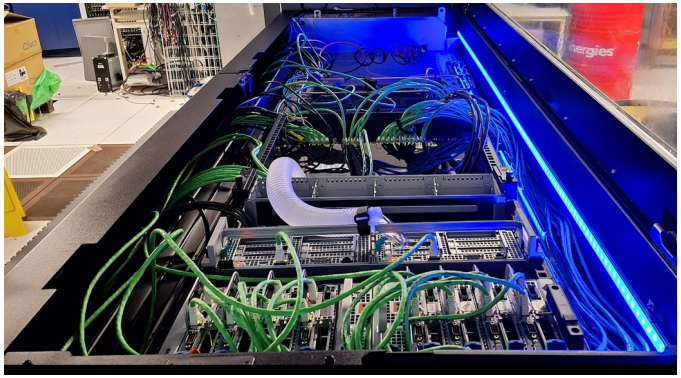
CBPsmn
Centre Blaise Pascal de Simulation et de Modélisation Numérique

Bachelor CPES

Du calcul numérique et son empreinte environnementale en général…
à sa mesure et sa réduction
Au CBPsmn en particulier…



Emmanuel Quémener

Université de Lyon

ENS

Des nouveaux usages… … aux nouveaux contextes !

- L'IT a une part croissante (de consommation) :
  - Parce qu'on s'en sert de plus en plus (pas une discipline épargnée)
  - Parce que les outils sont plus gourmands (*Machine Learning* en tête)
- Mais un contexte de rentrée 2022 unique :
  - Émergence (tardive ?) d'une « conscience écologique »
  - Augmentation drastique du coût de l'énergie (électricité en tête x10)
  - Risques de coupure électrique l'hiver 2022-2023
- Questionnement tous azimuts de direction & laboratoires
- Comment aborder le problème ?

Ce que ce ne sera pas…
Pas de « reprise » de Labos 1.5 !

Sommaire

Dans cette version de la méthodologie, il a été décidé d'exclure la fin de vie, compte tenu de son très faible impact relatif compte tenu des circonstances de traitement des équipements électriques et électroniques (DEEE) professionnels en France. La récupération de la chaleur fatale est exclue car hors périmètre.

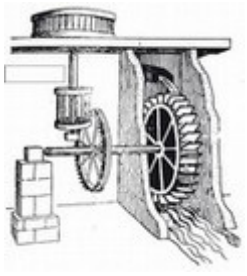
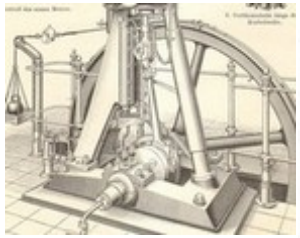
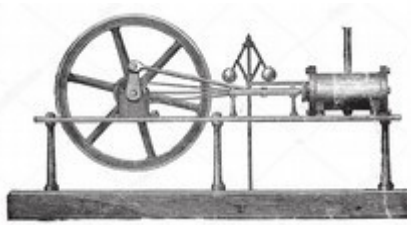
Justement, on va s'intéresser à ces éléments !

Une approche ... « intelligente » ?
« Moyens » de ses « ambitions »

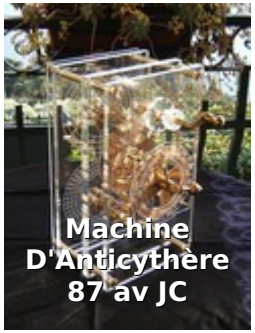
Qu'est-ce que « l'intelligence » ?

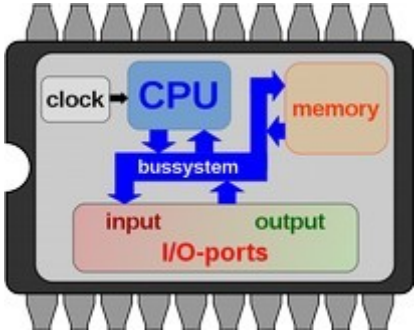
- Pour un « latin » : un « état »
  - Intelligence : capacité d'abstraction dans la résolution de problèmes
- Pour un « anglo-saxon » : 3A pour un « objectif »
  - **Appréhension** : capacité à récupérer les informations
  - **Analyse** : capacité à analyser les informations collectées
  - **Action** : capacité à mettre en œuvre des processus
- Dans mon cas : à défaut de la « latine », prenons l'autre.

Travaux physique ou intellectuel
Moteurs & Computeurs :

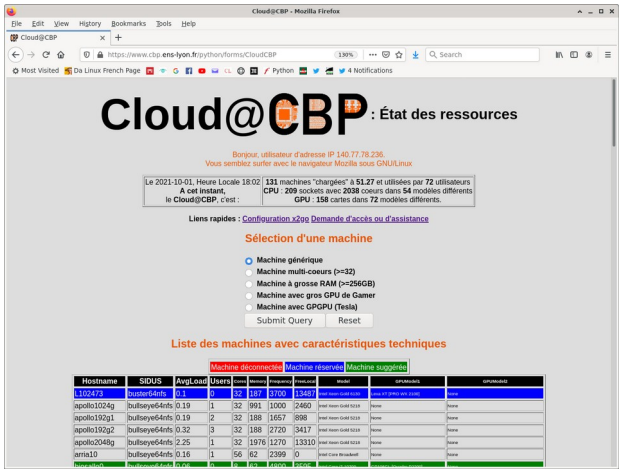

Des anciens temps aux temps modernes...

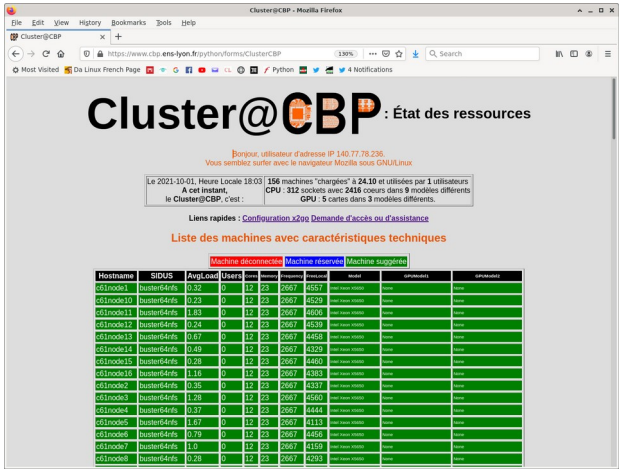


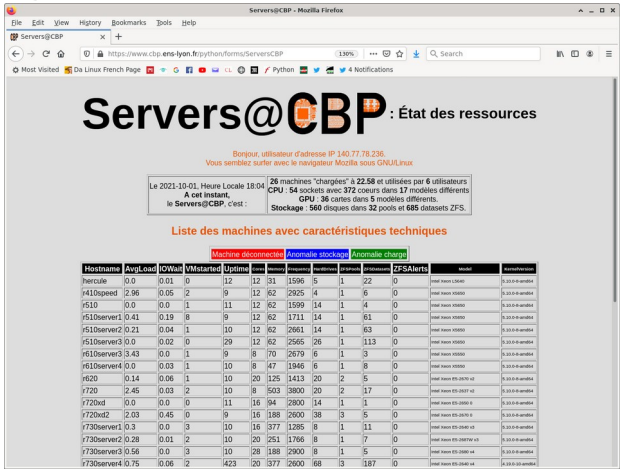


Ce que ce sera : approche locale sur une « meute » de machines...

- Si cela ne fonctionne pas à petite échelle…
  - Aucune chance que cela fonctionne à une plus grande !



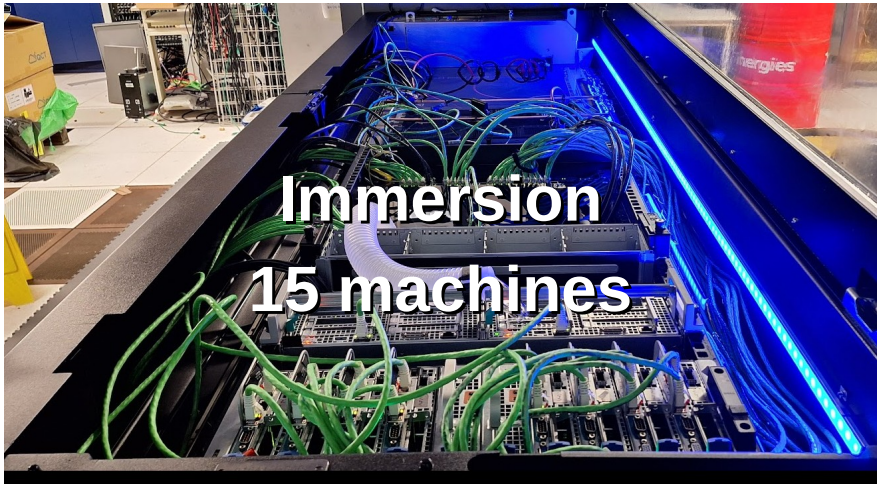




Les 3 infrastructures Cloud@CBP, Cluster@CBP et Servers@CBP

- Plus de 300 machines (plus d'une centaine éteintes démarrables à discrétion)
- Un taux de disponibilité supérieur à 99.5 %
- **Tout ça avec 90 % d'équipements hors garantie et 70 % d'occasion...**

La « meute » du CBP : quoi & où ? des machines un peu partout...



Inéquation impossible ?
Moins consommer & mieux servir...

- Nécessité de placer des « nombres » sur des « faits »
- Indicateurs de « consommation » :
  - Croissance (infinie dans un environnement fini :-/)
  - **ADP** : potentiel d'épuisement des ressources abiotiques :
    - Abiotic Depletion Potential (unité kgSbeq)
  - **PRG** : Potentiel de Réchauffement Global ou « empreinte carbone »
    - GWP : Global Warming Potiential (unité kgCO2eq)
  - **PE** : Consommation de ressources énergétiques
    - Primary Energy (unité MJ)

Quelle empreinte carbone ? Finalement, une vieille idée...

- Analyse « comptable », « **3 coûts** » pour tout « service »
  - **Coût d'entrée** : appropriation, développement, intégration, ...
  - **Coût d'exploitation** : MCO, évolutions réglementaires, sanitaires, …
  - **Coût de sortie** : remplacement, abandon, délégation, …
- Pour du matériel (et son usage) : même combat !
  - **Avant** : sa fabrication (et son transport)
  - **Pendant** : son exploitation (et sa maintenance)
  - **Après** : son recyclage (et son transport, stockage)
- Pendant : consommation électrique (et chaleur fatale)...

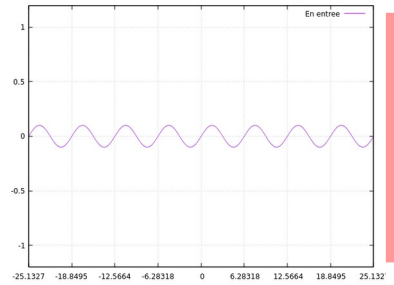
De la « résistance » salutaire… à la « chaleur fatale » de l'électronique

Expérience commune de la « résistance chauffante »

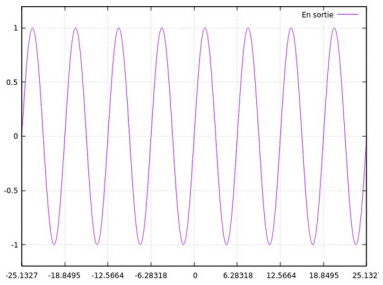
Courant électrique dans résistance donne chaleur...

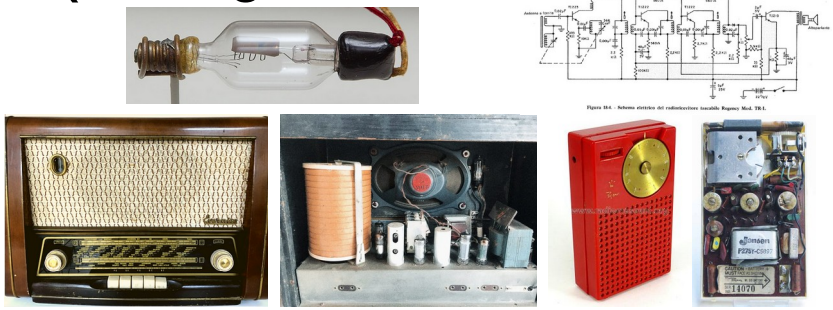
Pourquoi cette « chaleur fatale » ? Histoire d'un grand détournement...

- Au début, « amplifier un signal » (un signal radio...)



Amplificateur x10





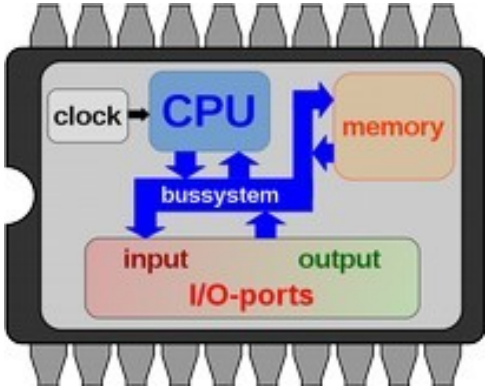
- Sauf que « lampe » ou « transistor » sont « physiques » :
  - Un mode « linéaire » (le plus possible)
  - Un mode « bloqué » : rien en sortie
  - Un mode « saturé » : la même valeur non nulle

Amplificateur "idéal"

Interrupteur Commandé
Porte Logique !

Enfin un cas où les extrêmes sont intéressants !

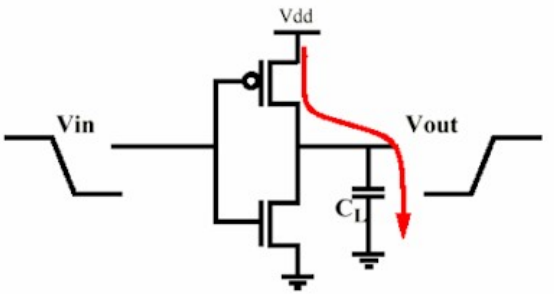
Mais pourquoi ça « chauffe » alors ? Combinaison de X facteurs !



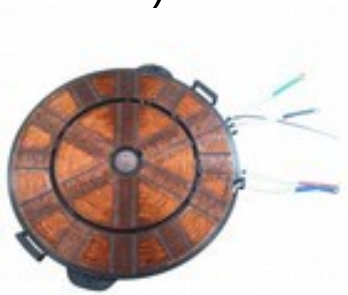
- Les transistors ne sont pas seuls :
  - D'autres composants : résistances, capacités, self, etc. tous dissipatifs...
- Les transistors ne « commutent » pas instantanément…
  - Et pendant leur « transition », ils se comportent « comme les autres »
- Les transistors sont nombreux :
  - Dans les portes logiques (de 2 à 6) par « fonction » logique
  - Dans la mémoire SRAM (6/bit), DRAM (1/bit),
  - Dans le stockage SSD ou NVMe (6/bit)
  - Processeur récent : 8 milliards
  - 8 GB de DRAM : 64 milliards
  - NVMe ou SSD de 1TB : 48 milliards…
- Les transistors « commutent » vite !
  - Horloge : plusieurs milliards de fois par seconde

Pour un peu fixer les idées… La consommation électrique IT

- Grandeur et décadence de la fréquence
  - Entre 1981 et 1999 : de 4 MHz à 400 MHz x100 en ~20 ans
  - Entre 1999 et 2004 : de 400 MHz à 3 GHz x~10 en 5 ans
  - Entre 2004 et 2009 : de 3 GHz à 2 GHz x0.66 en 5 ans
  - Entre 2009 et 2024 : de 2 GHz à entre 0.8 GHz et 5 GHz !



- Thermal Design Power : enveloppe thermique de dissipation maximale
  - TDP = ½ C V^2 f avec C = Capacitance, f = fréquence, V = tension (fonction de f !)
  - Capacitance = $Finesse^2$. Nb Transistors . Constante de Mylq (~ 0.015)
- TDP pour un processeur : jusqu'à 350 W (sur 12 cm^2)
  - Densité de chaleur d'une plaque à induction !



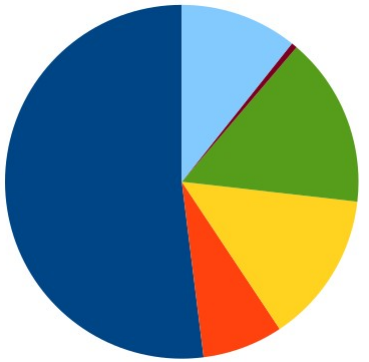
- TDP devient le facteur limitant de puissance (de traitement)

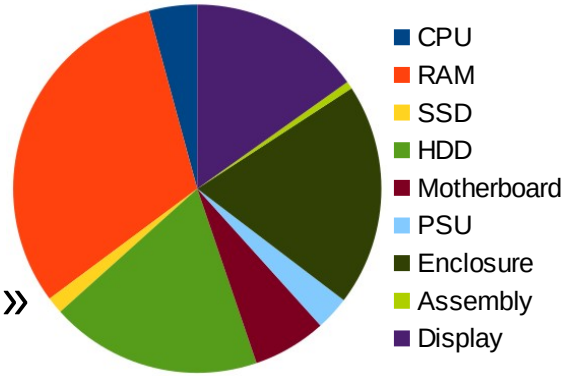
Quelle empreinte carbone ? Interrogations sur la « littérature »

- Petite expérience : *établir un devis sur Matinfo5*
  - Empreintes carbone identiques quel que soit : le modèle CPU, la RAM
- Littérature plus « pertinente, cohérente et consistante » :
  - https://boavizta.org/blog/empreinte-de-la-fabrication-d-un-serveur
  - **Approche 2 : « facteurs d'émission arbitraires par composant »**
    - servergwp(kgCO2eq) = 900(kgCO2eq) + cpuunits(unit) x 100(kgCO2eq/unit) + ramsize(GB) x 150/128(kgCO2eq/GB) + ssdunits(unit) x 100(kgCO2eq) + hddunits(unit) x 50(kgCO2eq) + gpuunits(unit) x 150(kgCO2eq/unit)
  - **Approche 3 : « vers une formule de calcul d'impact multicritère » basé sur les semiconducteurs**
    - server = cpu + ram + ssd + hdd + motherboard + psu + enclosure + assembly
    - cpu = cpuunits x ((cpucoreunits x cpudiesize + 0,491) x cpu_die + cpu_base)
    - ram = ramunits x ((ramsize / ramdensity) x ram_die + ram_base)
    - ssd = ssdunits x ((ssdsize / ssddensity) x ssd_die + ssd_base)
    - hdd = hddunits x hdd_unit
    - psu = psuunits x psuunitweight x psu_weight
    - enclosure = rack ou enclosure = blade x bladeenclosure/16

Analyse : CBP comme « pollueur » Fabrication & Exploitation

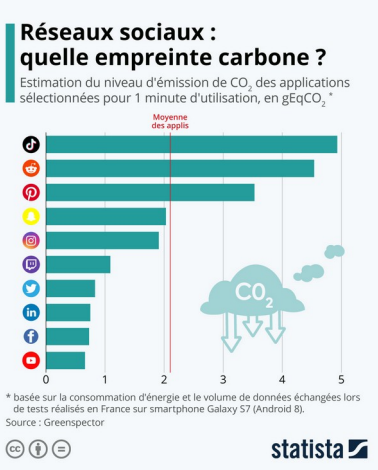
- Fabrication : 322 machines
  - 10 % sous garantie, 1/3 achetées neuves
  - 6572 coeursCPU, 9245 coeursGPU,
  - 63 TiB RAM, 4 PB, 1200 HDD, 53 SSD
  - 557 ou 277 tonnes CO_2 à la fabrication
- Exploitation : 322 avec 150W H24 7/7
  - 21 tonnes CO_2 par an soit 2 françaises « moyennes »
  - Mais 400 utilisatrices différentes chaque mois !
- « Amortissement » carbone : jamais l'égalité (ou presque)
  - Ratio : 1 pour 26 à 1 pour 12…





Pour fixer les idées sur l'empreinte carbone individuelle...

- Un smartphone :
  - 80 kgCO_2 à la fabrication, 800 gCO_2 à l'utilisation par an
  - « Amortissement » carbone sur 100 ans...
  - Durée de vie de 3 ans...
- Sauf qu'un smartphone n'est qu'un « terminal » !
- Usage des réseaux sociaux : forte disparité...
  - En moyenne 2 gCO_2/minute
  - Pour un jeune utilisant TikTok 4h/jour : 450kgCO_2/an
    - Équivalent carbone de 7 machines du CBP/H24 7/7

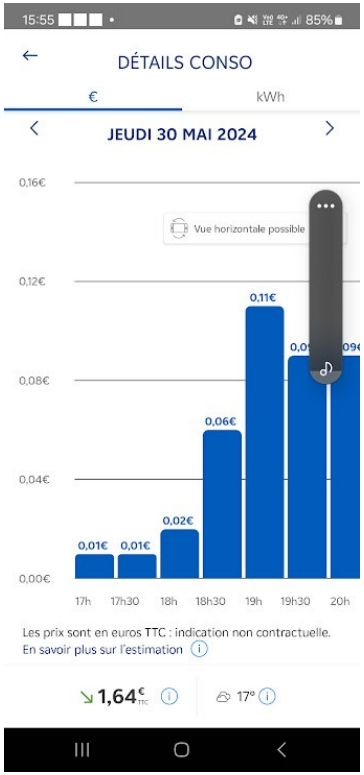


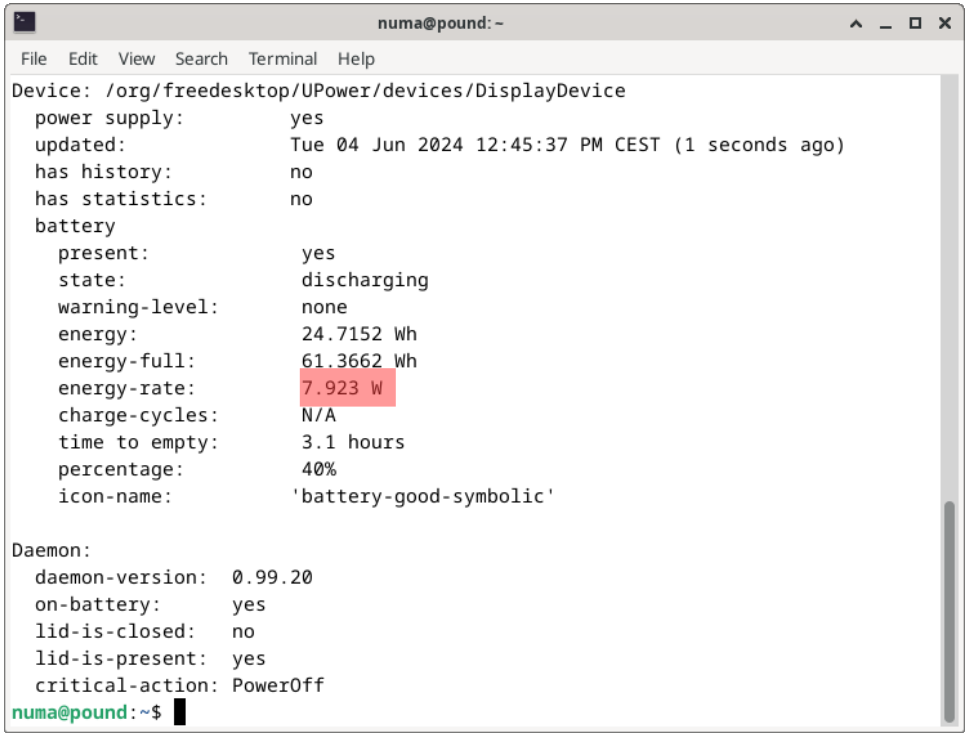
Actions à envisager

- D'abord réduire les coûts d'entrée (ou de sortie)
  - En exploitant le maximum les machines déjà fabriquées
- Puis réduire les coûts d'exploitation :
  - En exploitant la chaleur fatale directement
  - En améliorant l'évacuation la chaleur fatale
- Mais, avant tout « plan de bataille », « intelligence » :
  - Connaître sa consommation à petite échelle (machine ou composant)
  - Connaître sa consommation à grande échelle (Data Center)

Appréhension : récupérer les infos… A son échelle, c'est « simple »...

- Chez soi, le compteur Linky et son application...





- Sur son laptop, la commande « upower -d » en décharge...

Appréhension : récupérer les infos… En fait, pas si simple !

- Récupérer « localement » : échelle du composant
  - Via le système d'exploitation, directement : sensor
  - Via l'IPMI et l'OS : « ipmitool » ou mieux « ipmi-sensors »
  - Via un wattmètre (et une webcam)
  - Via une pince ampèremétrique
- Récupérer « globalement » : échelle du Data Center
  - Un site web authentifié (en Java)
    - « page Web » = « framebuffer »

SOUS SOL	JOUR EN COU	CUMUL
GENERAL TGBT	5450 kWh	20130286 kW-hr
GENERAL ECLAIRAGE	0 kWh	1694 kW-hr
GENERAL CVC	27 kWh	118004 kW-hr
GENERAL CVC TT	1057 kWh	3990965 kW-hr
GENERAL TGHQ NDC	2899 kWh	9464892 kW-hr
GENERAL TGHQ CORPORA	116 kWh	826766 kW-hr
GENERAL TGHQ STOCKAGE	399 kWh	2046484 kW-hr

Mesurer la consommation : échelle « locale », approches...

OS : « sensors »

```
numa@casimir: ~
File  Edit  View  Search  Terminal  Help
Core 60:        +35.0°C  (high = +91.0°C, crit = +101.0°C)
Core 61:        +37.0°C  (high = +91.0°C, crit = +101.0°C)

power_meter-acpi-0
Adapter: ACPI interface
power1:       180.00 W  (interval =   1.00 s)

root@platinum4oil1:~#
```

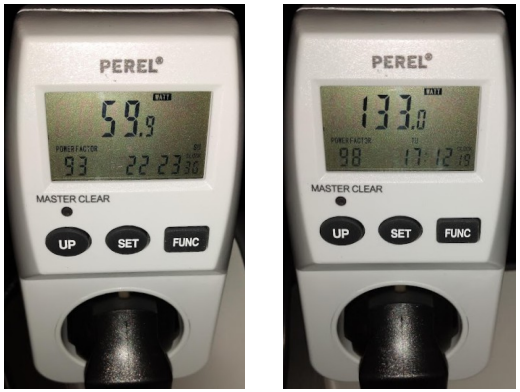
```
numa@casimir: ~
File  Edit  View  Search  Terminal  Help
Core 14:        +39.0°C  (high = +88.0°C, crit = +98.0°C)
Core 15:        +41.0°C  (high = +88.0°C, crit = +98.0°C)

power_meter-acpi-0
Adapter: ACPI interface
power1:       136.00 W  (interval = 300.00 s)

coretemp-isa-0000
```

OS : « ipmitool sensor »

```
numa@casimir: ~
File  Edit  View  Search  Terminal  Help
root@apollo4oil1:~# ipmitool sensor | grep W | awk -F'|' '{ print $1" "$2" "$3 }
'
PS 1 Input          570.000      Watts
PS 2 Input          0.000        Watts
PS 1 Output         0.000        Watts
PS 2 Output         0.000        Watts
root@apollo4oil1:~#
```

```
numa@casimir: ~
File  Edit  View  Search  Terminal  Help
root@platinum4oil1:~# ipmitool sensor | grep Watts | awk -F'|' '{ print $1" "$2"
 "$3 }'
PS1 Input Power     225.000      Watts
PS3 Input Power     9.000        Watts
root@platinum4oil1:~#
```

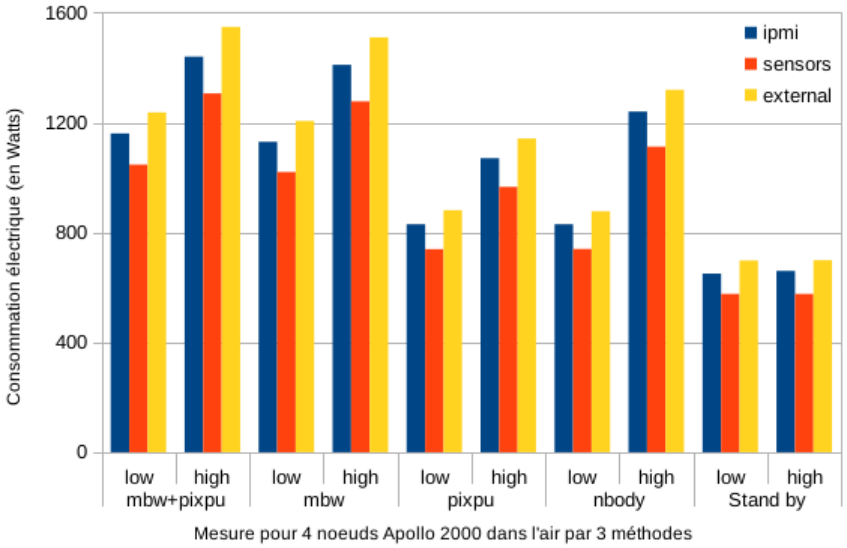
Wattmètre

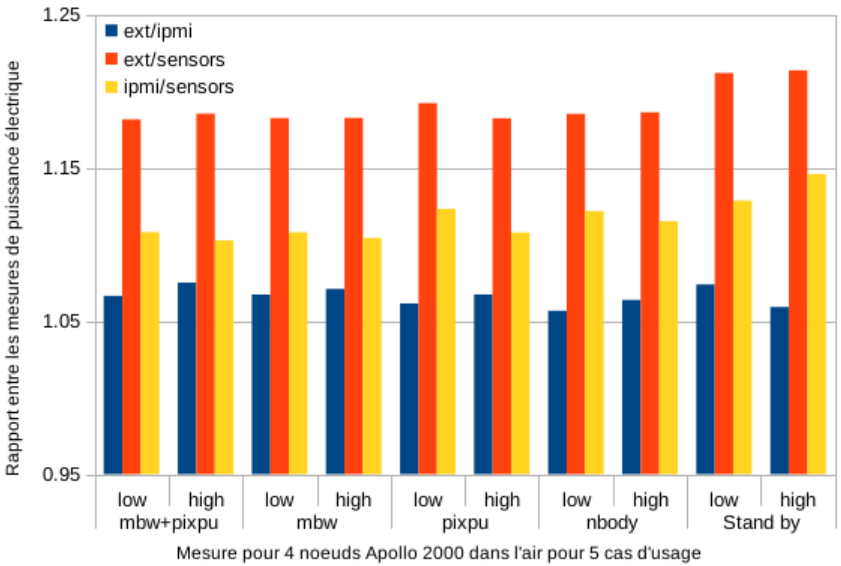


Pince ampèremétrique

Mesures « locales »
Quel comportement à la charge ?

Expérimentation : basse/haute fréquences, 5 cas d'usage





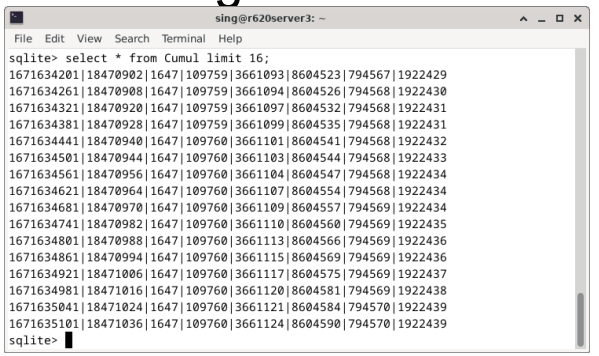
- Des mesures à appréhender avec précautions !
- Solution : MesureIPMI (compensée au besoin…)
- Mais le trouple Wattmètre/Webcam/Led reste une solution systématique...

Mesurer la consommation : échelle « globale » du DataCenter

- Quand une « relève » de données qui vire au « challenge » !
- Passer de

SOUS SOL	JOUR EN COUI	CUMUL
GENERAL TGBT	5450 kWh	20130286 kW-hr
GENERAL ECLAIRAGE	0 kWh	1694 kW-hr
GENERAL CVC	27 kWh	118004 kW-hr
GENERAL CVC TT	1057 kWh	3990965 kW-hr
GENERAL TGHQ NDC	2899 kWh	9464892 kW-hr
GENERAL TGHQ CORPORA	116 kWh	826766 kW-hr
GENERAL TGHQ STOCKAGE	399 kWh	2046484 kW-hr

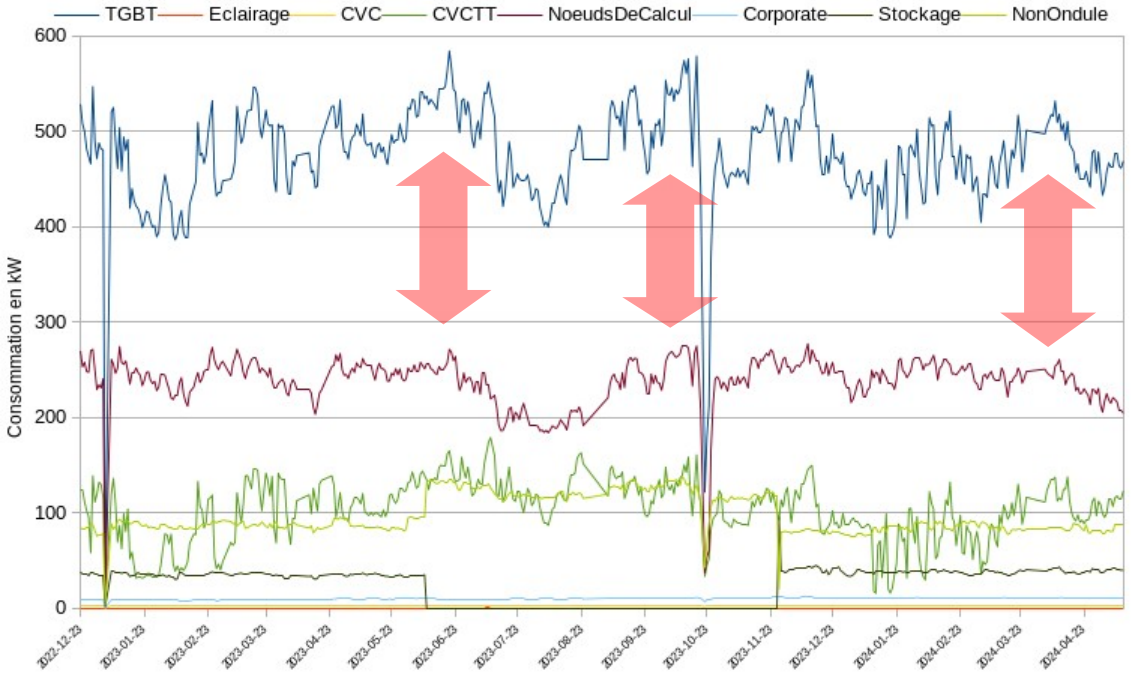
à



- Passer d'une « image » à une base de données SQLite
  - Ouvrir (manuellement) session x2go ouvrant un navigateur
  - Convertir une capture d'écran en texte injectable dans une BDD
    - La commande « scrot » pour la capture
    - La commande « convert » pour le suréchantionnage
    - La commande « tesseract » pour l'OCR
    - La commande « sqlite3 » pour l'insertion
- Un peu « overkill », mais des suggestions pour faire mieux ?

Analyse du DataCenter la statistique (et son pentacle)

Période du 23/12/2022 au 13/05/2024 : plus de 500 jours

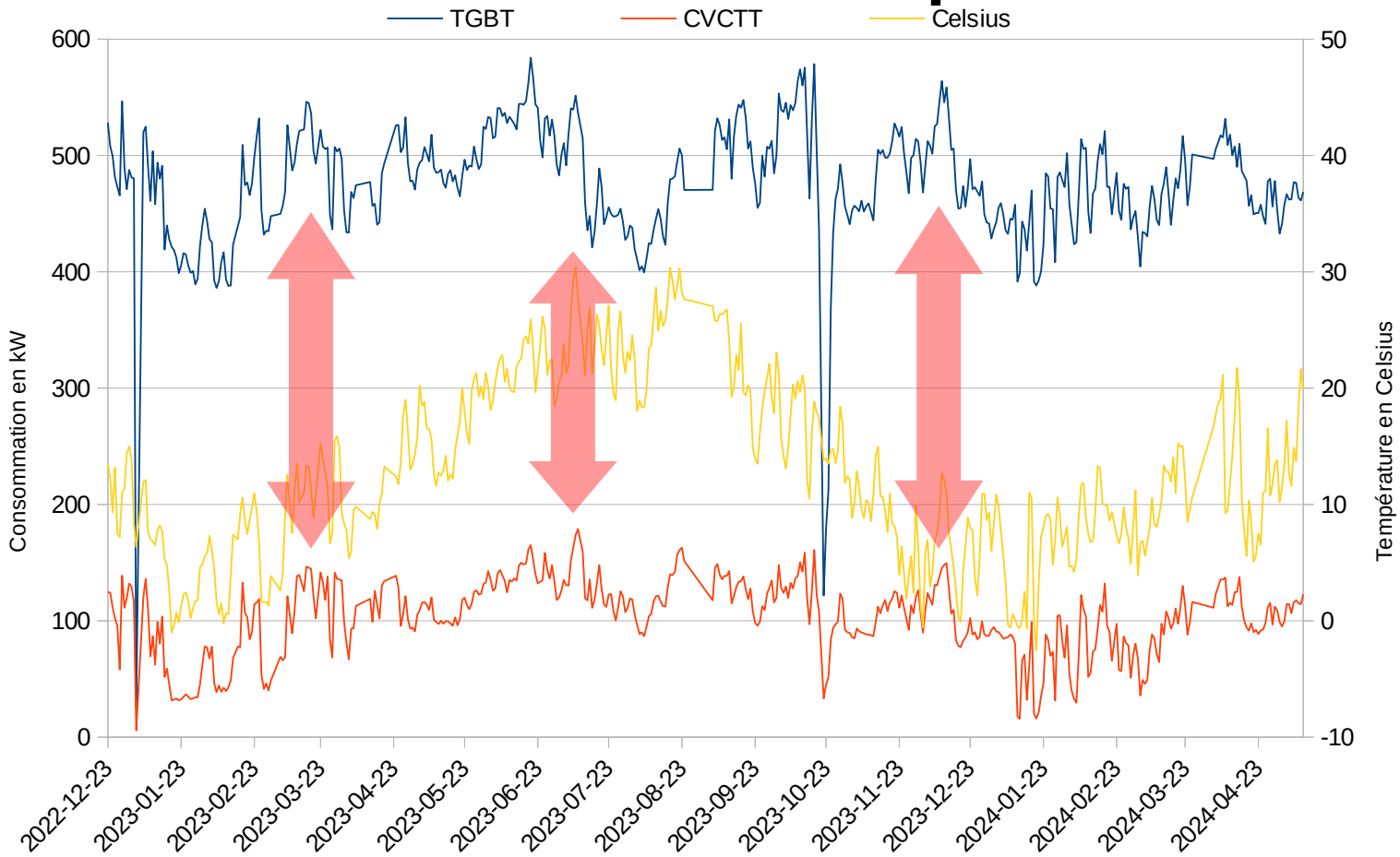


Légende sommaire...

- **TGBT** : arrivée électrique
- **CVCTT** : climatisation
- **NoeudsDeCalcul** : éponyme...
- **Corporate** : machines DSI
- **Stockage** : machines labos
- **Non ondulé** : tout sauf

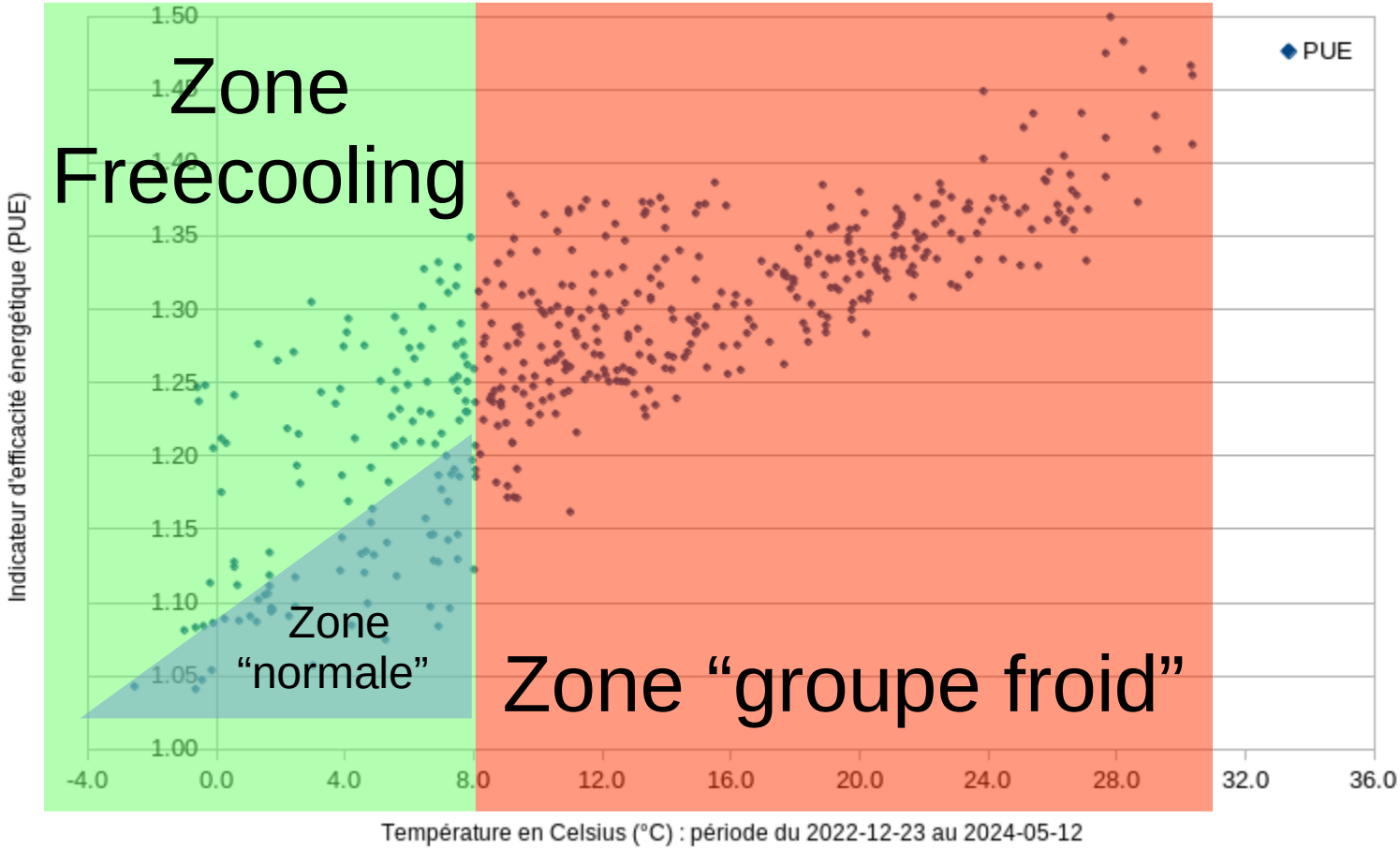
- Moyenne : 478 kW, Médiane : 476 kW, Max-Min ~200 kW
- Une forte variabilité, mais quelle est sa « nature » ?

Consommation Data Center
Relation avec la température ?



Quelle influence sur l'efficacité énergétique ?

Mais qu'en est-il du PUE sur cette période de 500 jours ?



DataCenter « état de l'art » (PUE 1.29) mais perfectible !

Analyse du DataCenter
Mais que faire en « exploitation » ?

- Des pistes d'améliorations :
  - Améliorer le PUE, mais hors champ « utilisateurs »
  - Limiter la consommation des serveurs consommateurs (à GPU)
  - Limiter la consommation du centre de calcul (600 machines)
  - Dépayser des machines dans les bureaux
  - Éteindre les machines anciennes
- Avec la « nouvelle donne » :
  - Explosion du prix le jour : entre 6h et 22h, x8 du prix
  - Risques de coupure électrique...

Action : pour consommer « moins », achetons moins (de neuf)...

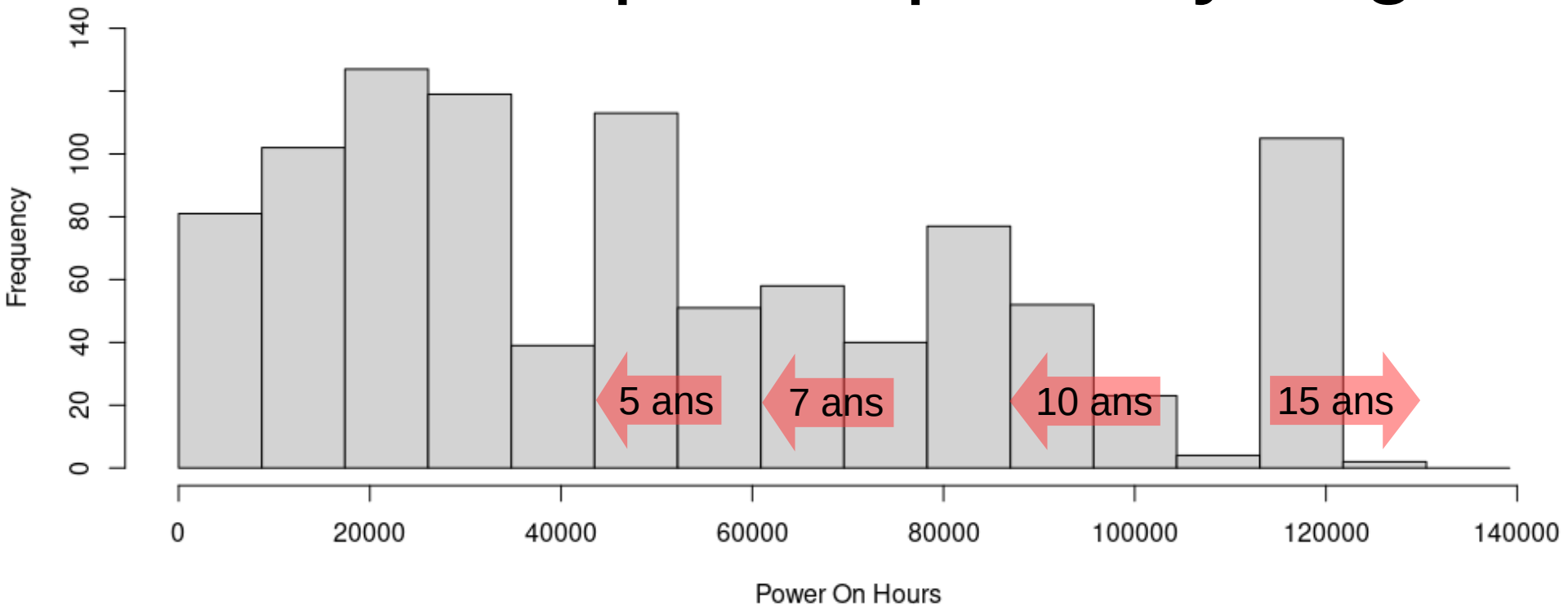
- Tout dépend de sa destination :
  - « data storage » : serveur de fichiers
  - « data crunch » : station de travail ou nœud, CPU, GPU, RAM
  - « data send » : équipement réseau (increvable)
  - « data control » : laptop, smartphone
- A moindre coût :
  - Étendre la capacité : distribution de 512 barrettes de RAM DDR3
  - Consolider l'existant avec quelques composants « neufs » :
    - Serveurs « projets » et « scratch » : RAM de 192 à 384GB, HDD de 4 à 16TB
    - Laptops ou iMac de 2 à 16GB de RAM, changement HDD par SSD
    - Serveur d'équipe de laboratoire : de l'occasion sauf HDD de 20TB (200TB net : 5k€)

Action #1 « Avant & Après » : privilégier les « cycles courts »

« Les déchets des uns sont les ressources des autres. »

- Constats (implacables) :
  - Pas de fabrication « locale »
  - Ressources inexploitées à proximité
- Quelles actions « Avant » :
  - récupération, requalification,
  - démontage, détournement,
  - achat d'occasion chez broker
- Quelles actions « Après » :
  - Cession des machines inexploitées

Et les disques durs (50kgCO_2/HD) Réaffectation plutôt que recyclage...



- Des disques plus « résistants » que la garantie,
  - Donc la garantie n'est pas une DLC (Date Limite de Consommation)
  - Une garantie n'est pas une garantie de fonctionnement (loin de là !)

Action #1 : les « cycles courts » généralisables ?

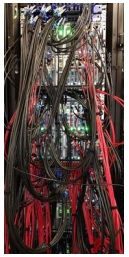
Oui, une question de volonté mais il faut :

- Disposer de systèmes « résilients » (solutions propriétaires exclues)
- Avoir de quoi tester rapidement les arrivées de matériel
- Stocker le matériel de secours dans des endroits « sûrs »
- Connaître les usages pour adapter le matériel
- Privilégier les systèmes d'exploitation libres

Action #2 : recyclage/requalifier
Re-* des vieilles machines

- Requalifier des machines pour :
  - Une salle de formation
  - Des clusters de formation



- Exploiter des machines comme « hôte GPU »
  - Anciennes stations de travail : MacPro, câbles & contrôleurs...
  - Anciens nœuds de cluster : Supermicro, câbles & « rehausseurs »...

Action #3 : cycles arrêt/redémarrage sur 4 salles & 64 machines...

- Objectif : éteindre les machines des salles « hors cours »
- Opérations : allumage à 7h30, extinction à 19h30
- Craintes : vieillissement prématuré des HDD
  - Critères : cycle marche/arrêt, variation température, température max
- Adaptations :
  - Dans le BIOS, activation WoL & désactivation autres modes...
- Retour sur presque 2 années : indisponibilité rare…
  - Vieillissement du matériel à évaluer

Actions #4 : relocaliser le matériel déployer des « AnchIAles »

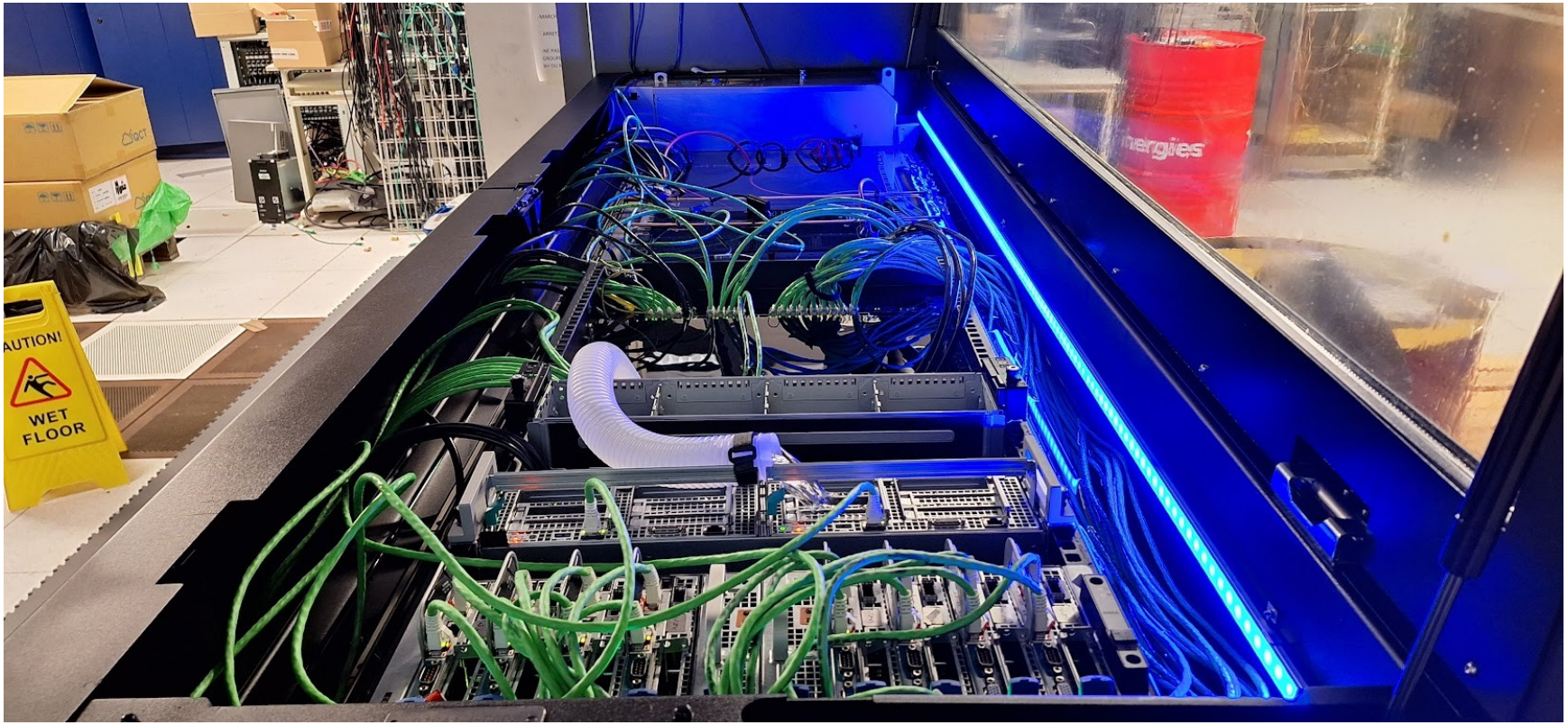
Truisme : chauffer les bureaux en récupérant la « chaleur fatale »

- Pas nouveau (ancien chauffage de véhicules « thermiques »)
- Contexte favorable : interdiction des chauffages d'appoint…
- Passage de 6 machines à 30 machines entre 2022 et 2024

Action #4 : déploiement AnchIAles
Quel bilan ? Généralisation ?

- Plus de demandes que d'offres en 2023 :
  - Montage « rapide » de machine un WE
- La chaleur « ventilée » offre un confort meilleur
  - Une machine « à vide » (de 100W) offre un confort de radiateur de 1kW
- La généralisation exige une « modification » d'approche
  - Des équipements « plus » génériques (salle machine, bureau, …)
  - Une gestion de la transhumence entre les saisons
  - Un placement estival dans des zones « hors d'eau »
  - Des bacs d'immersion « individuels » à diffuser dans les locaux...

Action #5 : immerger les machines
Limiter la PUE à ~1 voire <1



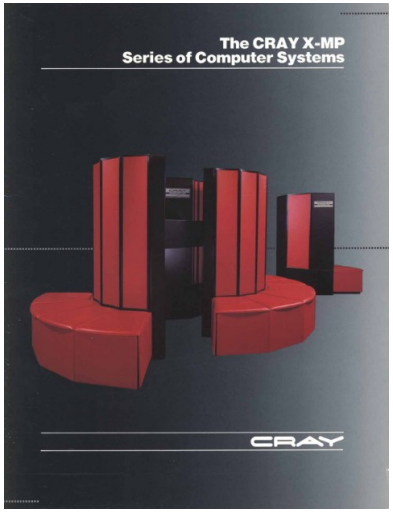
Action #5 : immerger les machines
Pas « spécialement » neuf...

Il y a une génération (humaine)... Un film de série B en 1984

- 1984 : The Last Starfighter
  - 27 minutes d'images synthétiques
  - ~ 30.10^9 operations par image
  - Utilisation d'un Cray X-MP (130 kW)
  - 68 jours (en fait, 1 année nécessaire)

- 2020 : RTX 3090 (350 W)
  - 33 secondes
  - Comparison RTX 3090 / Cray
    - Performance : 178 000 !
    - Consommation ~ 66 000 000 !

CBP 11/127



The dense concentration of components requires special cooling techniques to overcome the accompanying problems of heat dissipation. A proven, patented cooling system using liquid refrigerant maintains the necessary internal system temperature, contributing to high system reliability and minimizing the need for expensive room cooling equipment.

Pourquoi plus rien (ou presque) en 40 ans ?

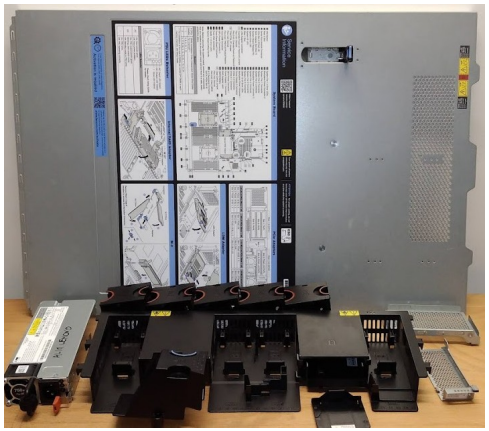
Immerger les machines : Périmètre d'action digne de l'école

- Pour couvrir tous les aspects de cette « transition » air vers huile:
  - Volet scientifique : efficacité de l'immersion, recyclage de la chaleur, ..
  - Volet technique : adaptation, transformation des équipements, évolution composants
  - Volet opérationnel : exploitation quotidien, sécurité associée
- Et pourquoi l'ENS de Lyon alors ?
  - Pour la partie scientifique : 2021-2022, intégration de l'étude au LIP, équipe Avalon
  - Pour la partie HPC ou Cloud : tout est internalisé
  - Pour le CBP : ressources « RADIS » (Reproductibles, Adaptables, Diverses, Intéractives, Simples)
- Pour les 3 volets, depuis octobre 2022, uniquement Cloud@CBP

Préparation pour l'immersion v1: supprimer « tout ce qui bouge »

- Dans l'air : évacuer les « calories » :
  - On multiple la surface de contact : x200 pour un radiateur
  - On diffuse la chaleur par conduction ou convection (caloduc)
  - On chasse avec un ventilateur l'air chauffé, avec 2 cas :
    - serveur : ventilateur de 4 à 6 cm, rotation de 3k à 20k tours/min
    - station : 8 à 16 cm, rotation de 500 à 1000 tours/min

- Pour préparer les machines :
  - Suppression pâte thermique : contact processeur et radiateur
  - Suppression ventilateurs (conservation dans l'alimentation)
  - Suppression « guides » plastiques
  - Suppression capot métal…



L’immersion sans modification

Sans ventilateur, ça démarre & ça tourne… ici…

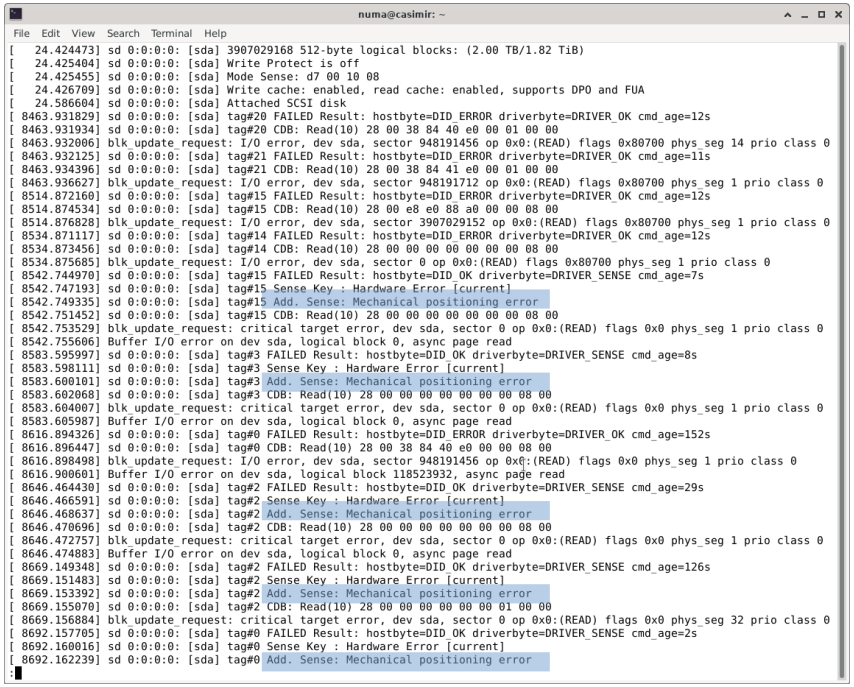
- Au repos : oil 74 W, air 68 W
  - Températures : oil 24°C, air 25°C
- En charge : oil 142 W, air 142 W
  - Températures : oil 36°C, air 38.5 °C
  - Mais en IPMI et AC : 140 W pour les deux
  - Mais en IPMI et DC : oil 115 W, air 120 W
- Côté performance :
  - 1 % de différence…

Bref, ça fonctionne mais pas de gain (ou presque)...

Mais pas pour tous les composants

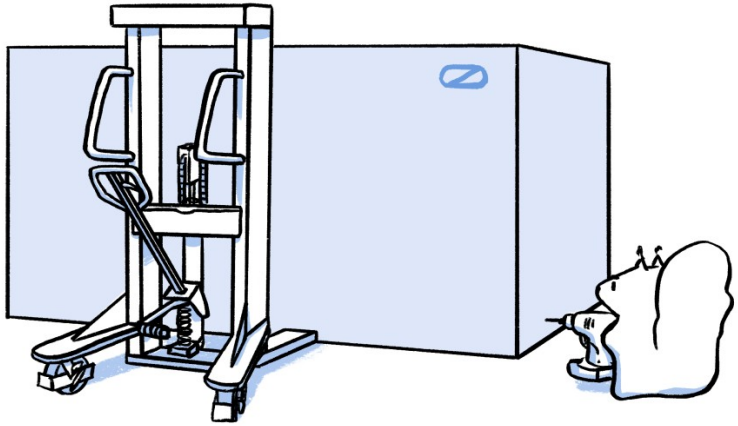
Petit voyage d'un disque dur en immersion

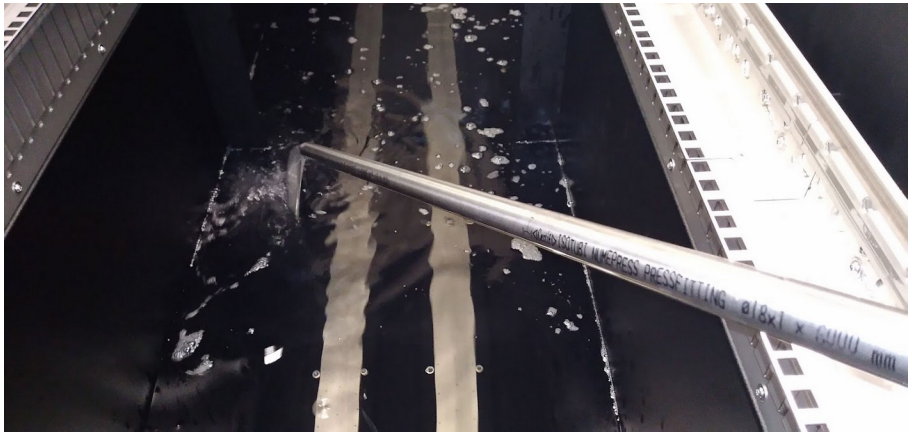
- Un HD de 2TB SAS « smart OK » installé
- Le serveur R720 est démarré
- Après 40 secondes, HD de 2TB détecté
- Un badblocks invasif est lancé
- Après 2h21'3" première erreur I/O
- Après 2h22'22", seconde salve d'erreurs
  - « erreur de positionnement mécanique »...
- Expertise médico-légale en cours…

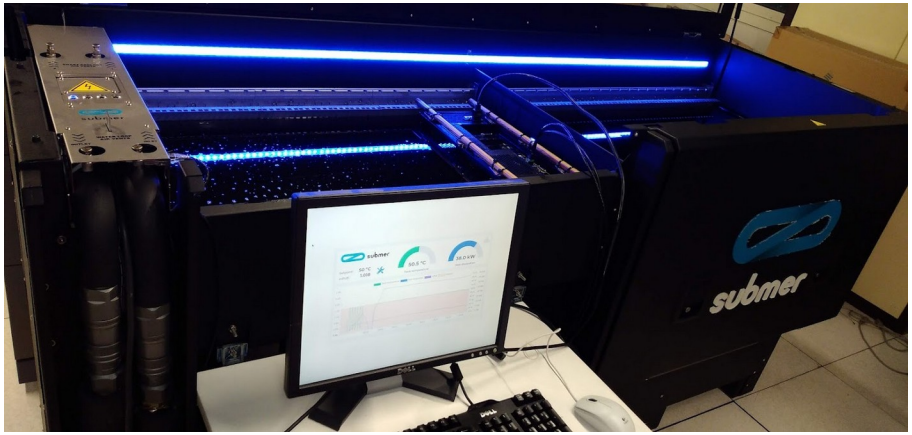


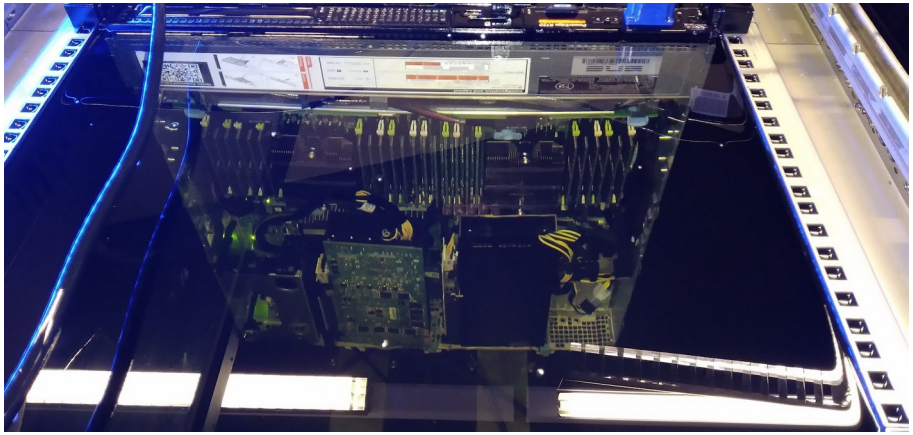
Bref, la durée de vie d'un disque dur « classique » est pas ouf...

Après un couple « bac-huile » à oublier, retour aux sources...



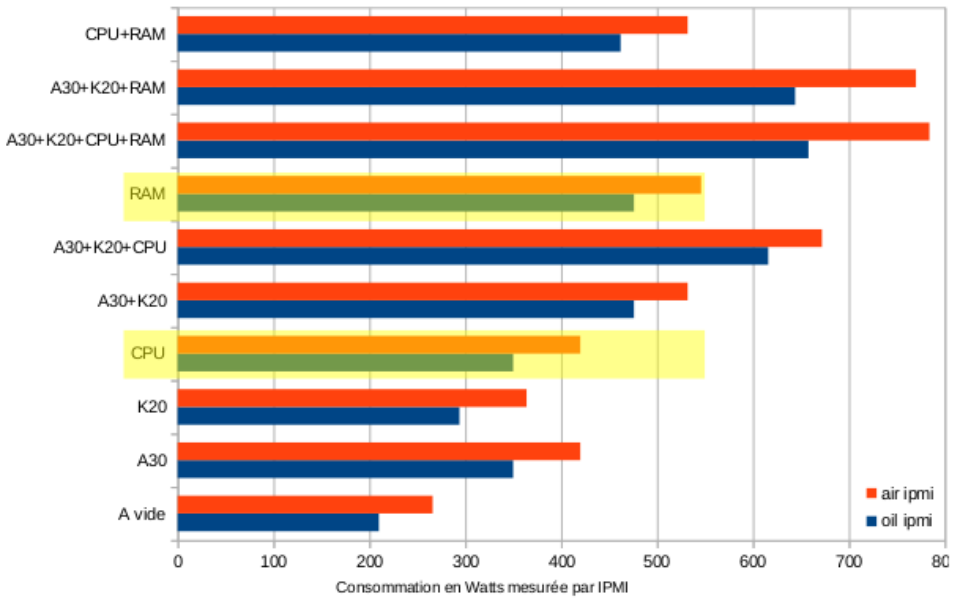


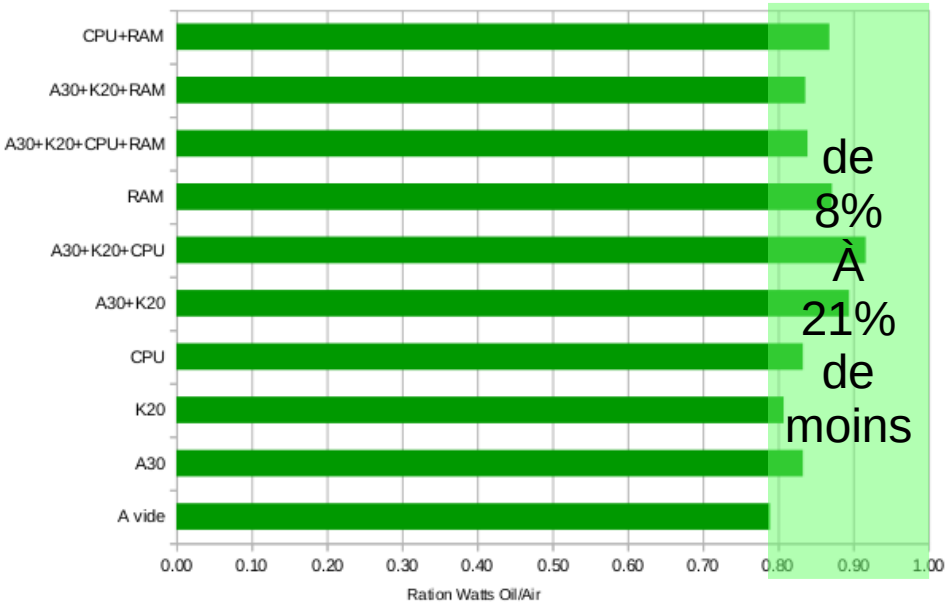




Une installation un peu plus compliquée...

Et est-ce que ça consomme moins? Expérience sur machine à GPU





- Des gains à l'immersion significatifs avec :
  - à vide, 21 % en moins
  - en charge, entre 8 % et 19 % de moins
- Mais une « grosse » sensibilité au « cas d'usage »...

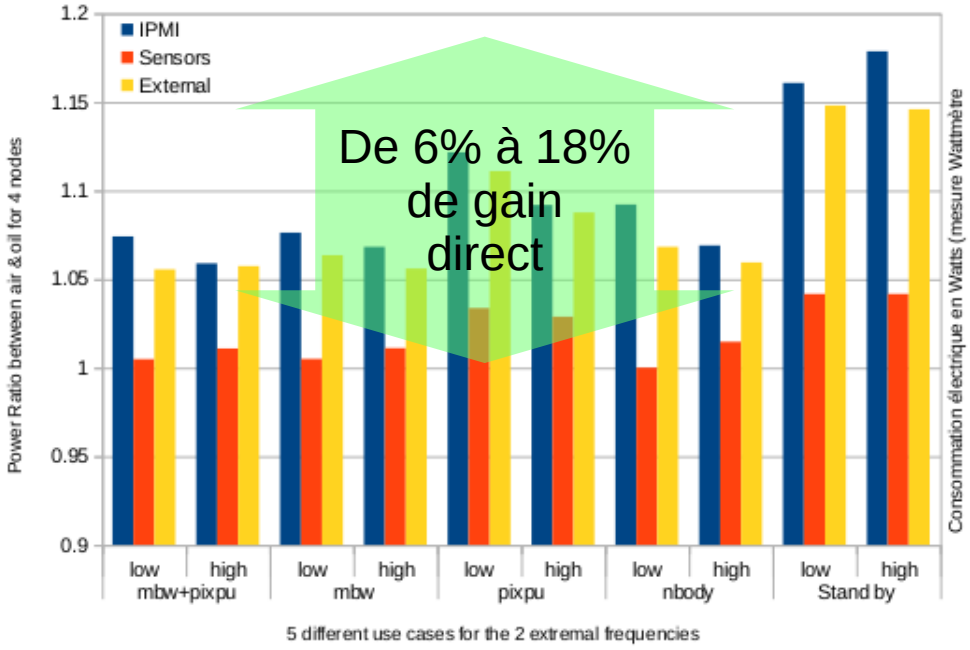
Préparation de machines v2 : des difficultés diverses...

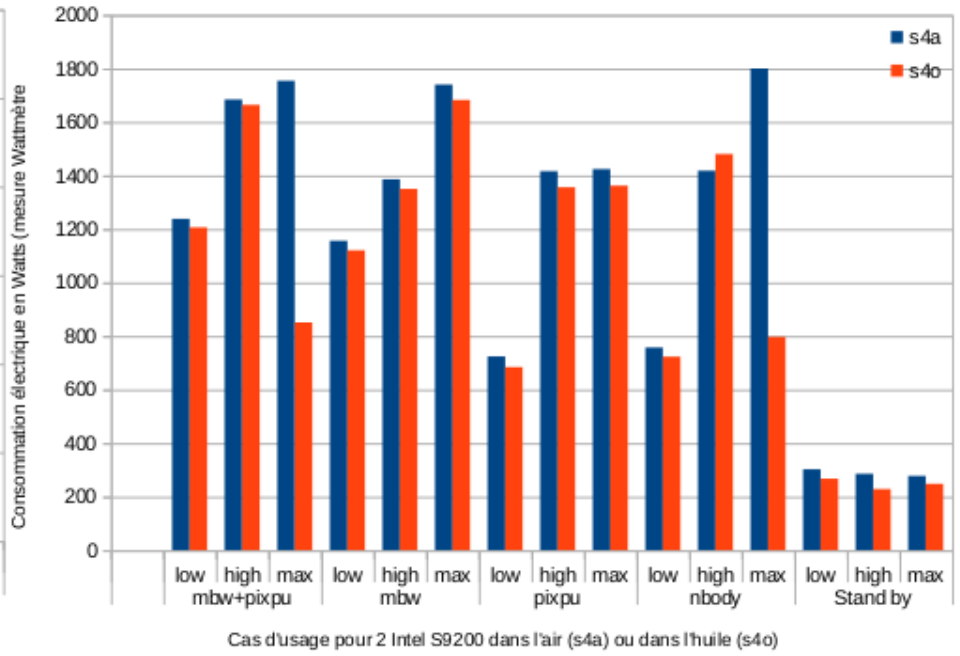
- L'an dernier : « supprimer » comme seules « actions »
  - Supprimer la pâte thermique : processeur et radiateur en contact direct
  - Supprimer les ventilateurs (là en le conservant dans l'alimentation)
  - Supprimer les « guides » plastiques
- Maintenant : « adapter » comme « exigence cardinale »
  - Retourner les ventilateurs : mauvaise orientation du flux
  - Fixer les nœuds verticalement : renforcer des crochets de retenue « inadaptés »
  - Modifier les cartes de supervision : « faire accepter » des ventilateurs absents
  - Modifier les consignes de fonctionnement : « forcer » le fonctionnement...

Mais problème récurrent : la profondeur limitée du bac...

Et côté consommation sur CPU ? Des résultats convergents...

- Des ratio de consommation :
  - sensiblement différents en fonction de leur mesure, de l'ordre de 10 %…
  - Gain à l'immersion surtout pour des machines « à vide »



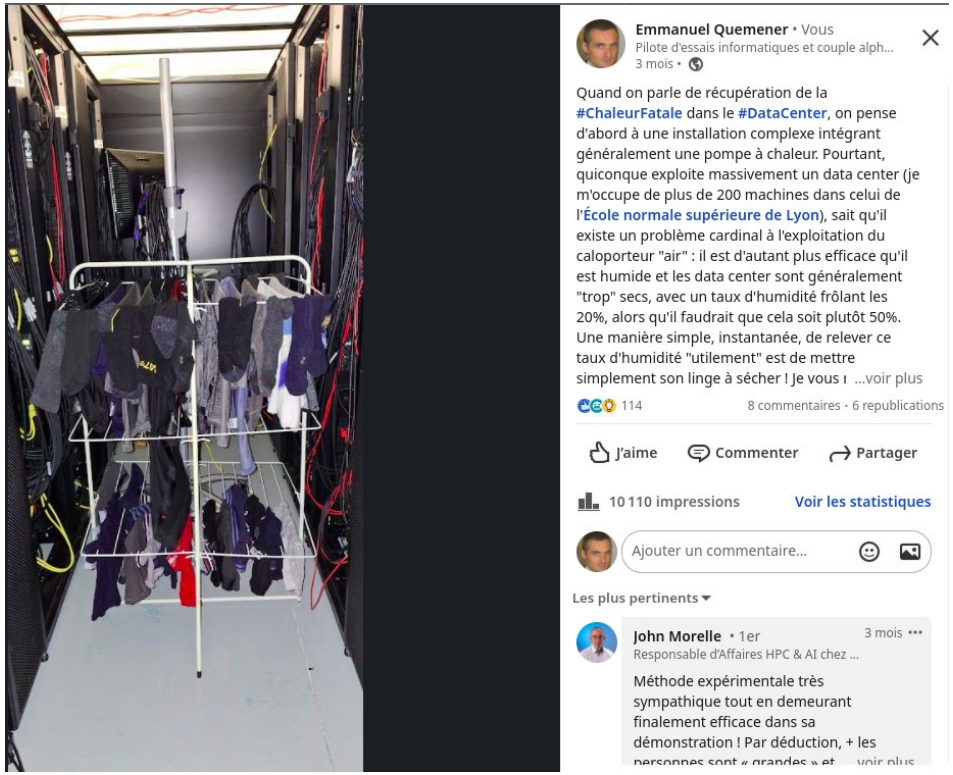


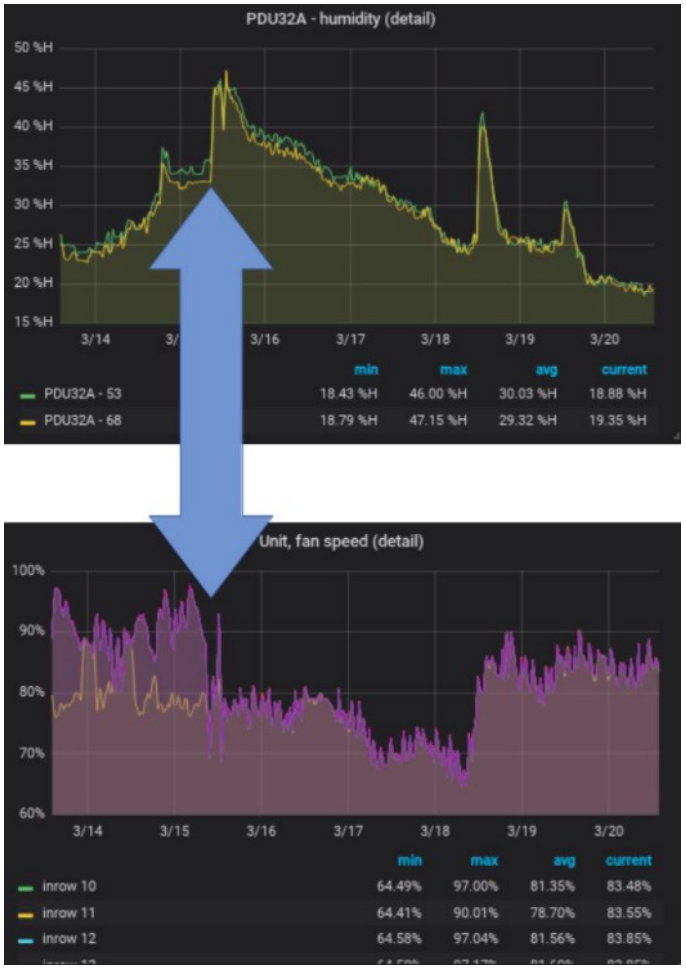
Action #5 : avantage de l'immersion
Des avantages aux inconvénients...

- Constats d'exploitation après 2 ans :
  - Réduction de consommation « directe » de 10 % à 20 %
  - Température de l'huile jusqu'à 55°C sans pertes de performance
  - Bonne tenue des équipements (un taux de panne comparable)
- Avantages :
  - Refroidissement de tous les composants sans distinction de nature (barrettes de RAM)
  - Adaptation possible de l'existant ou exploitation de « matériel générique »
  - Exploitation de la chaleur fatale plus facile (eau à 50°C)
  - Exploitation d'huile « bio-sourcée » (huile de friture désoxygénée)
- Inconvénients :
  - En plus des « risques » électriques, des « risques » chimiques
  - Frilosité des intégrateurs depuis quelques années

Action 6# : dans le Data Center
Améliorer le refroidissement...

En séchant son linge !

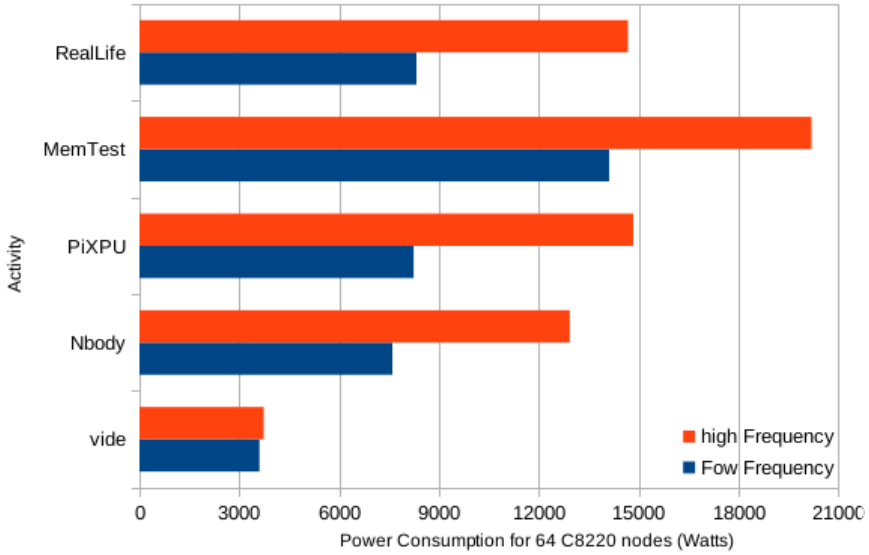


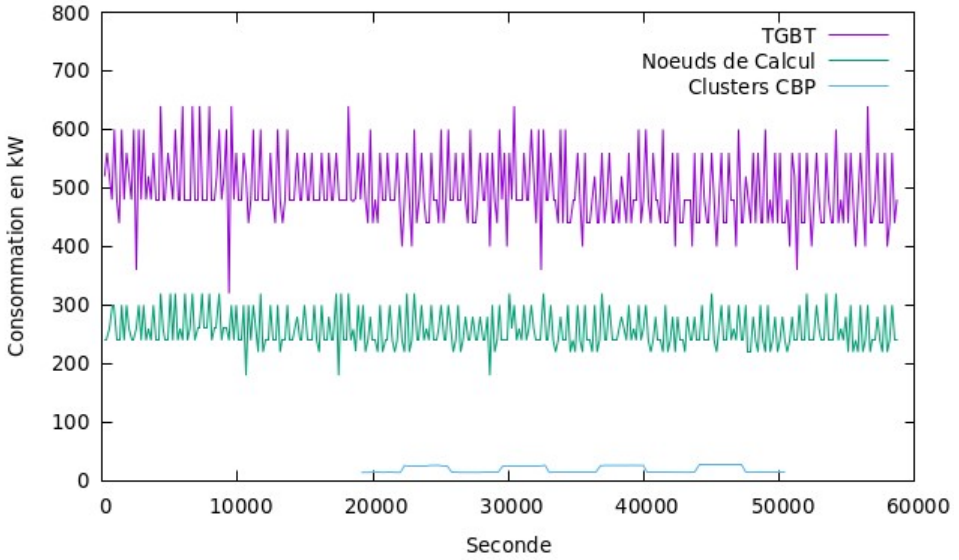


Un exemple de win-win

Action #7 : dans le DataCenter Limiter sans gréver le HPC

- Un prérequis : laisser à l'OS le contrôle
  - Et donc paramétrer le BIOS avec la fréquence en « OS Control »
- Expériences habituelles + cas d'usage sur 64 nœuds

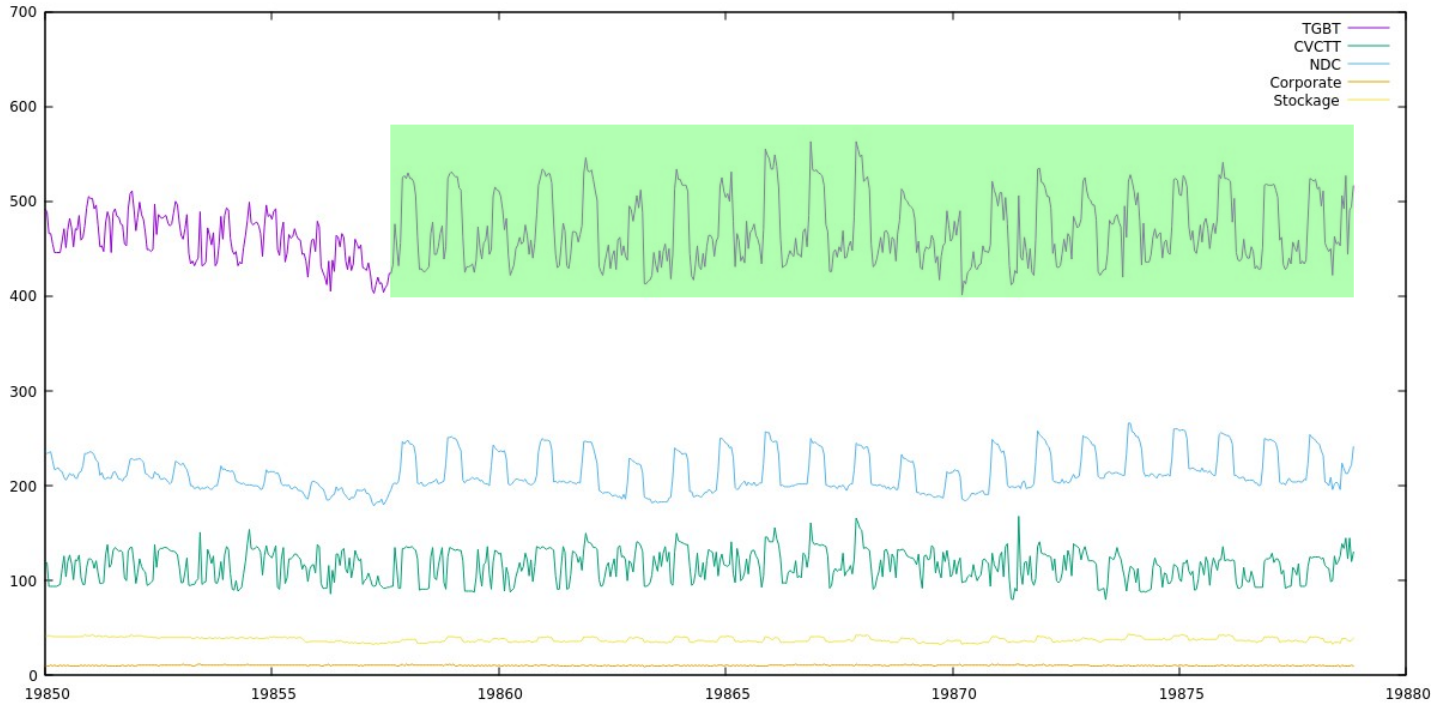




- Pas grand-chose à l'échelle des 650 nœuds du DC…
  - Généralisation en cours sur le Mésocentre PSMN

Action #8 sur PSMN approche multiple

- Limiter la fréquence le jour de 6h à 22h (divisée par 2)
- Ne pas exécuter de nouvelles tâches le jour



- De l’ordre de 20 % de consommation en moins...

En conclusion
Consommer moins ou mieux ?

- Tout dans le tryptique : Où ? Vers où ? Comment ?
- Quelles propriétés pour ses systèmes en DD ?
  - **Génériques** : des solutions sur « étagères » bien documentées...
  - **Efficaces** : des cycles courts d'amélioration continue
  - **Robustes & Résilients** : simplicité dans l'espace (et le temps)
  - **Souverains** : limitation de la « surface » des dépendances
- Mais : un investissement personnel de tous les instants
  - Et surtout un certain état d'esprit à améliorer...

Au-delà du recyclage traditionnel, un état d'esprit : petit exemple...

Recycler palettes ou ventilateurs de machines...