



IDRIS

Maximiser la Science, Minimiser l'Empreinte Carbone

Un Défi pour les Centres Nationaux



IDRIS

L'IDRIS (*Institut du développement et des ressources en informatique scientifique - UAR 851*) est le centre national (Tier1) du CNRS pour le calcul numérique intensif de très haute performance (HPC) et l'Intelligence Artificielle (IA)

À la fois

- Centre de calcul équipé de supercalculateurs parmi les plus puissants du moment, de système de stockage et d'archivage, de système de visualisation, de pré et post-traitement, etc.
- Centre d'excellence de support, de conseil et d'expertise dans le domaine du HPC et de l'IA

1800 projets scientifiques (60% IA, 40% HPC)

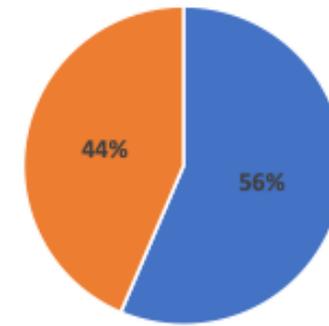
3570 utilisateurs émanant de quasiment toutes les disciplines scientifiques (44% IA, 56% HPC)

Fonctionnement :



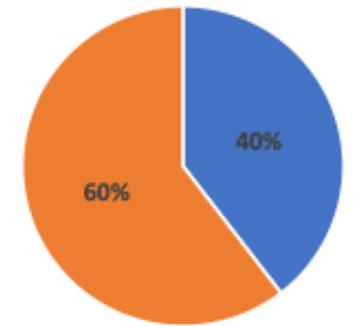
Localisé à Orsay (Essonne), à une vingtaine de kilomètres de Paris, sur le campus de l'université Paris Saclay

Utilisateurs HPC vs. IA



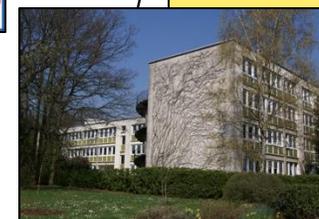
■ % d'utilisateurs HPC ■ % d'utilisateurs IA

Projets HPC vs. IA



■ % de projets HPC ■ % de projets IA

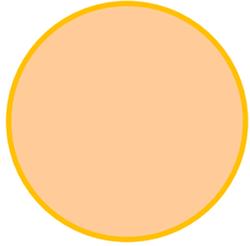
Évolution du nombre d'utilisateurs IA de Jean Zay



L'efficacité énergétique, une préoccupation de toujours à l'IDRIS

IBM BLUE GENE / P Babel

- Installé en mars 2008,
- 139 Tflop/s, 20 To mémoire,
- Refroidi par air,
- 300 kWh.



2,15 kW / Tflop/s

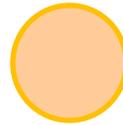


300



IBM BLUE GENE / Q Turing

- Installé en octobre 2012,
- 1,2 Pflop/s, 106 To mémoire,
- Refroidi par eau froide,
- 600 kWh.



0,5 kW / Tflop/s



600



HPE SGI 8600/Eviden XH3000 Jean Zay

- Installé en septembre 2019, ext. en 2020, 2022 et 2024
- 125,9 Pflop/s : GPU = 98 %, CPU = 2 %,
- 337 To mémoire,
- Refroidi par eau tiède,
- 2400 kWh.



0,019 kW / Tflop/s



2400



En 16 ans :

- la **performance par W** a été multipliée par **113**
- la **puissance crête** a été multipliée par **905**
- la **consommation** électrique totale a été multipliée par **8**

Contexte, ordre de grandeur et mise en perspective

• Contexte

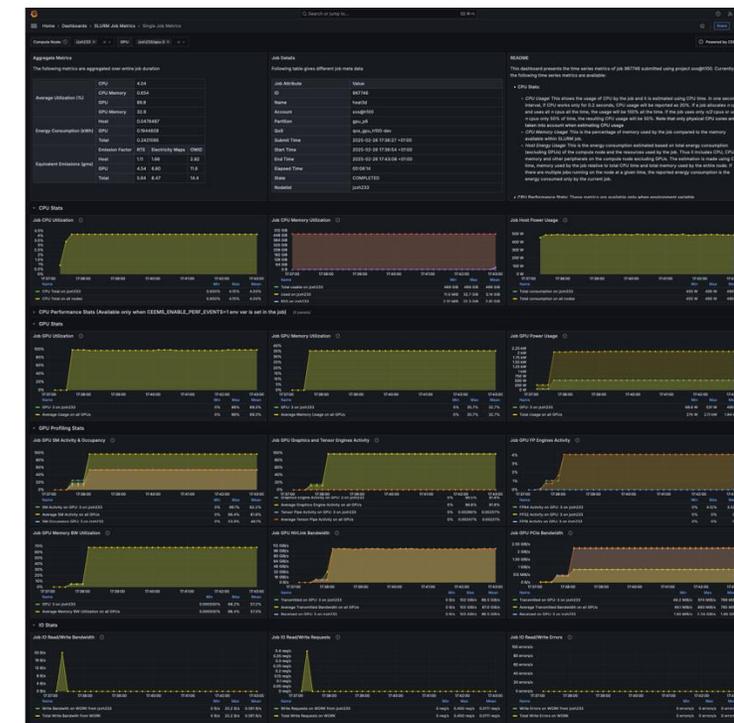
- La finalité première d'un centre national comme l'IDRIS est de produire de la science en mettant à disposition des chercheurs des capacités de calcul et de stockage adaptées à leurs besoins
- Le coût total avec maintenance d'une infrastructure nationale comme Jean Zay est de l'ordre de 100 M€ (matériel + maintenance)
- Le coût annuel de l'électricité varie ces dernières années entre 2,5 et 4,5 M€

• Problématique

Comment concilier les besoins croissants en ressources de calcul et de stockage des communautés scientifiques ainsi que leur utilisation optimale, tout en minimisant la consommation électrique et l'empreinte carbone de l'infrastructure sous-jacente

• Quels indicateurs/métriques choisir ?

- Pour quantifier la science produite ?
 - ✓ La sélection drastique des projets, par les Comités Thématiques de GENCI sur le seul critère de l'excellence scientifique est un gage de qualité
 - ✓ En première approximation, on pourra prendre le nombre d'heures réellement utilisées par les communautés utilisatrices sur le supercalculateur
- Pour quantifier l'efficacité des applications qui utilisent le supercalculateur et leur adéquation à l'architecture cible ?
 - ✓ % d'utilisation des GPU, CPU, mémoire, réseaux
- Pour quantifier l'impact écologique d'une infrastructure de calcul ?
 - ✓ Consommation d'électricité
 - ✓ Consommation d'eau
 - ✓ Chaleur récupérée



Contexte, ordre de grandeur et mise en perspective

- Empreinte carbone (étude GENCI-Labo1.5-centres nationaux)

- Méthodologie : <https://labos1point5.org/les-rapports/estimation-empreinte-calcul>
- L'empreinte carbone d'une infrastructure nationale comme Jean Zay, en prenant une durée d'exploitation de 6 ans, est constituée pour 45% à sa fabrication, transport, installation et pour 55% à son exploitation (principalement sa consommation électrique)

Architecture	Emissions
CPU	1,1 g EqCO ₂ /heure/coeur
GPU	25,7 g EqCO ₂ /heure/GPU



- L'empreinte carbone relative à la fabrication doit être évaluée/prise en compte lors des appels d'offres. Une fois le supercalculateur installé, on ne peut plus jouer sur ce facteur sauf à le lisser sur la durée d'exploitation
- Dans la phase d'exploitation du supercalculateur, il faut maximiser la science (le nombre d'heures de calcul effectivement utilisées par les communautés scientifiques) tout en minimisant la consommation électrique et d'eau
- En première approximation, l'infrastructure de Jean Zay en production c'est :



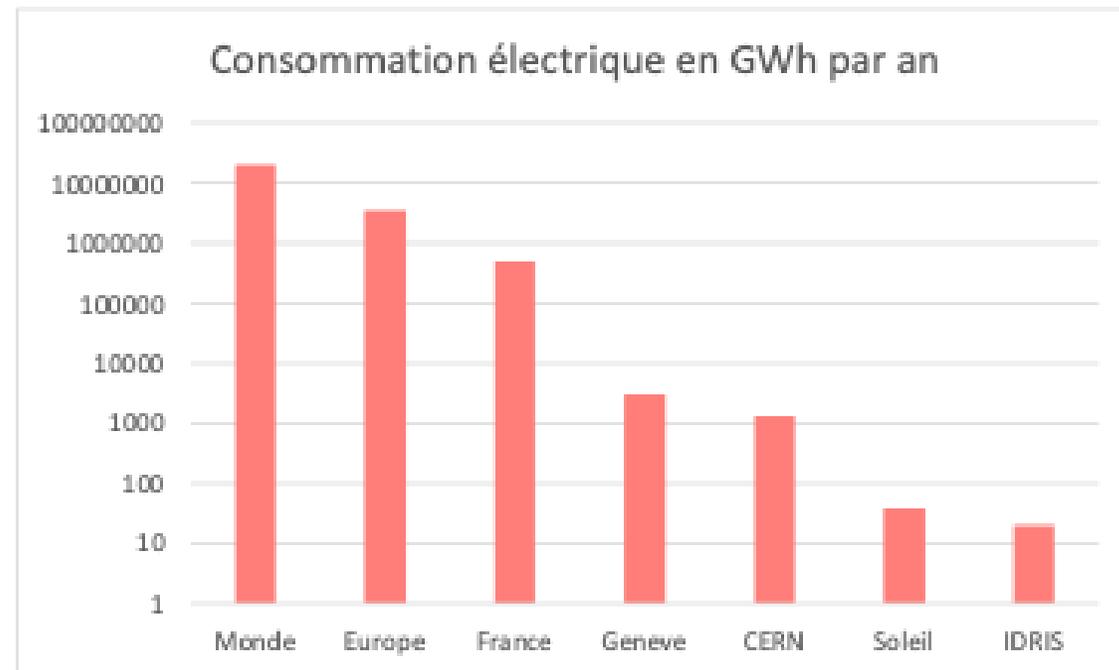
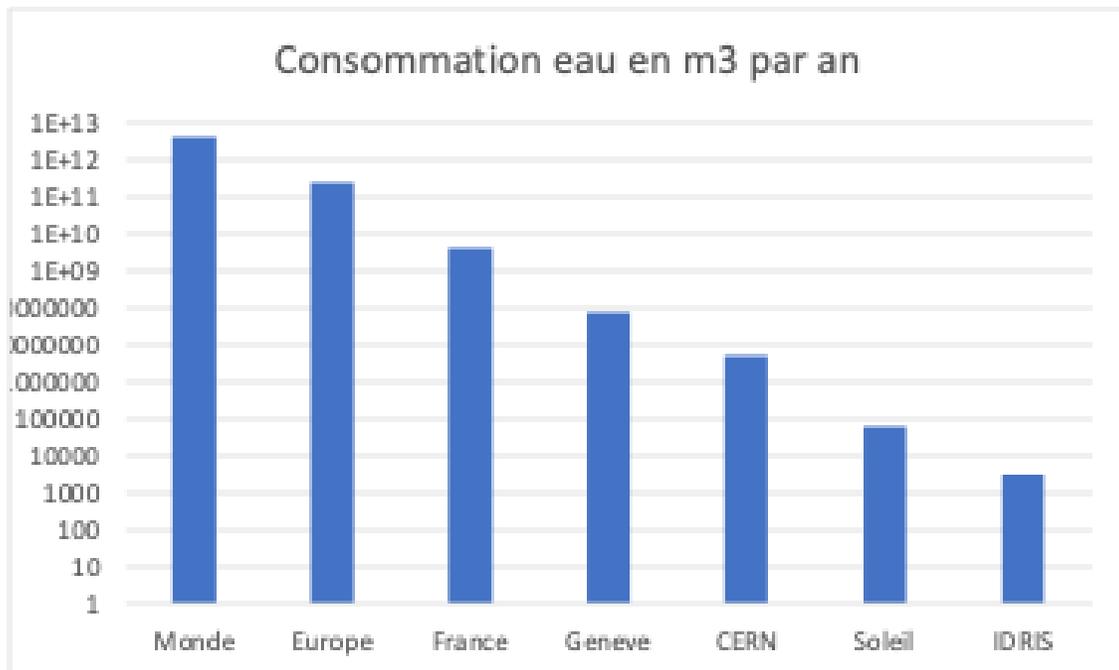
 3000 m³/an

 2400 kW



Contexte, ordre de grandeur et mise en perspective

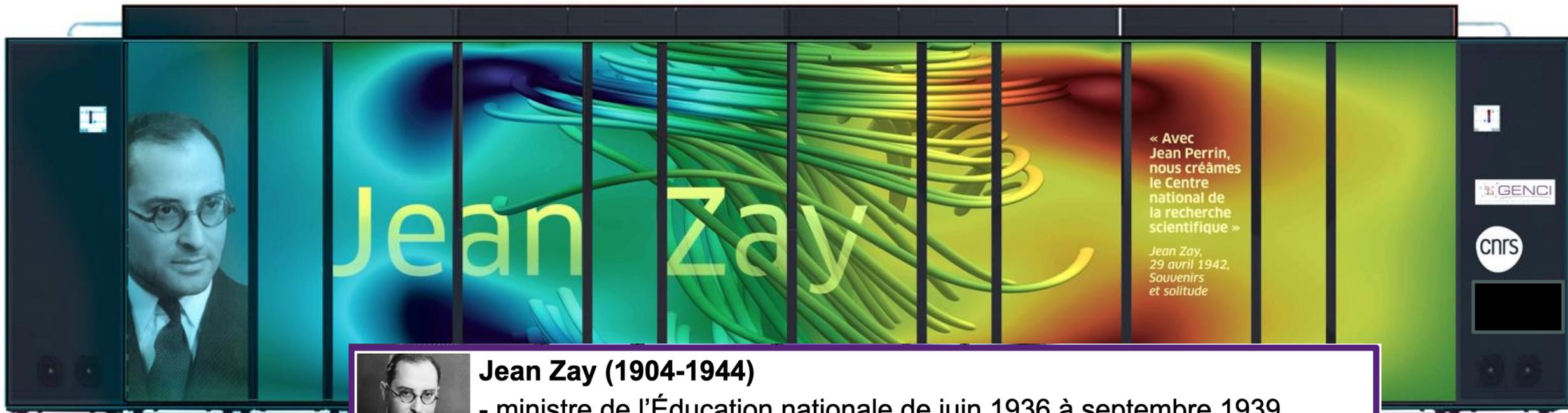
- Mise en perspective pour la consommation électrique et la consommation d'eau
 - Monde, Europe, France, Genève, CERN, Soleil, IDRIS



- La demande énergétique des centres de calcul/données représente 2% de l'électricité mondiale totale et devrait doubler d'ici à 2026

Le supercalculateur Jean Zay en quelques chiffres...

- Jean Zay, le premier supercalculateur Tier1 français convergé pour les usages Intelligence Artificielle (IA) et Calcul Haute Performance (HPC)
- Supercalculateur le plus puissant de France (126 Pflop/s crête)
- Première plate-forme nationale à destination de la communauté de recherche en IA dans le cadre du plan « AI for humanity » lancé par le président de la République en mars 2018
- Serait dans le TOP20 du dernier TOP500 (November 24)
- Ressources accessibles sous quelques jours via les Accès Dynamiques (AD, www.edari.fr) et sans frais pour la recherche académique ou privée, à condition de faire de la science ouverte (publication des résultats obtenus)

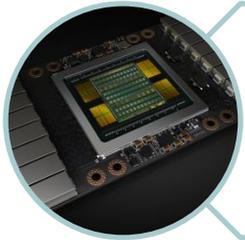


Jean Zay (1904-1944)

- ministre de l'Éducation nationale de juin 1936 à septembre 1939
- a porté le projet de création du **CNRS** (avec J.Perrin et I.Joliot-Curie)

Jean Zay, un modèle d'efficacité

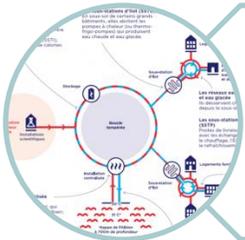
Une architecture éco-responsable parmi les plus efficaces actuellement en production :



Accélérateurs GPU => technologie la plus efficace en termes de performance par watt (x4 par rapport à une architecture homogène non accélérée)



Refroidissement à eau tiède (Direct liquid Cooling –DLC- régime d'entrée à 30°C et de sortie à 40°C)



Récupération de la chaleur produite par Jean Zay pour le réseau de chaleur fatale de l'EPAPS (6500 MWh/an de chaleur de récupération, l'équivalent de la consommation en chaleur de plus de 1 500 logements neufs)

PUE du Jean Zay sans prise en compte de la récupération de chaleur :

$$PUE_{JZ} = 1,21$$

Énergie fonctionnement JZ (ITEnergy)

Énergie refroidissement JZ



Énergie chaleur fatale récupérée EPAPS (ReuseEnergy)

$$ERF_{JZ} \text{ (Energy Reuse Factor)} = (\text{ReuseEnergy}) / (\text{TotalEnergy}) = 0,37$$

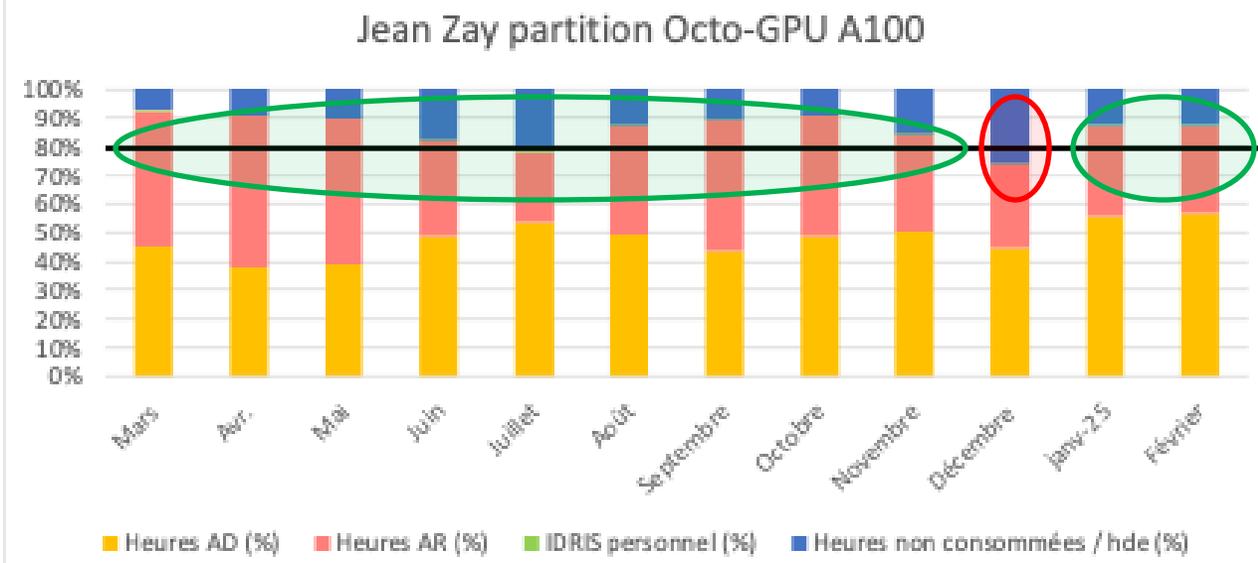
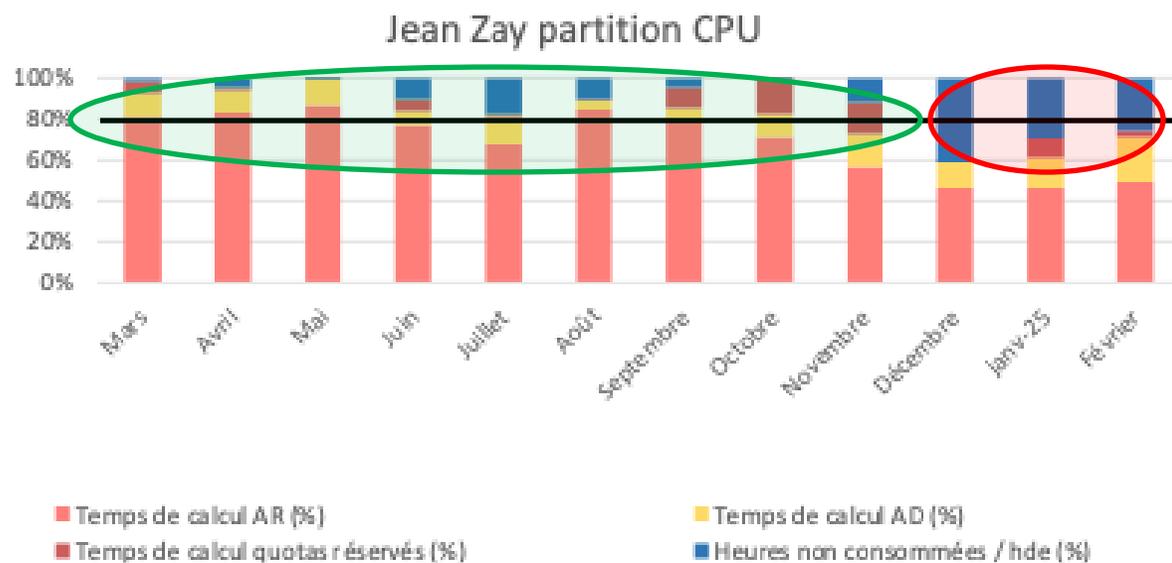
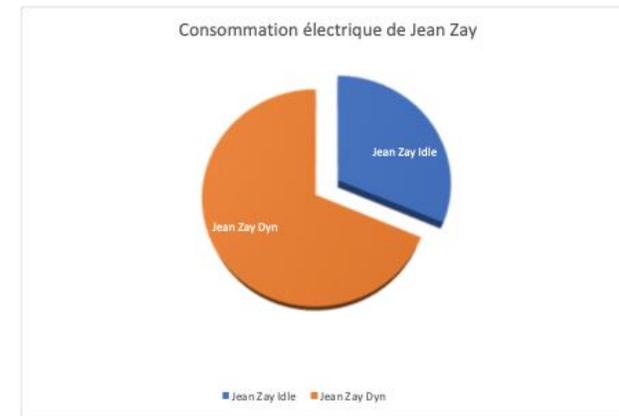
$$ERE_{JZ} \text{ (Energy Reuse Efficiency)} = (\text{TotalEnergy} - \text{ReuseEnergy}) / \text{ITEnergy}$$

$$ERE_{JZ} = 0,76$$

Une simulation (HPC) ou un apprentissage (IA) réalisé sur le supercalculateur Jean Zay est gage d'une empreinte carbone limitée

Utilisation optimale des ressources

- Il faut avant tout maximiser la charge du supercalculateur durant tout son cycle de vie
 - Un supercalculateur en attente de travail à exécuter consomme (beaucoup trop...)
 - En mode Idle (aucun travail ne s'exécute), Jean Zay consomme 470 kW !
 - Soit de l'ordre de 1/3 de la consommation en pleine charge, alors qu'aucune science n'est produite.
 - Une utilisation en-deçà de 80% des cycles disponibles n'est pas satisfaisante

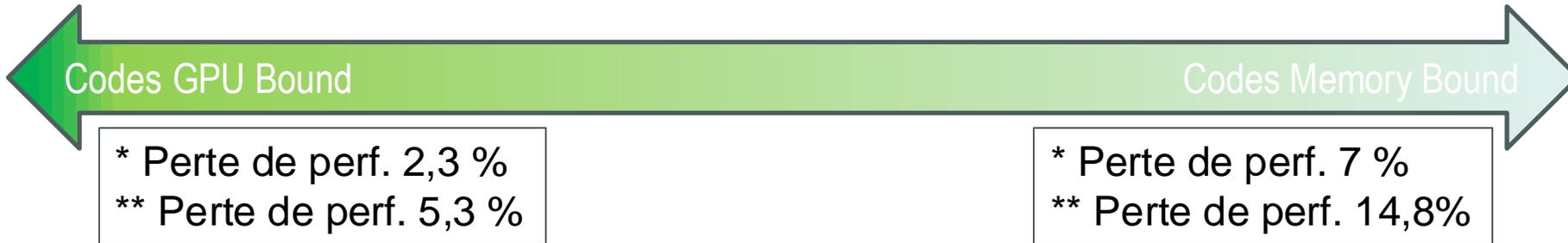


 Utilisation supérieure à 80% des cycles disponibles

 Utilisation non satisfaisante inférieure à 80% des cycles disponibles

Étude de l'impact de la réduction de la fréquence GPU

- Réalisée sur la partition H100 de Jean Zay, avec un total de 19 applications différentes (50% HPC et 50% IA)
- Évaluation des gains en termes de consommation électrique vs. les éventuelles dégradations de performance
- Deux campagnes de tests, l'une (*) avec une réduction à 1590 MHz (-20%) et l'autre (**) à 1380 MHz (-30%) de la fréquence par défaut boost clock (1980 MHz)



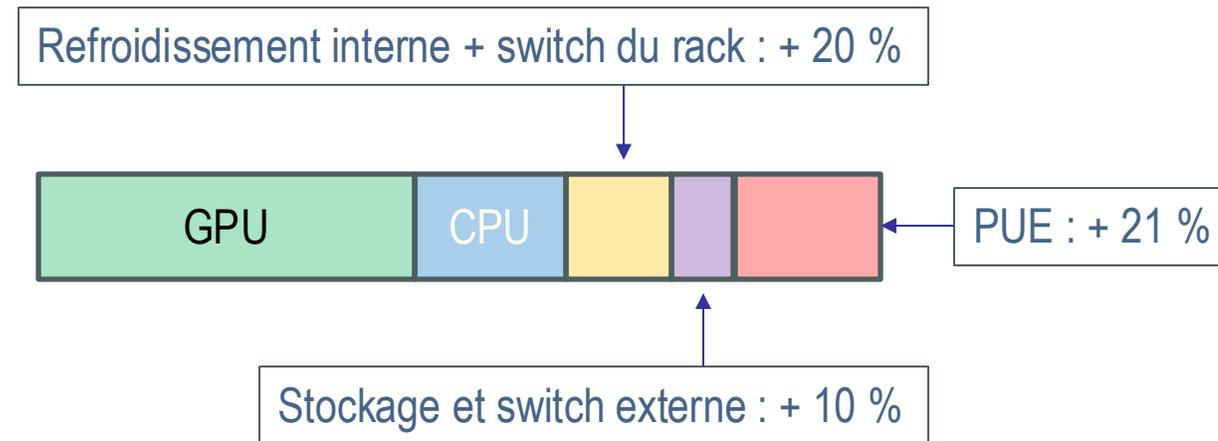
• Résultats tests *

- Perte moyenne temps elapsed codes/bibliothèques HPC : 5,4 %
- Perte moyenne temps elapsed codes IA : 2,8 %
- Perte moyenne temps elapsed total : **4,4 %**
- Gain consommation électrique GPU : **10,3 %**

• Résultats tests **

- Perte moyenne temps elapsed codes/bibliothèques HPC : 11,8 %
- Perte moyenne temps elapsed codes IA : 3,7 %
- Perte moyenne temps elapsed totale : **10,1 %**
- Gain consommation électrique GPU : **19,6 %**

Étude de l'impact de la réduction de la fréquence GPU



- Résultats tests *

- Perte moyenne temps elapsed codes/bibliothèques HPC : 5,4 %
- Perte moyenne temps elapsed codes IA : 2,8 %
- Perte moyenne temps elapsed total : **4,4 %**
- Gain consommation électrique GPU : **10,3 %**
- Gain consommation électrique CPU + GPU : **5,3 %**
- Gain total en énergie sur l'infrastructure : **3,3 %**

- Résultats tests **

- Perte moyenne temps elapsed codes/bibliothèques HPC : 11,8 %
- Perte moyenne temps elapsed codes IA : 3,7 %
- Perte moyenne temps elapsed totale : **10,1 %**
- Gain consommation électrique GPU : **19,6 %**
- Gain consommation électrique CPU + GPU : **9,8 %**
- Gain total en énergie sur l'infrastructure : **6,1 %**

D'autres pistes tout aussi intéressantes d'optimisation

- Limiter la consommation électrique en mode Idle et celle de la partie Host d'un nœud de calcul
- Accompagner les utilisateurs, via des formations techniques, des hackathons ou une documentation adaptée
- Acculturer les chercheurs à l'analyse de performance et l'optimisation de codes sur GPU
- Responsabiliser les communautés pour utiliser les « justes » ressources nécessaires à leur recherche scientifique
- Maximiser l'usage des infrastructures de calcul et de stockage
- Les mutualiser lorsque cela est possible
- Généraliser les dispositifs les plus performants, efficaces et éco-responsables
 - ✓ Accélérateurs GPU,
 - ✓ Refroidissement liquide à cœur (DLC) eau chaude/tiède
 - ✓ Récupération de la chaleur générée par l'équipement de calcul
- Amplifier les activités de veille technologique pour anticiper les évolutions techniques et adapter les applications en conséquence
- Généraliser et familiariser les utilisateurs aux notions de BEGES et aux outils permettant d'obtenir la consommation électrique et l'empreinte carbone associées aux projets scientifiques
- Étendre la durée d'exploitation du matériel ou lui trouver de nouveaux usages (ex. le N2+ de Jean Zay est l'ancien N1 de la première phase)



IDRIS

Merci de votre attention



Jean Zay