



EVIDEN



Prendre la mesure de la mesure

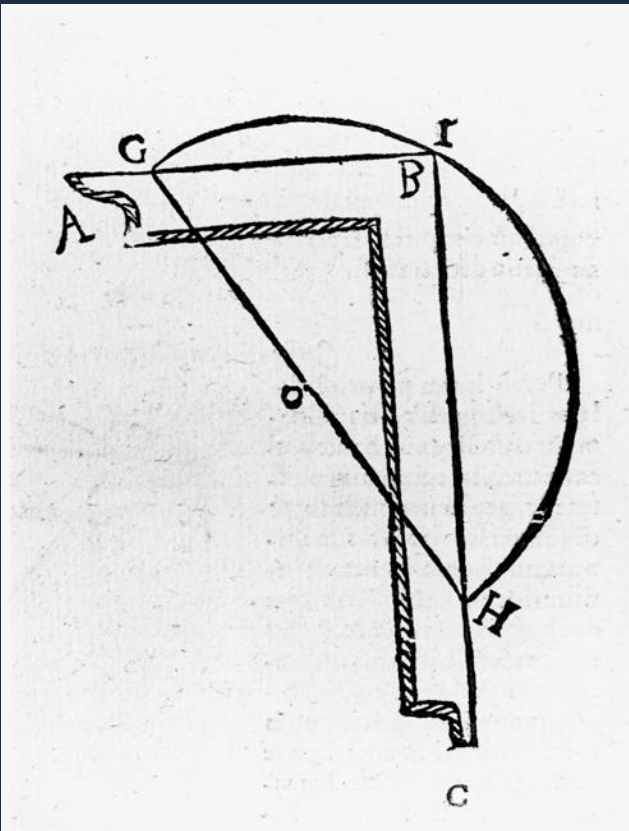
Mathilde JAY^{a,b} & Guillaume RAFFIN^{a,c}

^a **DataMove** : Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, LIG, Grenoble, France

^b **Avalon** : Univ. Lyon 1 UCBL, EnsL, UCBL, CNRS, Inria, LIP, Lyon, France

^c Bull SAS (Atos/Eviden), Grenoble, France

nom.prénom@univ-grenoble-alpes.fr



Sans mesure, pas de science

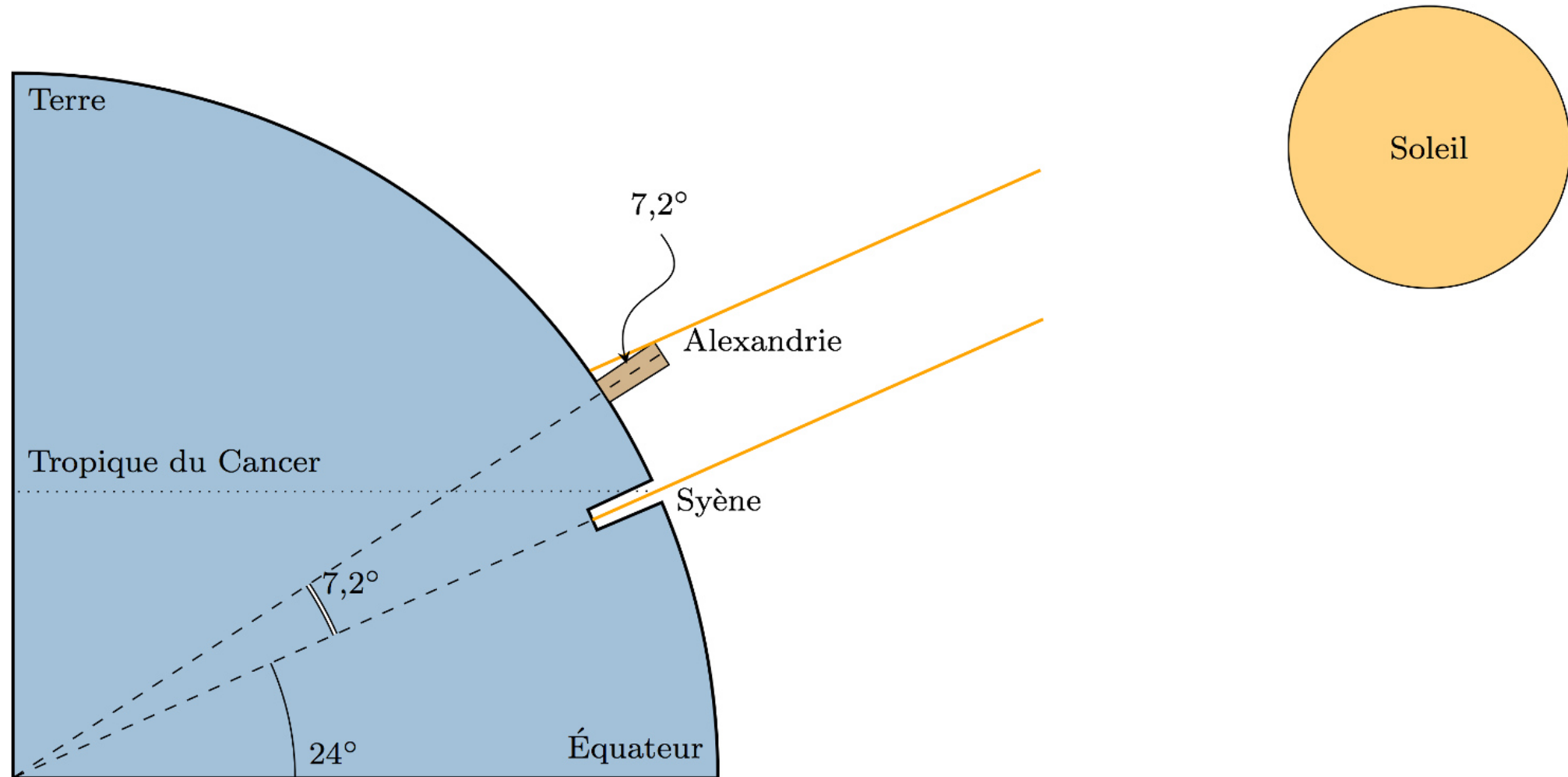
La mesure quantifie, objectifie
et rend comparable.

« On pourrait déterminer les différents
âges d'une science par la technique de
ses instruments de mesure. »

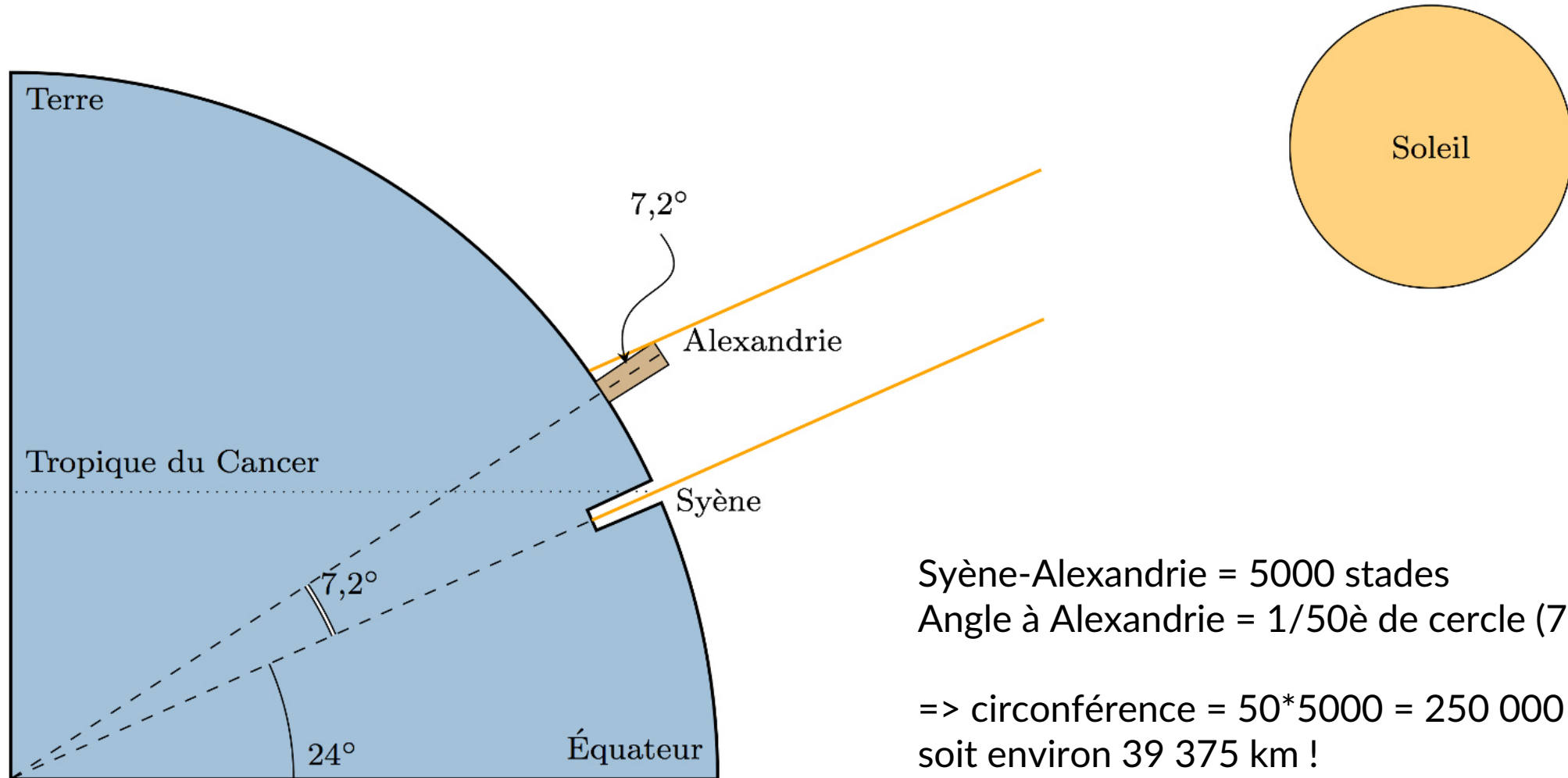
– Gaston Bachelard



Mesure de la circonférence terrestre par Eratosthène (~ -200 av. J.-C.)



Mesure de la circonférence terrestre par Eratosthène (~ -200 av. J.-C.)



Syène-Alexandrie = 5000 stades
Angle à Alexandrie = 1/50^e de cercle (7,2°)

=> circonférence = 50*5000 = 250 000 stades
soit environ 39 375 km !

Était-ce une « bonne » mesure ?

Était-ce une « bonne » mesure ?

-
- **Objet** de la mesure : bien défini ✓
 - **Méthode** consensuelle et pratique : acceptable pour l'époque ✓
 - **Unité** de mesure : « stade » (olympique ? égyptien ? quelle taille exactement ?) ✗
 - **Incertitude** de mesure : élevée ✗
 - **Hypothèses** :
 - Terre parfaitement ronde ✗
 - Alexandrie et Syène sur le même méridien ✗
 - Vitesse des chameaux constante durant le trajet ✗

Était-ce une « bonne » mesure ?

- **Objet** de la mesure : bien défini ✓
- **Méthode** consensuelle et pratique : acceptable pour l'époque ✓
- **Unité** de mesure : « stade » (olympique ? égyptien ? quelle taille exactement ?) ✗
- **Incertitude** de mesure : élevée ✗
- **Hypothèses** :
 - Terre parfaitement ronde ✗
 - Alexandrie et Syène sur le même méridien ✗
 - Vitesse des chameaux constante durant le trajet ✗

Ératosthène était très proche de la réalité, mais par chance !

Mesurons l'empreinte environnementale d'un service numérique.

Mesurons l'empreinte environnementale d'un service numérique.

fabrication
+ conception
+ usage
+ démantèlement

logiciels + matériels qui
réalisent une fonction

Pourquoi ?

Éduquer

- Prise de conscience
- Incitations
- Rendre la maîtrise de leur empreinte aux utilisateurs

Contrôler

- Législation
- Contrats
- Validité des hypothèses
- Paramètres de simulation

Choisir

- Privilégier les solutions efficaces
- Poser des limites volontaires

Améliorer

- Optimisation
- Amélioration continue (*kaizen*)

Pourquoi ?

Éduquer

- Prise de conscience
- Incitations
- Rendre la maîtrise de leur empreinte aux utilisateurs

Contrôler

- Législation
- Contrats
- Validité des hypothèses
- Paramètres de simulation

Choisir

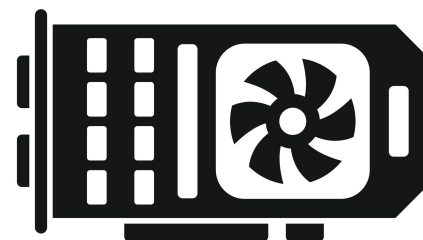
- Privilégier les solutions efficaces
- Poser des limites volontaires

Améliorer

- Optimisation
- Amélioration continue (*kaizen*)

Objectif : interroger la notion de mesure sous différents angles, en phase d'usage

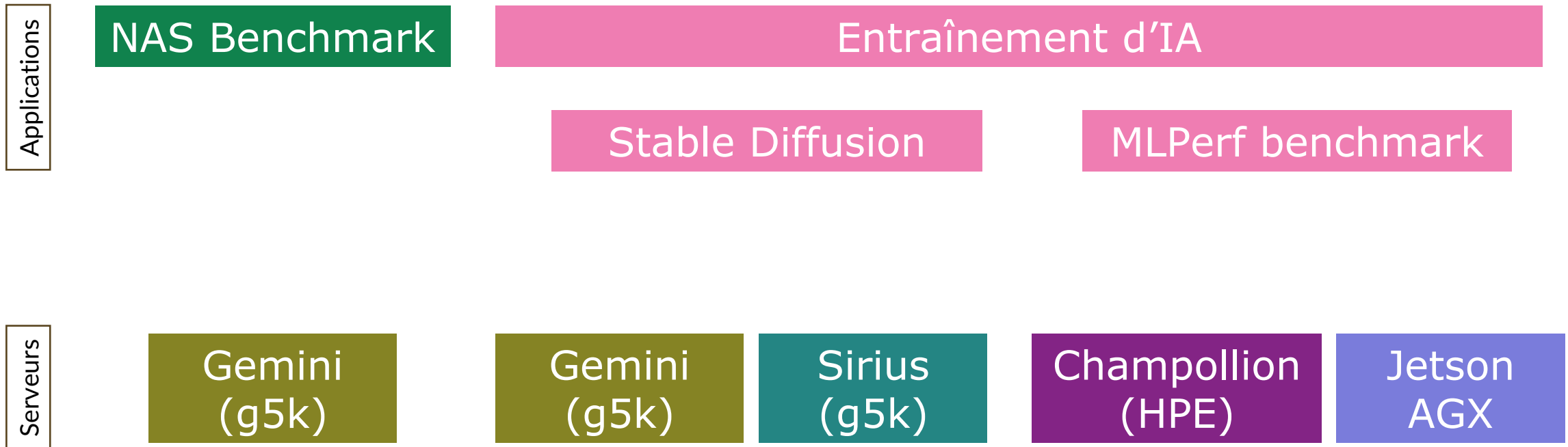
Mesure logicielle et wattmètre



Retours d'expérience



Retours d'expérience



Retours d'expérience

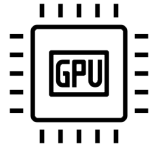
Applications

NAS Benchmark

Serveurs

Gemini
(g5k)

Grid 5000 : serveurs IA



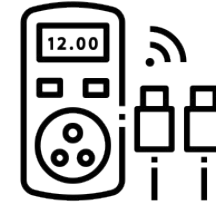
Gemini (g5k)

Serveur Nvidia DGX-1

GPU 8 x Nvidia Tesla V100-SXM2-32GB

CPU 2 x Intel Xeon E5-2698 v4 (Broadwell, 2.20GHz, 20 cores/CPU)

Mémoire 512 GiB



Wattmètre : OmegaWatt

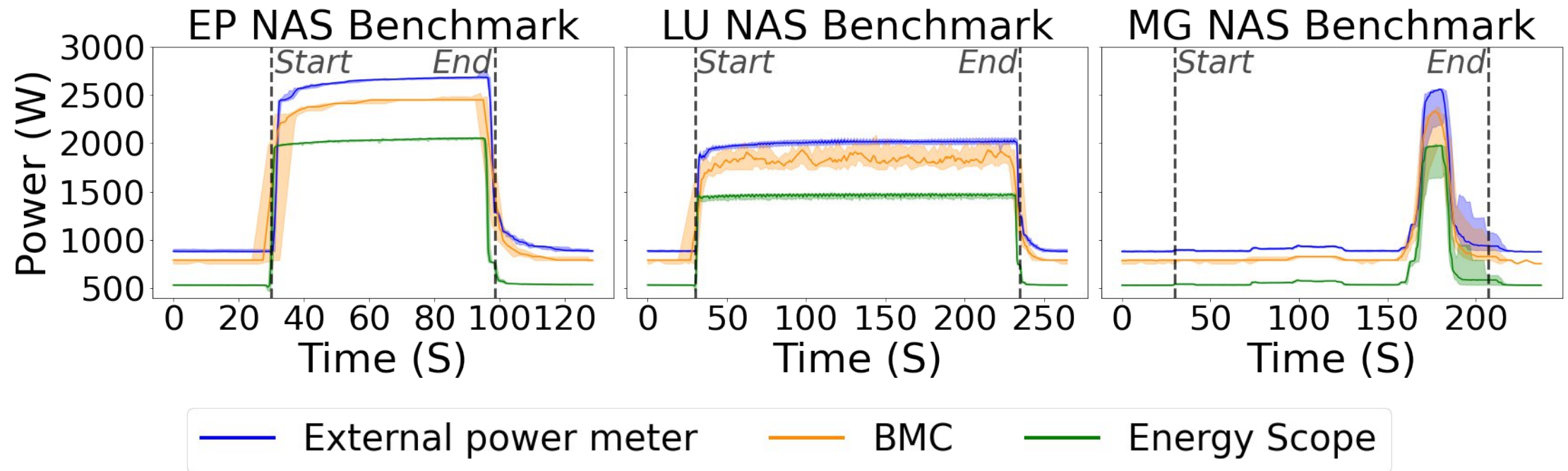
Intervalle d'acquisition 1 secondes

Wattmètre : BMC

Intervalle d'acquisition 10 secondes

Mesure logicielle : NVML + RAPL
(EnergyScope)

Intervalle d'acquisition 1 secondes



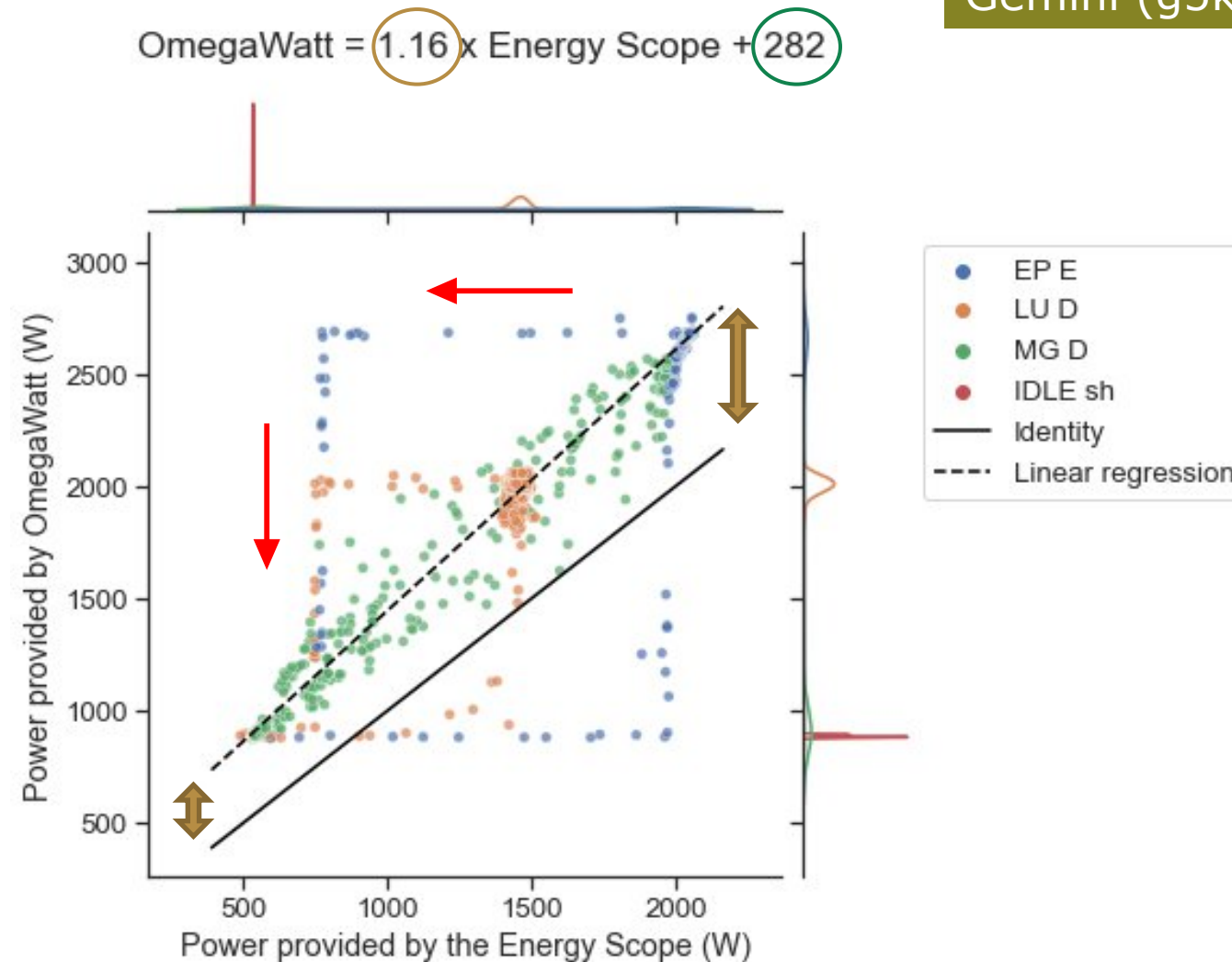
- Écart systématique entre les mesures
- Variabilité de la mesure (BMC) : faible fréquence d'acquisition et quantification

Mathilde Jay, Vladimir Ostapenco, Laurent Lefèvre, Denis Trystram, Anne-Cécile Orgerie, Benjamin Fichel « An experimental comparison of software-based power meters: focus on CPU and GPU », *CCGRID 2023*, 10.1109/CCGrid57682.2023.00020

Benchmarks NAS

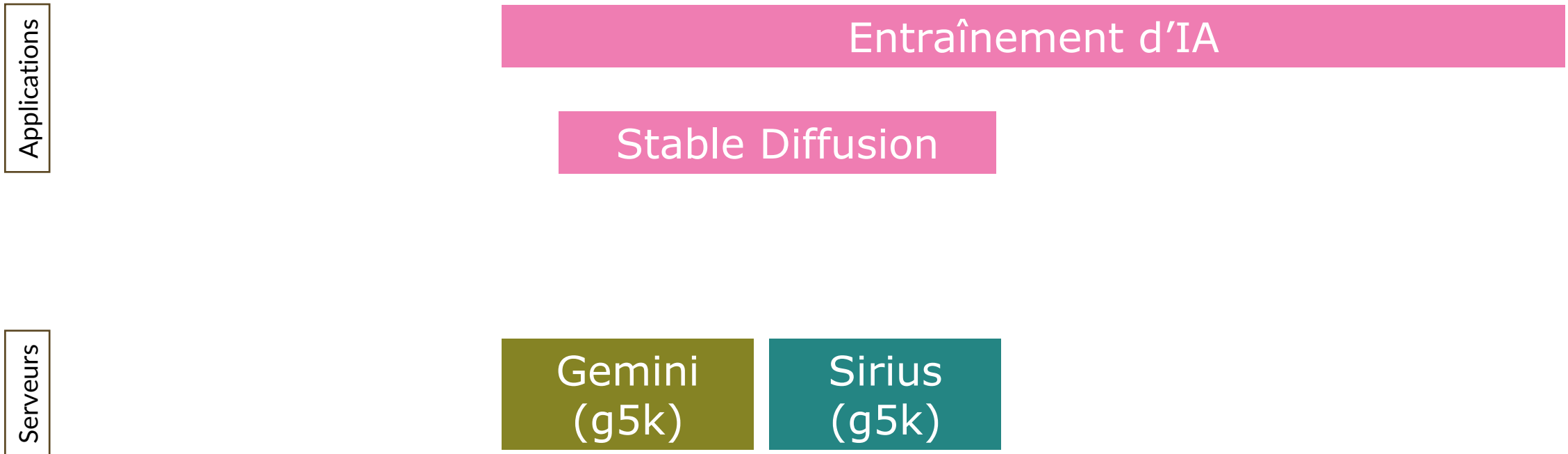
Gemini (g5k)

- Écart systématique
- Biais en puissance
- Retard d'acquisition



Mathilde Jay, Vladimir Ostapenco, Laurent Lefèvre, Denis Trystram, Anne-Cécile Orgerie, Benjamin Fichel « An experimental comparison of software-based power meters: focus on CPU and GPU », *CCGRID 2023*, 10.1109/CCGrid57682.2023.00020

Retours d'expérience



IA : Stable Diffusion

Stable Diffusion

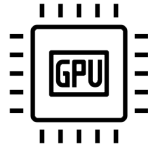
- IA générative d'images à partir d'un texte
- Modèle open-source et entraînement reproductible
- Objectif : estimer le coût de l'entraînement original

Adrien Berthelot, Eddy Caron, Mathilde Jay, Laurent Lefèvre « Estimating the environmental impact of Generative-AI services using an LCA-based methodology », CIRP LCE 2024. <https://inria.hal.science/hal-04346102v2>



A photo of a lake on a sunny day, blue sky with clouds, beautiful, small reeds behind lake, bushes in the foreground, varied trees in the back, summer, 4k, Kieran Stone, Mandy Lea, Sapna Reddy, muted colors, nature photography

Grid 5000 : serveurs IA



Gemini (g5k)

Serveur Nvidia DGX-1

GPU 8 x Nvidia Tesla V100-SXM2-32GB

CPU 2 x Intel Xeon E5-2698 v4 (Broadwell, 2.20GHz, 20 cores/CPU)

Mémoire 512 GiB

Sirius (g5k)

Serveur Nvidia DGX A100

GPU 8 x Nvidia A100-SXM4-40GB

CPU 2 x AMD EPYC 7742 (Zen 2, x86_64, 2 CPUs/node, 64 cores/CPU)

Mémoire 1 TB



Wattmètre : OmegaWatt

Intervalle d'acquisition 1 secondes

Wattmètre : BMC

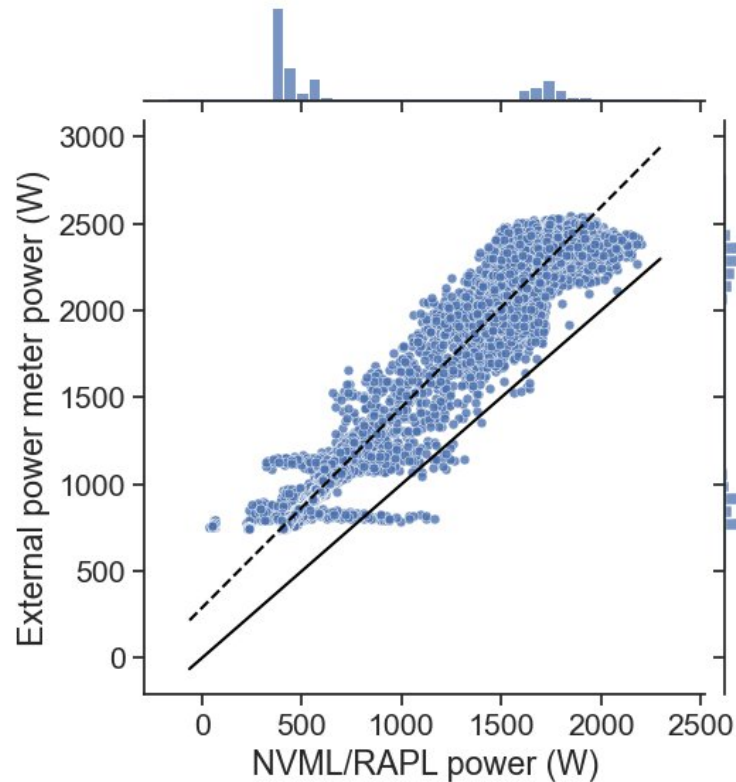
Intervalle d'acquisition 10 secondes

Mesure logicielle : NVML + RAPL
(programme maison en Rust)

Intervalle d'acquisition 1 secondes

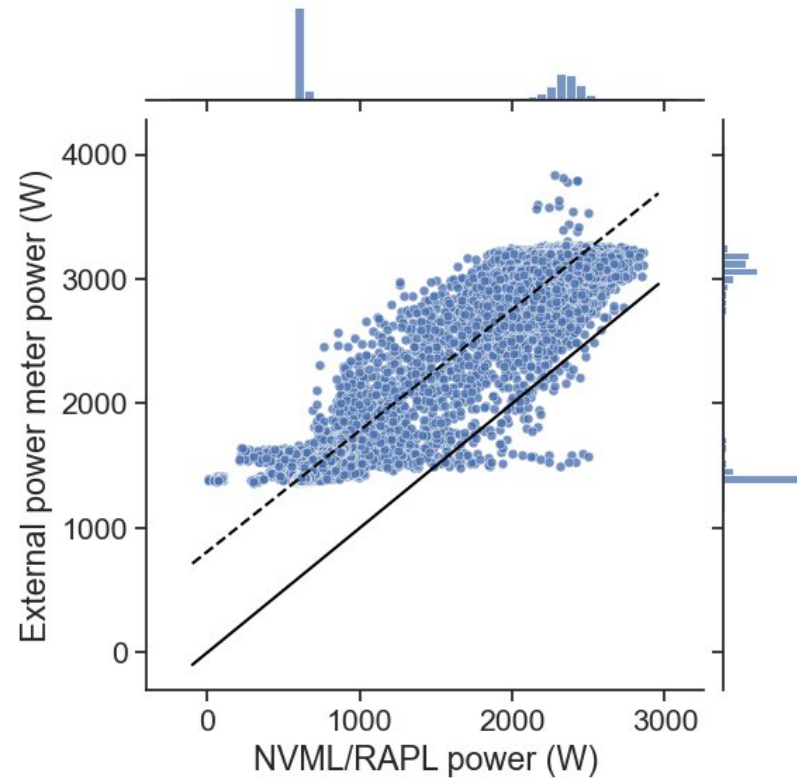
IA : Stable Diffusion

Gemini (g5k)



Linear regression
 $y = 1.15x - 288.88$
Identity
 $y = x$

Sirius (g5k)



Linear regression
 $y = 0.97x + 810.13$
Identity
 $y = x$

- Écart systématique
- Biais en puissance

Différent selon les machines

Retours d'expérience

Applications

Entraînement d'IA

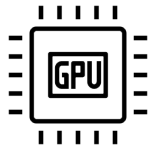
MLPerf benchmark

Serveurs

Champollion
(HPE)

Jetson
AGX

Champollion (HPE)



Champollion

Serveur Apollo 6500 gen10

GPU 8 x Nvidia A100 SXM4 80 GB avec NV switch

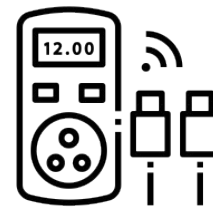
CPU 2 x AMD EPYC 7763 (64 cores)

Mémoire 1 TB DDR4-3200 dual rank
Connection avec 4 Infiniband HDR (6200GB/s)

Stockage local 3 TB NVMe SSD

Stockage distant ClusterStore

Classé sur Top500 et Green500



Wattmètre (BMC) : HPE iLO 5

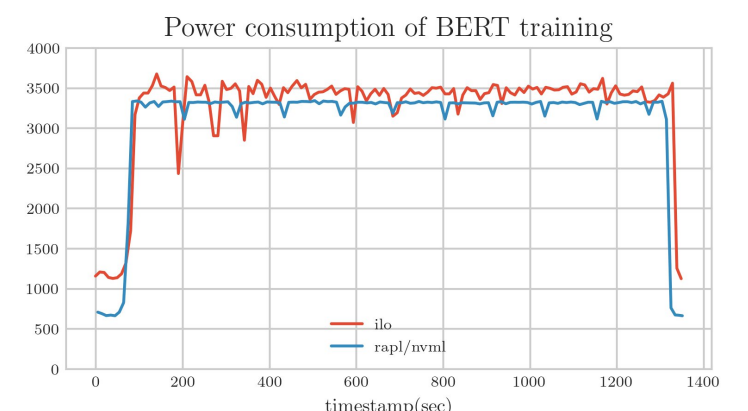
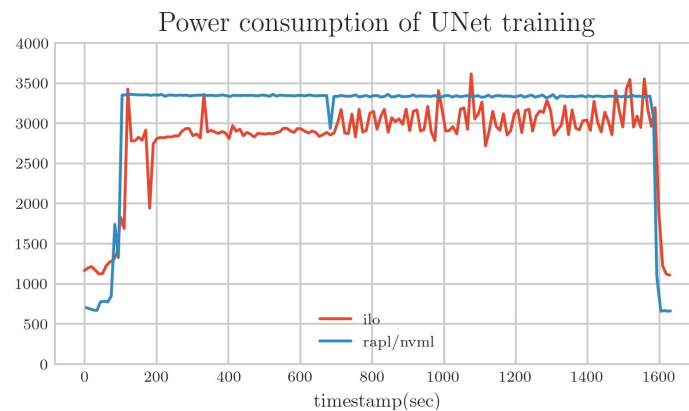
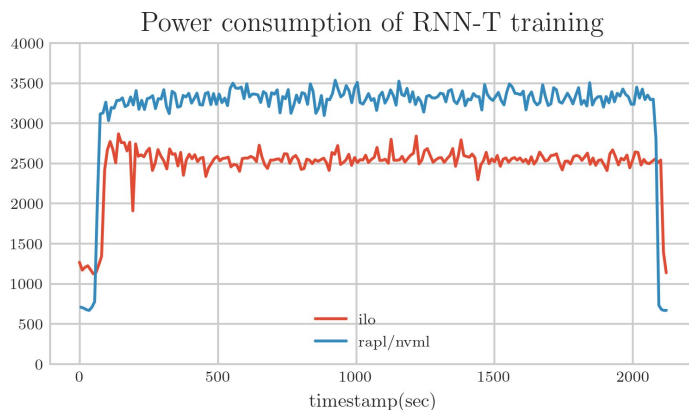
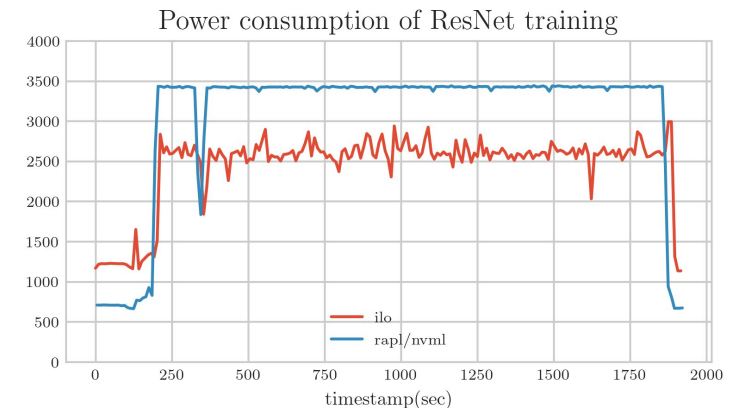
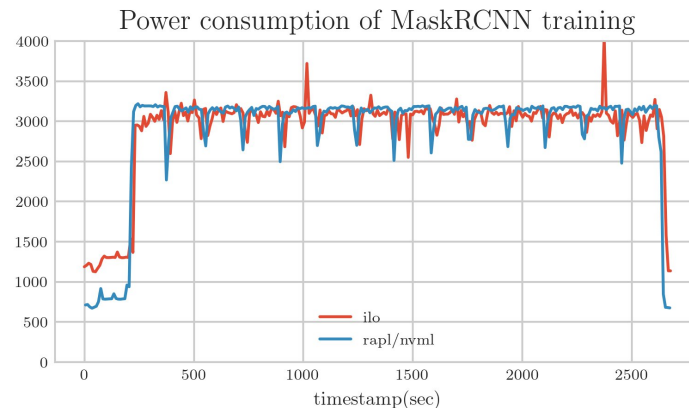
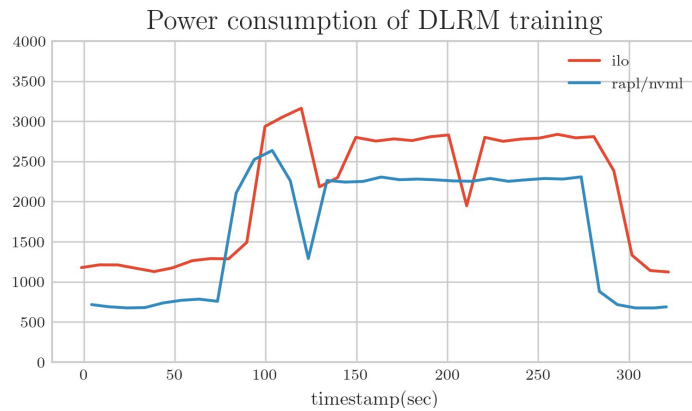
iPDU attachés aux alimentations

Intervalle d'acquisition 10 secondes

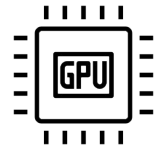
Mesure logicielle : NVML + RAPL
(programme maison en Rust)

Intervalle d'acquisition 0,5 secondes

Benchmark MLPerf (Entraînement d'IA de différentes disciplines)



Nvidia Jetson AGX Xavier



Jetson AGX

CPU 8-core NVIDIA Carmel Armv8.2 64-bit

GPU 512-core NVIDIA Volta with 64 Tensor Cores + Dual Deep Learning Accelerator engines + Programmable Vision accelerator

Memoire 16 GB 256-bit LPDDR4x (Shared between the CPU and the GPU)

Stockage 256 GB NVMe SSD

SDK NVIDIA Jetpack 5.1.1

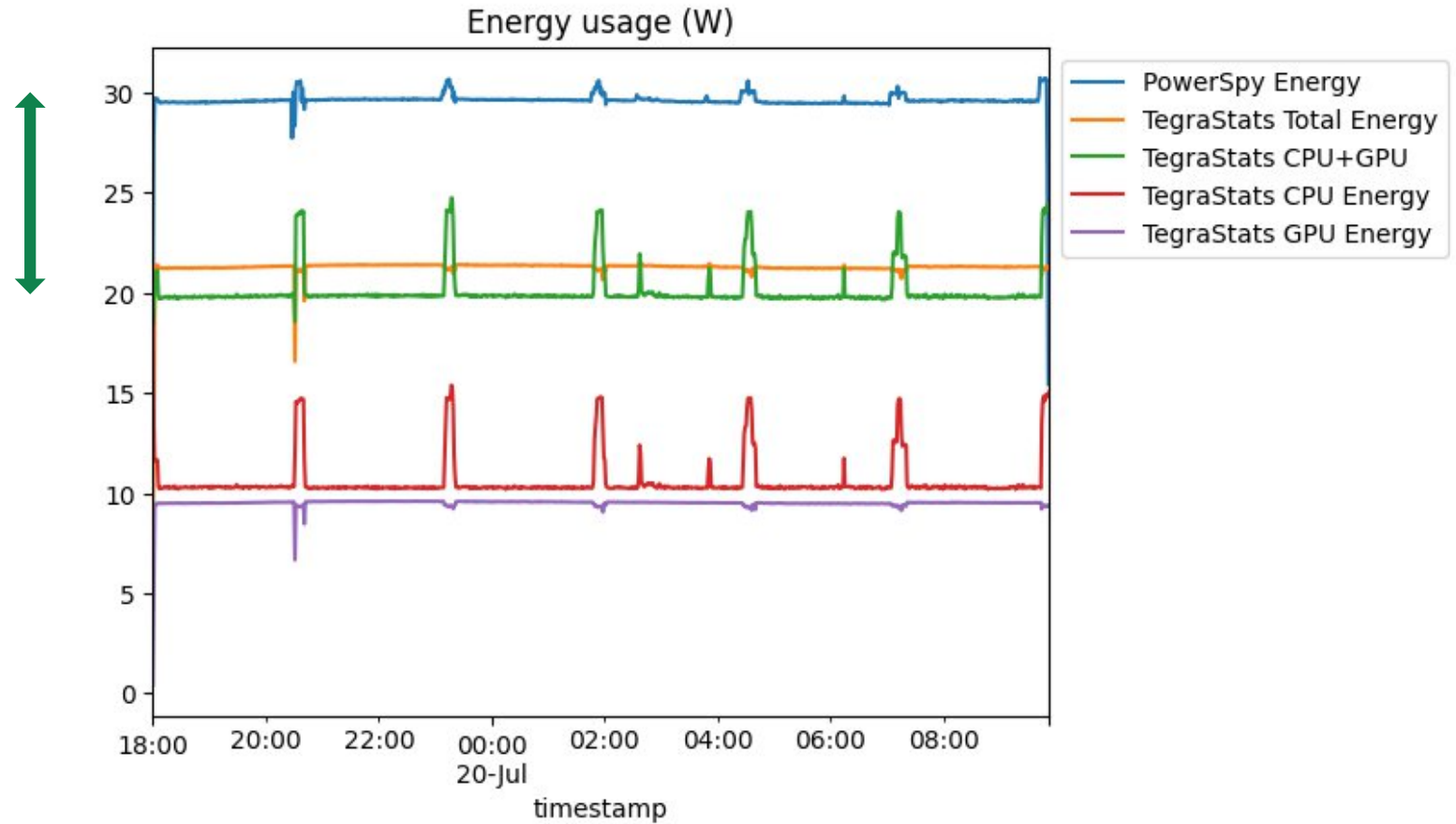


Wattmètre : **PowerSpy2 (Alciom)**
Intervalle d'acquisition 1 seconde

Mesure logicielle : **TegraStats**
Intervalle d'acquisition 1 seconde

Benchmark MLPerf (Entraînement d'IA de différentes disciplines)

- Écart systématique très important



Puissance consommée par l'entraînement de ResNet

Limites actuelles (serveurs AI/GPUs)

Hétérogénéité

- Des serveurs
- Des outils associés
- Du périmètre de la mesure

- Moins de fiabilité
- Difficulté de prise en main
- Besoin d'un outil qui s'adapte

Impact de la fréquence d'acquisition

- Variabilité de la mesure
- Perte d'information
- Surconsommation

- La fréquence optimale dépend des applications

Écart entre outils

- Significatif
- Dépend des serveurs
- Non constant

- Nécessité de comprendre les périmètres
- Comment comparer deux machines ?

Prendre de la hauteur

- **Objet** de la mesure
- **Méthode** consensuelle et pratique
- **Unité** de mesure
- **Incertitude** de mesure
- **Hypothèses**



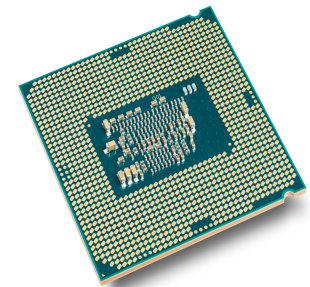
Prendre de la hauteur

- **Objet** de la mesure ✗
 - Périmètre dépend de l'outil
- **Méthode** consensuelle et pratique ✗
 - Fréquence d'acquisition contrainte
 - Choix de l'outil
 - Transformations cachées
- **Unité** de mesure ✓
- **Incertitude** de mesure ✗
 - Calculable / fournie par la documentation
 - Mais pas propagée
- **Hypothèses** ✓

Vers une mesure logicielle unifiée et flexible



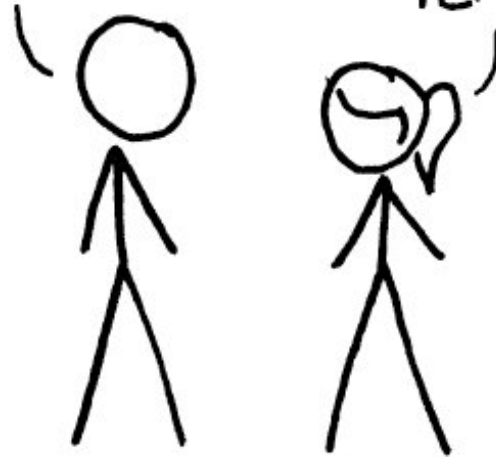
Proposition d'un nouvel outil-cadre pour
la mesure logicielle



HOW STANDARDS PROLIFERATE: (SEE: A/C CHARGERS, CHARACTER ENCODINGS, INSTANT MESSAGING, ETC.)

SITUATION:
THERE ARE
14 COMPETING
STANDARDS.

14?! RIDICULOUS!
WE NEED TO DEVELOP
ONE UNIVERSAL STANDARD
THAT COVERS EVERYONE'S
USE CASES.



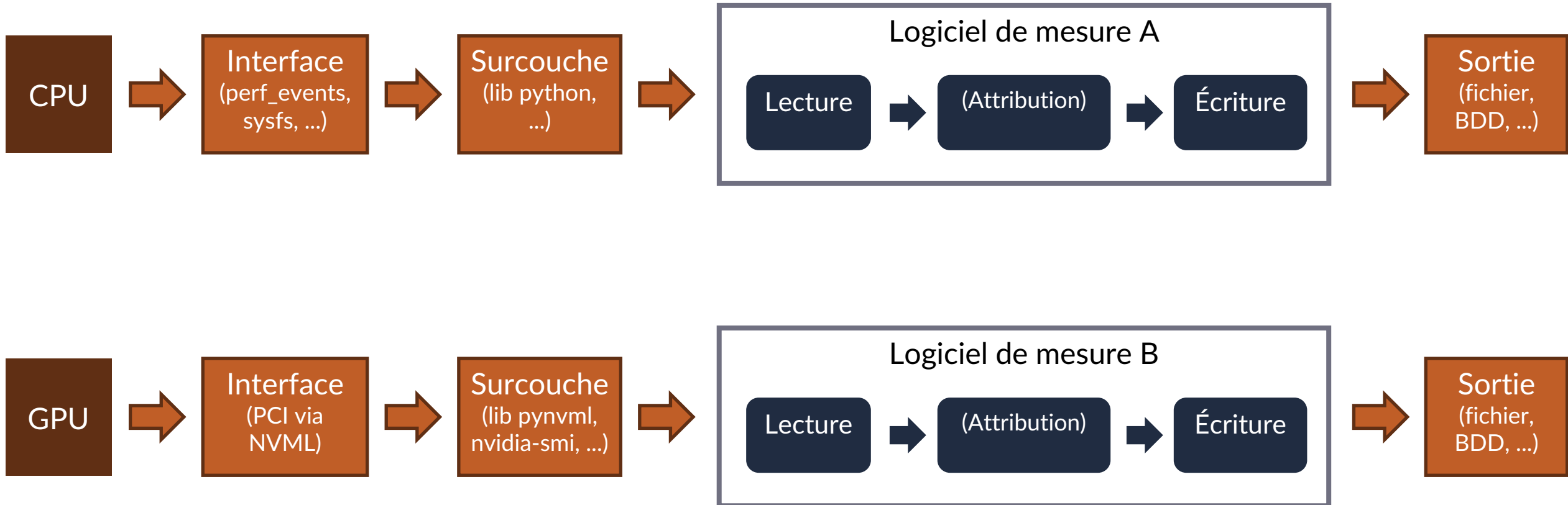
SOON:

SITUATION:
THERE ARE
15 COMPETING
STANDARDS.

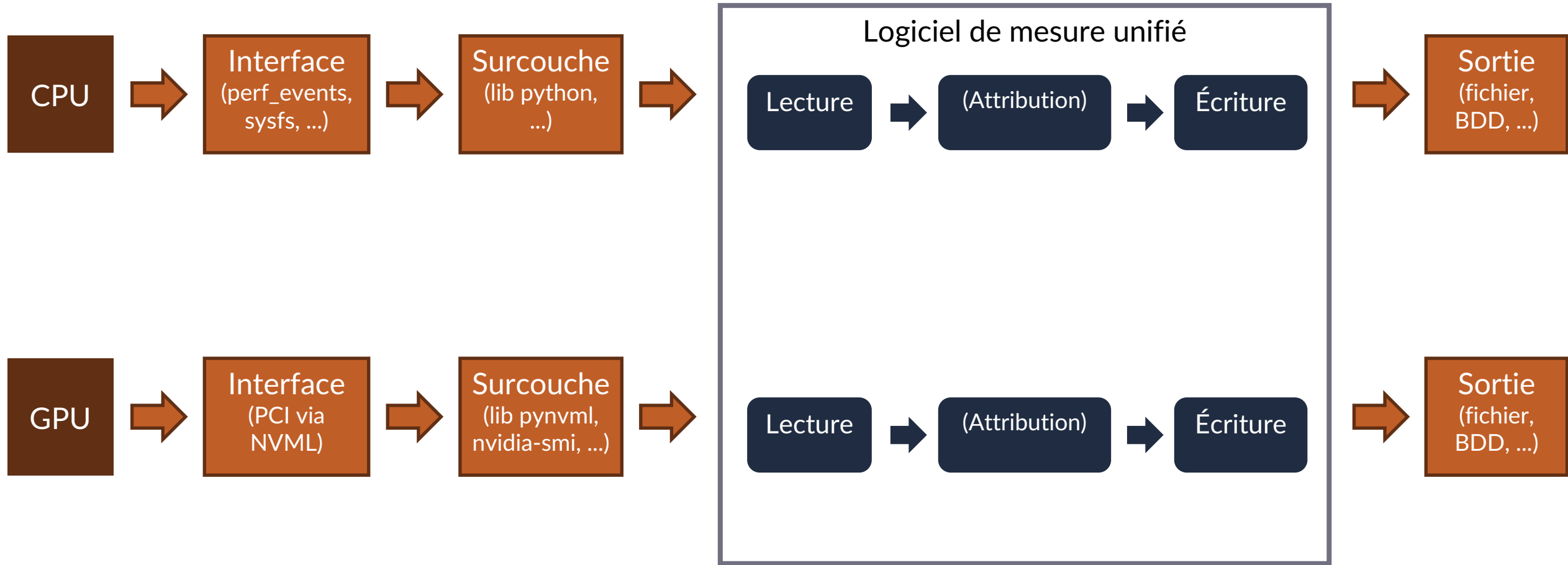


Le « 15^è standard »
des outils de mesure logicielle :
ALUMET

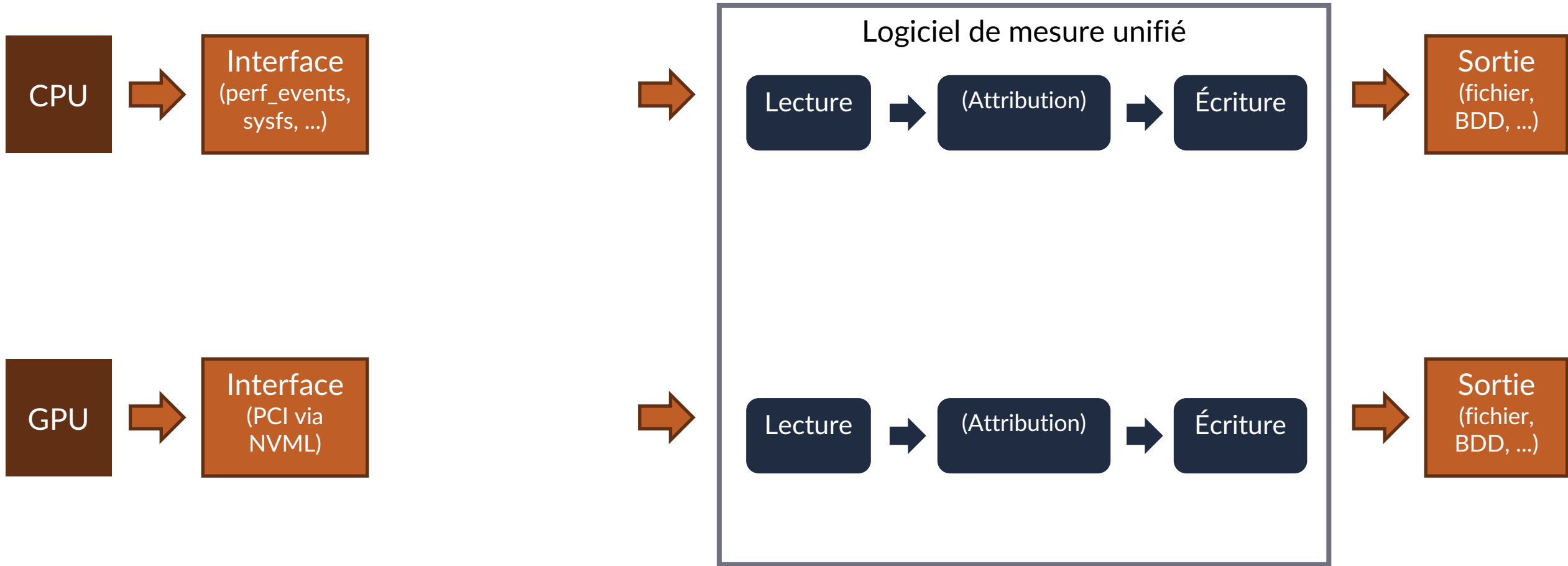
Forte disparité des outils ?



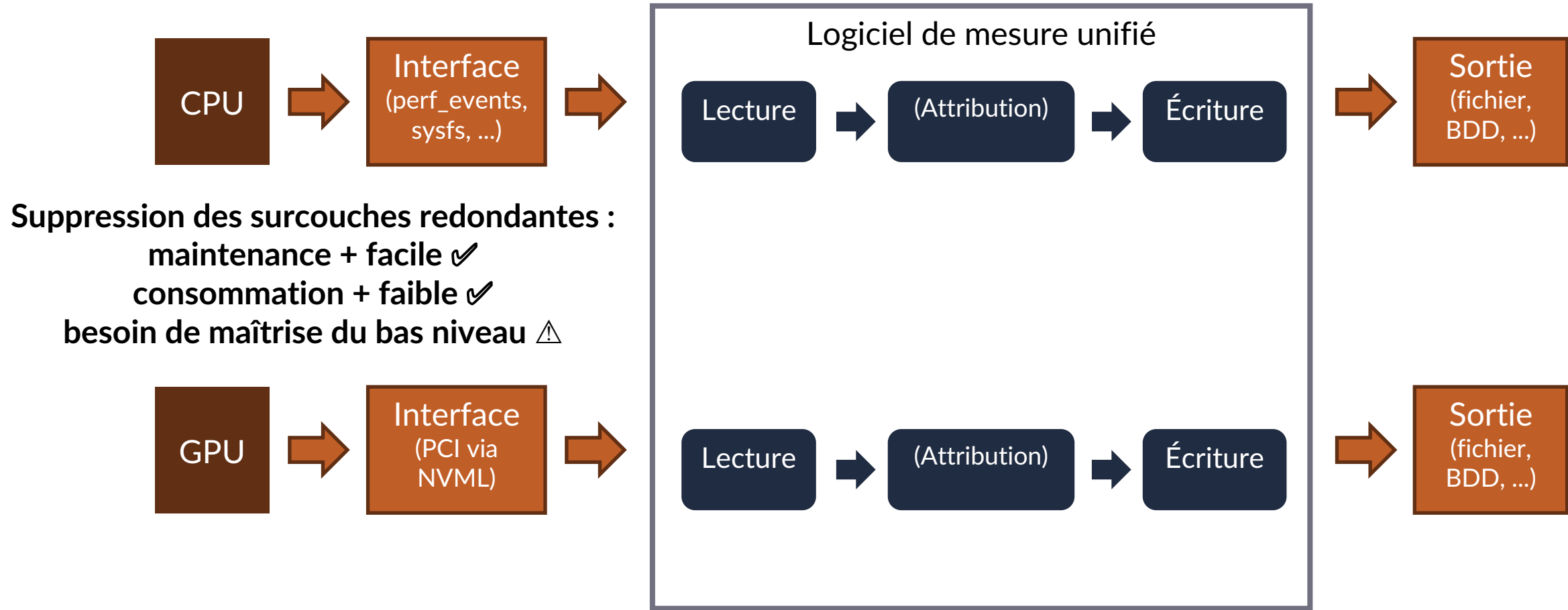
Forte disparité des outils ? Unifions.



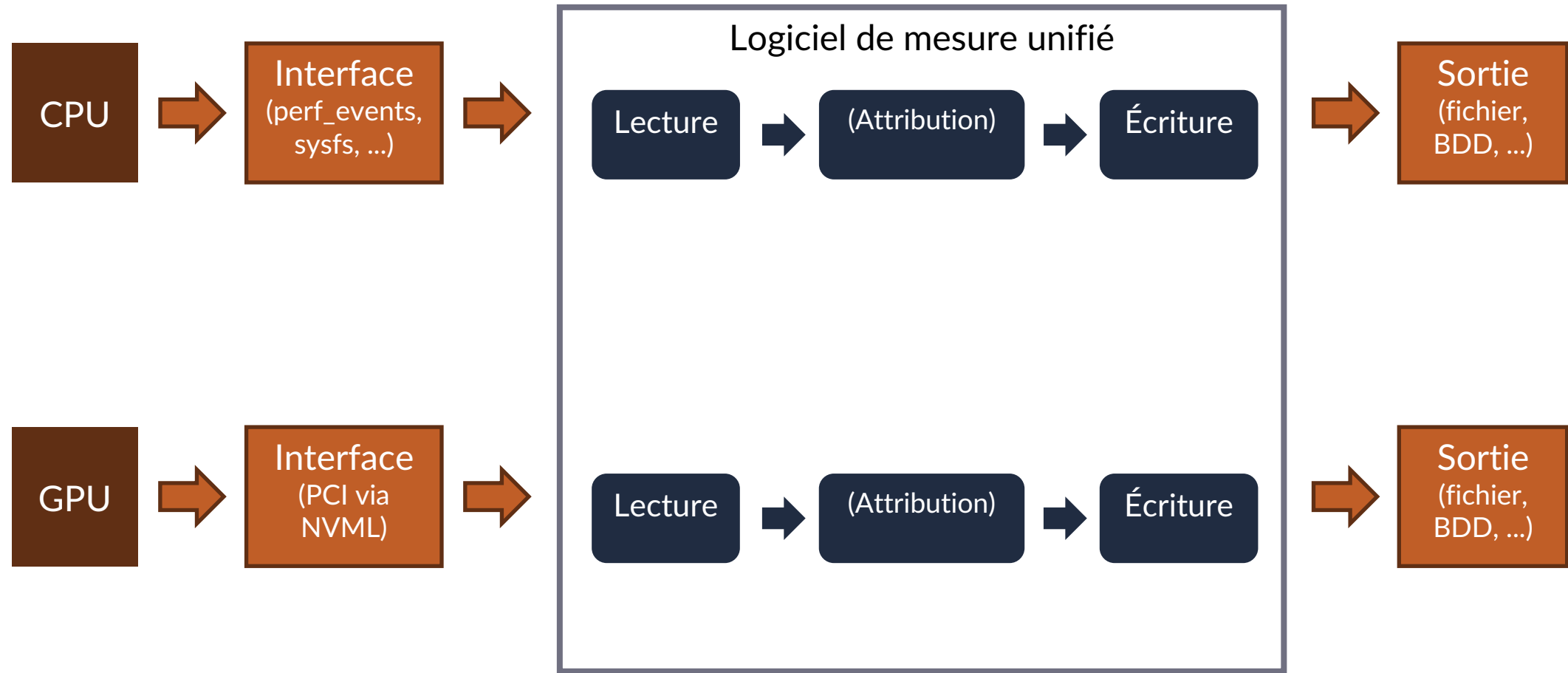
Forte disparité des outils ? Unifions, et simplifions.



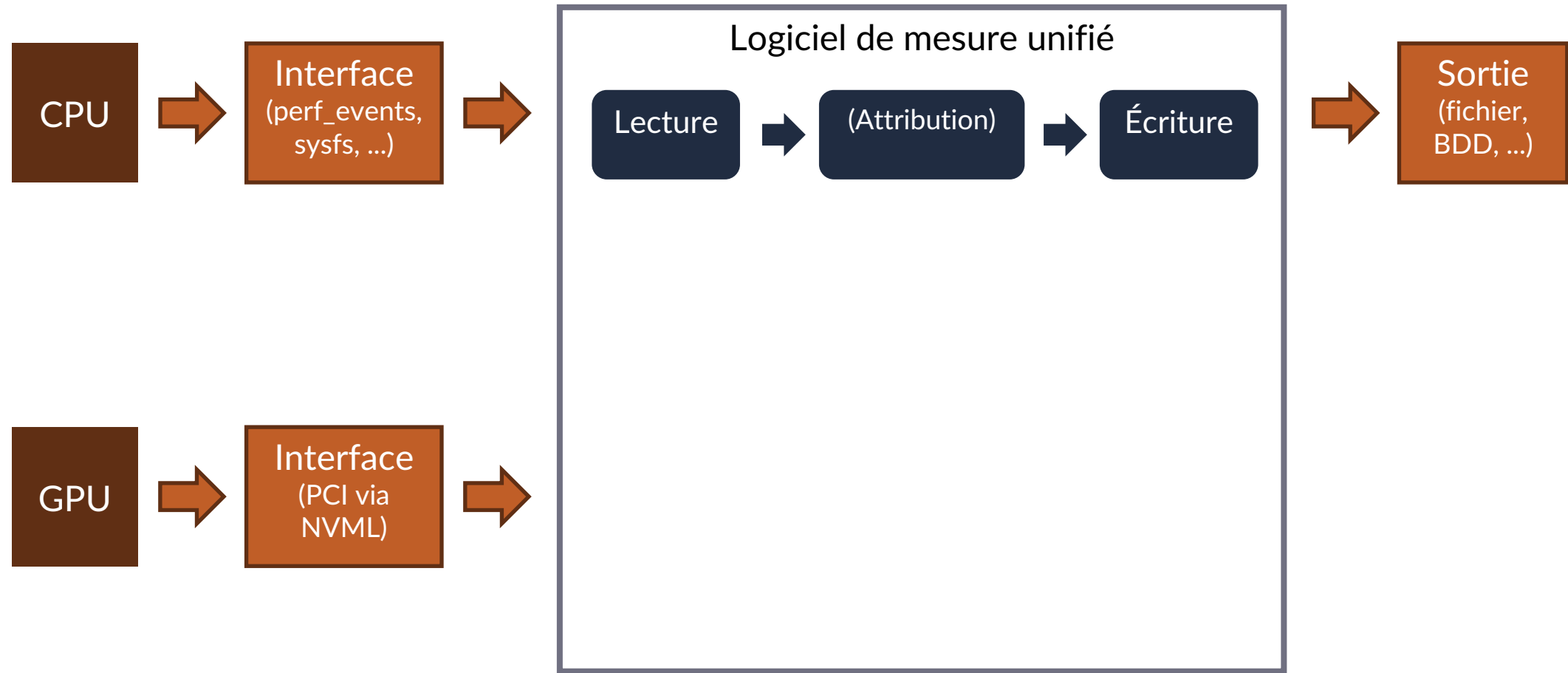
Forte disparité des outils ? Unifions, et simplifions.



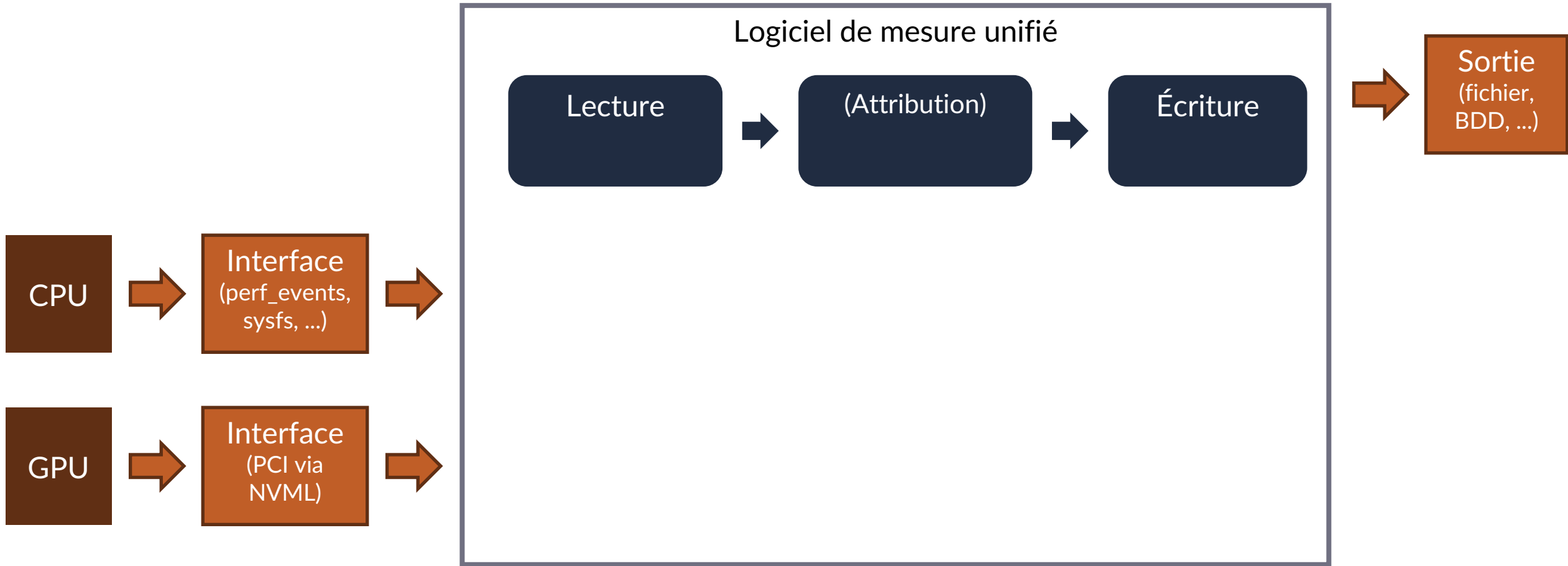
Multiplication des matériels différents ?



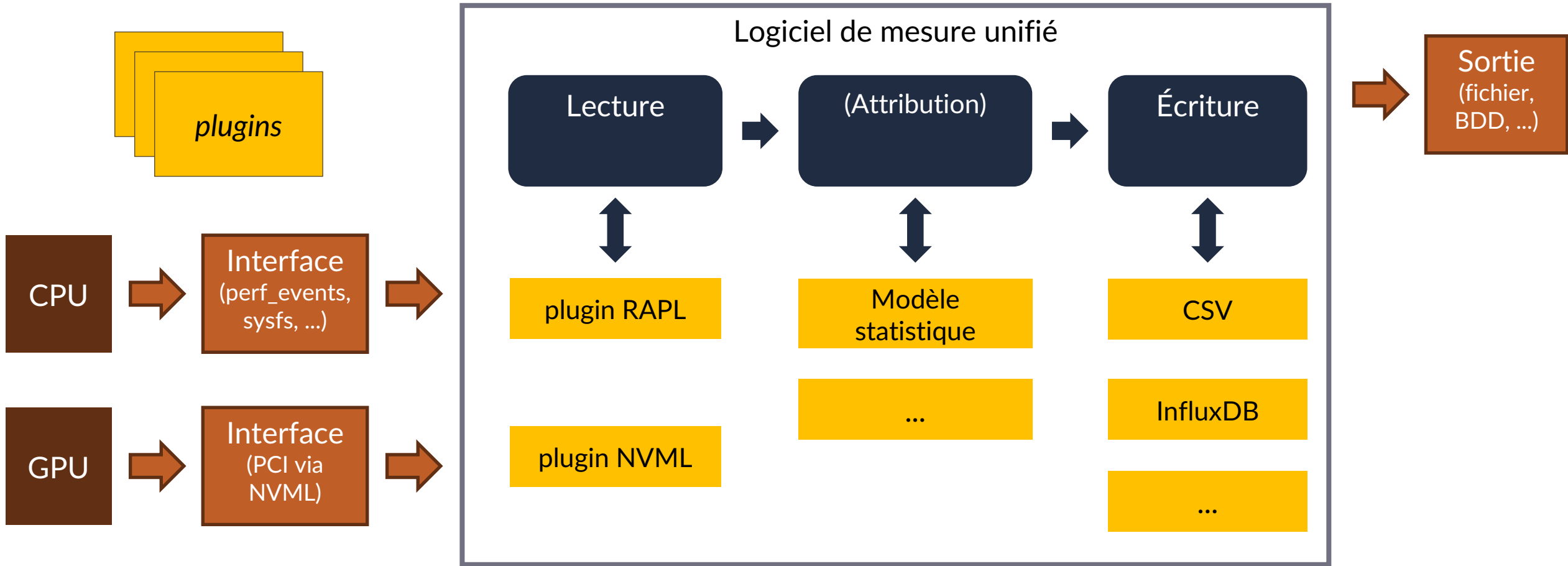
Multiplication des matériels différents ?



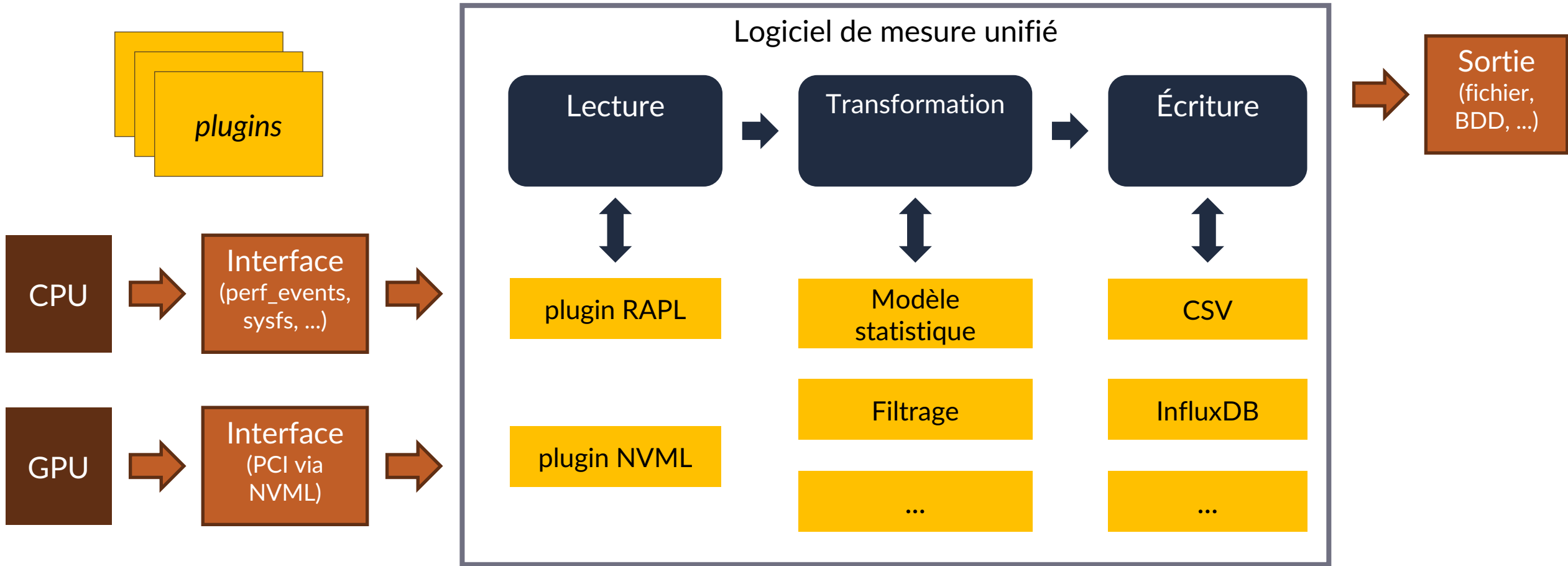
Multiplication des matériels différents ?



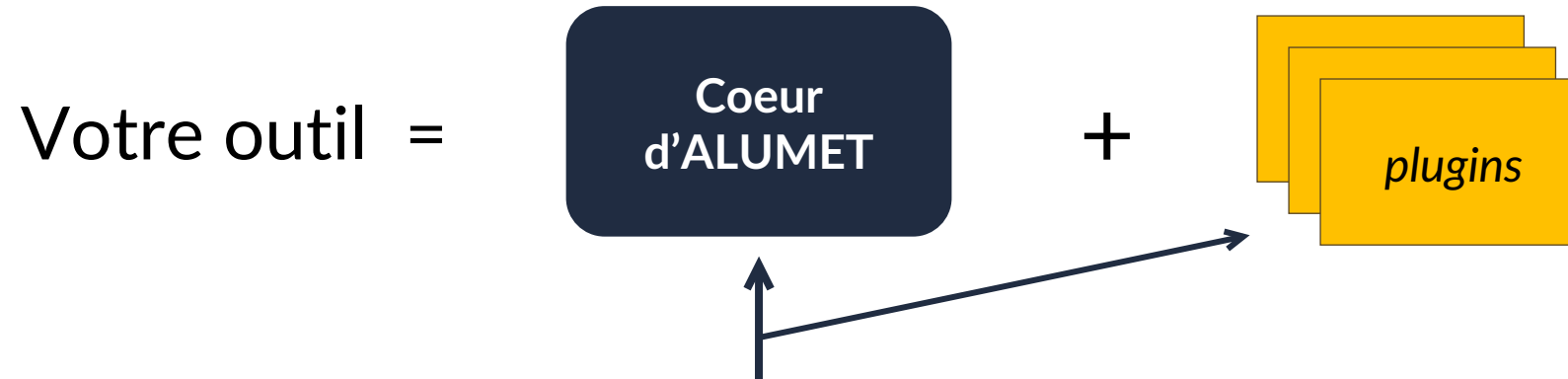
Multiplication des matériels différents ? Modularisons !



Multiplication des matériels différents ? Modularisons !



Multiplication des matériels différents ? Modularisons !

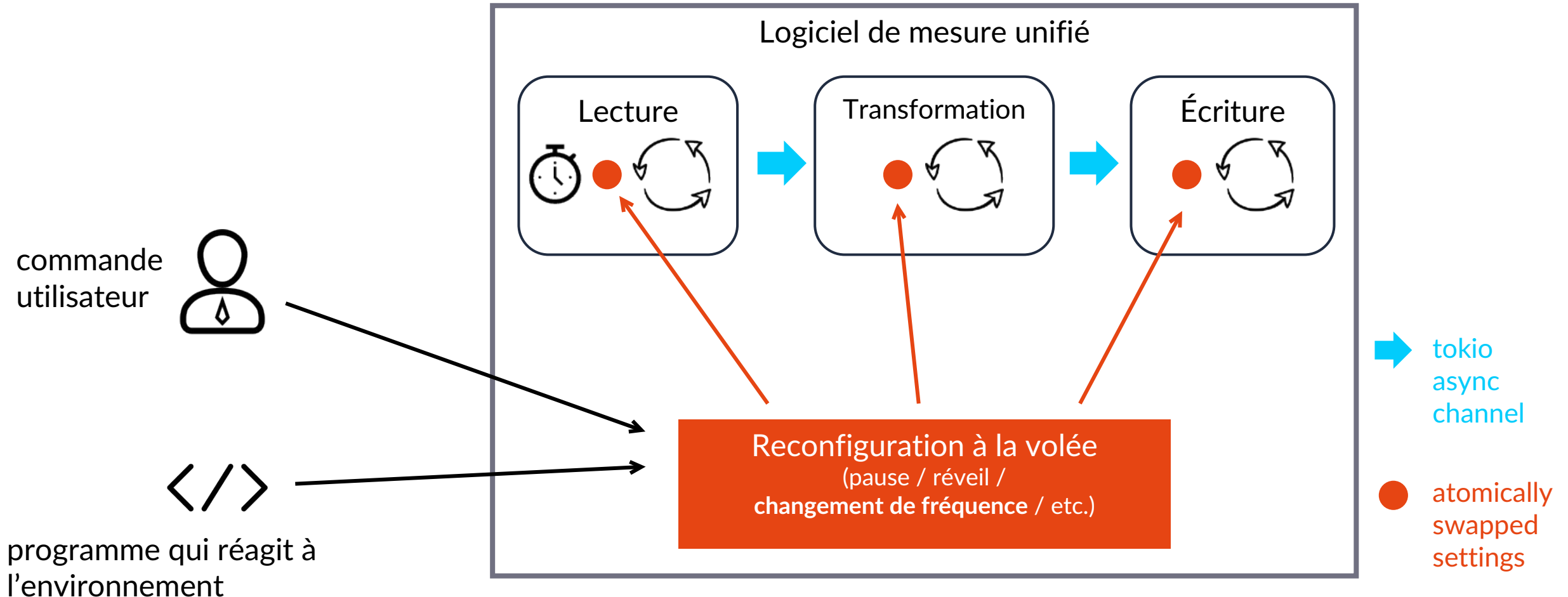


Bonnes pratiques, cadre :

- typage fort
- unités de mesure, mesurande
- gestion des overflows, des bugs des interfaces, de la fréquence d'acquisition précise
- à l'étude : propagation des incertitudes

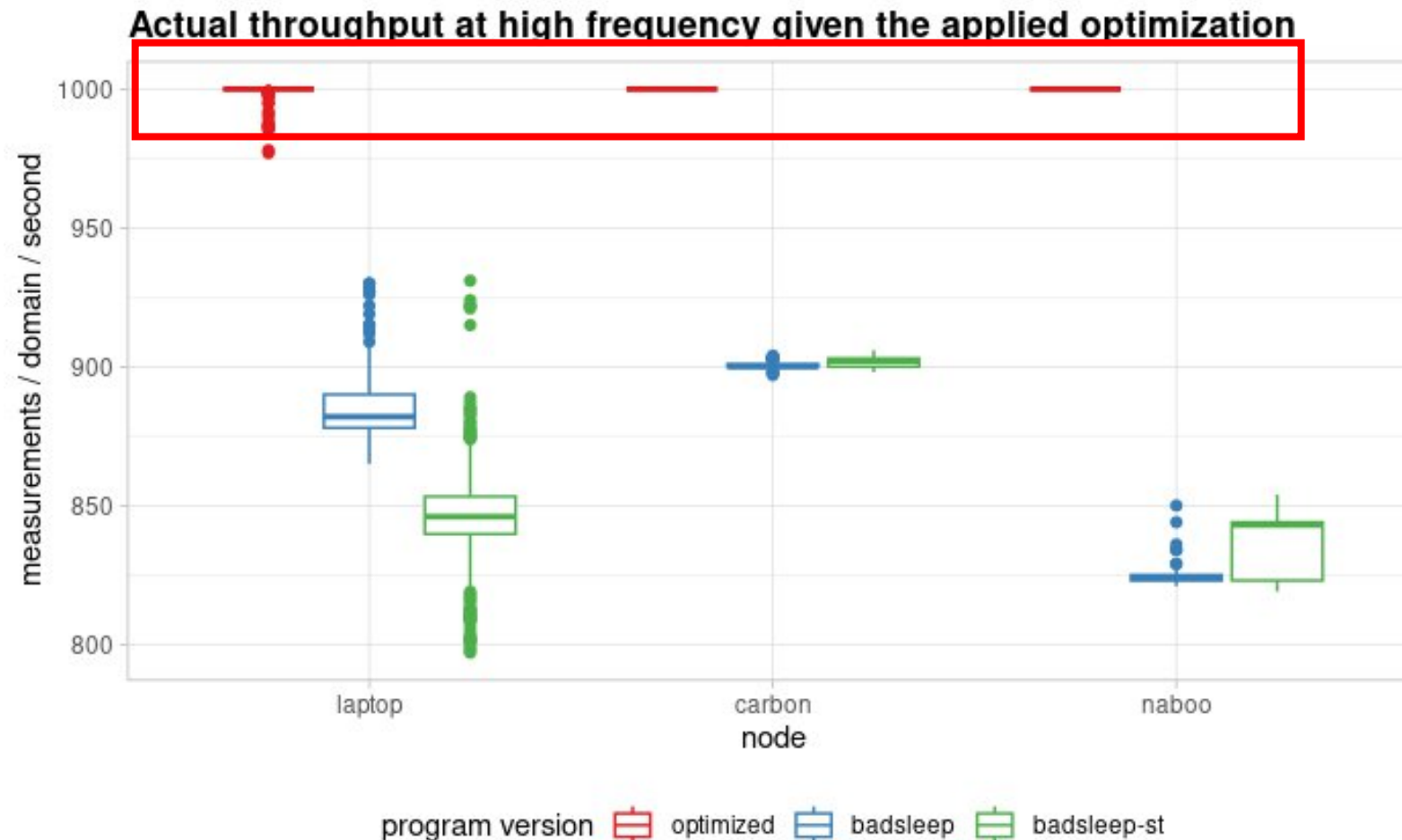
Besoin de flexibilité des paramètres ?

Besoin de flexibilité des paramètres ? Adaptons dynamiquement.



Et la performance ?

Résultats préliminaires : RAPL à 1000 Hz avec overhead < 1% sur benchmark HPC (NAS)

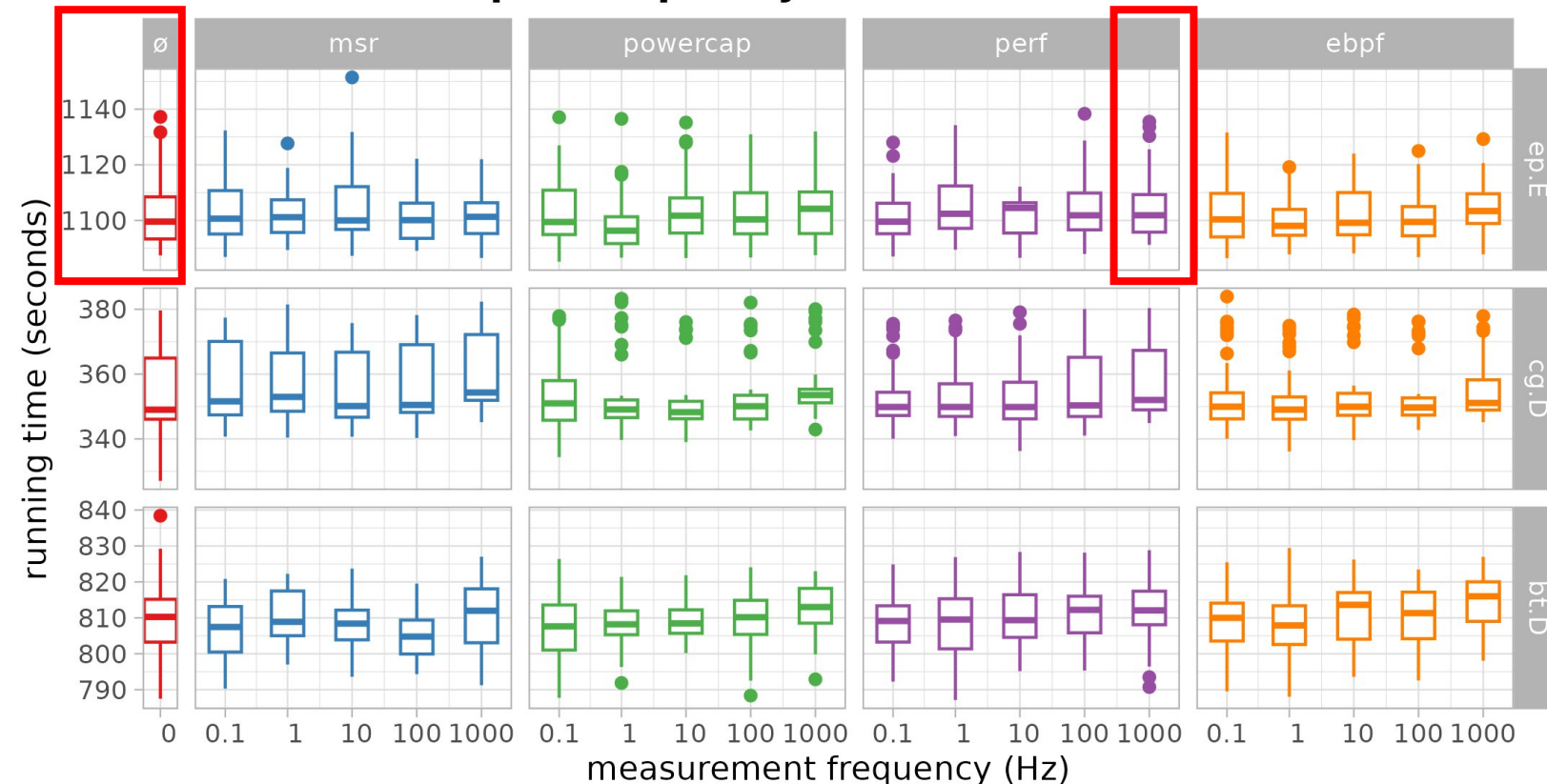


Guillaume Raffin, Denis Trystram
« Dissecting the software-based
measurement of CPU energy
consumption: a comparative analysis »,
2024 (submission pending).
<https://hal.science/hal-04420527>

Et la performance ?

Résultats préliminaires : RAPL à 1000 Hz avec **overhead < 1%** sur benchmark HPC (NAS)

Execution time per frequency on Intel server



Mechanism \emptyset msr powercap perf ebpf

Guillaume Raffin, Denis Trystram
« Dissecting the software-based
measurement of CPU energy
consumption: a comparative analysis »,
2024 (submission pending).
<https://hal.science/hal-04420527>

ALUMET

prochainement
open-source !



alumet.dev

Adaptive

- reconfiguration sur le tas (monitoring/profiling)
- s'adapte à votre usage grâce aux plugins (HPC, edge, VM, ...)

Lightweight

- pipeline asynchrone en Rust
- uniquement ce dont vous avez besoin (plugins)

Unified

- 1 outil pour x matériels, y modèles d'attributions et z sorties

METrics

Note : pour ALUMET,
l'énergie est une mesure comme les autres !

Mise en perspective

Consommation électrique
des CPUs, GPUs, RAM
= RAPL/NVML

Mise en perspective

Consommation du serveur
(Carte réseau, disque de
stockage, ...) = wattmètre

Consommation électrique
des CPUs, GPUs, RAM
= RAPL/NVML

Mise en perspective

Consommation du serveur

(Carte réseau, disque de stockage, ...) = wattmètre

Consommation électrique
des CPUs, GPUs, RAM
= RAPL/NVML

Consommation du centre de données

(Rendement
alimentation,
Refroidissement, ...)
= PUE

Mise en perspective

Consommation du serveur
(Carte réseau, disque de
stockage, ...) = wattmètre

Consommation électrique
des CPUs, GPUs, RAM
= RAPL/NVML

**Consommation du
centre de données**
(Rendement
alimentation,
Refroidissement, ...)
= PUE

Empreinte environnementale du service numérique

- la fabrication du matériel, sa fin de vie, ...
 - les autres impacts :
émission carbone,
consommation d'eau,
utilisation de métaux, ...
= **Analyse Cycle de Vie**

Conclusion

L'énergie consommée est une composante de la mesure de l'efficacité, de la sobriété et de la performance.

ALUMET est en mesure de devenir le nouvel outil-cadre pour la mesure d'énergie (et +).

Regarder la consommation électrique en phase d'usage ne suffit pas pour prendre la mesure de l'empreinte du numérique.

Merci !

Références :

- Mathilde Jay, Vladimir Ostapenco, Laurent Lefèvre, Denis Trystram, Anne-Cécile Orgerie, Benjamin Fichel « An experimental comparison of software-based power meters: focus on CPU and GPU », *CCGRID 2023*
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10171575>
- Adrien Berthelot, Eddy Caron, Mathilde Jay, Laurent Lefèvre « Estimating the environmental impact of Generative-AI services using an LCA-based methodology », *CIRP LCE 2024*. <https://inria.hal.science/hal-04346102v2>
- Guillaume Raffin, Denis Trystram « Dissecting the software-based measurement of CPU energy consumption: a comparative analysis », *ArXiv 2024*. <https://arxiv.org/abs/2401.15985v1>
- ALUMET : Adaptive Lightweight Unified Metrics (open-source soon)
<https://alumet.dev>