ordinateur sont moindres que celles du processeur.

La performance relative de la mémoire et des autres périphériques croît moins vite que celle du CPU : le fossé s'accroît entre les composants rapides et les composants plus lents.

Concernant la « montagne » des débits de mémoire, la bande passante en lecture atteint 14 Go par seconde au sommet. En dehors du cache, elle chute à 100 Mo par seconde.

**Int :** Plus on s'éloigne du CPU (*Central Processing Unit*), plus le nombre de cycles nécessaires augmente.

**GAS :** Exactement, et la mémoire occupe également un espace physique important.

Les opérations du CPU ne sont pas équivalentes : les plus simples sont quasi instantanées, tandis que la performance décroît rapidement pour les opérations complexes.

**PDT :** Peut-on conclure à un dépassement de la loi de Koomey ?

**GAS :** Les données montrent que la relation entre la fréquence et l'énergie n'est pas forcément simple.

## Une chaire sur le logiciel responsable

Le projet PACE, mené avec Amadeus, consiste à construire des sondes pour optimiser la consommation d'énergie d'un serveur tout en maintenant son niveau de performance, alors que les CPU fonctionnent actuellement à une fréquence très élevée.

**Int :** Quelle est la fréquence d'échantillonnage ?

**GAS :** Nous parlons d'une dizaine de mégahertz en matière de mesure.

La thèse de recherche de Benjamin DESTAL porte sur la consommation d'énergie des microcontrôleurs, étudiée à l'aide de modèles énergétiques. Le travail consiste à caractériser la consommation de chaque instruction afin de déterminer leur coût moyen.

### Débat

**Int :** Les mesures dépendent-elles des architectures des processeurs ?

**GAS :** Oui.

**Int :** Ne peut-on pas transposer une mesure effectuée sur une architecture à une autre ?

**GAS :** Non. Nous travaillons sur des systèmes de mesure automatisés. Dans le cadre du projet PACE avec Amadeus, nous écrivons des *benchmarks* et nous caractérisons un serveur spécifique à l'aide de sondes à haute résolution. Nous récupérons ensuite les données que nous transformons en un modèle prédictif. Ce modèle est enfin réintégré dans un compilateur qui, ayant connaissance du modèle d'architecture, peut générer du code qui consomme moins d'énergie.

**Int :** Utilise-t-on aujourd'hui des compilateurs génériques ?

**GAS :** Oui, c'est le cas dans 90 % des situations.

**Int :** Concrètement, comment met-on en œuvre l'écoconception au sein d'une équipe ?

**GAS :** Il s'agit de trouver un compromis avec le temps passé à développer l'application. Cette démarche est possible même avec Python.

Le projet CAMELIA, quant à lui, vise à réaliser de l'inférence en intelligence artificielle en consommant moins d'énergie.

**Int :** Concernant le hardware, la photonique représente-t-elle un horizon envisageable ?

**GAS :** Oui, les travaux de CAMELIA englobent la photonique.

**Int :** Qu'en est-il du calcul neuronal quantique ?

**GAS :** Il est certain qu'il ne fonctionne que pour certaines catégories d'algorithmes précises, dont notamment du chiffrement.

### **Présentation de l'orateur**

Georges-André SILBER est titulaire d'un doctorat de l'ENS Lyon. Il enseigne à Mines Paris-PSL, après une interruption de carrière de huit ans durant laquelle il fut président et directeur technique de LUXIA, un fournisseur de données juridiques autour de la plus grande base de données juridique européenne.