



Mesurer et estimer la consommation des grands systèmes numériques distribués, une première approche à l'application de leviers de réduction d'impacts

Laurent Lefèvre

Inria AVALON – Laboratoire LIP – Ecole Normale Supérieure de Lyon

Membre du GDS Ecoinfo

laurent.lefevre@inria.fr

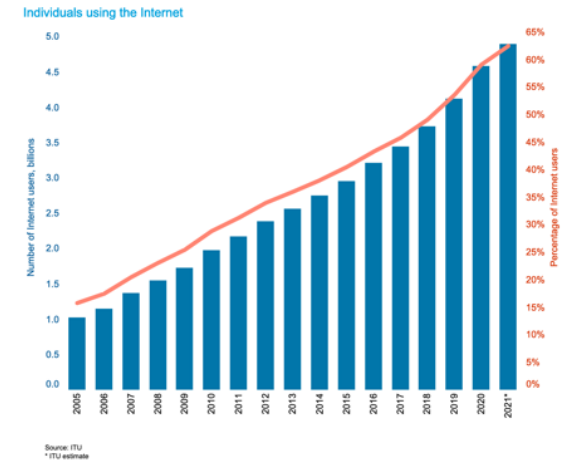
Constats : consommation électrique / GES

Environ 10% de la consommation électrique mondiale

Environ 3.5% des GES – en hausse de 6% par an

6% de croissance
/an -> un
doublement tous les
12 ans

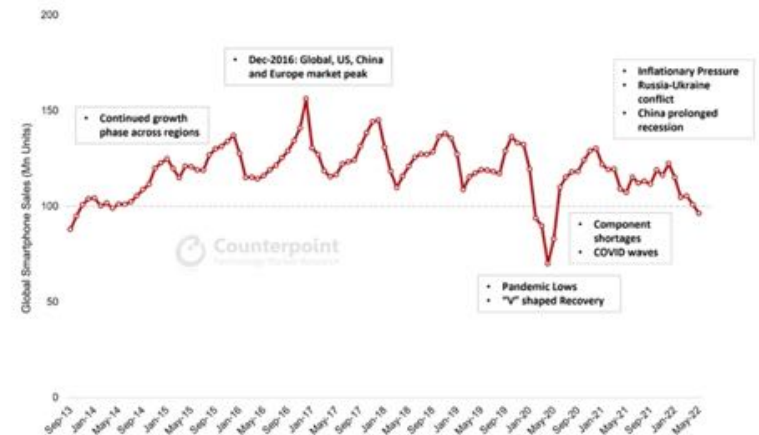
ITU - International
Telecommunication Union -
Measuring digital
development - Facts and
figures - 2021



Source : Shift project - Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G – 30 Mars 2021

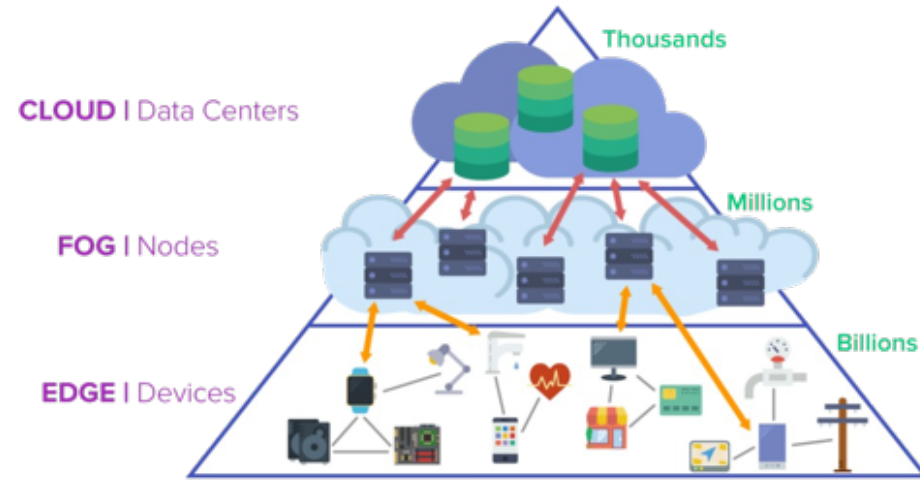
Augmentation naturelle, mais aussi d'autres effets :
économiques, structurels, rebonds...

Global Smartphone Sales (sell-through), May 2022



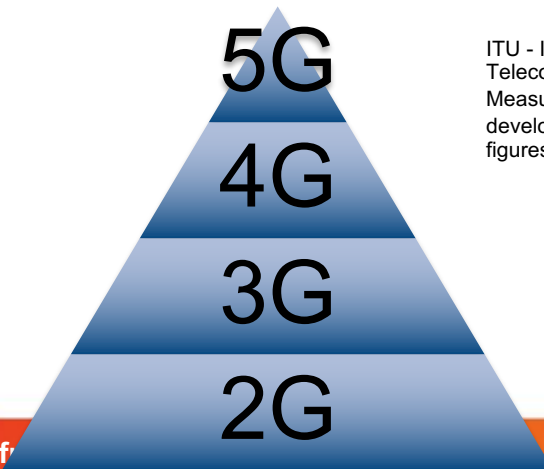
Source: Counterpoint Research Monthly Market Pulse

Empilement numérique forcé par les usages, prédictions, hébergeurs



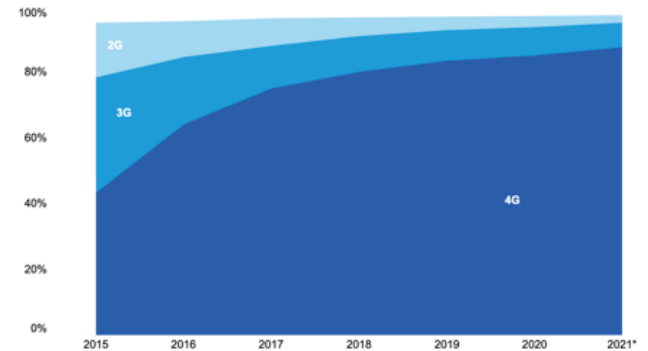
Moteurs d'empilement :

- Meilleure QoS : latence, bande passante
- Plus grande infrastructure
- Plus d'utilisateurs/clients
- Plus de services



ITU - International Telecommunication Union - Measuring digital development - Facts and figures - 2021

Population coverage by type of mobile network, 2015-2021*



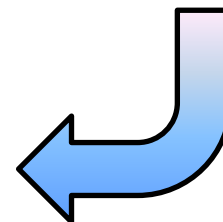
Note: The values for 2G and 3G networks show the incremental percentage of population that is not covered by a more advanced technology network (e.g. 95% of the world population is covered by a 3G network, that is 7% + 88%).

Source: ITU
* ITU estimate

Le numérique, un cycle de vie mondialisé multi-impactant



REUTERS/Benoit Tessier



Ce « cycle » de vie impacte...

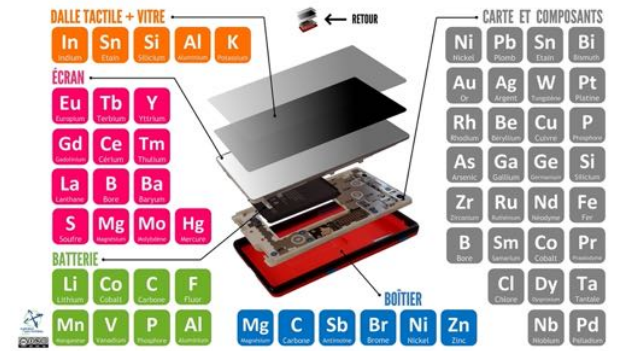
- Extraction : cout énergétique, minerais de sang, compétition sur l'eau, perte de biodiversité, pollution des sols
- Fabrication : pollution, conditions de travail, toxicité aquatique, consommation d'eau
- Transport : avions/cargos : mélange biodiversité, espèces invasives
- Usage : bien trop court, énergie
- Fin de vie : collecte et recyclage difficiles, exportations illégales



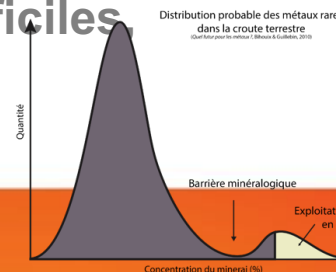
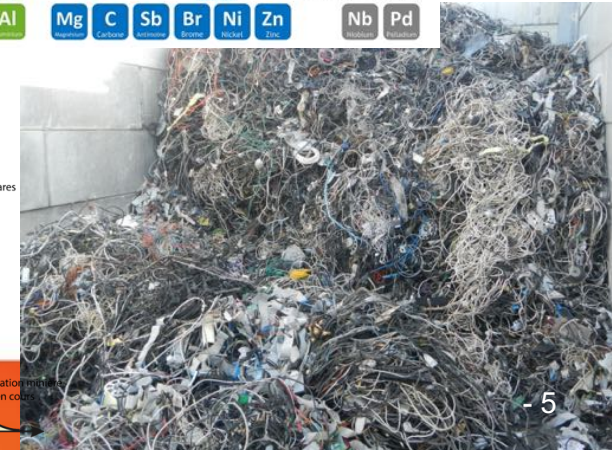
Congo/Numbi/Coltan - Radio-Canada/Frédéric Lacelle



Consoglobe



Ingénieurs sans frontière

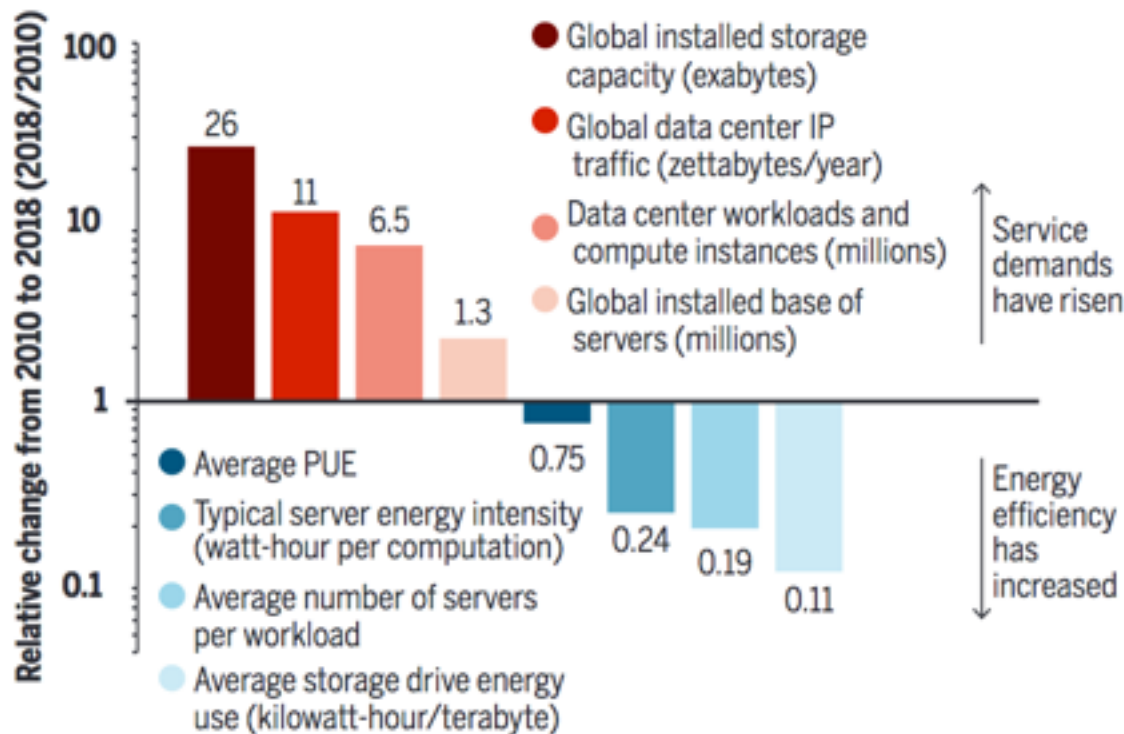


EE a permis d'atténuer certaines dérives : Le cas des datacentres – les fruits au bas de l'arbre ?

Recalibrating global data center energy-use estimates

Eric Masanet, Arman Shehabi, Nuo Lei, Sarah Smith, Jonathan Koomey
Science 28 Feb 2020: Vol. 367, Issue 6481, pp. 984-986

Trends in global data center energy-use drivers



Encore combien de temps ?

PUE, power usage effectiveness; IP, internet protocol.

Mesurer l'énergie en phase d'usage.. Un challenge

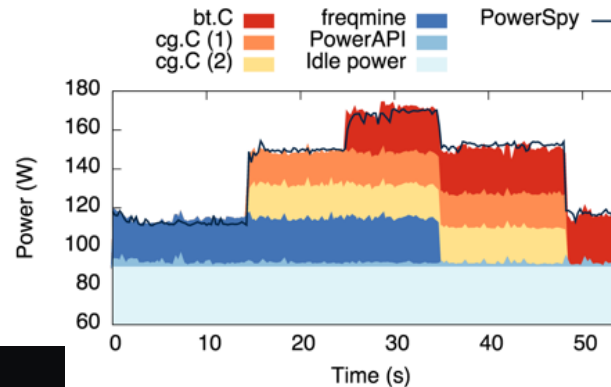
Mesurer l'énergie consommée en phase d'usage

Equipements spécifiques : capteurs, wattmètres, PDU monitorables...



Sondes logicielles

- Powerapi
- Scaphandre
- Greenspector
- Carbonalyser
- GPU frameworks



<http://www.powerapi.org/>

<https://bpetit.nce.re/>

Carbonalyser

Informations Mentions légales



Top 5 du trafic relatif à votre navigation

- 75% www.youtube.com
- 16% www.lemonde.fr
- 6% news.google.com
- 2% www.google.fr
- 2% Autres

Sélectionnez votre zone géographique

France

Ce n'est pas obligatoire mais cela rendra le résultat plus pertinent.

En 5 minutes de navigation, vous avez fait transiter 88 Mo de données. Cela a nécessité 0.022 kWh d'électricité, soit 11 gCO₂e

5 minutes

88 Mo

0.022 kWh

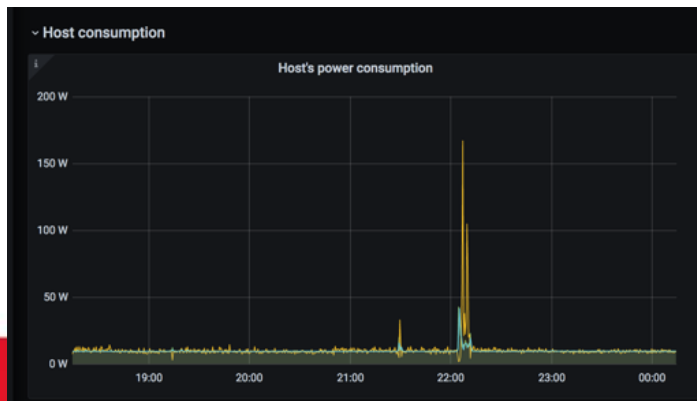
11 gCO₂e

Les émissions de CO₂ liées à votre utilisation d'internet équivalent à :

1 smartphones rechargés

0.05 kms en voiture

<https://theshiftproject.org/carbonalyser-extension-navigateur/>

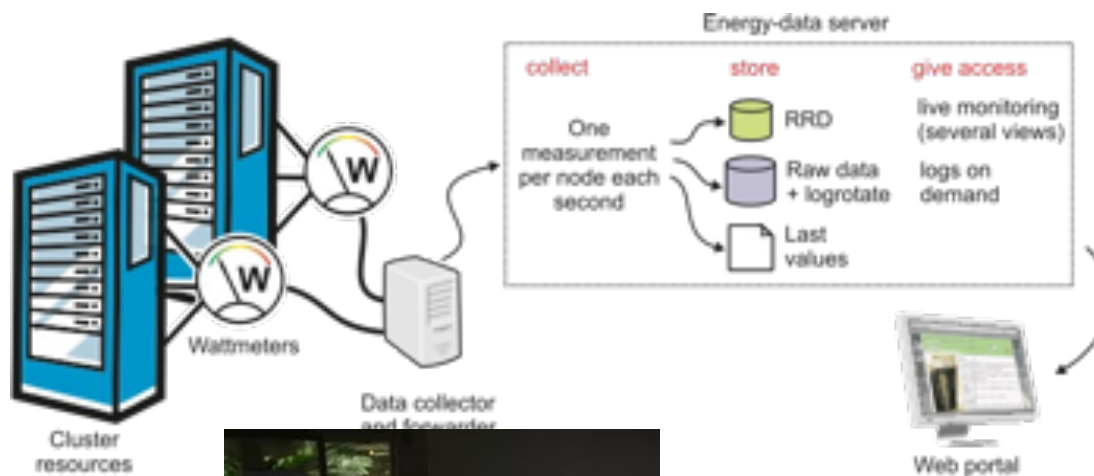


L'aventure Green Grid5000



Commence en 2007

- Plate-forme expérimentale Grid'5000
- Déploiement de wattmètres (1 mesure par seconde par prise électrique)
- Librairie (kwapi) pour s'interfacer avec les équipements de mesures (wattmètres à 48 ports)
- Applications de visualisation

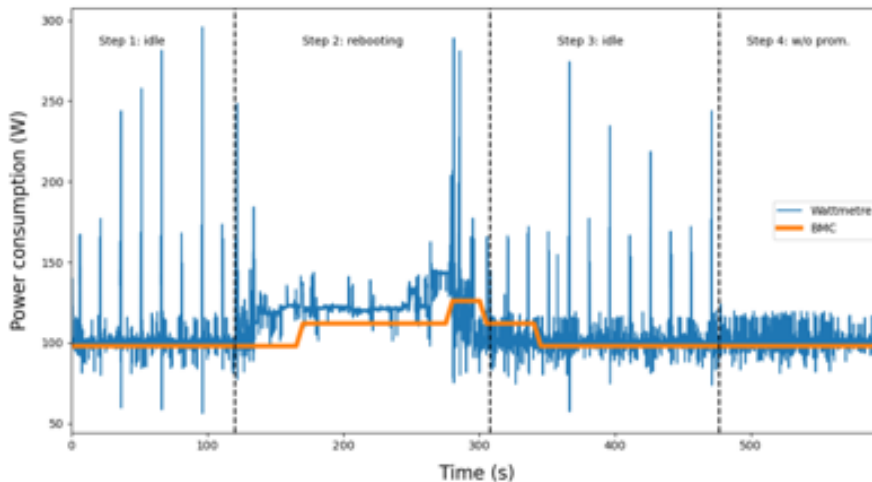
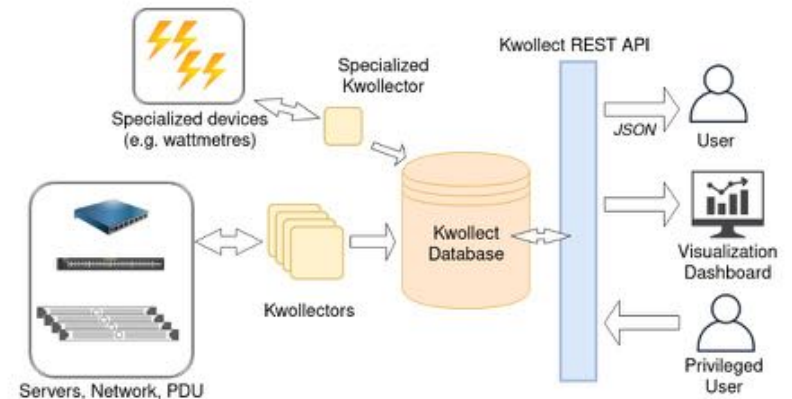


F. Clouet, S. Delamare, J.-P. Gelas, L. Lefevre, L. Nussbaum, C. Parisot, L. Pouilloux, F. Rossignaux. "Unified Monitoring Framework for Energy Consumption and Network Traffic", 9th International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities, Vancouver, Canada, June 24-25, 2015

L'aventure Green Grid5000



- Kwolect framework
- 50 mesures par seconde par prise
- Récupération de logs d'énergie après expérience

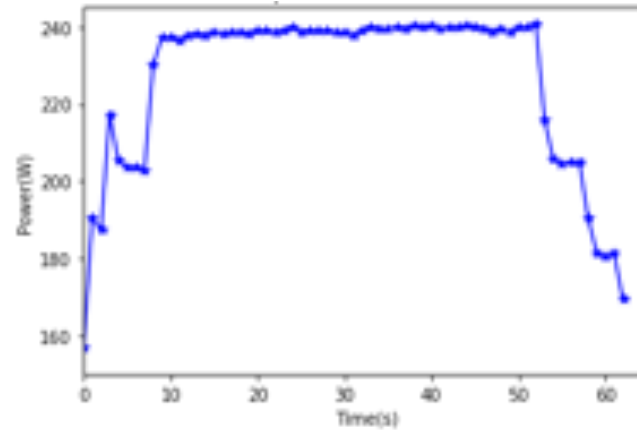


Simon Delamare, Lucas Nussbaum. **Kwolect: Metrics Collection for Experiments at Scale.** *CNERT 2021 - Workshop on Computer and Networking Experimental Research using Testbeds*, May 2021

A venir : E2E Energy Monitoring@Silecs

- Plate-forme Silecs (Super infrastructure for Large-Scale experimental Computer science) : communautés HPC, systems distribués, reseaux, lot
- Mesurer un continuum : edge – fog – cloud
- Ajouter de l'estimation
- Garantir la reproductibilité des expériences et mesures

Mesurer/estimer....

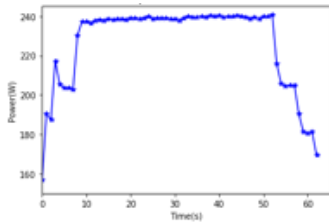


Mesurer finement en usage (puissance et énergie)

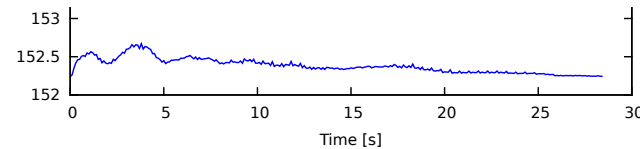
Mesurer/estimer.... de bout en bout



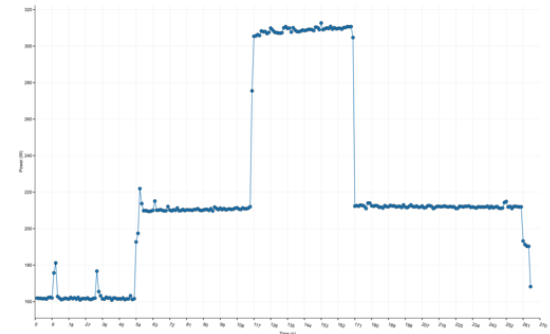
Mesurer finement en usage (puissance et énergie)



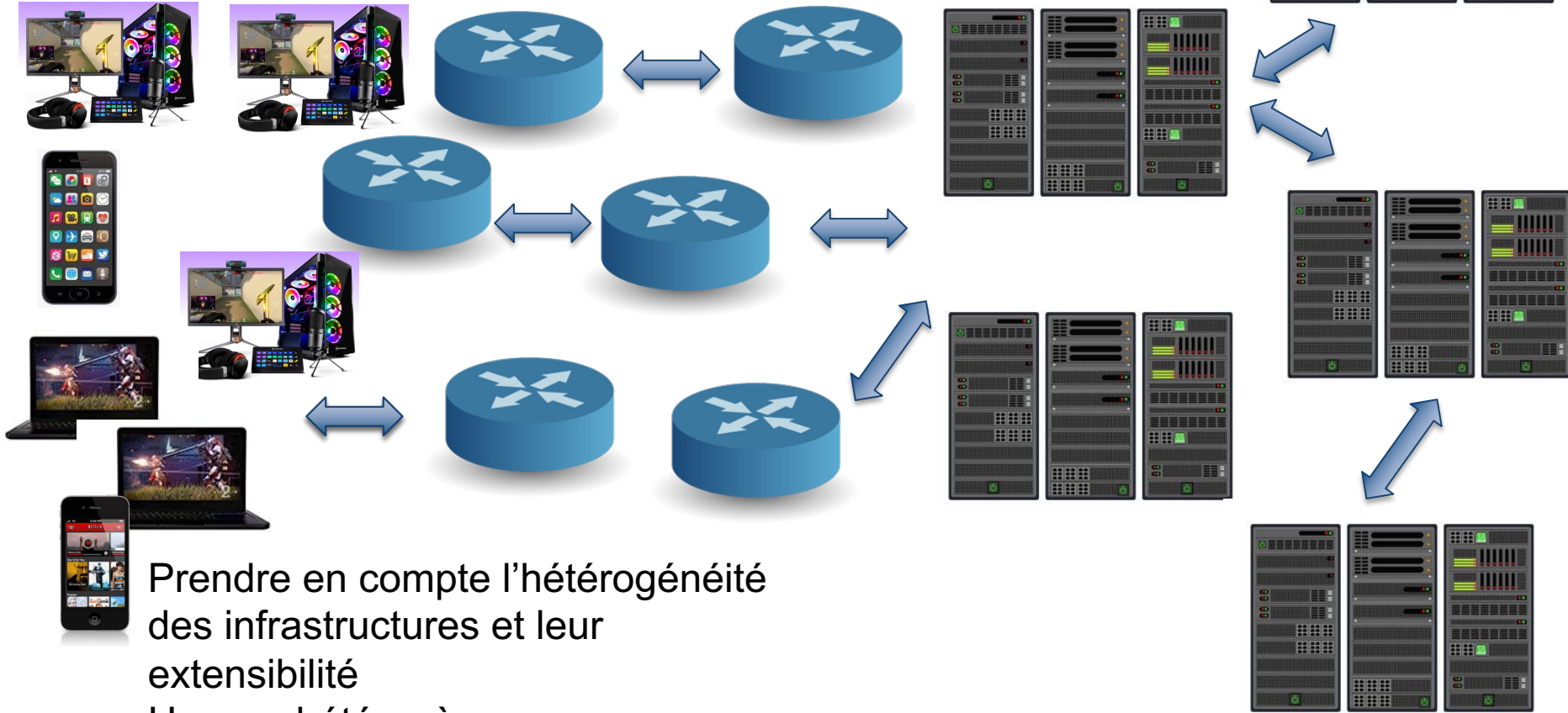
Mesurer de bout en bout (multi équipements, propriétaires)



Matériels et logiciels partagés



Mesurer/estimer... le service numérique global



Prendre en compte l'hétérogénéité
des infrastructures et leur
extensibilité

Usages hétérogènes
Réactions dynamiques
Equilibrage de charges

Mesurer de bout en bout (multi
équipements, propriétaires)

Mesurer/estimer....



Prendre en compte mix énergétiques des infrastructures
-> sortir de l'énergie pour aller au CO2 : métriques
environnementales

Mesurer/estimer....



Ajouter les couts environnementaux des autres étapes du cycle de vie : sortir du CO2 pour inclure les autres impacts

Leviers énergétiques

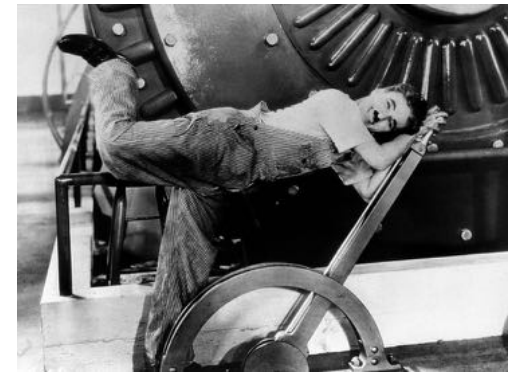
Des familles de leviers technologiques...



Familles vertes : Extinction, Ralentissement, Optimisation, Consolidation, Aggrégation :

- Node Shutdown
- Node Hibernation
- Node Suspend To Ram
- DVFS : Dynamic Voltage and Frequency Scaling
- NTV ; near threshold voltage
- AVX : Advanced Vector Extensions
- Low Power Idle
- Adaptive Link Rate
- Green scheduling policies
- Energy budget aware scheduling
- Power Capping
- Eco design
- Simple / Double precision computing...

Un levier énergétique



Triplet (\mathbf{E} , \mathbf{s}_c , \mathbf{f})

- $\mathbf{E} = \{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_n\}$: l'ensemble des états possibles de \mathbf{L}
- \mathbf{s}_c est l'état courant de \mathbf{L}
- \mathbf{f} fonction qui permet la modification de \mathbf{s}_c

Levier énergétique

\mathbf{L} est un levier énergétique si son usage impacte directement ou indirectement la consommation énergétique / puissance électrique de l'équipement informatique

Appliquer des leviers énergétiques sans connaissance de l'application

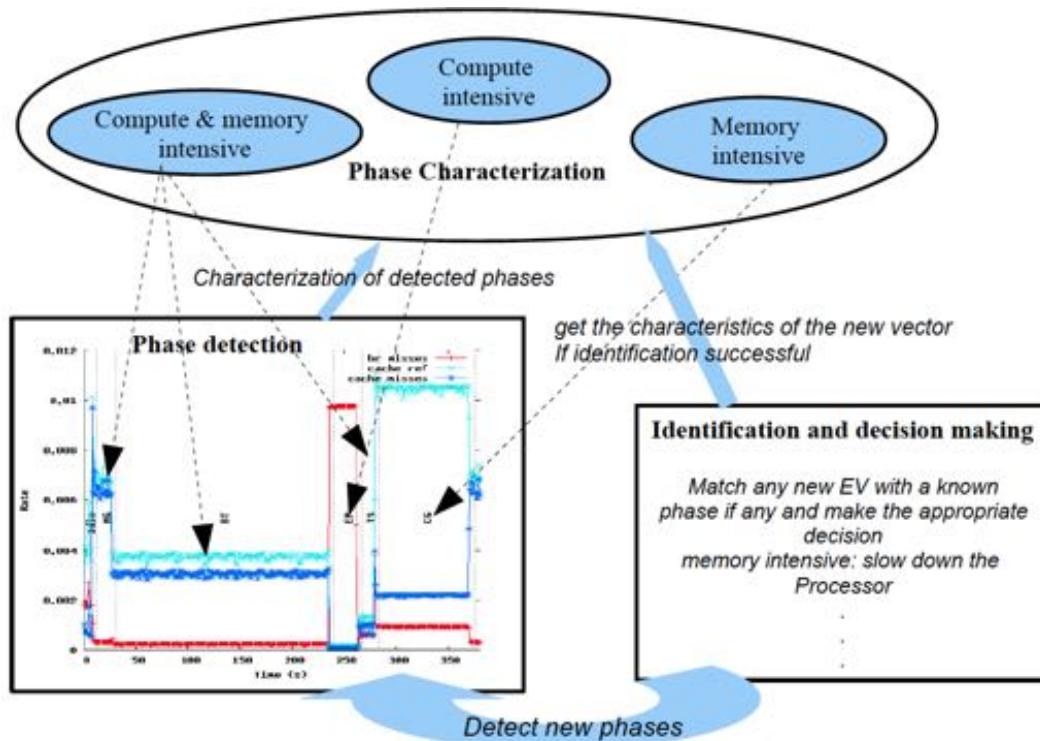
Utilisation non régulière des ressources par les applications

Mais applications trop complexes à comprendre

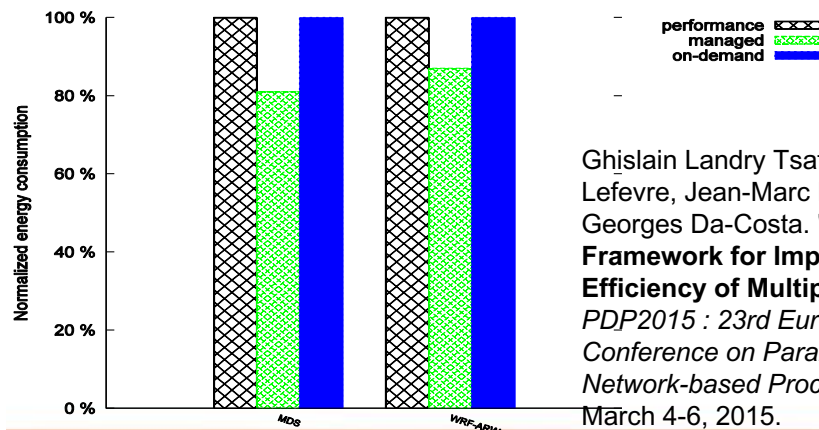
Besoin de *frameworks* qui appliquent les bons (multi-)leviers aux bons moments

Approche :

- Analyse ADN live de l'exécution des applications
- Détection des phases
- Caractérisation des applications
- Applications de leviers verts



Phase label	Possible reconfiguration decisions
compute intensive	switch off memory banks; send disks to sleep; scale the processor up; put NICs into LPI mode
memory intensive	scale the processor down; decrease disks or send them to sleep; switch on memory banks
mixed	switch on memory banks; scale the processor up send disks to sleep; put NICs into LPI mode
communication intensive	switch off memory banks; scale the processor down switch on disks
I/O intensive	switch on memory banks; scale the processor down; increase disks, increase disks (if needed)



Ghislain Landry Tsafack Chetsa, Laurent Lefevre, Jean-Marc Pierson, Patricia Stolf, Georges Da-Costa. "Application-Agnostic Framework for Improving the Energy Efficiency of Multiple HPC Subsystems", *PDP2015 : 23rd Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing*, Turku, Finland, March 4-6, 2015.

Construire la table des leviers énergétiques

Leverage states			avrgWatt(W)	Joules(J)	Time(sec)
#Threads	Prec.	Vect.			
1	int	none	1.05	65.09	61.89
1	int	SSE3	1.06	28.26	26.56
1	int	AVX2	1.06	29.32	27.67
1	float	none	1.05	72.97	69.67
1	float	SSE3	1.06	33.8	31.89
1	float	AVX2	1.05	36.8	34.89
1	double	none	1.06	81.59	76.89
1	double	SSE3	1.07	58.52	54.89
1	double	AVX2	1.06	57.72	54.22
32	int	none	1.43	13.48	9.44
32	int	SSE3	1.4	4.68	3.33
32	int	AVX2	1.0	1.0	1.0
32	float	none	1.45	7.4	5.11
32	float	SSE3	1.41	3.76	2.67
32	float	AVX2	1.56	3.11	2.0
32	double	none	1.53	8.34	5.44
32	double	SSE3	1.53	8.52	5.56
32	double	AVX2	1.54	7.0	4.56

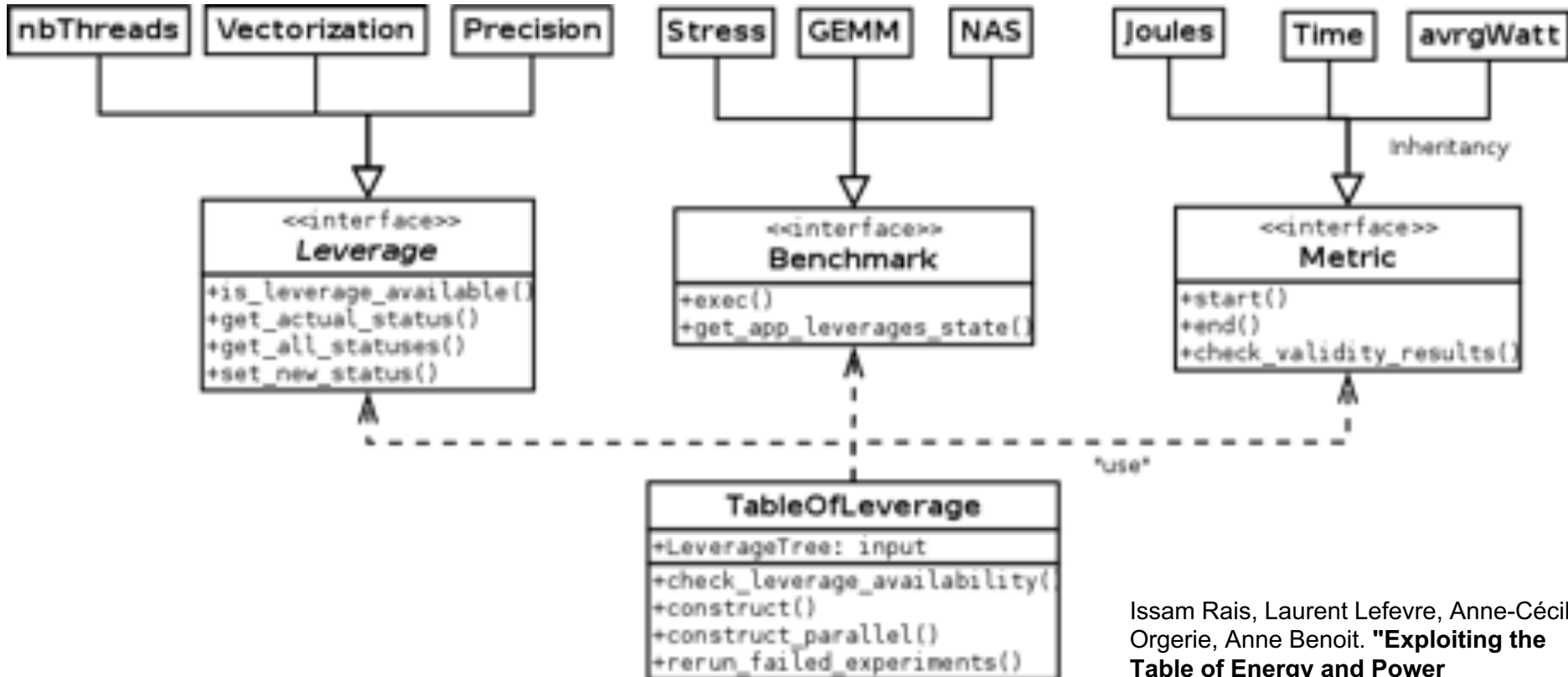
Helene Coullon, Laurent Lefevre,
Christian Perez, Issam Rais.
**"Automatic Energy Efficient
HPC Programming: A Case
Study"**, *ISPA 2018 : The 16th
IEEE International Symposium
on Parallel and Distributed
Processing with Applications*,
Melbourne, Australia, December
11-13, 2018

Example : line per line matrix multiplication (LpL MM) of dense random large squared matrices

Nova Nodes, Grid5000 Lyon platform, Advanced Vector Extensions, Streaming SIMD Extensions

Dell PowerEdge R430 CPU E5-2620 v4, 2CPU, 8 cores per CPU, 32 GB, 2 x 300 (HDD)

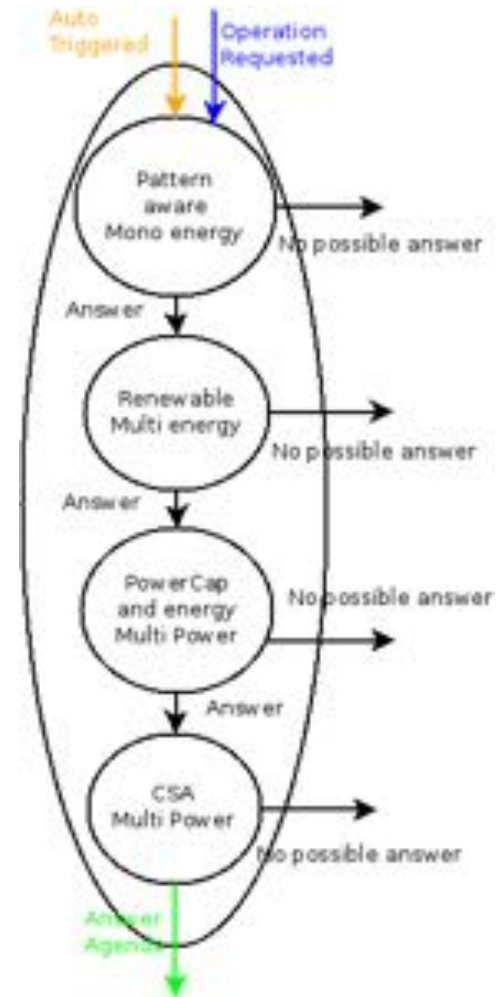
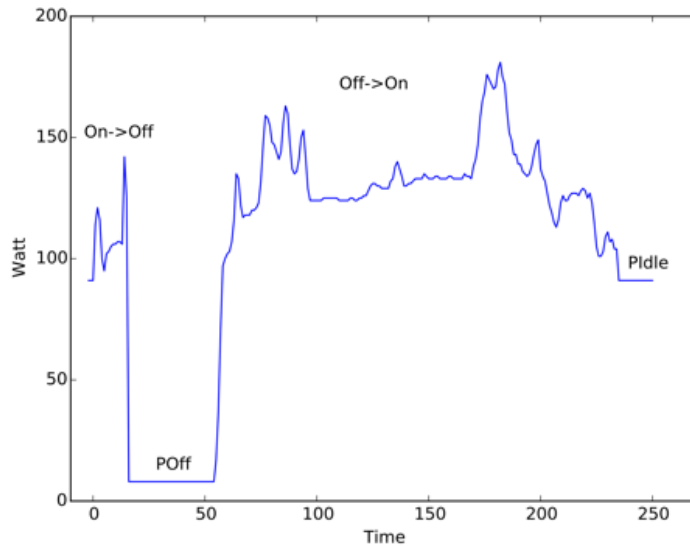
GreenFactory Framework : pour analyse multi leviers



Issam Rais, Laurent Lefevre, Anne-Cécile Orgerie, Anne Benoit. **"Exploiting the Table of Energy and Power Leverages"**, ICA3PP 2018 : 18th International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing, Guangzhou, China, November 2018

Mesurer les usages des leviers : des impacts énergétiques à analyser

Extinction à grande échelle !



Anne Benoit, Laurent Lefevre, Anne-Cécile Orgerie and Issam Rais. "Reducing the energy consumption of large-scale computing systems through combined shutdown policies with multiple constraints", The International Journal of High Performance Computing Applications, Sage Publisher, Volume 31, Number 1, January 2018

Example : Shutdown d'un noeud Grid5000

Grid5000 platform : French experimental testbed (10 sites, 8K cores) – bare metal provisioning

Parameters	Orion		Taurus		Paravance	
	Average	Std dev.	Average	Std dev.	Average	Std dev.
E_{OffOn} (J)	23,386	215.45	19,000	169.6	19,893	1,571.2
E_{OnOff} (J)	775.79	125.6	616.08	75.23	1,115	82.3
T_{OffOn} (s)	150	1.73	150	1.49	167.5	16.6
T_{OnOff} (s)	6.1	1.0	6.1	0.7	13	1.9
P_{idle} (W)	135	0.5	95	0.4	150	0.9
P_{off} (W)	18.5	0.4	8.5	0.3	4.5	0.6

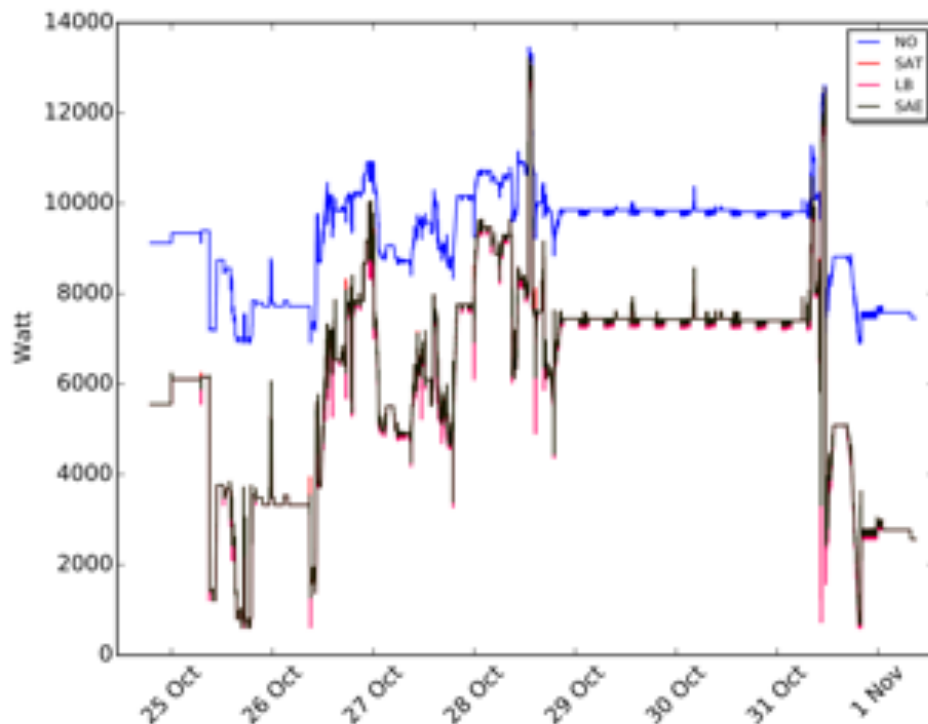


Multi metrics : joules, time, power

S5 state (shutdown)

<https://www.grid5000.fr>

Eteindre intelligemment : plutôt efficace !



Taurus G5K Lyon Cluster

Dell PowerEdge R720

Intel Xeon E5-2630 2CPU, 6 cores

per CPU, 32 GB, 2 x 300

(HDD) 11.2012

Model	Total energy consumed	# cycles	% Saved
<i>Grid'5000 trace, 1 week</i>			
No-OnOff	6,083,698,688	0	0,0
LB-ZeroCost-OnOff	3,983,408,384	1794	34.52
Seq-Aw-T	4,015,736,064	964	33.99
Seq-Aw-E	4,015,201,024	844	34.00

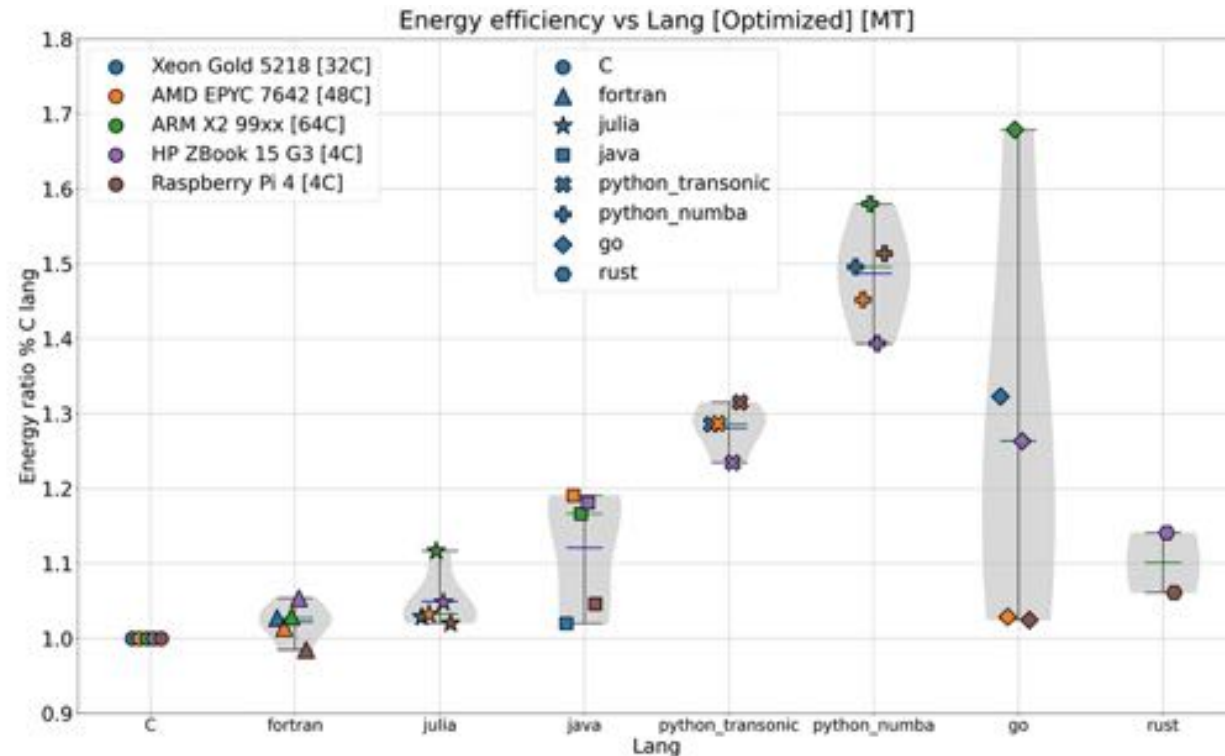
Anne Benoit, Laurent Lefevre, Anne-Cécile Orgerie and Issam Rais. "Reducing the energy consumption of large-scale computing systems through combined shutdown policies with multiple constraints", The International Journal of High Performance Computing Applications, Sage Publisher, Volume 31, Number 1, January 2018

L'impact énergétique des langages de programmation

Langage	Caractéristiques	Environnement
C	compilé, bas niveau	Gcc 10.2.1
Fortran	compilé, bas niveau	GNU Fortran 10.2.1
Java	JIT, GC, bas/haut niveau	OpenJDK 11.0.13
Julia	JIT, GC, syntaxe math, haut niveau	Julia 1.7.1
Python	interprété (GIL), pas de tableaux Numba : JIT, GC Transonic/Pythran : AOT, GC	Python 3.9.2 Numba 0.54.1 Transonic 0.4.12
Rust	compilé, bas niveau	Rustc 1.57.0
Go	AOT, GC	Go 1.17.5

Type	Age	CPU	coeurs	Gflops	Pmin(W)	Pmax (W)
Intel Xeon	2019	Xeon 5218	2x16	2300	160	500
AMD EPYC	2021	EPYC 7642	1x48	1800	307	451
ARM X2 99xx	2020	ThunderX2	2x32	1100	255	425
AMD Opteron	2006	Opteron 250	2x1	9.6	193	262
HP ZBook 15	2017	Intel i7-6820	1x4	173	10	62
RPi4	2020	A72,ARMv8	1x4	12	2	5.1

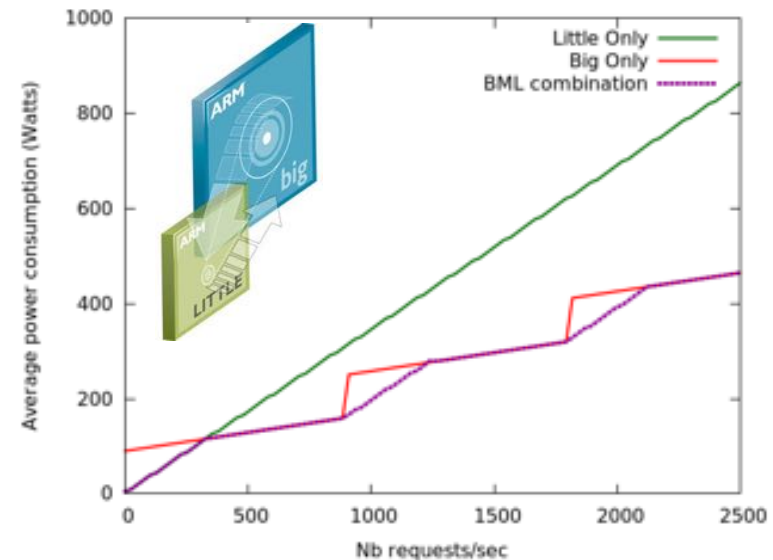
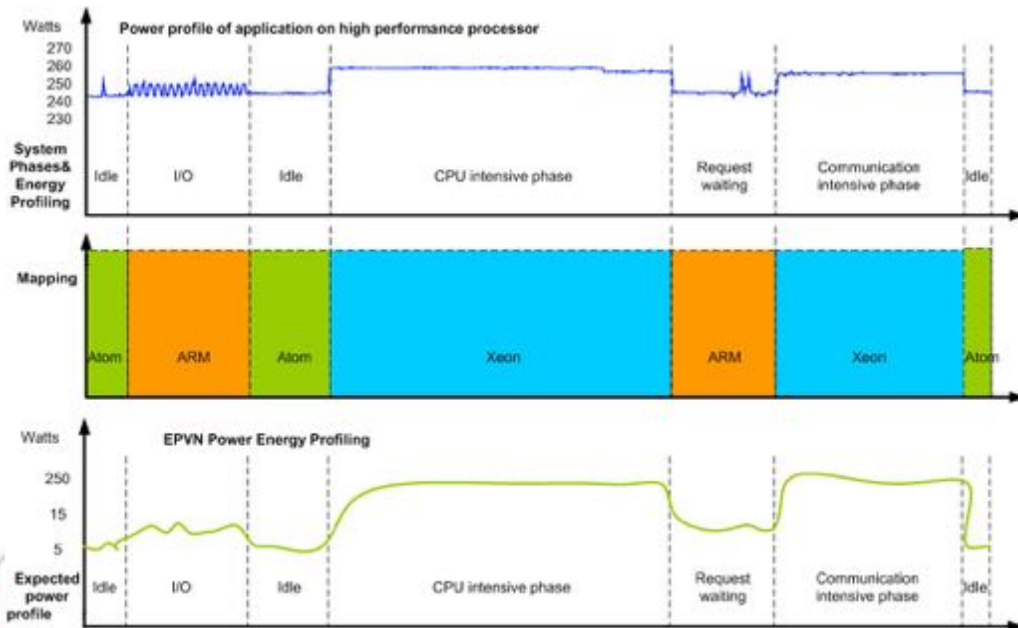
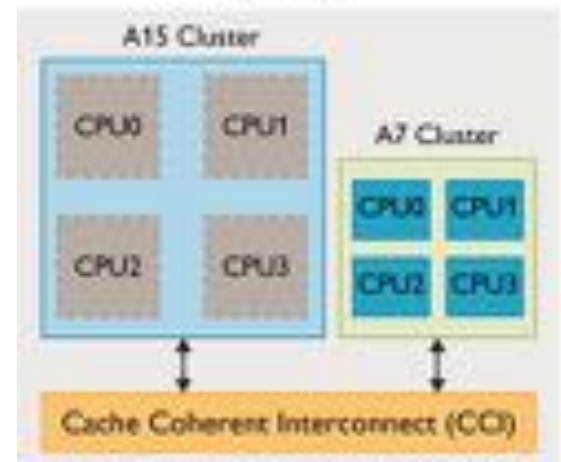
- Deux groupes de langages se distinguent en termes d'efficacité : en tête, C, Fortran, Java et Julia, et légèrement derrière Python, Go et Rust
- Pour développer, un portable classique (voire un Raspberry Pi4) peut être bien plus économe



Cyrille Bonamy, Laurent Bourgès, Laurent Lefèvre
 « Impact des langages de programmation sur la performance énergétique des applications de calcul scientifique : un challenge ? », JRES 2022
 Journées Réseau de l'Enseignement et de la Recherche, Mai 2022

Retrouver de la proportionnalité énergétique dans les architectures hybrides

- Architectures hybrides : processeurs basse consommation, co-processeurs, GPUs...
- Proposition d'une architecture "Big, Medium, Little"
- Profilage des ressources et combinaison
- Décisions de placement : migrations dynamiques des applications sur les machines les plus appropriées
- Gestion des ressources : allumage/extinction des machines au bon moment



V. Villebonnet, G. Da Costa, L. Lefevre, J.-M. Pierson and P. Stolf.
"Big, Medium, Little" : Reaching Energy Proportionality with Heterogeneous Computing Scheduler", Parallel Processing Letters, Volume 25, Number 3, Septembre 2015

Comparatif de wattmètres logiciels

- Comparatifs quantitatifs et qualitatifs de wattmètres logiciels : CPU (EnergyScope, Scaphandre, PowerAPI), GPU (Code Carbon, Carbon Tracker, Experiment Impact Tracker) et en ligne (Green algorithm, ML CO2)

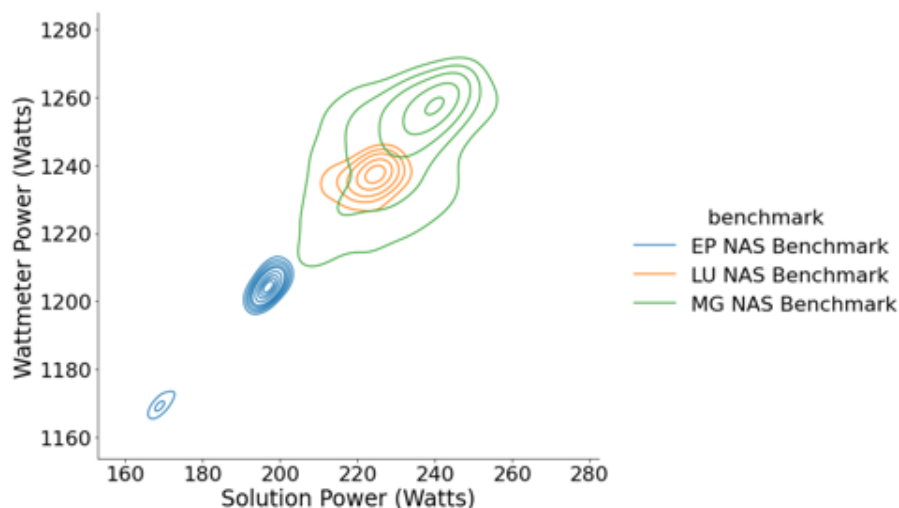
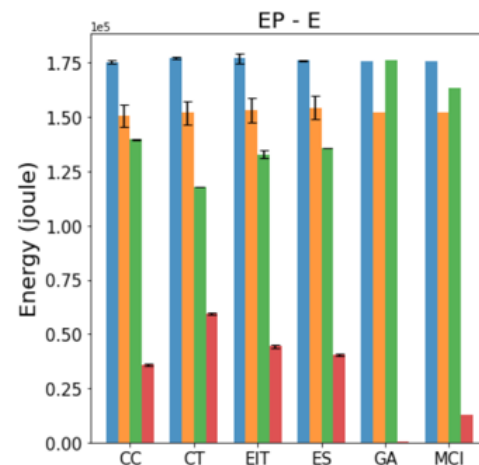
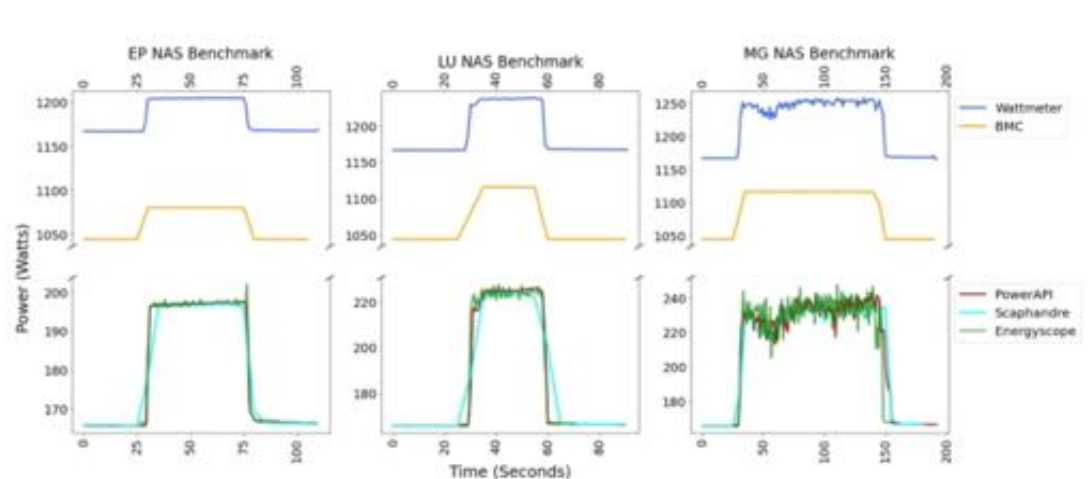


Figure 1. Énergie consommée (10^5 Joule) par les outils testés sur les trois benchmarks EP, LU, MG.



Une comparaison expérimentale des wattmètres logiciels : focus sur le CPU: Vladimir Ostapenco, Laurent Lefèvre and Anne-Cécile Orgerie (LIP/ENS Lyon, Irisa Rennes)
An experimental comparison of software based power meters: focus on GPU: Mathilde Jay, Laurent Lefevre and Denis Trystram (LIP/ENS Lyon, LIG/UGA) – Compas, Juillet 2022

Conclusions

- Tensions à venir sur l'énergie : disponibilité, prix
- Mesure énergétique : une porte d'entrée vers la sobriété numérique, mais le chemin est bien plus long et la réponse n'est pas que technologique
- Idéal pour alerter/mobiliser les étudiants: des TPs avec wattmètres !
- Combiner wattmètres matériels et logiciels
- La mesure permet de détecter les contre vérités, les spécificités matérielles et logicielles
- Penser aux leviers d'usage : effets rebonds : comment les détecter, les mesurer, les anticiper ?
- Ne pas oublier les effets indirects et structurels du numérique : obsolescence, accélération...
- Il faut limiter le gaspillage et surdimensionnement / réduire la consommation – chercher de la proportionnalité énergétique
- Combiner réduction énergétique avec tolérance aux pannes, sécurité, et QoS (multi-métriques)

Merci à A. Benoit, C. Bonamy, L.
Bourgès, G. DaCosta, M. Jay, A-C.
Orgerie, V. Ostapenco, J-M. Pierson, I.
Rais, P. Stolf, L. Tsafack

Questions ?



laurent.lefevre@inria.fr

Questions ?



laurent.lefevre@inria.fr