

# Intel RAPL - Ses impacts sur l'infrastructure et son utilisation comme levier énergétique

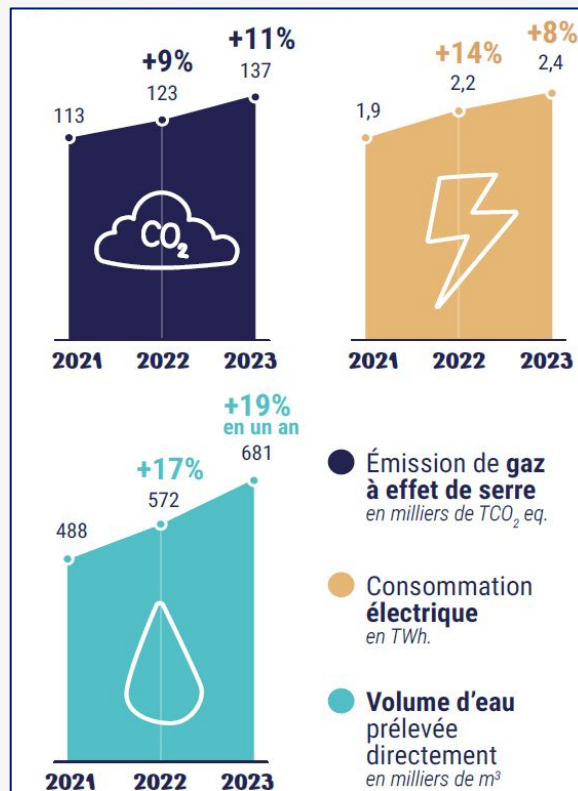
Greendays 2026



- ◆ Thomas Stavis
- Encadré par Laurent Lefèvre
- Anne-Cécile Orgerie
- ◆

# Contexte

- **Forte augmentation de l'utilisation d'outils numériques depuis des décennies**
  - Sur-consommation énergétique / électrique
  - Pollution eau et air
  - Épuisement des ressources
  - Création de déchets
  - Participation au réchauffement climatique
- **Les centres de données au centre du problème**
  - Socle de la plupart des infrastructures et services numérique
  - Consommation de 3-4 % de l'électricité mondiale en 2030 (*IEA 2025*)
  - Forte augmentation de la consommation en eau, en électricité et des émissions CO2 (*ARCEP 2025*)



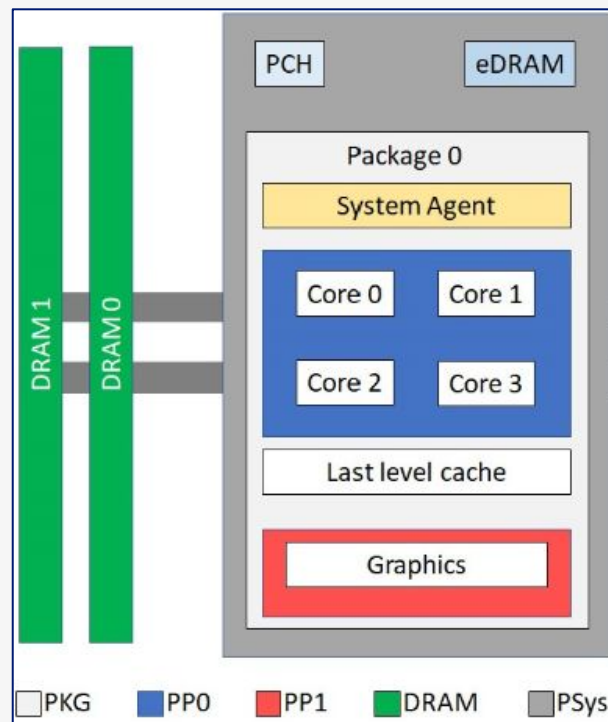
Empreinte des centres de données en France

# Contexte

- **Gestion de la consommation électrique de centres de données**
  - Du point de vue du fournisseur
  - Modification du comportement de l'infrastructure
- **Leviers de gestion électrique**
  - Politique d'extinction
  - Sleep states
  - Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS)
  - **Intel Running Average Power Limit (RAPL)**
- **Problématiques**
  - **Fonctionnement et validation : *Ostapenco et al. 2025***
  - Quels sont ses impacts sur l'infrastructure ?
  - Quid de son utilisation comme levier électrique dans les centres de données

# Fonctionnement

- **Créé à l'origine pour la mesure électrique**
- **Outil de limitation de la puissance électrique**
  - Limite la quantité d'électricité consommée...
  - ... pour une fenêtre de temps donnée...
  - ... suivant différents domaine de puissance (*Scaphandre 2023*)
- **Utilisation de**
  - DVFS (*Zhang 2015*)
  - Uncore Frequency Scaling (*Říha 2020*)
  - Sleep / idle states (*Haidar 2019*)



Domaines de puissance d'Intel RAP

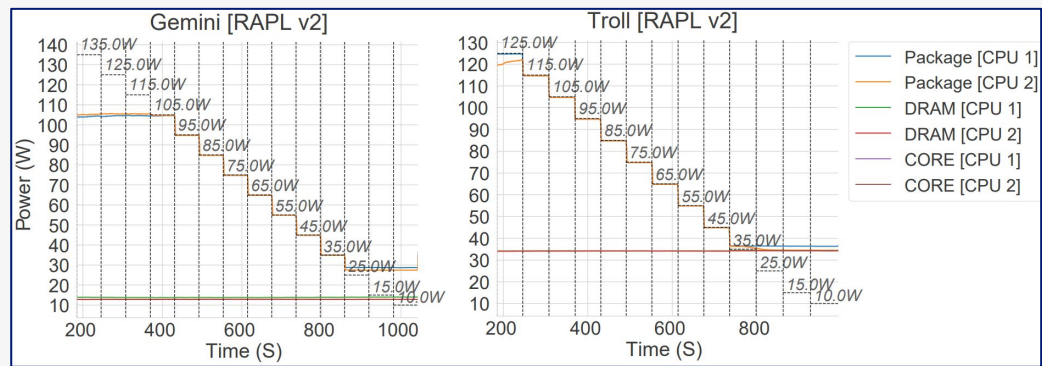
# Expérience

- **Infrastructure (Grid'5000 / SLICES-FR)**

- Gemini (Broadwell)  
2 x Intel E5-2698 v4, 512 GiB RAM
- Troll (Cascade Lake-SP)  
2 x Intel Gold 5218, 1,92 TiB RAM

- **Benchmarks**

- CPU-intensive : NAS EP
- Memory-intensive : STREAM, NAS LU
- Les deux : NAS MG
- NAS LU et NAS MG : comportements égaux mais plus variables



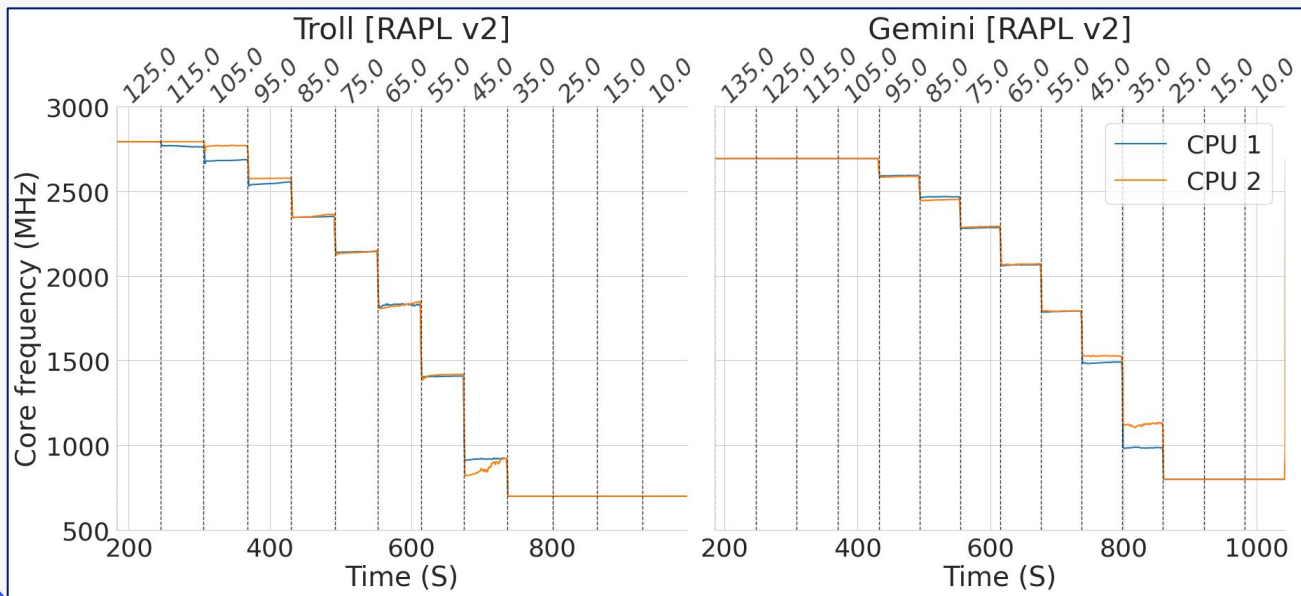
*Puissance pour NAS EP (Ostapenco 2025)*

- **Mesure**

- Puissance électrique : wattmètre Omegawatt (50 Hz)
- Métriques CPU / mémoire : Likwid-perfctr (1 Hz)



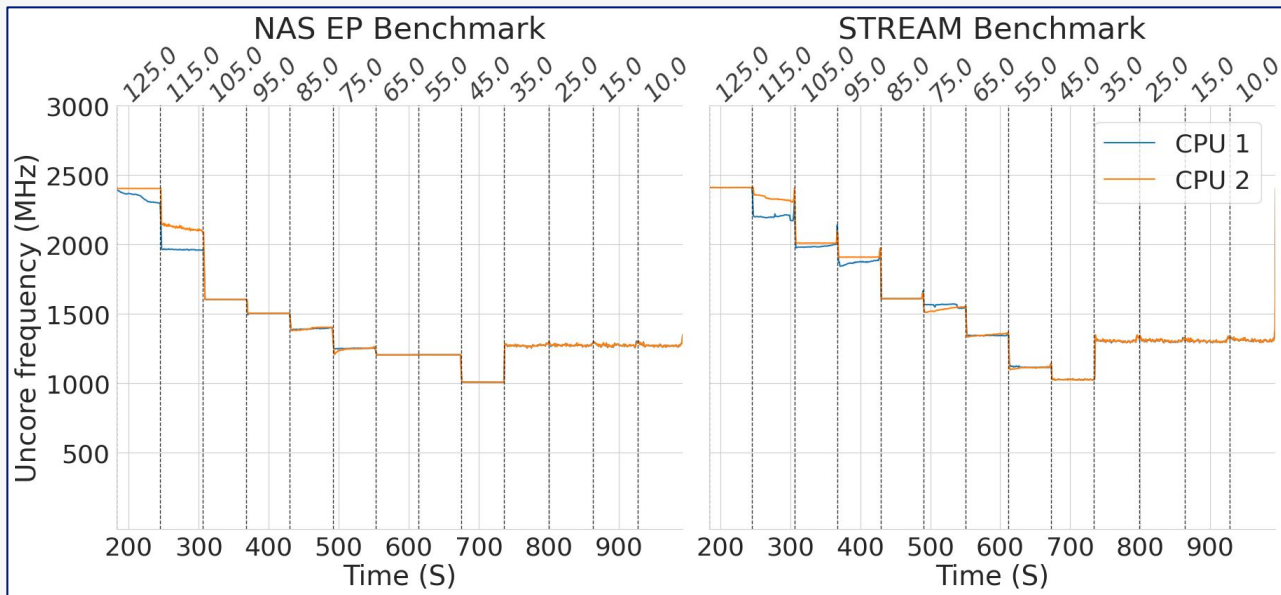
# Fréquence Core



Fréquence Core pour NAS EP

- Suit la tendance de la puissance...
- ... mais non linéaire
- Gestion différenciée des 2 CPUs
- Plateaux “hauts” et “bas”
- Memory-intensive : même comportement mais beaucoup plus variable

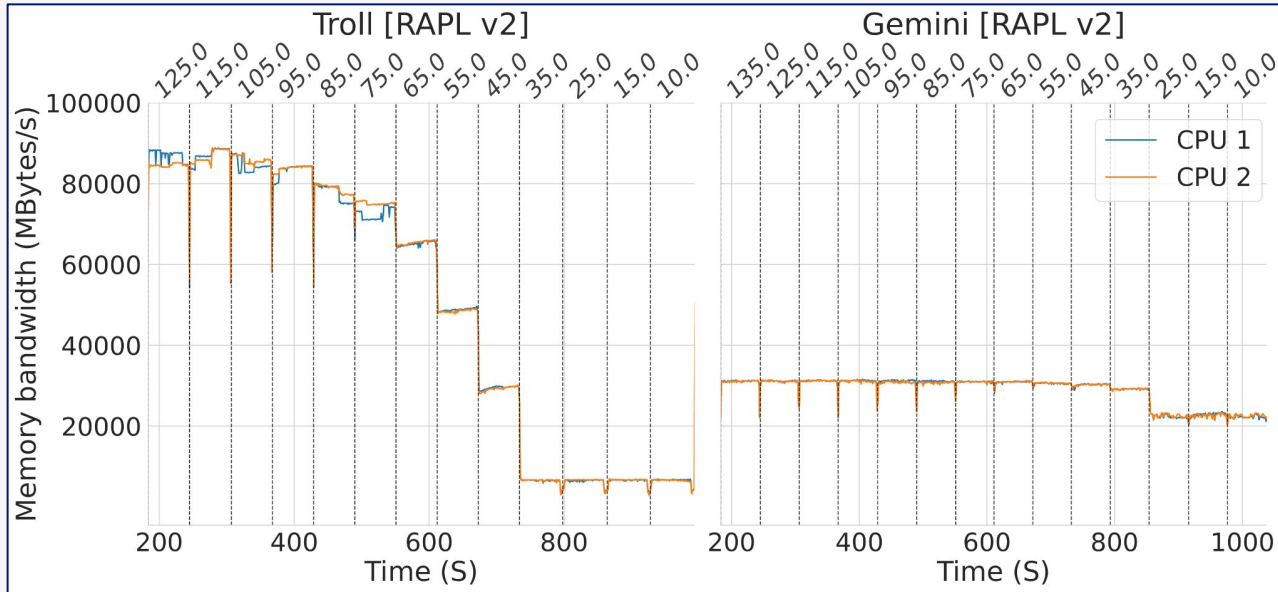
# Fréquence Uncore



*Fréquence Uncore pour cluster Troll*

- Décroit dans les fréquences hautes, ...
- ... stagne, voire croît, dans les fréquences basses...
- ... où cela coïncide avec des réductions plus forte dans la fréquence Core
- Gestion différenciée des 2 CPUs
- Gemini : même comportement

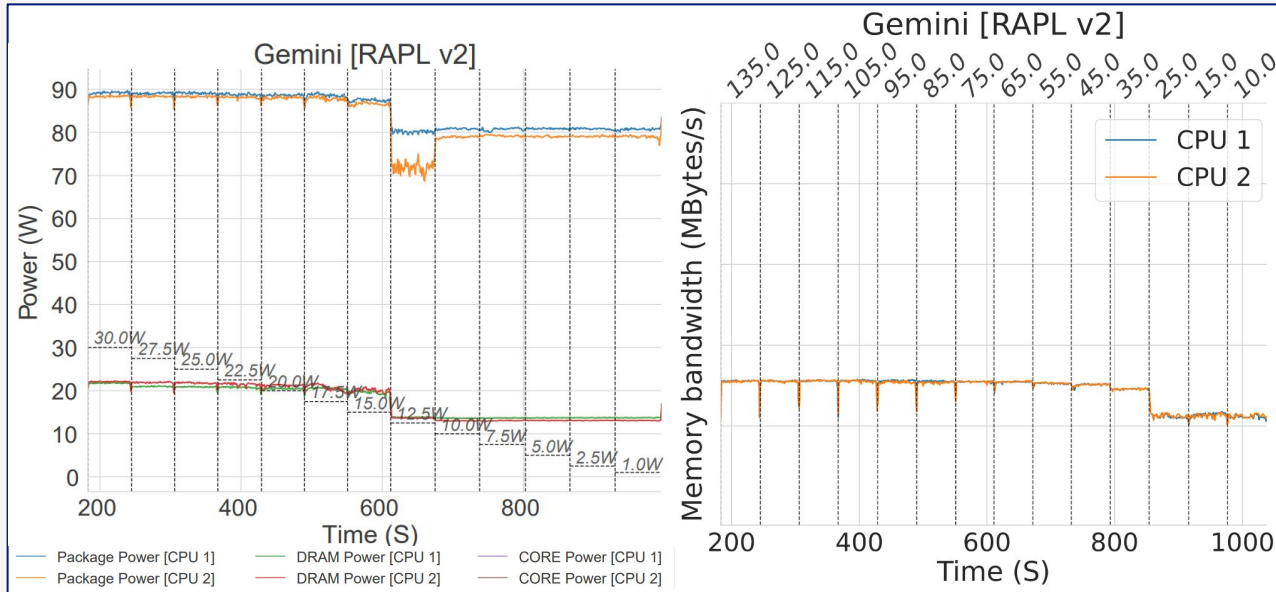
# Bande passante



*Bande passante pour STREAM*

- Troll
  - Suit la fréquence Core
  - Variabilité dans les fréquences hautes

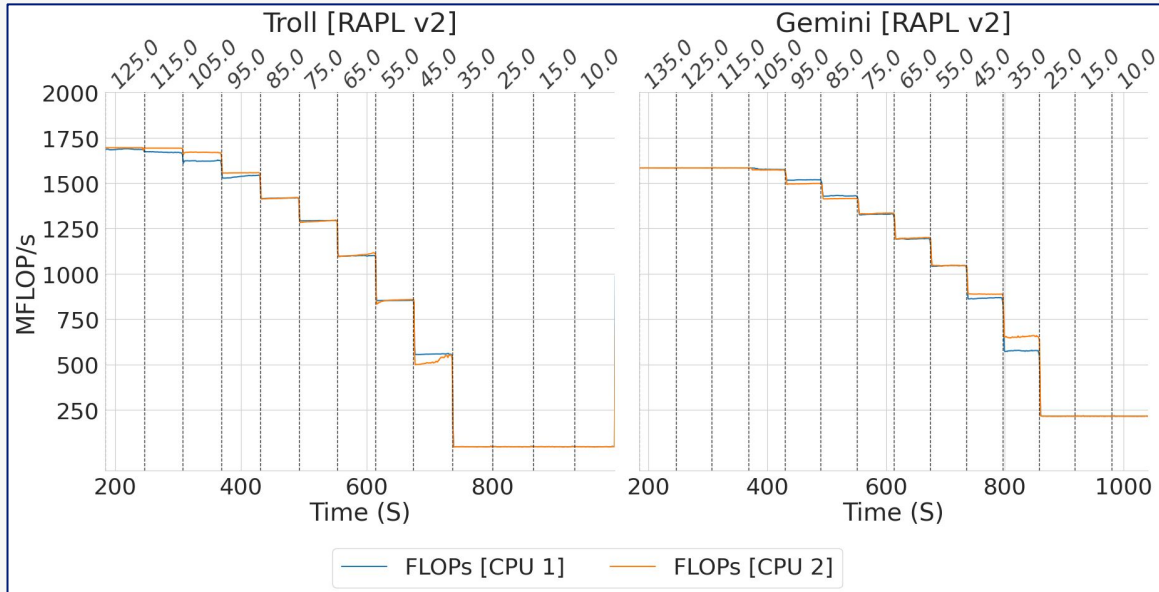
# Bande passante



Bande passante et puissance DRAM pour STREAM

- Troll
  - Suit la fréquence Core
  - Variabilité dans les fréquences hautes
- Gemini
  - Deux plateaux  
135 W à 25 W (2 x 12,5 W)  
25 W à 10 W
  - Similaire à la puissance du package DRAM (non dispo pour Troll)
- Constante pour CPU-intensive

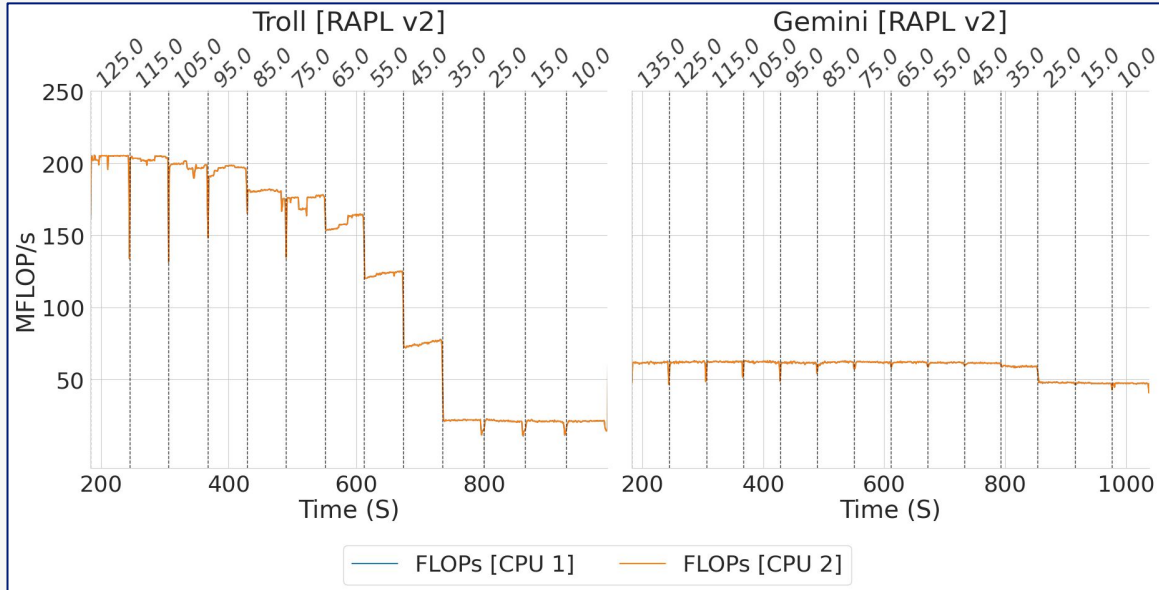
# FLOPs



FLOPs pour NAS EP

- Suit la fréquence Core pour CPU-intensive

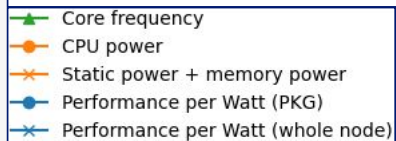
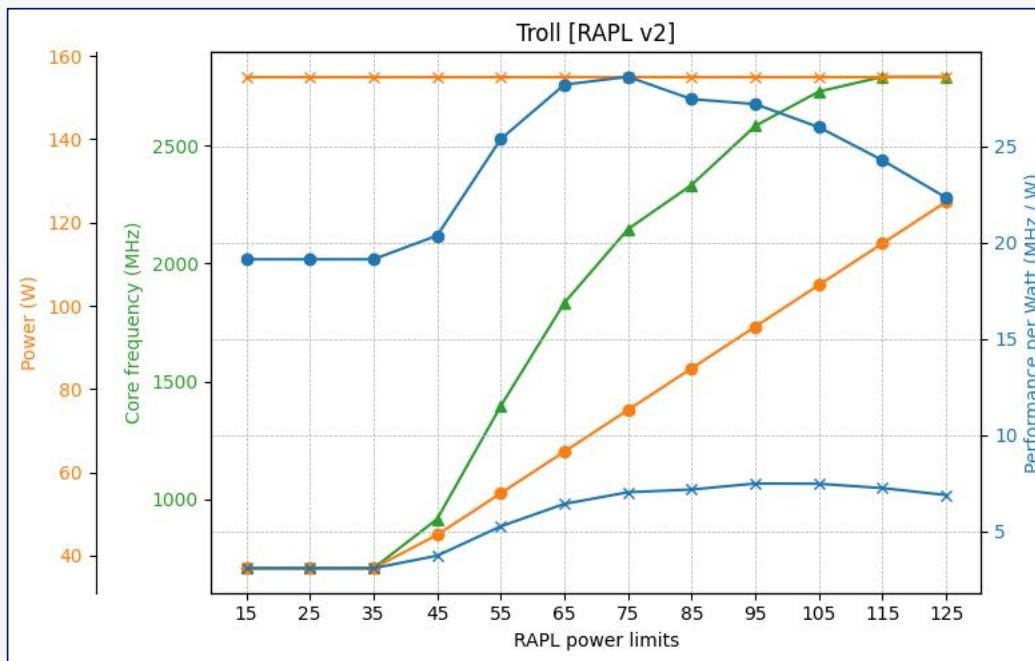
# FLOPs



*FLOPs pour STREAM*

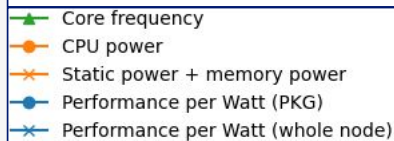
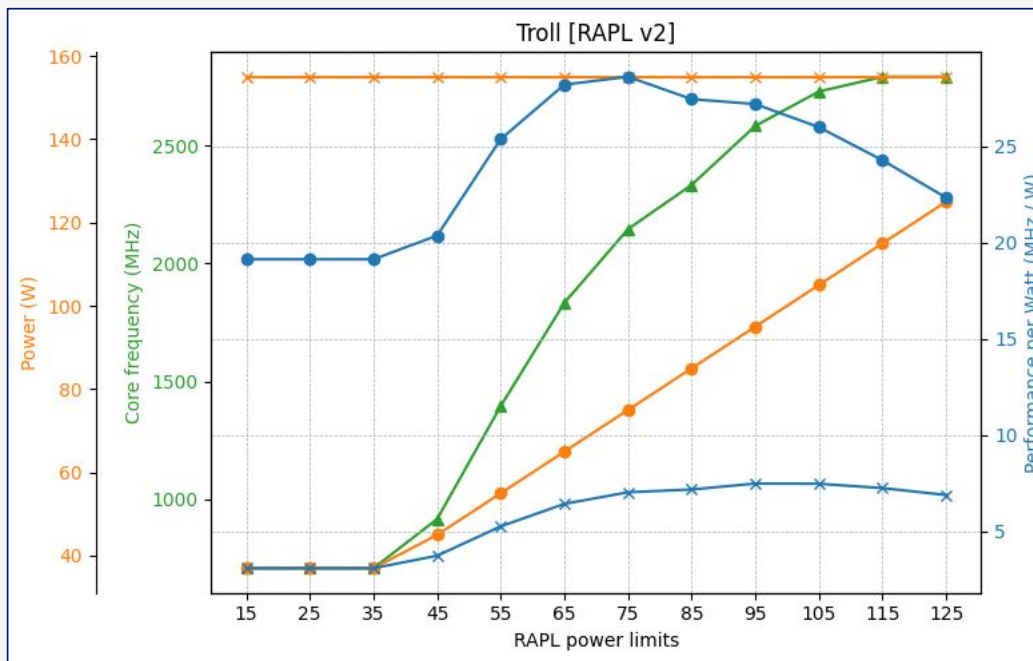
- Suit la fréquence Core pour CPU-intensive
- Suit la bande passante pour memory-intensive

# Performance / énergie



*Performance de NAS EP pour Troll*

# Performance / énergie



Performance de NAS EP pour Troll

- Pic de performance à 95 W
- Réduction de la puissance de 26%
- Augmentation de la durée du benchmark de 8,5%
- Réduit l'énergie nécessaire au benchmark de 8%
- 95 Watts **moyennement** validé avec l'énergie mesurée



# Intel RAPL comme levier énergétique ?

## Avantages

**Capacité de réduction de la consommation d'énergie totale d'un job**

- Pour CPU- comme memory-intensive
- Pour différents clusters
- Réduit aussi la puissance électrique

## Inconvénients





# Intel RAPL comme levier énergétique ?

## Avantages

### Capacité de réduction de la consommation d'énergie totale d'un job

- Pour CPU- comme memory-intensive
- Pour différents clusters
- Réduit aussi la puissance électrique

## Inconvénients

### Demande d'étudier en profondeur la charge de travail dans le cluster

- Des mécanismes complexes et inconnus entrent en jeu
- Algorithme non divulgué

### Pour certains cas, Intel RAPL ne réduit pas l'énergie totale

- Contre-exemple de NAS EP pour Gemini





# Intel RAPL comme levier énergétique ?

## Avantages

### Capacité de réduction de la consommation d'énergie totale d'un job

- Pour CPU- comme memory-intensive
- Pour différents clusters
- Réduit aussi la puissance électrique

## Inconvénients

### Demande d'étudier en profondeur la charge de travail dans le cluster

- Des mécanismes complexes et inconnus entrent en jeu
- Algorithme non divulgué

### Pour certains cas, Intel RAPL ne réduit pas l'énergie totale

- Contre-exemple de NAS EP pour Gemini

### Augmente la durée des jobs proportionnellement aux FLOPs

- Pénalise les jobs qui consomment le plus d'énergie



# Intel RAPL comme levier énergétique ?

## Avantages

### Capacité de réduction de la consommation d'énergie totale d'un job

- Pour CPU- comme memory-intensive
- Pour différents clusters
- Réduit aussi la puissance électrique

### Fonctionne bien pour des charges de travail memory-intensive

- Utilisation privilégiée pour des services à grande échelle dans Cloud (streaming, BDD...)?

## Inconvénients

### Demande d'étudier en profondeur la charge de travail dans le cluster

- Des mécanismes complexes et inconnus entrent en jeu
- Algorithme non divulgué

### Pour certains cas, Intel RAPL ne réduit pas l'énergie totale

- Contre-exemple de NAS EP pour Gemini

### Augmente la durée des jobs proportionnellement aux FLOPs

- Pénalise les jobs qui consomment le plus d'énergie



# Intel RAPL comme levier énergétique ?

## Avantages

### Capacité de réduction de la consommation d'énergie totale d'un job

- Pour CPU- comme memory-intensive
- Pour différents clusters
- Réduit aussi la puissance électrique

### Fonctionne bien pour des charges de travail memory-intensive

- Utilisation privilégiée pour des services à grande échelle dans Cloud (streaming, BDD...) ?

## Inconvénients

### Demande d'étudier en profondeur la charge de travail dans le cluster

- Des mécanismes complexes et inconnus entrent en jeu
- Algorithme non divulgué

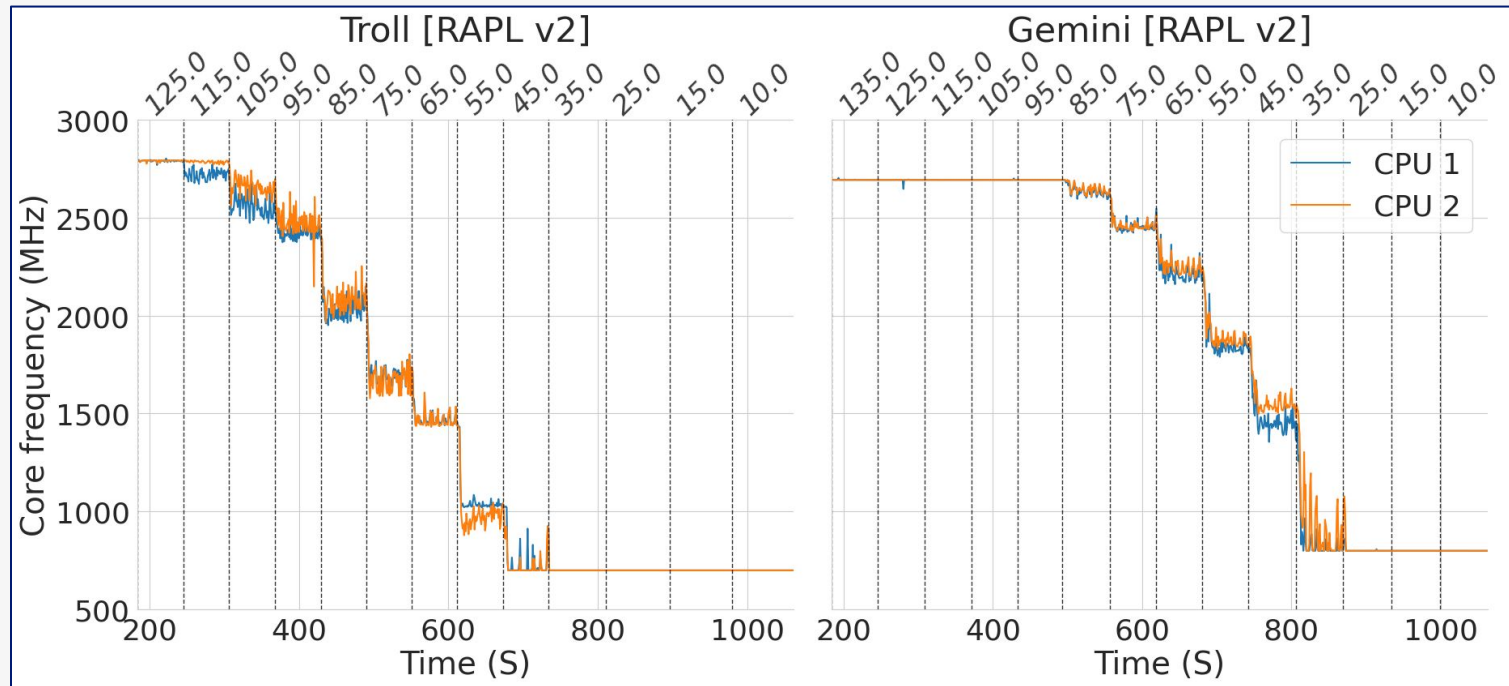
### Pour certains cas, Intel RAPL ne réduit pas l'énergie totale

- Contre-exemple de NAS EP pour Gemini

### Augmente la durée des jobs proportionnellement aux FLOPs

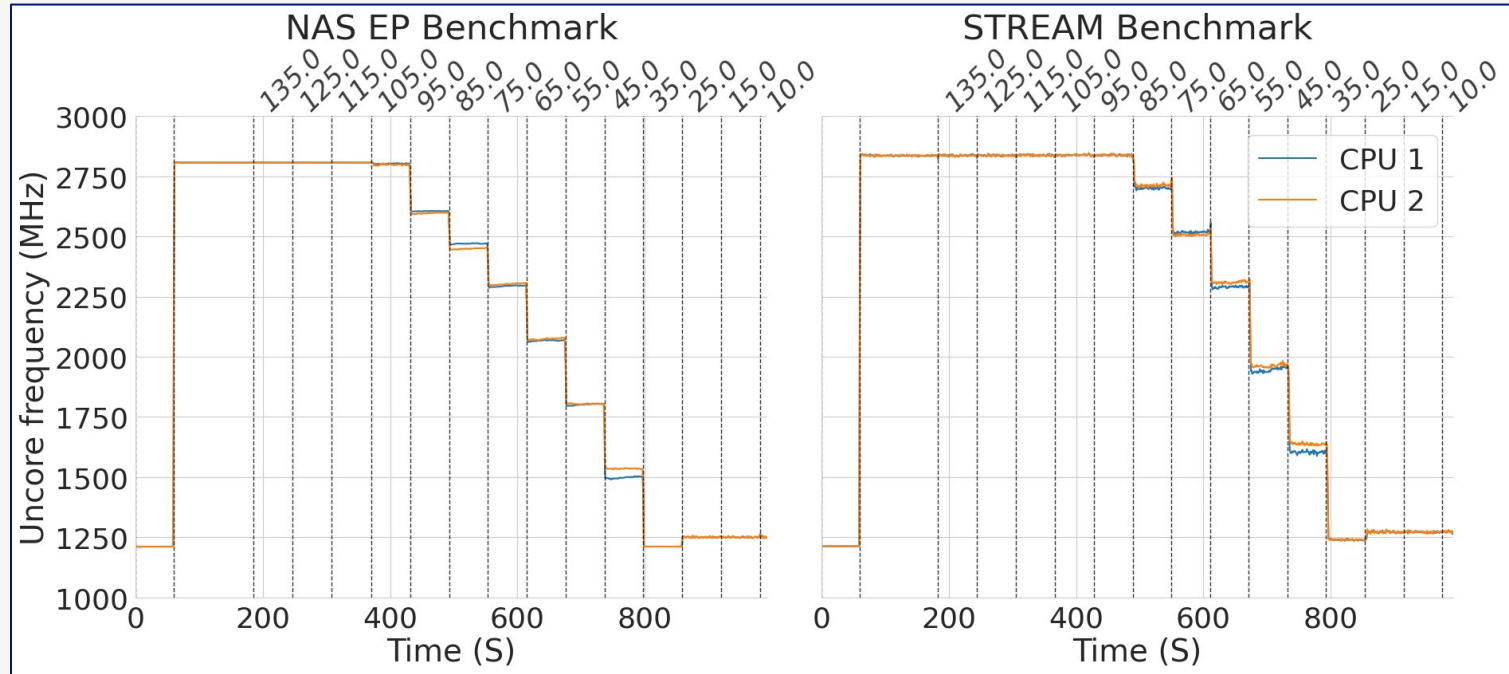
- Pénalise les jobs qui consomment le plus d'énergie

Les expériences présentées dans ces travaux ont été réalisées à l'aide du banc d'essai Grid5000, soutenu par un groupe d'intérêt scientifique hébergé par Inria et comprenant le CNRS, RENATER et plusieurs universités ainsi que d'autres organisations (voir <https://www.grid5000.fr>)



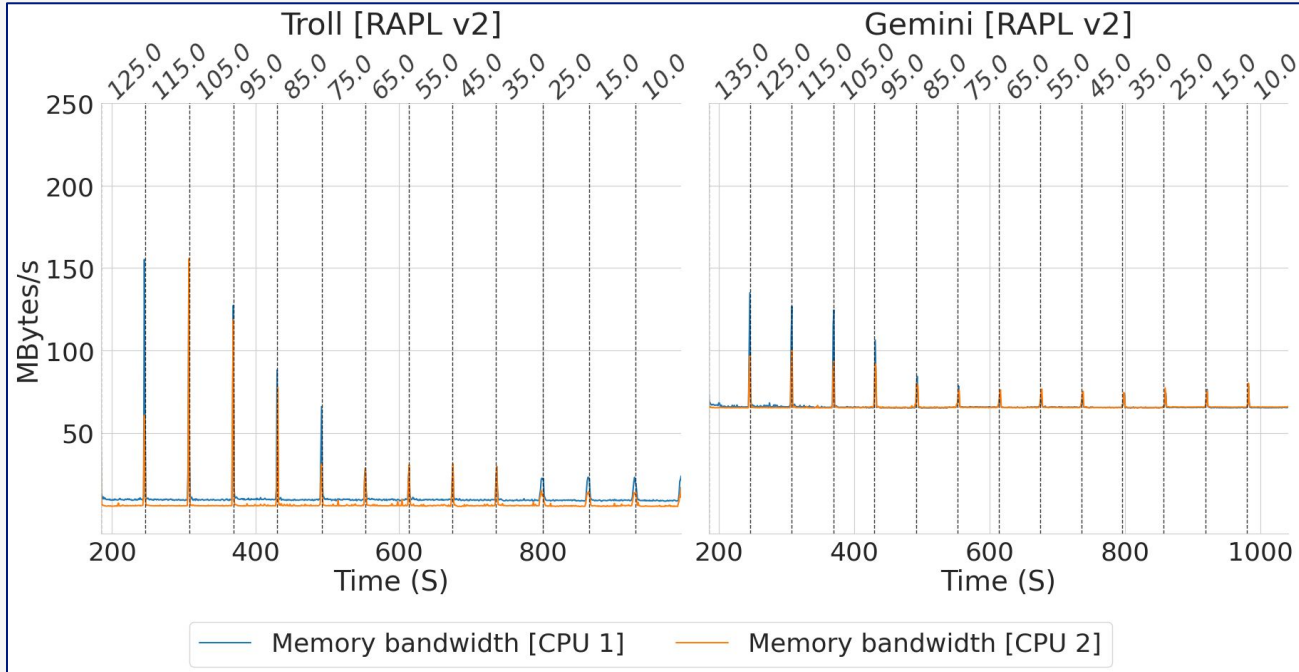
Frequence Core pour MG





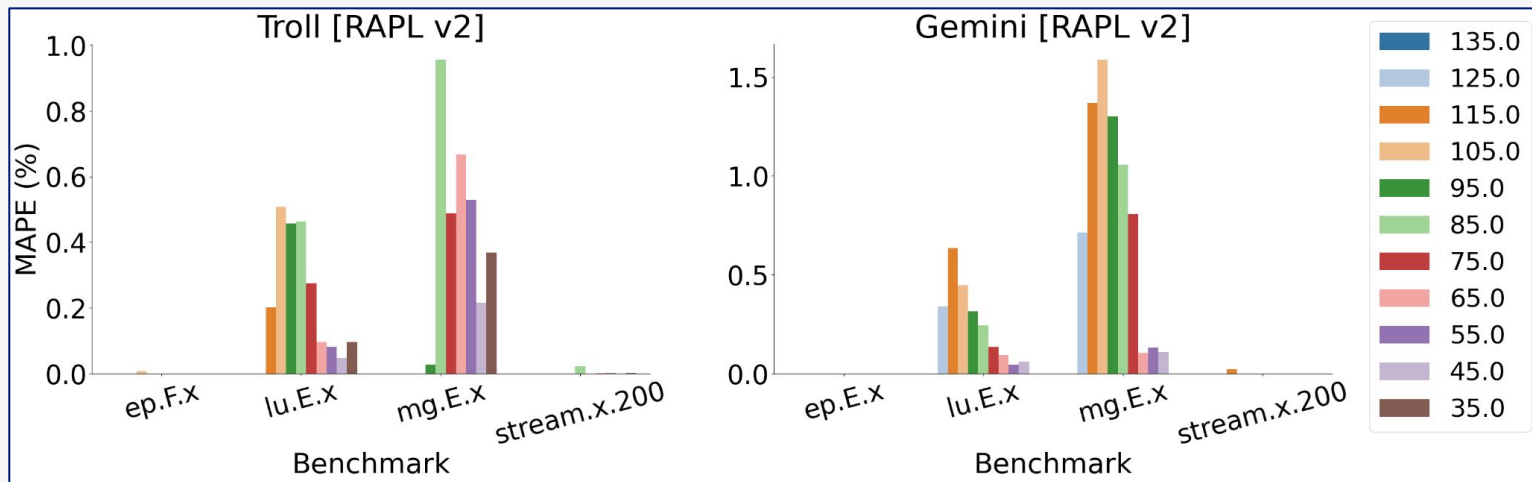
*Frequence Uncore pour Gemini*





*Bande passante pour NAS EP*

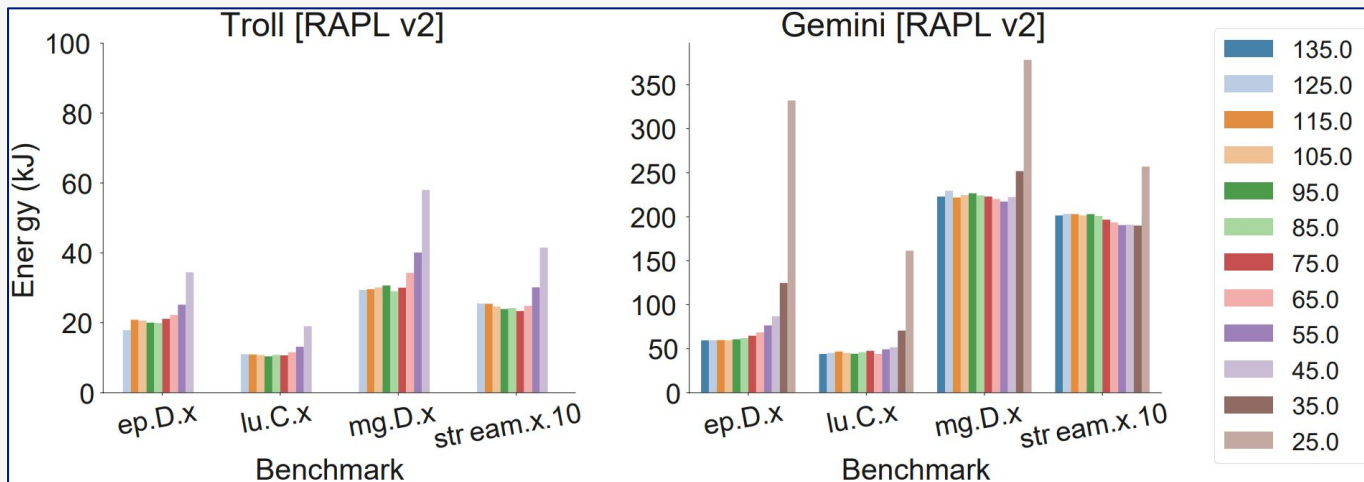




*Précision (Ostapenco et al.)*

- Tous les benchmarks : erreur relative de maximum 1%
- NAS EP et STREAM : erreur relative de maximum 0,03%





*Énergie totale (Ostapenco et al.)*

