



Impacts environnementaux du numérique : rien de bon pour la planète ! Comment aller vers plus d'efficacité et de sobriété ?

Laurent Lefèvre
Inria AVALON – Laboratoire LIP
Membre du GDS Ecoinfo
laurent.lefevre@inria.fr

Le numérique est il devenu fou (incontrolable) ?

Le problème : c'est l'effet Pape !

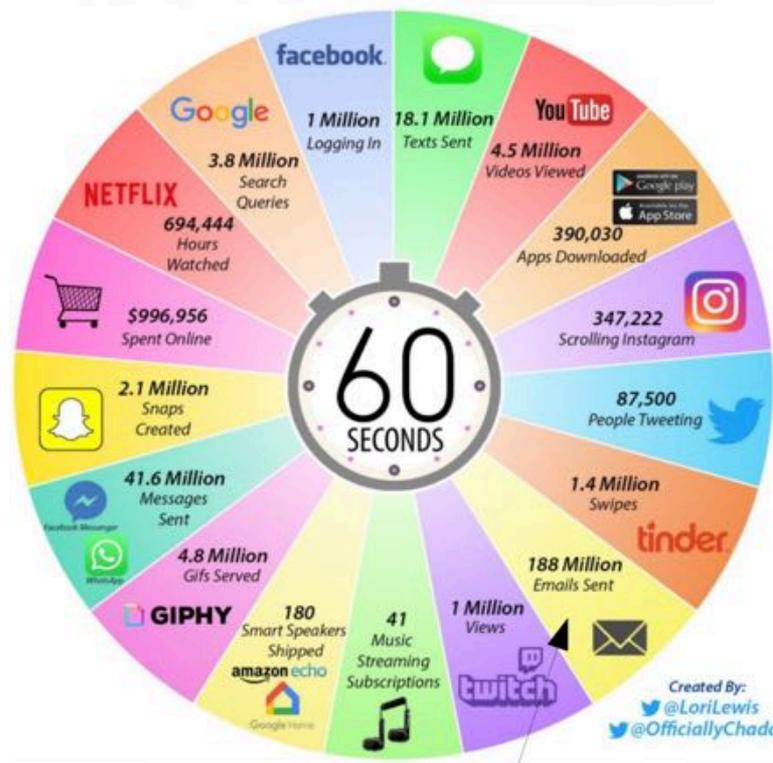
Tellement de données à traiter, stocker et transporter

Toutes ces données sont prises en charge par des

datacentres et des réseaux



2019 *This Is What Happens In An Internet Minute*



En même temps : 2000 smartphones vendus – 100 tonnes de DEEEs

En France : 1,8 Mt de DEEEs en 2017 : 3.4 tonnes par minute

Augmentation annuelle du trafic de données sur les réseaux : 30%

Notre “empreinte numérique” explose !

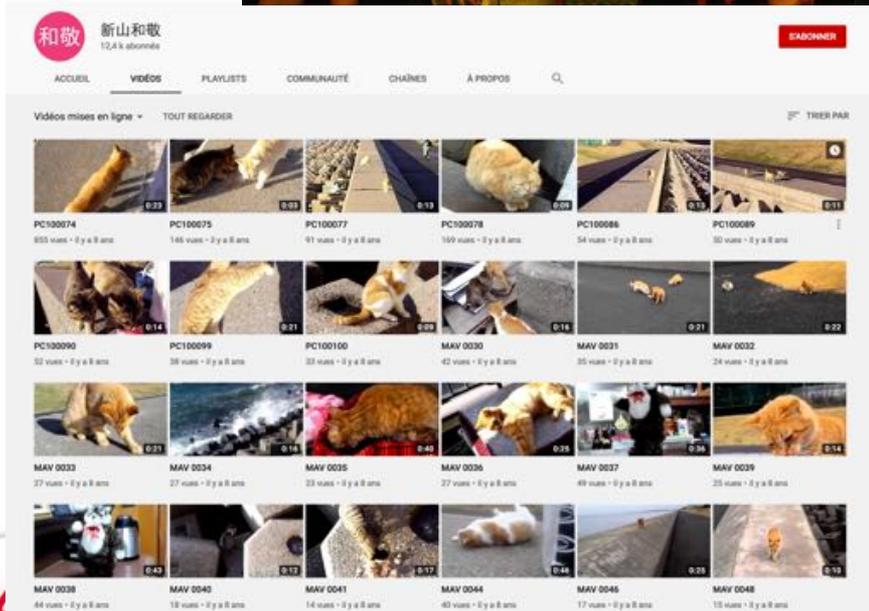


Gangman style (Psy) vidéo youtube :
3.4 Milliards de vues (depuis 2012
*4.12 minutes)

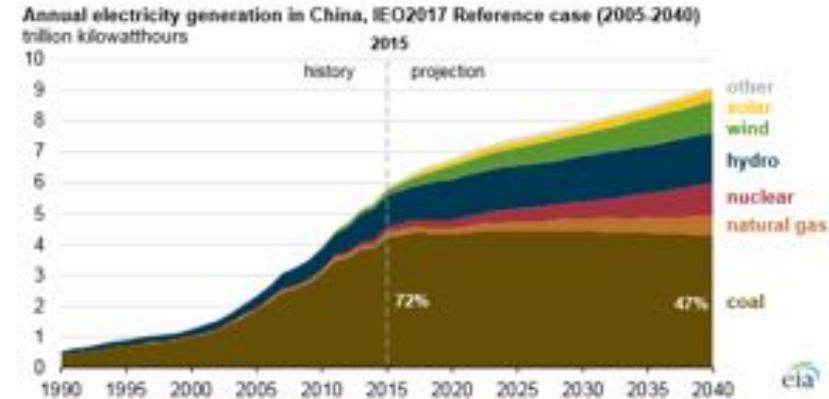
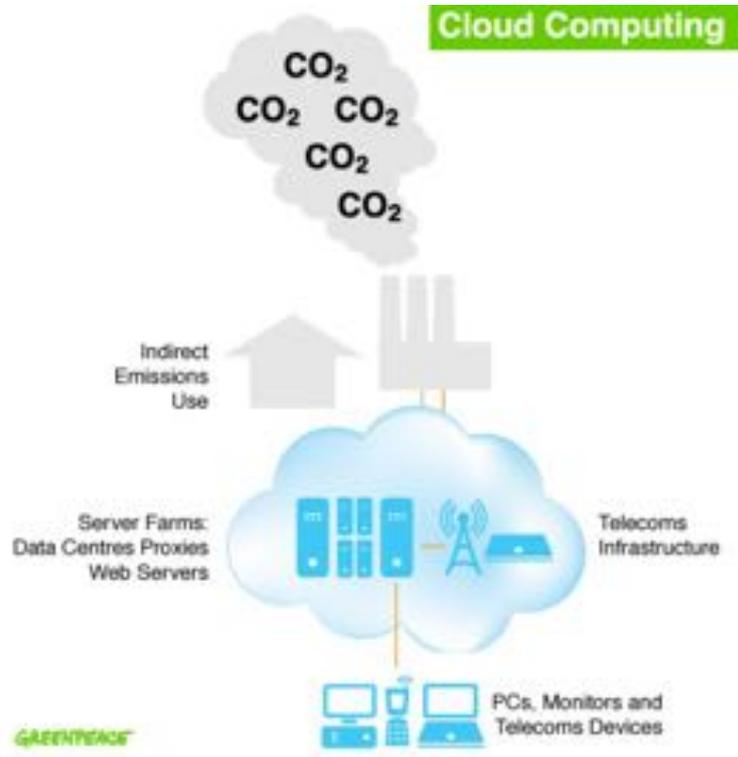
Despacito (Luis Fonsi) – 6.4 Milliards
de vues (depuis 2017 * 4.41 minutes)

Netflix : 4 Po de données / Vidéo 70%
du trafic – impact des assistants

Lonely Web : M. Niyama : 19K
vidéos de chats



L'usage du numérique génère du GES



Production brute d'électricité en Nouvelle-Zélande par source (TWh)

Source	1990	%	2000	%	2010	%	2015	2016	% 2016	var. 2016/1990
Charbon	0,66	2,1	1,55	3,9	2,06	4,6	1,88	1,06	2,5 %	+59 %
Gaz naturel	5,71	17,7	9,57	24,4	9,92	22,1	6,87	5,80	13,5 %	+2 %
Sous-total fossiles	6,38	19,8	11,12	28,3	11,98	26,7	8,75	6,86	15,9 %	+7 %
Hydraulique	23,18	71,9	24,43	62,3	24,72	55,1	24,35	25,73	59,8 %	+11 %
Géothermie	2,13	6,6	2,92	7,4	5,88	13,1	7,85	7,42	17,3 %	+248 %
Biomasse-déchets	0,50	1,5	0,59	1,5	0,60	1,3	0,63	0,61	1,4 %	+22 %
Éolien	0		0,12	0,3	1,63	3,6	2,36	2,30	5,4 %	ns
Solaire PV	0		0		0		0,03	0,05	0,1 %	ns
Autres	0,07	0,2	0,07	0,2	0,06	0,1	0,06	0,06	0,1 %	-12 %
Sous-total EnR	25,88	80,2	28,13	71,7	32,89	73,3	35,29	36,18	84,1 %	+40 %
Total	32,26	100	39,25	100	44,88	100	44,04	43,03	100 %	+33 %

Source des données : Agence internationale de l'énergie⁷.

Environ 4% des GES au niveau mondial

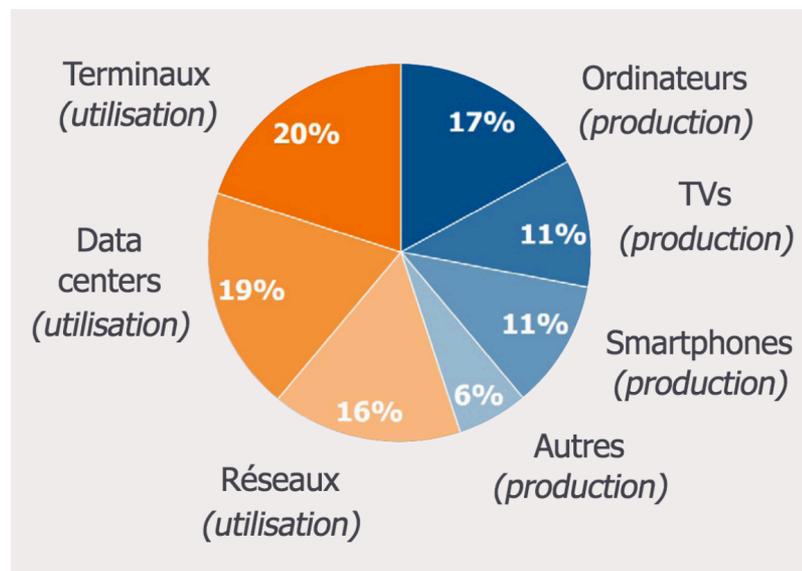


Greenpeace report

Consommation électrique du numérique

Environ 10% de la consommation électrique mondiale – en hausse de 9% par an alors que la consommation mondiale est en hausse de 3% par an

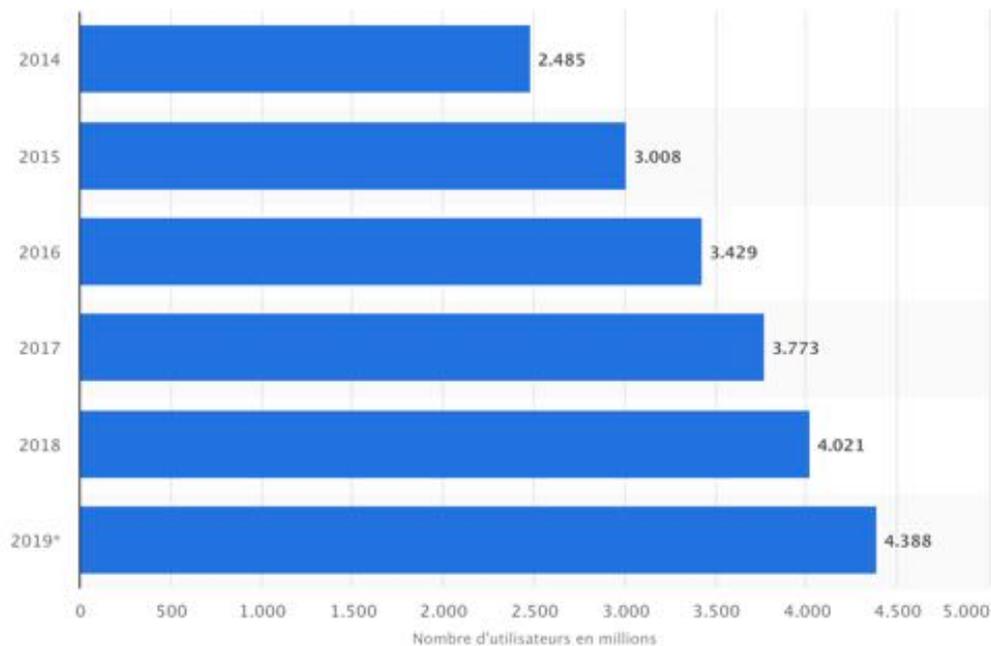
9% de croissance /an : Cela signifie un doublement tous les 8 ans



Source : shift projet

La pression continue !

- Pression des utilisateurs



- Pression des modèles économiques/usages

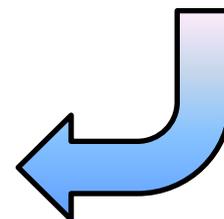
- Bande passante illimitée
- Visionnages gratuits
- 3G/4G/5G

=> Tout les acteurs sur-dimensionnent

- Hébergeurs de datacentres et de services
 - + de serveurs, baies de stockages
- Opérateurs réseaux
 - Des tuyaux plus gros
- Constructeurs
 - Des équipements terminaux plus puissants

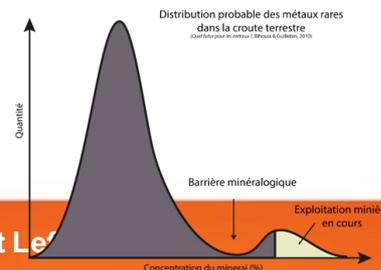
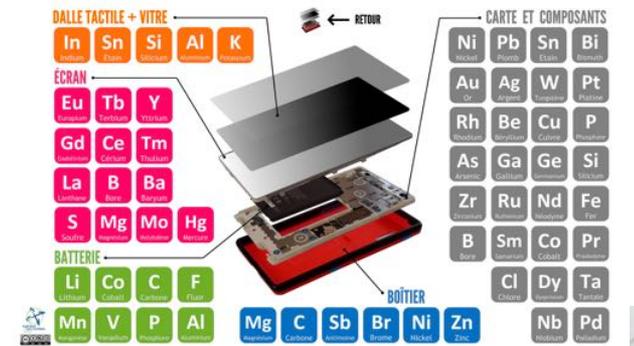
=> Gaspillage à tous les étages !

Cycle de vie du numérique



Ce « cycle » de vie impacte...

- Extraction : barrière minéralogique, minerais de sang, compétition sur l'eau
- Conception : conditions de travail
- Transport : avions/cargos : mélange biodiversité, espèces invasives
- Usage : bien trop court
- Fin de vie : collecte et recyclage difficiles, que faire des DEEs ?



Cycle de vie : impacts environnementaux



Consommation d'énergie primaire: consommation des ressources naturelles énergétiques



Changement climatique: émissions de gaz à effet de serre



Destruction de la couche d'ozone: dommages effectués à la couche d'ozone



Toxicité humaine: émissions dans l'air, l'eau, et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme



Ecotoxicité aquatique: émissions dans l'air, l'eau, et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique



Eutrophisation des eaux: diminution de la faune et la flore aquatique due à la formation excessive d'algues consommatrices d'O₂ favorisée par une concentration excessive de nutriments



Consommation d'eau: consommation d'eau tout au long du cycle de vie

Energie : 1 er facteur limitant pour les grands systèmes numériques (datacenters, clouds, internet) ?

• L'informatique durable, *green computing*, *green IT* ou informatique verte est un concept qui vise à réduire l'empreinte écologique, économique, et sociale des technologies de l'information et de la communication (TIC).

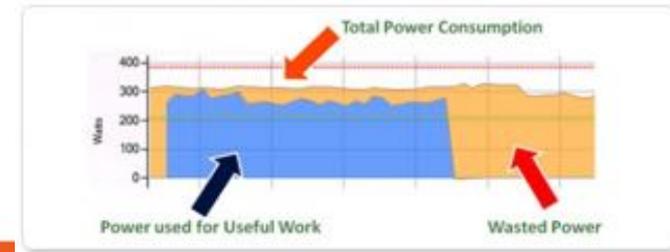


• Green IT → réduire la consommation électrique des équipements informatique en phase d'usage

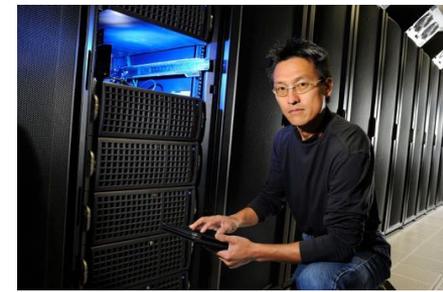
• Comment construire des systèmes plus responsables / durables avec des approches multi dimensionnelles : matérielle, logicielle et usage



• Le vie complète des produits doit être prise en compte



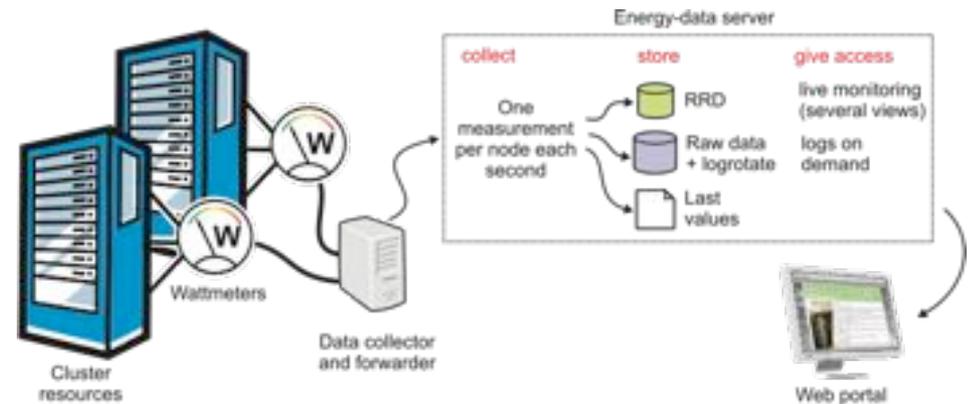
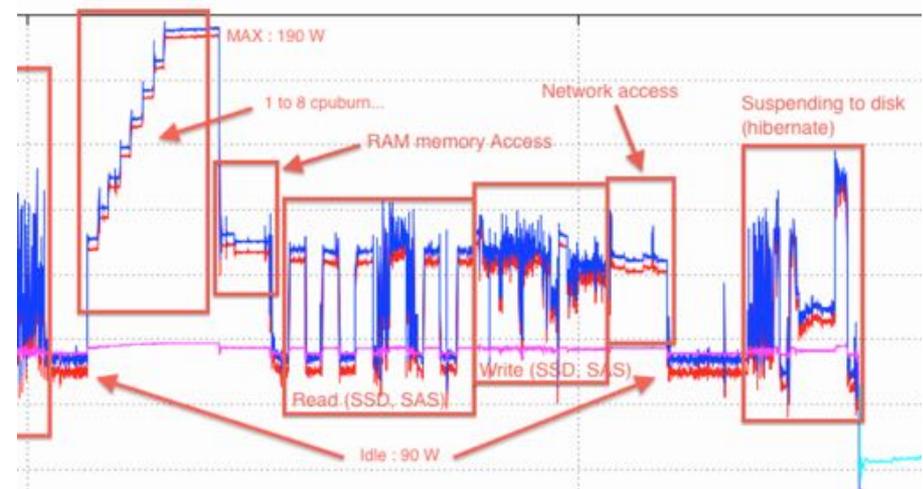
Début du Green IT (dans les grands systèmes)



- Wu Feng Virginia Tech, 2001
- 240 Processeurs basse consommation pour du “calcul haute performance” sans refroidissement
- “Cluster qui consomme l’équivalent d’un sèche cheveux” -> bon plutôt un four électrique
- 667-MHz Transmeta TM5600 CPU w/ Linux - 640-MB RAM, 20-GB hard disk, 100-Mb/s Ethernet – Total : 160 Gflops peak – Consommation : 3.2 KW
- Pas d’intéret aux US, Peu d’intérêt ailleurs, énergie pas la priorité (dans le HPC)... il a fallu attendre....

« Mon Green IT au LIP »

- Réflexions lancées en 2006
- Premiers travaux /mesures en 2007
- Approche expérimentale / compréhension et analyse
- ARC Inria Green-Net (08-10) avec Toulouse, Grenoble et Virginia Tech
- L'aventure "Green Grid5000"
- GreenTouch (10-15) : Internet facteur 1000
- GDR RSD Axe Energie



Transition numérique <-> transition énergétique

**Exemple des datacentres :
améliorations, concentration et
empilement**

TOP500.org Juin 2019

Green500.org Juin 2019

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband IBM	2,414,592	148,600.0	200,794.9	10,096
2	DOE/NNSA/LLNL United States	Sierra - IBM Power System S922LC, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband IBM / NVIDIA / Mellanox	1,572,480	94,640.0	125,712.0	7,438
3	National Supercomputing Center in Wuxi China	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway NRPCPC	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
4	National Super Computer Center in Guangzhou China	Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000 NUDT	4,981,760	61,444.5	100,678.7	18,482
5	Texas Advanced Computing Center/Univ. of Texas United States	Frontiera - Dell C6420, Xeon Platinum 8280 28C 2.7GHz, Mellanox InfiniBand HDR Dell EMC	448,448	23,516.4	38,745.9	
6	Swiss National Supercomputing Centre (CSCS) Switzerland	Piz Daint - Cray XC50, Xeon E5-2690v3 12C 2.6GHz, Aries interconnect, NVIDIA Tesla P100 Cray Inc.	387,872	21,230.0	27,154.3	2,384
7	DOE/NNSA/LANL/SNL United States	Trinity - Cray XC40, Xeon E5-2698v3 16C 2.3GHz, Intel Xeon Phi 7250 68C 1.4GHz, Aries interconnect Cray Inc.	979,072	20,158.7	41,461.2	7,578
8	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Japan	AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI) - PRIMERGY CX2570 M4, Xeon Gold 6148 20C 2.4GHz, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Infiniband EDR Fujitsu	391,680	19,880.0	32,576.6	1,649

210 systèmes mesurés
Moyenne 1.7 MW
367 MW total == 1/3 réacteur nucléaire

TOP500		System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Power (kW)	Power Efficiency (GFlops/watts)
Rank	Rank					
1	469	DGX SaturnV Volta - NVIDIA DGX-1 Volta36, Xeon E5-2698v4 20C 2.2GHz, Infiniband EDR, NVIDIA Tesla V100, Nvidia NVIDIA Corporation United States	22,440	1,070.0	97	15.113
2	1	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	10,096	14.719
3	8	AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI) - PRIMERGY CX2570 M4, Xeon Gold 6148 20C 2.4GHz, NVIDIA Tesla V100 SXM2, Infiniband EDR, Fujitsu National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) Japan	391,680	19,880.0	1,649	14.423
4	393	MareNostrum P9 CTE - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, NVIDIA Tesla V100, IBM Barcelona Supercomputing Center Spain	18,360	1,145.0	81	14.131
5	25	TSUBAME3.0 - SGI ICE XA, IP139-SXM2, Xeon E5-2680v4 14C 2.4GHz, Intel Omni-Path, NVIDIA Tesla P100 SXM2, HPE GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	135,828	8,125.0	792	13.704
6	11	PANGAEA III - IBM Power System AC922, IBM POWER9 18C 3.45GHz, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, NVIDIA Volta GV100, IBM Total Exploration Production France	291,024	17,860.0	1,367	13.045
7	2	Sierra - IBM Power System S922LC, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94,640.0	7,438	12.723
8	43	Advanced Computing System (PreE) - Sugon TC8600, Hygon Dhyana 32C 2GHz, Deep Computing Processor, 200Gb 6D-Torus, Sugon Sugon China	163,840	4,325.0	380	11.382

210 systèmes calculés/mesurés
Moyenne : 3.2 Gflops /watt
Impact des GPUs
Exaflop à 20 MW : facteur 15 à 3 à atteindre

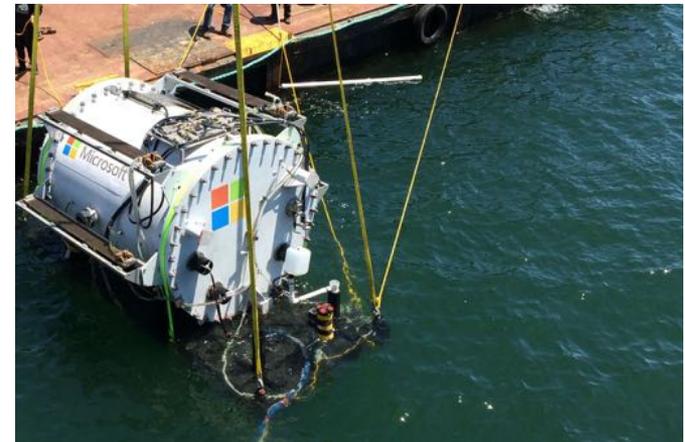


Double vague dans les datacentres

On regroupe / On distribue / On empile !



China Telecom- Inner Mongolia Information Park
1.2 M serveurs – 3 B\$ - 150 MW
Kolos Norvège 2019-2020: 70 MW -> 1 GW



En + : Edge et Fog !

Les familles de leviers verts !!!

- **Extinction** (*shutdown*) : réduire le nombre de ressources alimentées inutilement
- **Dimensionner** (*slowdown*) : adapter les performances des ressources aux réels besoins
- **Optimiser** : modifier les applications et les services pour les rendre plus « verts »
- **Consolider / Aggréger** : relocaliser / regrouper des services et applications sur un nombre réduit de ressources physiques



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 L
- \mathbf{s}_c est l'état courant de L
- \mathbf{f} fonction qui permet la modification de \mathbf{s}_c

Levier énergétique

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

Des familles aux leviers énergétiques



Green Families : Shutdown, Slowdown, Optimizing, Consolidating / aggregating :

- 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
- Green Programming
- Simple / Double precision computing...

Une multitude d'approches en recherche !

Level	Technology	Existing work
Node	Sleep state	[Chase et al. 2001] [Gunaratne et al. 2005] [Leangsuksun et al 2006]
	DVFS	[Snowdon et al. 2005] [Kappiah et al. 2005] [Wang et al. 2010] [Lim et al. 2006] [Chen et al. 2005] [Yan et al. 2005]
	Software improvements	[EcoInfo 2011] [LessWatts 2010] [Steele 1998]
	Hardware capabilities	[Carrera et al. 2003]
Infrastructure	Green sources	[Greenpeace 2011] [Figuerola et al. 2009]
	Thermal management	[Patel et al. 2002] [Sharma et al. 2005] [Merkel and Bellosa 2006]
	Workload consolidation	[Chase and Doyle 2001] [Doyle et al. 2003] [Urgaonkar et al. 2008] [Verma et al. 2008] [Kusic et al. 2008] [Jung et al. 2009] [Srikantaiah et al. 2008] [Freeh et al. 2005] [de Langen and Juurlink 2006] [Lefèvre and Orgerie 2009]
	Task scheduling	[Jejurikar and Gupta 2006] [Mishra et al. 2003] [Yang et al. 2009] [Zhuo and Chakrabarti 2008] [Yao et al. 1995] [He and Jia 2008] [Shin and Kim 2004] [Fan et al. 2007] [Aydi et al. 2001] [Merkel and Bellosa 2006] [Chen et al. 2008] [Da-Costa et al. 2010]
Virtualized environments	Virtual machines	[Nathuji and Schwan 2007] [Stoess et al. 2007] [Talaber et al. 2009] [Torres et al. 2008] [Cherkasova and Gardner 2005] [Hermenier et al. 2006]
	VM migration	[Clark et al. 2005] [Travostino et al. 2006] [Voorsluys et al. 2009]
	Cloud level	[Nurmi et al. 2008] [Fontan et al. 2008] [Barham et al. 2003] [Miyoshi et al. 2002] [Liu et al. 2009] [Verma et al. 2008] [Jung et al. 2009] [Lefèvre and Orgerie 2010]

Un écosystème de recherches.. mais beaucoup restent à un niveau théorique et modèle et ne sortent pas des laboratoires

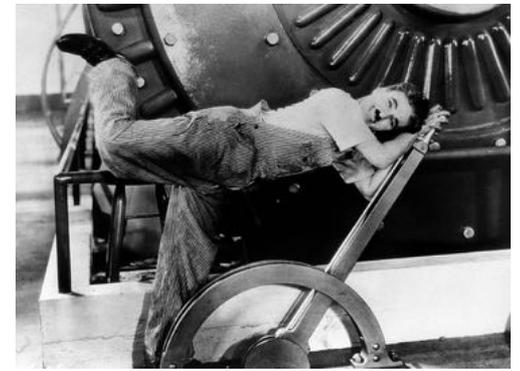
Exemple : calculs et services ou réseaux (filaire)

Approach	Technology	Existing work
Hardware	Improving and re-engineering	[Gupta and Singh 2007b] [Ananthanarayanan and Katz 2008] [Roberts 2009]
Shutdown	On/off and sleeping	[Gupta and Singh 2003] [Nedevschi et al. 2008] [Gupta et al. 2004] [Bolla et al. 2011] [Hu et al. 2011] [Chiaraviglio et al. 2008] [Yamanaka et al. 2010] [Soteriou and Peh 2003] [Christensen et al. 2010] [Gupta and Singh 2007a]
	Proxying	[Irish et al. 1998] [Christensen et al. 2004] [Jimeno et al. 2008] [Sabhanatarajan et al. 2008] [Agarwal et al. 2009] [Agarwal et al. 2010] [Gunaratne et al. 2005]
Slowdown	Rate adaptation	[Zhang et al. 2008] [Gunaratne et al. 2006] [Nedevschi et al. 2008] [Alonso et al. 2004]
Coordination	Network protocols	[Irish et al. 1998] [Wang and Singh 2004] [Cianfrani et al. 2010] [Zhang et al. 2010] [Van Heddeghem et al. 2010] [Chabarek et al. 2008] [Gelenbe and Silvestri 2009] [Blackburn and Christensen 2009]
	Clean-slate	[Baldi and Ofek 2009] [Hayenga et al. 2009] [Tucker 2010] [Baliga et al. 2009]
	Frameworks	[Chiaraviglio et al. 2009] [Shang et al. 2006] [Chiaraviglio et al. 2009] [Chiaraviglio and Matta 2010] [Steinder et al. 2008] [Restrepo et al. 2009] [Wang et al. 2008] [Tzanakaki et al. 2011] [Orgerie and Lefèvre 2011]

« On the Road to Energy-Efficient Computing and Network: Where Exactly are We? » - Anne-Cécile Orgerie, Marcos Dias de Asuncao, Laurent Lefèvre ACM Computing Surveys - December 2014

De multiples leviers énergétiques

- 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
- Green Programming
- Simple / Double precision computing...



Problème : l'état de l'art ne se focalise que sur un levier à la fois !

(Extrait de IEEE)

43 articles sur Low Power Idle

118 articles sur Power Capping

171 articles sur Near Threshold Voltage

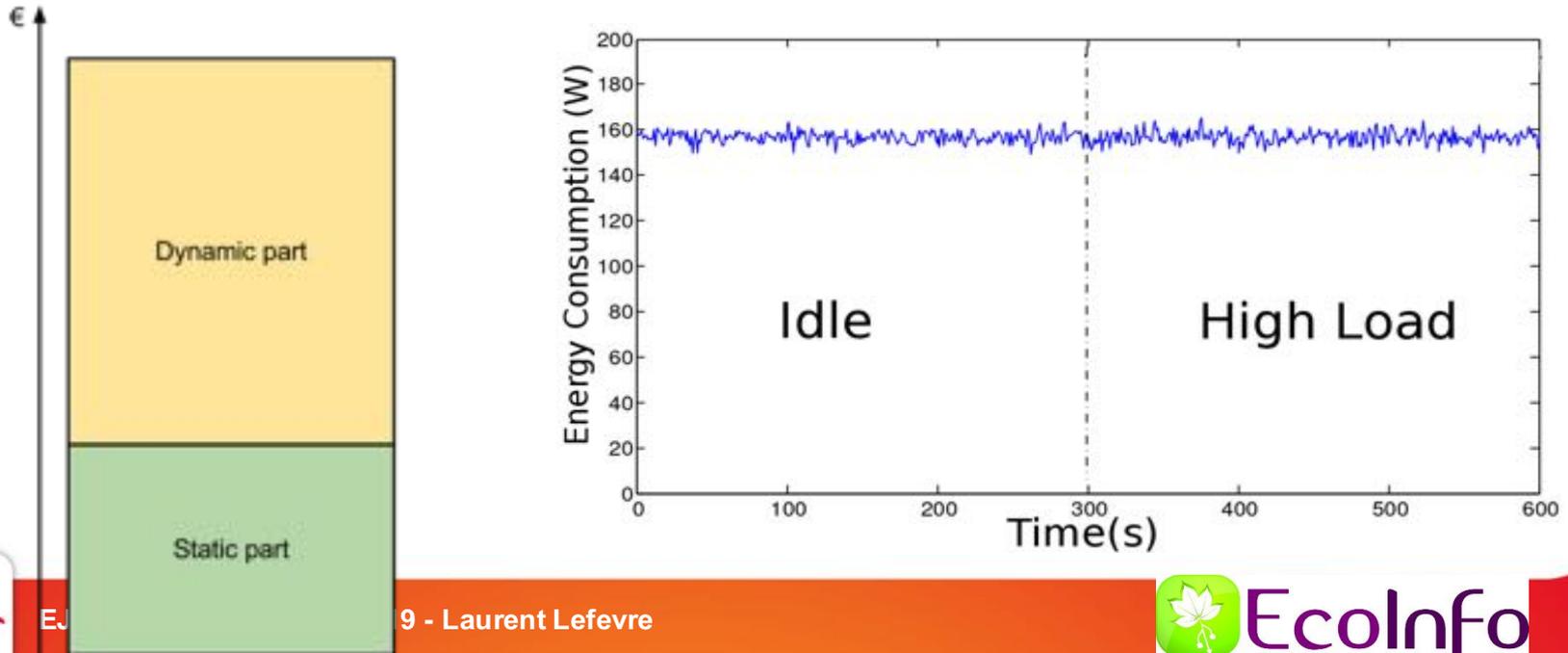
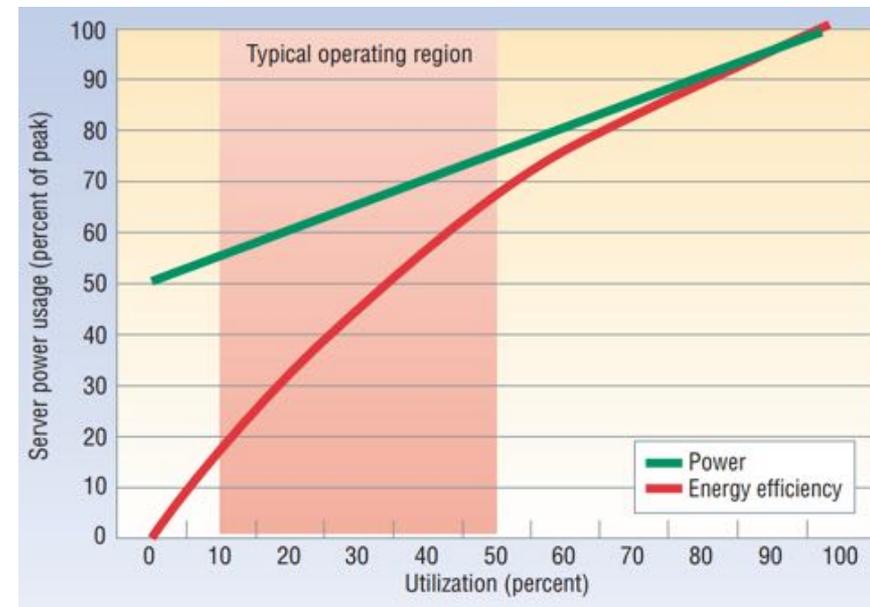
834 articles sur Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS) + 35 sur DFVS 😊

Proportionalité Énergétique

Luiz André Barroso and Urs Hölzle, « The case for Energy-Proportional Computing », IEEE Computer, 2007

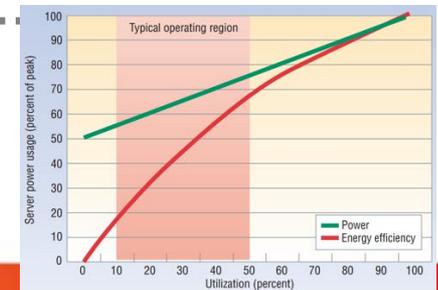
Serveurs : Consommation *idle* (à vide / statique) importante – faiblement proportionnelle

Réseau : consommation constante insensible à l'usage



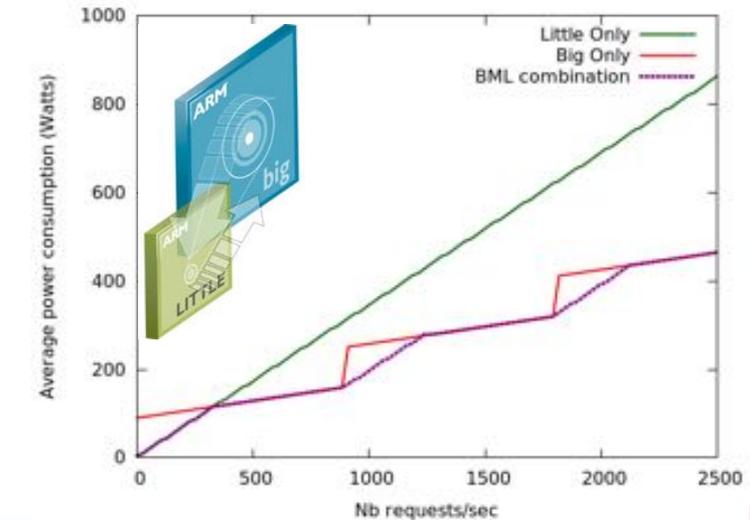
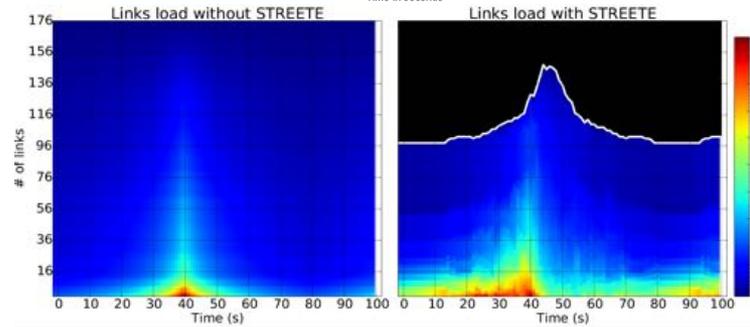
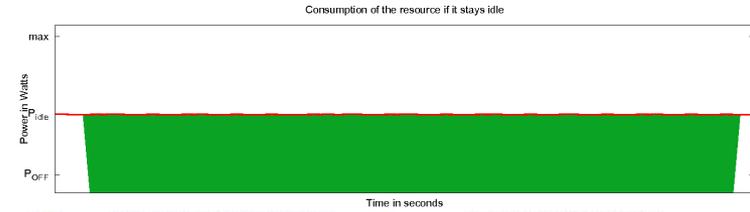
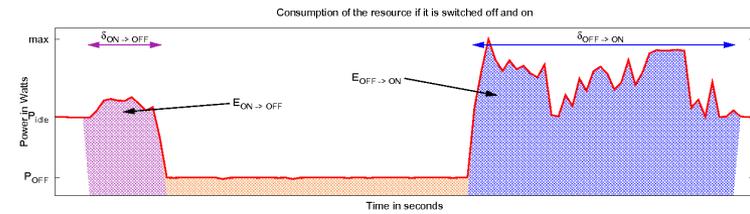
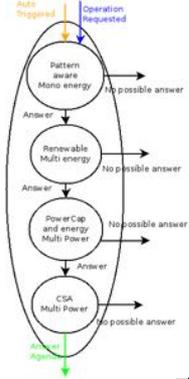
Problèmes du numérique en phase d'usage

- Sur dimensionnement massif -> performance/ « QoS first »
- Pas / peu de proportionnalité énergétique
- Multiples leviers difficiles à maîtriser
- Peu d'indicateurs pour les utilisateurs
- Obésiciels : plein de services et de fonctionnalités non demandées
- Phase d'usage : très/trop courte....
- On teste, on lance des expériences...sans trop savoir...
exemple de l'IA : consomme bcp en apprentissage, et re-consomme pendant toute la durée du cycle...



Quelques activités de recherches pour réduire la consommation énergétique en phase d'usage

- Eteindre et allumer à grande échelle des ressources numériques
- Recréer de la proportionnalité énergétique (BML)
- Coordonner & appliquer de multiples leviers « au bon moment » (GreenFactory)
- Virtualiser et agréger des services
- Intégrer les nouveaux usages/matériels (GPUs)
- Eco-conception logicielle



Risques associés au Green IT

Améliorer l'efficacité....

- Crée un « appel d'air »
 - Pour de nouveaux contenus
 - De nouveaux usages
 - De nouveaux utilisateurs

=> Effet Rebond (numérique ?)

1

Numérique

Solution

- Source de bonheur (chats)
- Un levier pour les ODD
- Compensation
- IT4Green
- Permet de gagner du temps face aux enjeux

Problème

- Source de tristesse (chats)
- Consommation qui s'emballe
- Facteur d'accélération de la société
- Facteur d'obsolescence



Conclusion

Conclusions

- Il faut limiter le gaspillage et surdimensionnement dans le numérique / réduire la consommation – chercher de la proportionnalité énergétique
- Sortir les résultats de recherche des labos et les mettre dans les produits du marché – Attention le Green washing est présent partout : dans la vie courante «Netflix : 1h de vidéo = 0.5 g eq CO2 – 1 être humain = 40 g eq co2 par heure», dans la recherche « j'ai rajouté un modèle énergétique donc mon papier peut sauver la planète »
- Sortir de la zone de confort créée par le sur-dimensionnement -> sobriété numérique
- Combiner réduction énergétique avec tolérance aux pannes, sécurité, et QdS (multi-métriques)
- Favoriser l'émergence de recherches en rupture – construire l'informatique de l'après...
- Remettre humain dans la boucle / et aller vers un GreenIT qui change les usages - > c'est un domaine de recherche (pluri-disciplinaire) à créer

On est tous des grenouilles !



© BubbleJuice, Pixabay, DP

On doit sortir de la casserole « Syndrome de Stockholm Numérique »
(Jean-Romain Lhomme)

On est tous des grenouilles !



© BubbleJuice, Pixabay, DP

On doit sortir de la casserole « Syndrome de Stockholm Numérique »
(Jean-Romain Lhomme)

On peut devenir des colibris, mais c'est difficile !



© Andy Morffew

On est tous des grenouilles !



© BubbleJuice, Pixabay, DP

On doit sortir de la casserole « Syndrome de Stockholm Numérique »
(Jean-Romain Lhomme)

On doit devenir plus que des colibris !



© Andy Morffew



© dreamstime

Merci à : D. Balouek, F. Berthoud, D. Boughzala, E. Caron, R. Carpa, G. DaCosta, M. Dias de Asuncao, M. Diouri, E. Drezet, J.-P. Gelas, O. Gluck, J.C. Mignot, A.-C. Orgerie, G. Tsafack, J.-M. Pierson, L. Pouilloux, F. Rossigneux, P. Stolf, V. Villebonnet

Plein d'informations sur le site EcoInfo:
ecoinfo.cnrs.fr

Questions ?



laurent.lefevre@inria.fr