

Comment concilier sobriété énergétique... ... et souveraineté technologique ? Avec une sororité de solutions libres !



Emmanuel Quémener



Ce que ce ne sera pas...

Pas de « reprise » de Labos 1.5 !

Estimation de l'empreinte carbone d'une heure de calcul
sur un cœur CPU ou sur un GPU

Méthodologie

Par **Labos 1point5**

[Janvier 2024]

Sommaire

Introduction	3
Estimation de l'empreinte carbone d'un service de calcul	4
Estimation des unités fonctionnelles	11
Incertitudes	13
Annexes	15
Références	

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.

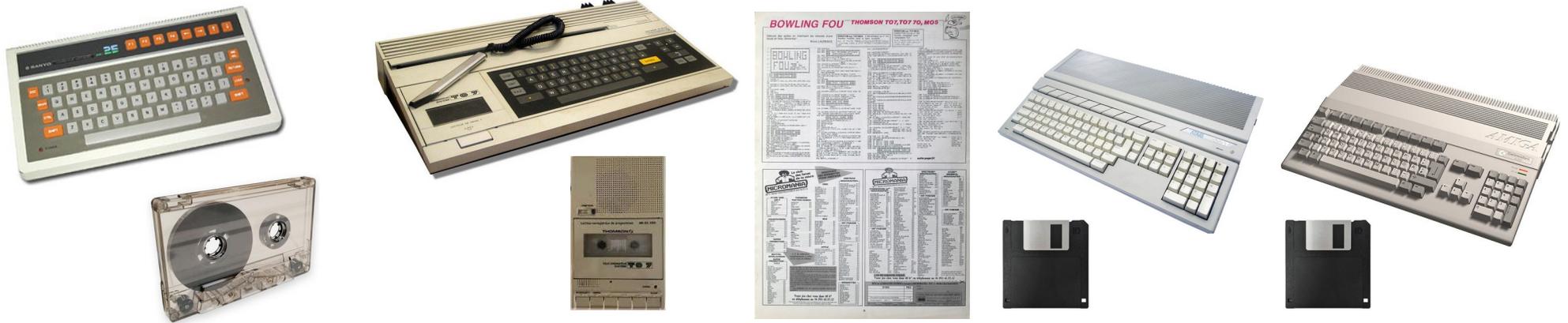
Justement, on va s'intéresser à ces éléments !

Plan de l'intervention

- Recontextualisation : comment en suis-je arrivé là ?
- De « l'empreinte environnementale » à sa mesure locale
 - L'Open Source comme vecteur de résilience matérielle
- Utiliser la « chaleur fatale » : la piste du « moindre mal »
 - De la ventilation des AnchiAles à l'immersion de machines dans l'huile
- « Souveraineté technologique » : les voies explorées
 - De la maîtrise du matériel à la résilience des développements
- La liberté selon Pratchett : solutions & approches

Avant de commencer, qui suis-je ?

Un enfant de l'informatique familiale



- Un prérequis pour « s’amuser » : recopier les programmes
 - Une école de la rigueur avec une maîtresse implacable : « Syntax Error »
 - Une école de la sobriété avec des ressources « très limitées »

Et une conversion au « libre » Entre « *idéologie & pragmatisme* »

Un doctorat, deux sites, deux environnements de travail...



Hard : IBM PowerPC

OS : AIX

Métier : Matlab

Gcc ,Emacs, GNUplot



Hard : SUN Sparc 4

OS : Solaris

Métier : PV-Wave

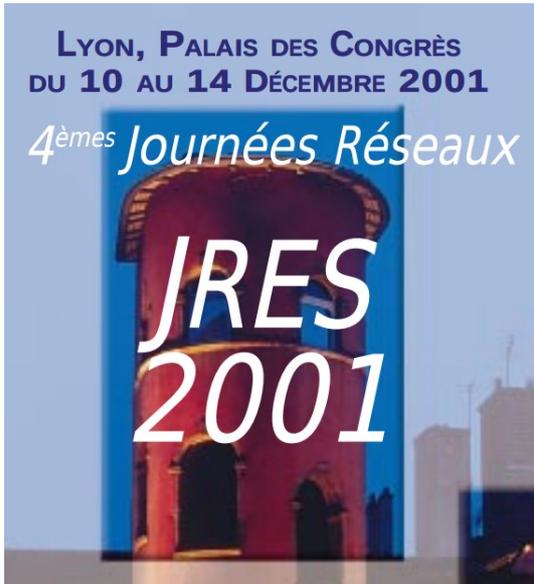
Gcc ,Emacs, GNUplot

Open Source

« **souveraineté technologique** » : exploiter **partout** ses créations...

Entre souveraineté & sobriété : 2000 déjà, l'émergence du « générique »

De l'intérêt d'utiliser la même plate-forme système sur un campus en général au radical déploiement de GNU/Linux sur l'ENS-Cachan en particulier



Emmanuel Quémener, Pascal Soullard, Pascal Varoqui

[<quemener@cri.ens-cachan.fr>](mailto:quemener@cri.ens-cachan.fr), [<soullard@cri.ens-cachan.fr>](mailto:soullard@cri.ens-cachan.fr), [<varoqui@cri.ens-cachan.fr>](mailto:varoqui@cri.ens-cachan.fr)

En ce qui concerne la base matérielle, nous avons remarqué qu'un PC équipé d'un 486DX était suffisant pour router 10 Mb/s. Ayant pris le parti d'équiper nos routeurs génériques d'interfaces FastEthernet et de placer plus de 2 interfaces dans un PC, le choix d'un Pentium de fréquence supérieure à 133 MHz semblait opportun. De plus, les cartes devaient être interchangeables à volonté sans configuration dans le BIOS de chacune d'elles : l'interface PCI offrait cette fonctionnalité. Nous avons ainsi fixé notre choix sur une carte 3Com 3c905. Les cartes Pentium ne disposant généralement que de quatre ports PCI, nous nous sommes décidés sur des routeurs Pentium à 4 ports PCI. La chasse aux cartes vidéo ISA fut lancée. De petits disques durs de capacité inférieure à 1 Go feraient largement l'affaire, même devant la nécessité de recompiler un noyau. Ceux-ci seraient situés dans un boîtier amovible permettant l'échange d'un routeur par un autre par le simple échange de disques durs.

Ainsi, le routeur générique était un PC de bureau déclassé, équipé généralement d'une carte mère ASUS T2P4 ou TXP4, d'un processeur Pentium cadencé autour de 200 MHz, de 32 à 64 Mo de mémoire vive, d'un disque dur dans un boîtier amovible de capacité 1 Go, d'un lecteur à disquette de 3.5 pouces, d'un lecteur de disques 3.5 pouces, d'une carte vidéo ISA et enfin de 4 cartes réseaux 3Com 3c905. L'investissement se limitait donc, la machine étant déclassée pour une utilisation prioritaire à l'acquisition de logiciels. Les migrations des machines se réalisèrent également progressivement, au gré des migrations. Elles se basaient sur une distribution Debian 2.2 et des versions de noyau 2.2.x avant que le noyau 2.4 ne se stabilise.

**Détournement d'un vieux poste de travail
En un firewall à routage dynamique**

A l'époque, en 1999 à l'ENS-Cachan

Un « cahier des charges » simple

- Transition de « chercheur » à « sys'admin » réseau
- Un chef, une remarque & une ligne directrice :
 - « Tu ne connais pas le réseau mais tu es docteur : tu sais apprendre ! »
 - « Tu fais ce que tu veux, du moment que ça marche mieux et que cela me coûte le moins possible ! »
- Vecteur de « sobriété » : manque de moyens...
 - Faire avec ce qu'on a sous la main, en tout temps et en tout lieu...
- Vecteur de « souveraineté » : commerciaux insupportables...
 - Penser GNU/Linux et son socle comme un plateau de Lego et assembler...

25 ans plus tard @ENS-Lyon

CBPsmn : fusion de CBP & PSMN

Centre Blaise Pascal

- Hôtel à projets, équipes, ...
- ..., conférences et formations
- Centre d'essais (& opérationnel)
 - Reproductibilité
 - Adaptabilité
 - Diversité
 - Interactivité
 - Simplicité

Pôle Scientifique de Modélisation Numérique

- Mésocentre de Calcul : Tier-2
- *High Performance Computing*
- Localisé au Data Center ENS-Lyon
- Calcul par « Batch » : non interactif
- Entièrement internalisé depuis 2012
- Entièrement Open Source depuis 2012
- ~600 nœuds, ~30000 cœurs
- ~11 PetaBytes de stockage

Dryden Flight Research Center EC87 0182-14 Photographed 1987

Au service de toutes les disciplines à l'ENSL (et ailleurs)...

Centre Blaise Pascal @ ENS-Lyon au service des Recherche & Enseignement

- Près de 330 machines en internalisation complète
 - Près de 7000 coeursCPU, plus de 10000 coeursGPU,
 - 66 TiB RAM, 4PB dans 1300 HDD & 85 SSD,
- 70 % d'équipements d'occasion (toutes sources)
- 90 % hors garantie
- Disponibilité supérieure à 99.8 % ... et 1 BOFH...
- Coût licences logicielles de l'unité : 0€
- Socle Open Source : **Linux Debian**



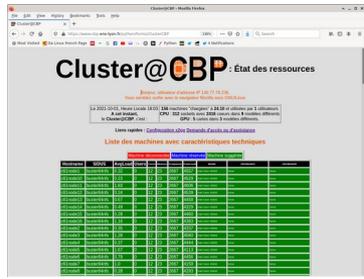
Cloud@CBP: Etat des ressources

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

Machine	CPU	GPU	RAM	HDD	SSD	Statut
cloud@cbp-01	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
cloud@cbp-02	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
cloud@cbp-03	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
cloud@cbp-04	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
cloud@cbp-05	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif



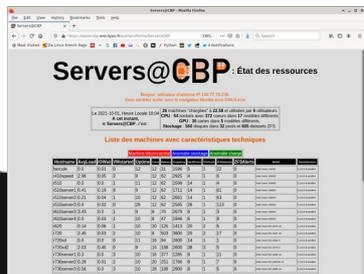
Cluster@CBP: Etat des ressources

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

Machine	CPU	GPU	RAM	HDD	SSD	Statut
cluster@cbp-01	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
cluster@cbp-02	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
cluster@cbp-03	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
cluster@cbp-04	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
cluster@cbp-05	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif



Servers@CBP: Etat des ressources

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

14 2025 15:15, 1000 Coeurs CPU, 10000 Coeurs GPU, 66 TiB RAM, 4 PB dans 1300 HDD & 85 SSD

Machine	CPU	GPU	RAM	HDD	SSD	Statut
servers@cbp-01	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
servers@cbp-02	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
servers@cbp-03	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
servers@cbp-04	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif
servers@cbp-05	1000	10000	66 TiB	1300	85	Actif

La « meute » de machines du CBP



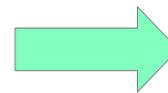
Machines du CBP sous SIDUS

« *Je n'installe pas, je démarre !* »



- **Quoi ?** Déployer un système sans installation sur un parc
 - Plus une « approche libre » qu'un « logiciel libre » : modification `initrd`
- **Pourquoi ?** Assurer l'unicité des configurations
 - Et limiter l'empreinte du système sur les disques
- **Quand & Où ?** CBP depuis 2010, plus de 300 machines
 - Et PSMN : depuis 2011, plus de ~600 nœuds (sa propre instance)
- **Comment ?** Utiliser un partage en réseau d'une arborescence
 - En détournant une « ruse » de LiveCD : superposer deux systèmes de fichiers...
- Pour tester, Images VirtualBox :

<http://www.cbp.ens-lyon.fr/doku.php?id=developpement:productions:sidus>



Souveraineté & Sobriété au CBP dans un contexte « difficile »

- Un fonctionnement et son coût « compliqués » depuis 2022 :
 - Augmentation drastique du coût de l'énergie (électricité en tête x10)
 - Risques de coupure électrique l'hiver 2022-2023
 - Des budgets « globaux » en déficit (et le ruissellement associé réduit...)
- De nouveaux « besoins » dans un contexte plus contraint :
 - De « *Machine Learning* » à « IA » : de la « recherche » à un usage courant
 - Accueil d'équipes pas vraiment anticipé (avec tout l'environnement associé)
 - Charte de DDRS en signature, injonction de sobriété énergétique, etc...
 - Facture électrique : chauffage d'appoint interdit, Damoclès sur Data Center...
- Comment aborder tout cela ?

« Faire face », mais comment ? Par une approche « comptable » !

- 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, ...
- Et donc seulement 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)...

Mieux servir, mais avec « sobriété »

Avant l'Action, Appréhension & Analyse

- 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 Potential (unité kgCO2eq)
 - **PE** : Consommation de ressources énergétiques
 - Primary Energy (unité MJ)

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 »**
 - $\text{servergwp}(\text{kgCO}_2\text{eq}) = 900(\text{kgCO}_2\text{eq}) + \text{cpuunits}(\text{unit}) \times 100(\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{unit}) + \text{ramsize}(\text{GB}) \times 150/128(\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{GB}) + \text{ssdunits}(\text{unit}) \times 100(\text{kgCO}_2\text{eq}) + \text{hddunits}(\text{unit}) \times 50(\text{kgCO}_2\text{eq}) + \text{gpuunits}(\text{unit}) \times 150(\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{unit})$
 - **Approche 3 : « vers une formule de calcul d'impact multicritère » basé sur les semiconducteurs**
 - $\text{server} = \text{cpu} + \text{ram} + \text{ssd} + \text{hdd} + \text{motherboard} + \text{psu} + \text{enclosure} + \text{assembly}$
 - $\text{cpu} = \text{cpuunits} \times ((\text{cpucoreunits} \times \text{cpudiesize} + 0,491) \times \text{cpu_die} + \text{cpu_base})$
 - $\text{ram} = \text{ramunits} \times ((\text{ramsize} / \text{ramdensity}) \times \text{ram_die} + \text{ram_base})$
 - $\text{ssd} = \text{ssdunits} \times ((\text{ssdsize} / \text{ssddensity}) \times \text{ssd_die} + \text{ssd_base})$
 - $\text{hdd} = \text{hddunits} \times \text{hdd_unit}$
 - $\text{psu} = \text{psuunits} \times \text{psuunitweight} \times \text{psu_weight}$
 - $\text{enclosure} = \text{rack ou enclosure} = \text{blade} \times \text{bladeenclosure}/16$

Analyse : CBP comme « pollueur »

Fabrication & Exploitation

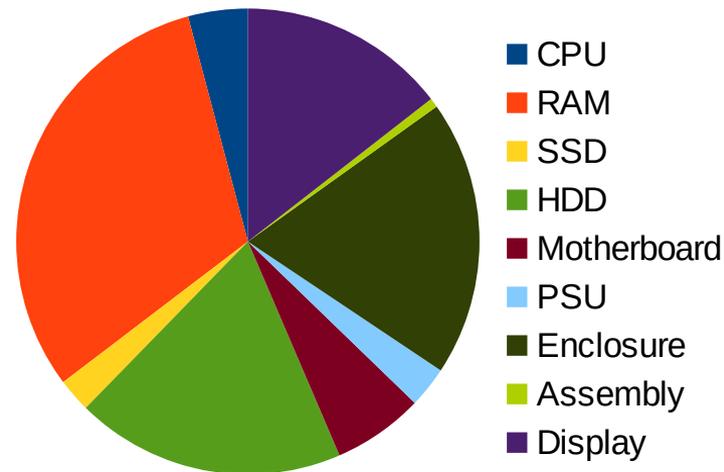
- **Fabrication** : 330 machines (2025Q1)

- 10 % sous garantie, 1/3 achetées neuves
- 6972 coeursCPU, 10121 coeursGPU,
- 66 TiB RAM, 5.6 PB, 1295 HDD, 85 SSD
- 292 tonnes CO₂ à la fabrication (approche #3)

- **Exploitation** : 330 avec 150W H24 7j/7

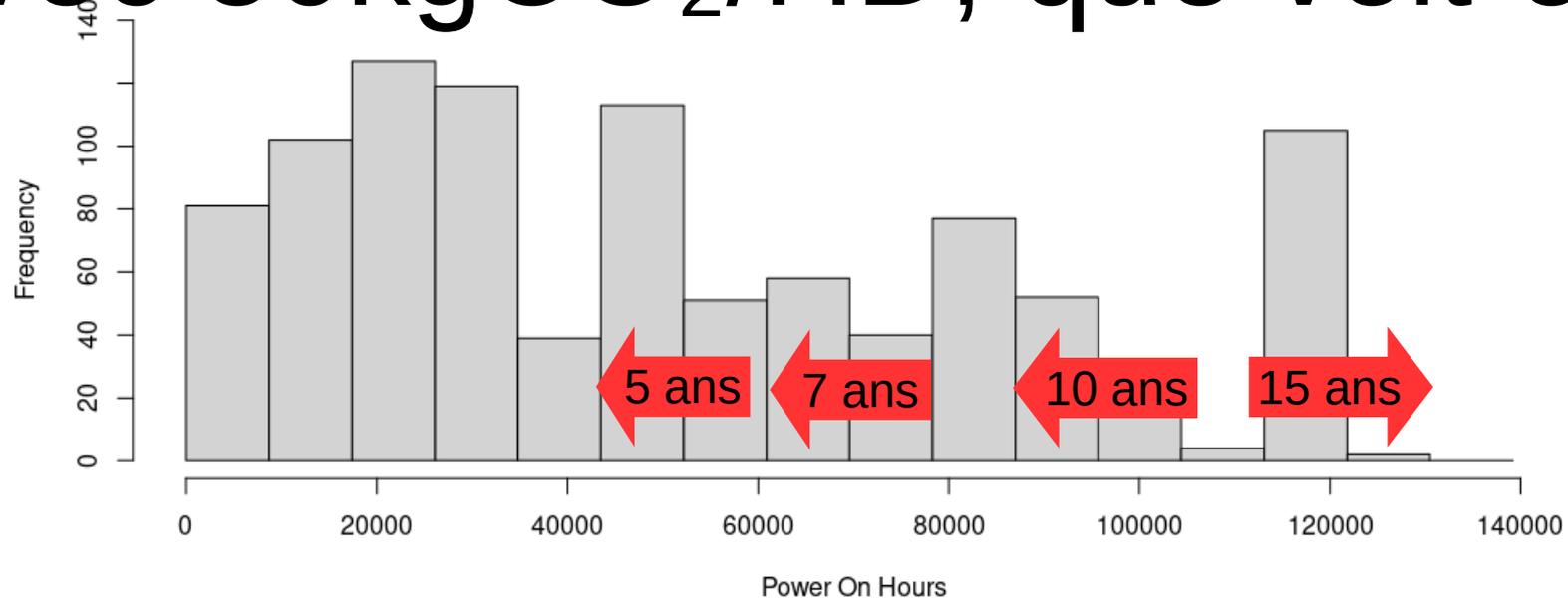
- 10 tonnes de CO₂ par an soit une française (20 g/Kwh 2024)

- « Amortissement » carbone : ratio de 30 pour 1...



Intérêt à exploiter le **plus longtemps** possible...

Petit zoom sur ce pollueur, le HDD avec 50kgCO₂/HD, que voit-on ?



- 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 !)

Après « Appréhension & Analyse », quelles « Actions » 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 comment ?

Sur une machine, la qualification : Fiabiliser, consolider, pérenniser..

Revenir (toujours) au modèle de Von Neumann :

- Le **processeur** : des générations plus récentes : Nehalem vers Westmere
- La **mémoire** : remplir les bancs (et améliorer les traitements)
- Les **périphériques de stockage** : les disques durs, les baies, les cartes
 - Cartes SAS HBA supportant les derniers disques (mais pas les RAID...)
 - Baies SAS de 2009 supportant des disques de 20 TB !
 - Disques durs encore exploitables
- Les **périphériques de communications** :
 - De l'infiniband pour du « SAN-like » : une manière de séparer les flux
 - Des cartes Infiniband pour du 10G : « juste » un adaptateur à acheter...

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



Action #1 : les « cycles courts » généralisables ?

Oui, une question de volonté mais il faut :

- Disposer de systèmes « résilients » (solutions propriétaires exclues)
 - « le RAID est une chose trop sérieuse pour la confier à des contrôleurs matériels ! »
- 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 »...



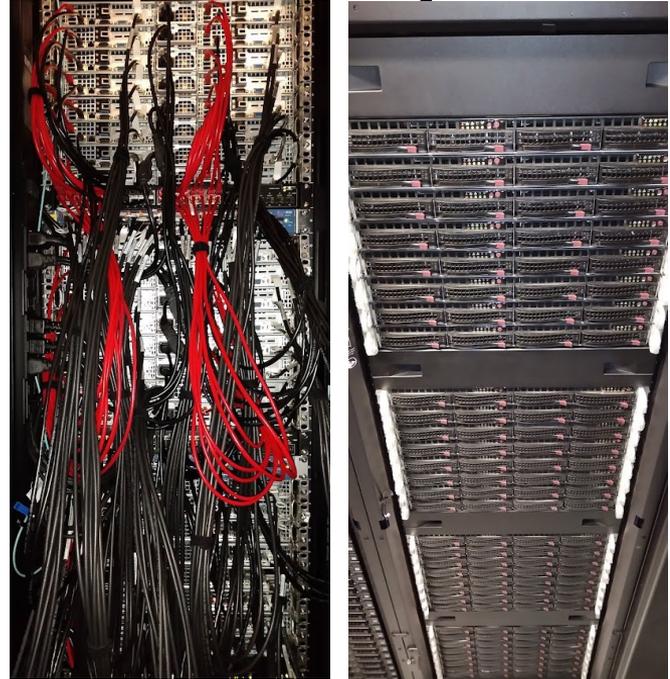
May 26, 2025



22/41

Requalifier & Redéployer Retex sur Cluster « classique »

- Supermicro R422 : 112 nœuds au départ...
 - Seuls 98 rescapés, 10 spares à ce jour
- Requalification avec outils Open Source !
 - InfiniBand : `ibv_srq_ping_pong`
 - IPMI : module & réseau
 - Mémoire & CPU : mbw parallélisé par xargs
 - Alimentation
- Réexploitation :
 - 64 nœuds dans 42 U, 3x32A
- Souci : version Firmware QDR modifiée...



Exigences : *spares parts*, toutes versions FW

Action #3 : Déqualifier & Détourner Ateliers 3IP & Fête de la Science



- Postes de travail Optiplex
 - Salles de formation, ...
- Dépeçage complet :
 - Il ne reste que la carcasse...
- Réassemblage pour atelier
 - Découverte de l'ordinateur
 - Machines exploratoires...

Une exigence : des espaces de stockage pour pièces !

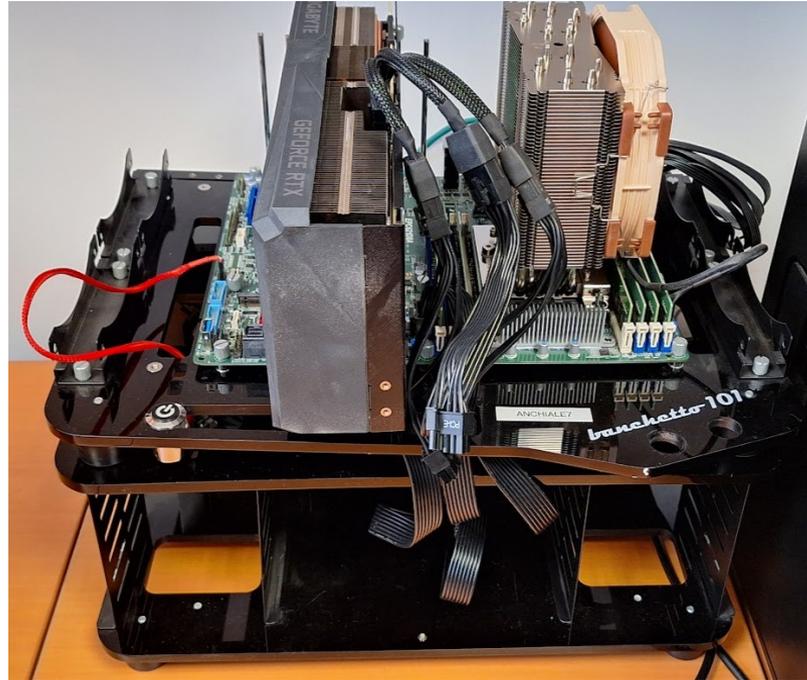
Actions #4 : relocaliser le matériel déployer des « AnchiAles »

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 2022Q4 et 2025Q1



Accueillir la déferlante IA : de la station existante à l'anchIAle



- Accueillir 480W de GPU (et chauffer un bureau)

Action #4 : déploiement AnchiAles

Quel bilan ? Généralisation ?

- Plus de demandes que d'offres en 2023 :
 - Plus de demandes que d'offres possibles !
- 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 »
 - Futur ? 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

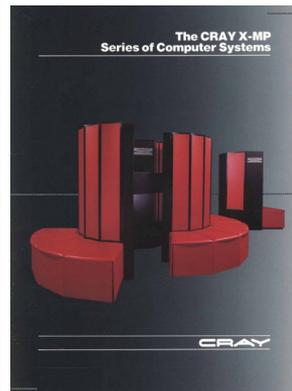
Pas « spécialement » neuf...

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

- 1984 : The Last Starfighter
 - 27 minutes d'images synthétiques
 - ~ $30 \cdot 10^9$ opérations par image
 - Utilisation d'un Cray X-MP (130 kW)
 - 68 jours (en fait, 1 année nécessaire)



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



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.

Emmanuel QUÉMENER CC BY-NC-SA
December 6, 2021



11/127



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 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 »
- Pour les 3 volets, depuis octobre 2022, uniquement Cloud@CBP

Immersion de machines génériques

Une évolution dans la préparation

- 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...

Immersion à l'ENS Lyon

17 accessibles comme les autres

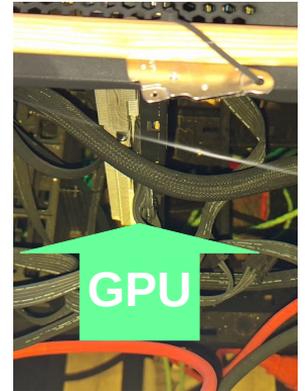
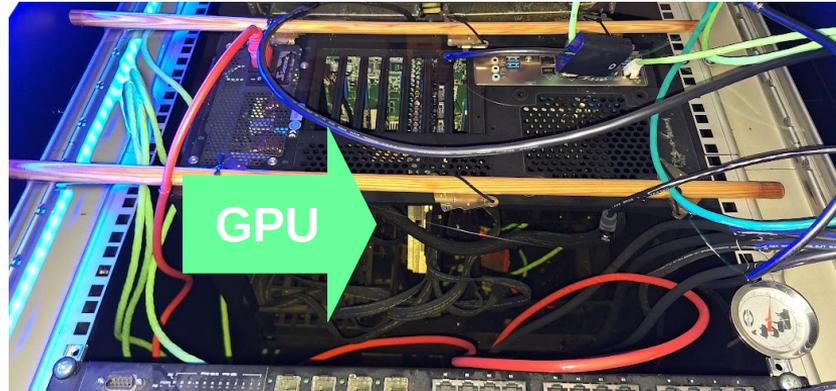
Hostname	SIDUS	AvgLoad	Users	Cores	Memory	Frequency	FreeLocal	Model	GPUModel1
platinum4oil1	bookworm64nfs	0.14	0	96	376	2300	875	Intel Xeon Platinum 9242	None
platinum4oil2	bookworm64nfs	0.03	0	96	376	2300	877	Intel Xeon Platinum 9242	None
gold4oil	bookworm64nfs	0.18	0	16	124	2800	848	Intel Xeon Gold 6242	GA102 [RTX 3090]
nvidia4oil	bookworm64nfs	0.13	0	16	377	2600	0	Intel Xeon E5-2670 0	GA100GL [A30 PCIe]
c8220oil8	bookworm64nfs	0.04	0	16	125	3300	0	Intel Xeon E5-2667 v2	None
c8220oil6	bookworm64nfs	0.12	0	16	125	3300	0	Intel Xeon E5-2667 v2	None
c8220oil4	bookworm64nfs	0.11	0	16	251	3300	0	Intel Xeon E5-2667 v2	None
c8220oil5	bookworm64nfs	0.22	0	16	125	3300	0	Intel Xeon E5-2667 v2	None
c8220oil2	bookworm64nfs	0.02	0	16	251	3300	0	Intel Xeon E5-2667 v2	None
c8220oil3	bookworm64nfs	0.02	0	16	251	3300	0	Intel Xeon E5-2667 v2	None
c8220oil1	bookworm64nfs	0.03	0	16	251	3300	0	Intel Xeon E5-2667 v2	None
c8220oil7	bookworm64nfs	0.19	0	16	125	3300	0	Intel Xeon E5-2667 v2	None
apollo4oil4	bookworm64nfs	0.04	0	32	188	2300	0	Intel Xeon Gold 5218	None
apollo4oil3	bookworm64nfs	0.1	0	32	157	2300	0	Intel Xeon Gold 5218	None
r6625oil	bookworm64nfs	128.26	1	128	1511	2400	876	AMD EPYC 9534	None
apollo4oil1	bookworm64nfs	0.37	1	32	188	2300	0	Intel Xeon Gold 5218	None
apollo4oil2	bookworm64nfs	0.05	1	32	188	2300	0	Intel Xeon Gold 5218	None



5 types de machines : 3 « clusters », 2 GPU, 1 monstre
 + de 600 coeurs, + de 6TiB de RAM, mais très peu de stockage ;-)

L'immersion pour reexploiter... ... l'irrécupérable !

- De la GPU qui « pleure » à la GPU qui « barbote »...
 - Un problème récurrent de perte d'huile dans les « heat pipes »...



Pleinement fonctionnelle après immersion !

Action #5 : avantages & inconvénients

- Constats d'exploitation après (presque) 3 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 (RAM, NVMe)
 - 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 & « marchands du temple » se goinfrant !

« Développement Durable & Responsabilité Sociétale »



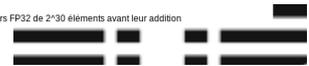
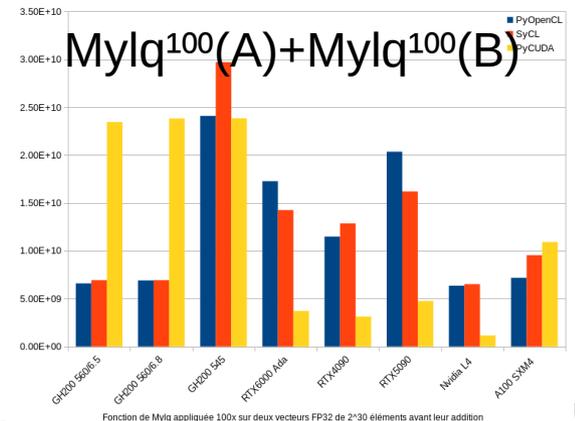
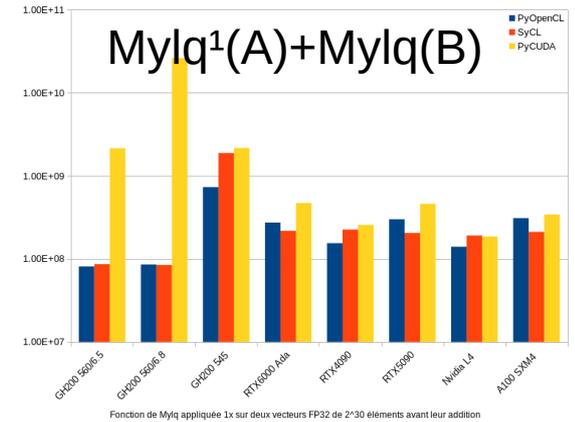
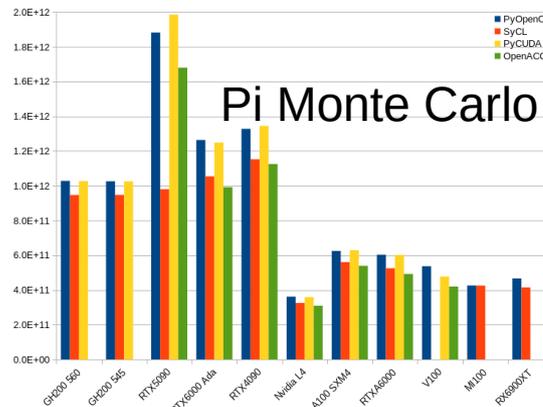
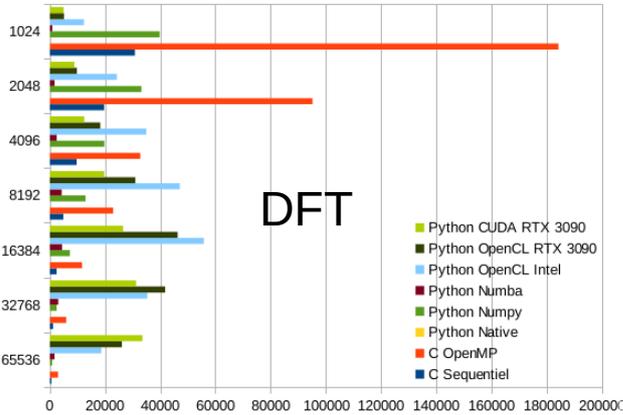
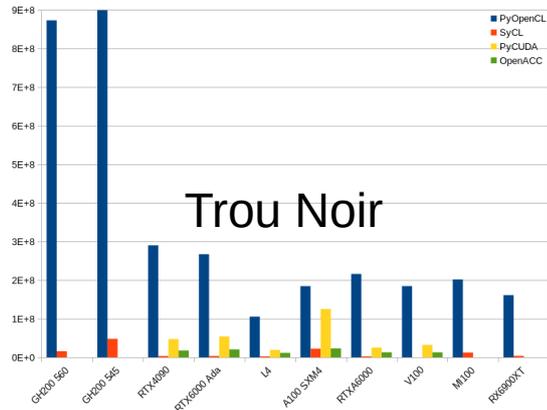
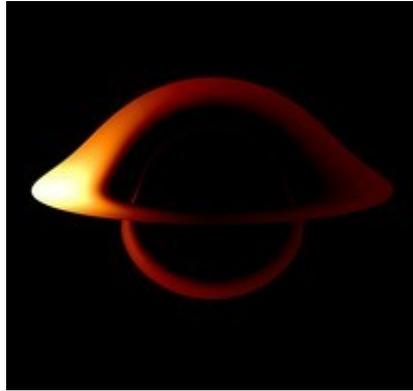
- Stage professionnel de découverte de seconde « utile » :
- Requalification de 10 Postes de travail et leurs moniteurs

Souveraineté : au-delà du matériel...

La dépendance aux logiciels...

- La dernière « disruption » matérielle depuis Y2K : la GPU
 - La « *Graphical Processing Unit* » : le « processeur graphique »
 - 10x plus rapide qu'un système à CPU, 100x en IA
- Mais un point critique : la programmation !
 - CUDA pour Nvidia depuis 2006, mais propriétaire...
- Pourtant, il existe des solutions « universelles » :
 - OpenCL depuis 2008 pour CPU & GPU Nvidia, AMD, Intel
 - Approches « pragma » tiques avec OpenACC ou OpenMP
 - Initiative SyCL (imposant malheureusement C++)

Oui, Python peut être efficace... ... si on s'en donne les moyens !



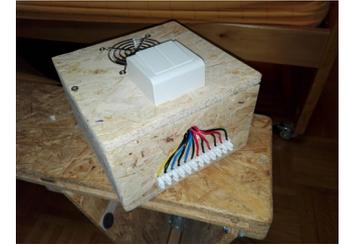
Souveraineté numérique : la voie de la formation

- Ateliers « fête de la science » : depuis 2017
 - Monter et exploiter une machine en quelques minutes : boot SIDUS
- Ateliers « 3IP » : « Introduction Inductive à l'Informatique Parallélisme »
 - Apprendre l'informatique par le matériel : de la physique à la logique !
 - Thèmes abordés : général, CPU, GPU, réseaux, périphériques, ...
 - Gros succès 2017-2020, moins ces dernières années...
- Formation GPU & parallélisme :
 - <https://www.cbp.ens-lyon.fr/doku.php?id=formation:gpu4cbp>
 - Codes « matrices » : <https://github.com/numa65536/bench4xpu>
 - INSA « génie électrique » : de 2018 à 2025
 - ETSN 2022 au CEA



« Rien ne se perd, rien ne se crée. Tout se transforme ! » Lavoisier

- Au delà des composants IT :
 - Des composants électriques : une vraie mine !
 - Alimentations : du 12V, du 5V, du 3.3V
 - Des ventilateurs : du 4 cm au 12 cm
 - Des boîtiers : capot pour support de carte mère
 - Des portes de baie, des aimants de HDD
 - Des palettes de transport, des planches de protection



Au delà du libre...

... la liberté selon Pratchett !

« La première des libertés, celle sur laquelle se fondent toutes les autres, c'est celle d'assumer librement les conséquences de ses actes. »

T. Pratchett (traduction adaptée)

- La recette du « succès » (après 30 ans) : GER²S²
 - **Générique** : une boîte à outils partagée que tout le monde peut s'approprier
 - **Efficace** : un périmètre initial restreint augmentant progressivement (Deming...)
 - **Robuste & Résilient** : une surface de dépendances limitée, dans espace & temps
 - **Simple & Systématique** : coût d'entrée maîtrisé, extensibilité réduite au matériel

Appel aux dons pour la Computhèque de l'ENS-Lyon

- Tout vieil équipement informatique :
 - Les vieux 8 bits des années 1980 :
 - Sinclair ZX, Commodore, Oric, ...
 - Les vieux PC avec des cartes ISA : 80286, 80386
 - Tout équipement informatique un peu exotique :
 - Machines de technologie : Dec Alpha 21264, HPPA, ...
 - Vieux laptops, ...
- Vocation pédagogique & scientifique
 - Fête de la science, ateliers 3IP, ...
 - Préservation patrimoine scientifique & technique...

