

# Green Computing - CM 2 - CM3

Evolution de l'informatique -  
Empreinte des composants informatiques et datacenters

Quentin Perez  
[quentin.perez@insa-rennes.fr](mailto:quentin.perez@insa-rennes.fr)  
4INFO  
2023-2024



 [Copier le lien de participation](#)

-  1 Allez sur [wooclap.com](https://wooclap.com)
-  2 Entrez le code d'événement dans le bandeau supérieur

Code d'événement  
**IBOQDI**

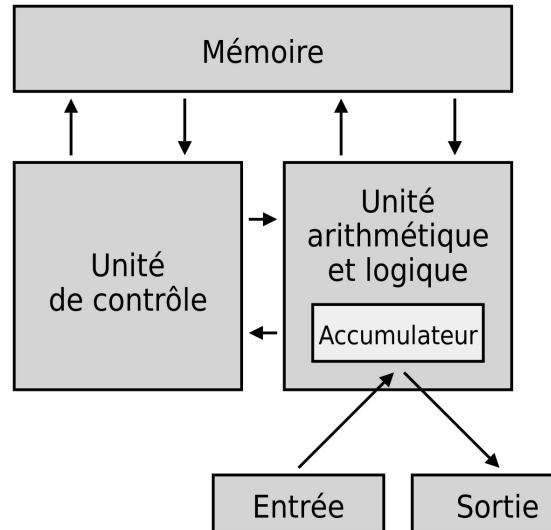
-  1 Envoyez **@IBOQDI** au **06 44 60 96 62**
-  2 Vous pouvez participer

# L'architecture informatique : John von Neumann

John von Neumann (1903-1957)  
mathématicien  
américano-hongrois.

A contribué à la logique  
mathématique et notamment à la  
théorie des ensembles.

**Créateur de l'architecture  
informatique portant son nom qui  
est aujourd'hui l'architecture  
utilisée dans presque l'entièreté  
des ordinateurs**



Architecture de von Neumann



John von Neumann dans les années 40

# Le Génie Logiciel : Margaret Hamilton

Margaret Hamilton (1936)  
informaticienne et ingénierie  
système.

A contribué à la conception  
système de l'Apollo Guidance  
Computer.

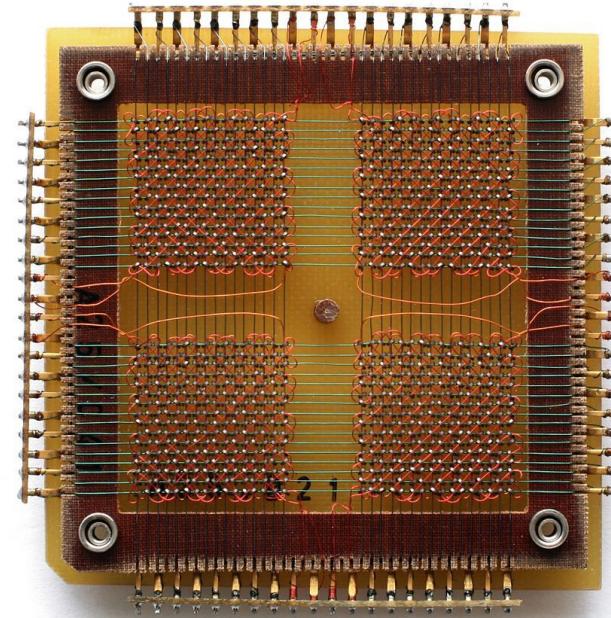
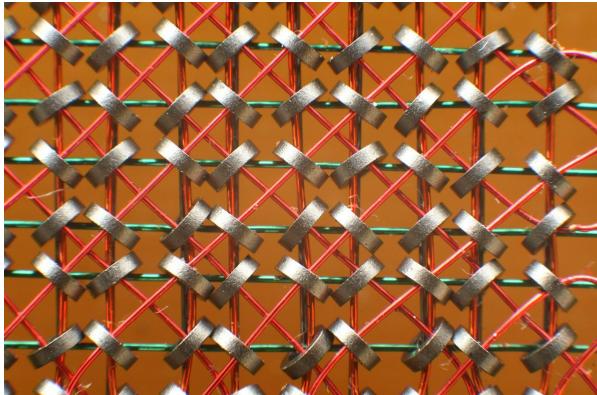
**Créatrice du champ scientifique  
et technique : Génie Logiciel**



# Évolution du matériel informatique

# La mémoire

Années 60 : Mémoire à tores magnétiques : maillage composé de ferrites et de conducteurs enchevêtrés



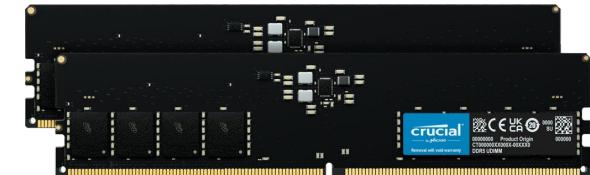
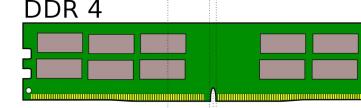
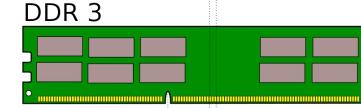
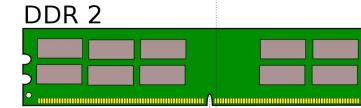
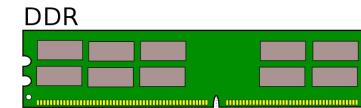
PCB mémoire de 32x32 d'une capacité de 128 octets

# La mémoire

Depuis les années 2000 : DDR SDRAM  
ou *Double Data Rate Synchronous  
Dynamic Random Access Memory*

DDR (2000) → DDR5 (2019)

100MHz → 4000MHz



Barrettes de 16Go de DDR5

# La mémoire

*DDR (2000) → DDR5 (2019)*

*2.5V pour la DDR → 1.1V-1.25V pour la DDR5*

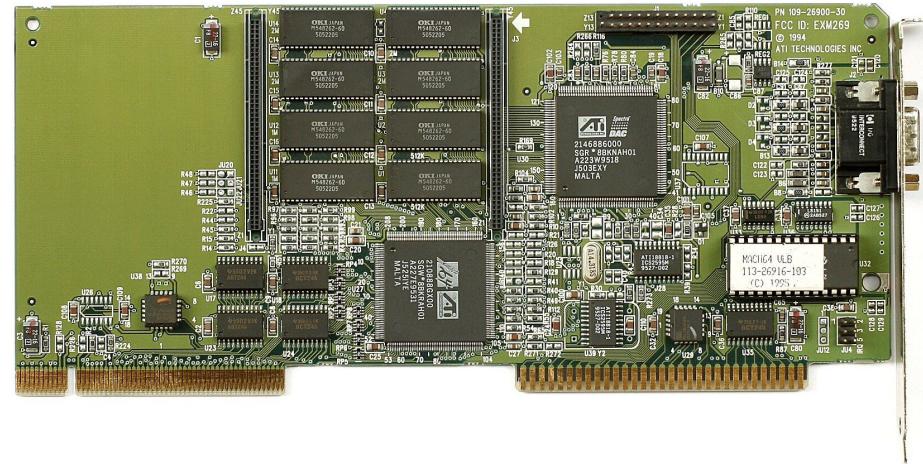
*1 à 3W en DDR ⇒ 0.782W Max en DDR5 (1 barrette de 32GB à 1.1V) sur l'opération la plus coûteuse (0.711mA) [[Datasheet SK-Hynix](#)]*

Norme DDR	Fréquence	Taux de transfert	Tension
Standard	MHz	Go/s	Volt
DDR	200-400	1,6-3,2	2,5
DDR2	400-1066	3,2-8,5	1,5-1,8
DDR3	800-2133	6,4-17	1,35-1,5
DDR4	1600-4800	12,8-32	1,2-1,35
DDR5	4800-7200	32-56	1,1-1,25

# La carte graphique ou GPU

Initialement conçu pour faire des traitements purement graphiques ! Mais utilisée pour d'autres applications aujourd'hui.

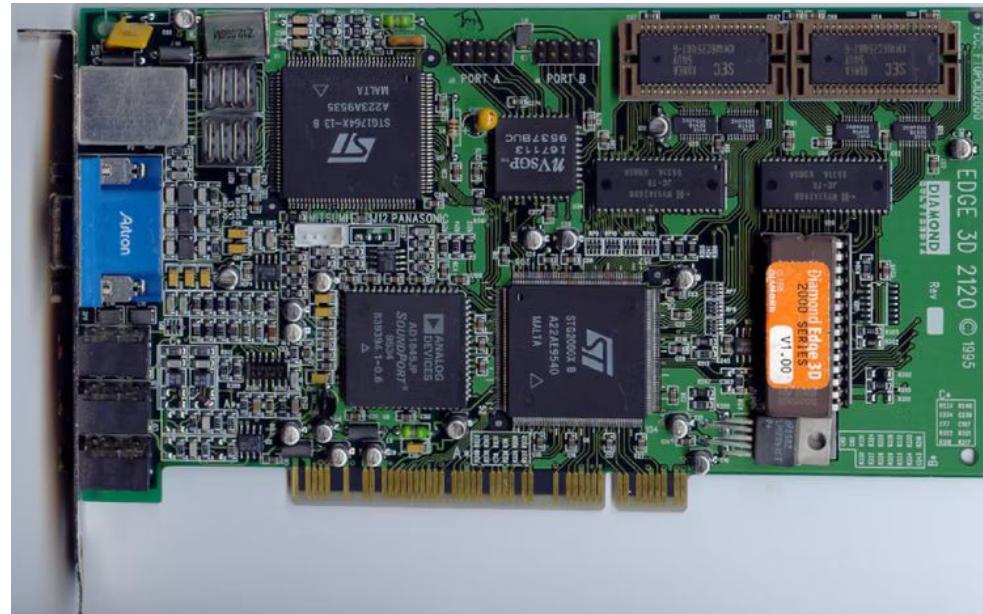
Une des premières cartes "modernes" : l'ATI Mach8 (1991), capable de sortir  $1024 \times 768 \times 256$  couleurs



# La carte graphique ou GPU

Initialement conçu pour faire des traitements purement graphiques ! Mais utilisée pour d'autres applications aujourd'hui.

Premières cartes “modernes” : NVIDIA NV1 (1995)



# La carte graphique ou GPU

Premières cartes  
“modernes” : l'ATI Radeon  
8500

- Bus AGP
- 64 Mo de DDR-SDRAM  
(c'était fou !)
- 290 MHz (fréquence la  
plus haute du marché à  
l'époque, devant les  
GeForce3)
- Puissance max 48.25W



# La carte graphique ou GPU

Carte actuelle très haut de gamme : NVIDIA RTX 4090

[[datasheet](#)]

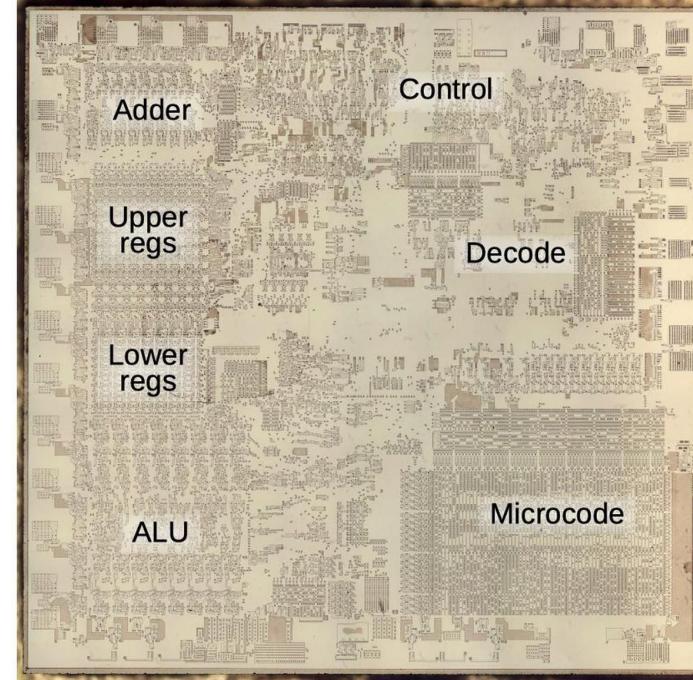
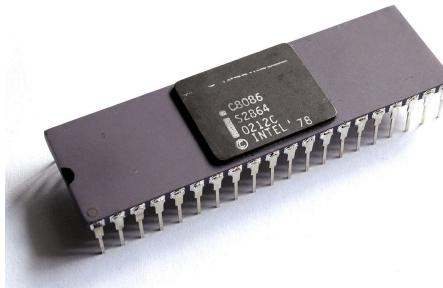
- Bus PCI-Express 16x
- 24 GB GDDR6
- 2,23 GHz
- Puissance max = 450W



# Le processeur ou CPU

1979 : Premier processeur “moderne” x86,  
l'Intel 8086

- 16 bits
- jeu d'instructions x86
- **29 000 transistors**
- **4 à 10 MHz**
- Finesse de gravure : 3 µm (3000nm)



Die de l'Intel 8086

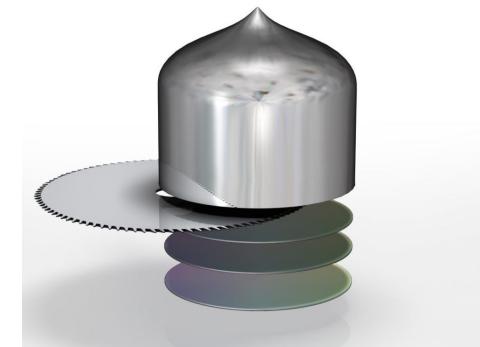
# Le CPU : focus sur la fabrication de cette petite puce ☐ de silicium

Un CPU est un composant “gravé” par photolithographie via une émission de photons sur une plaque en silicium appelée **Wafer**

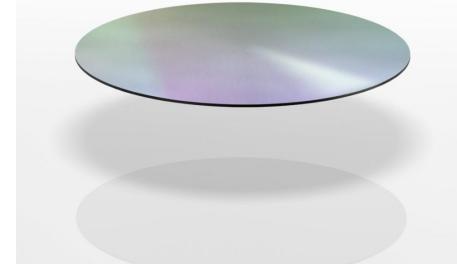
**Wafer** = disque de silicium issu d'un lingot de silicium fabriqué avec du “silicate ☀️” fondu à 1200°C. La pureté du silicium est de l'ordre de 99,9999%



Lingots de Silicium



Découpage des wafers de silicium



Wafer de silicium

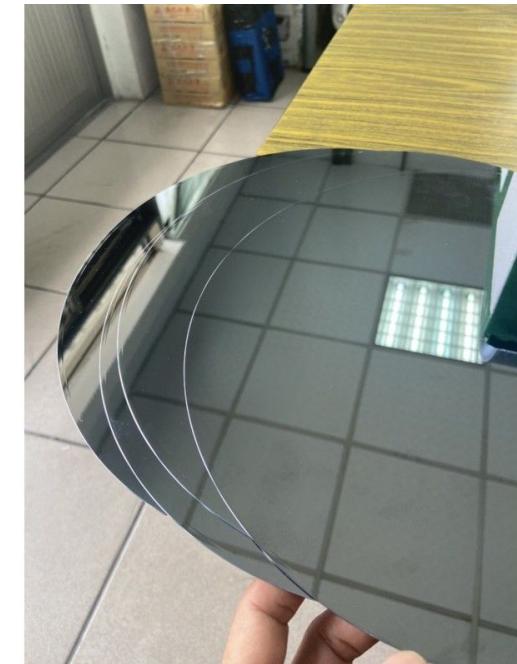
## Le CPU : focus sur la fabrication de cette petite puce de silicium

Un CPU est un composant “gravé” par photolithographie via une émission de photons sur une plaque en silicium appelée **Wafer**

**Wafer** = disque de silicium issu d'un lingot de silicium fabriqué avec du “silicate ” fondu à 1200°C. La pureté du silicium est de l'ordre de 99,9999%



Lingots de Silicium



Wafers non-gravés

# Le CPU : focus sur cette petite puce de silicium

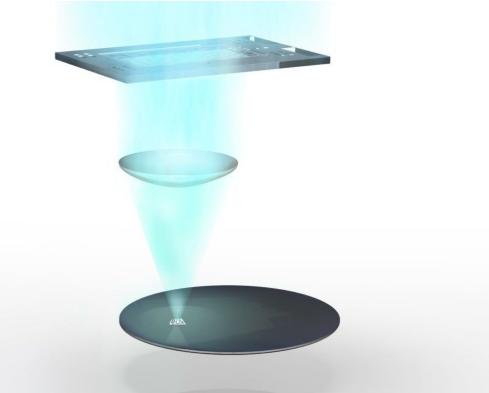
Un CPU est un composant “gravé” par photolithographie via une émission de photons sur une plaque en silicium appelée **Wafer**

La photolithographie va superposer jusqu'à 30 masques [\[source Intel\]](#) pour créer différentes couches sur le CPU

Bombardement d'ions puis dépôts de substrats pour former les transistors



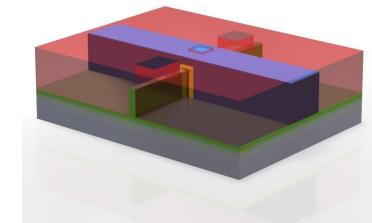
Wafers non-gravés



Photolithographie



Bombardement d'ions



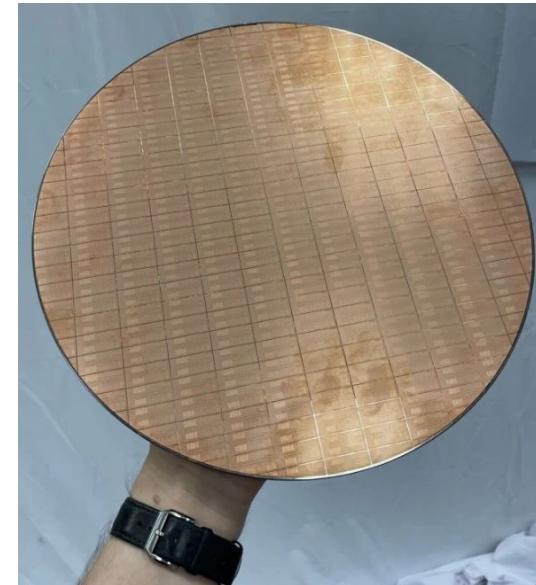
Création du transistor par dépôt de substrats

# Le CPU : focus sur cette petite puce de silicium

Un CPU est un composant “gravé” par photolithographie via une émission de photons sur une plaque en silicium appelée **Wafer**

La photolithographie va superposer jusqu'à 30 masques [[source Intel](#)] pour créer différentes couches sur le CPU

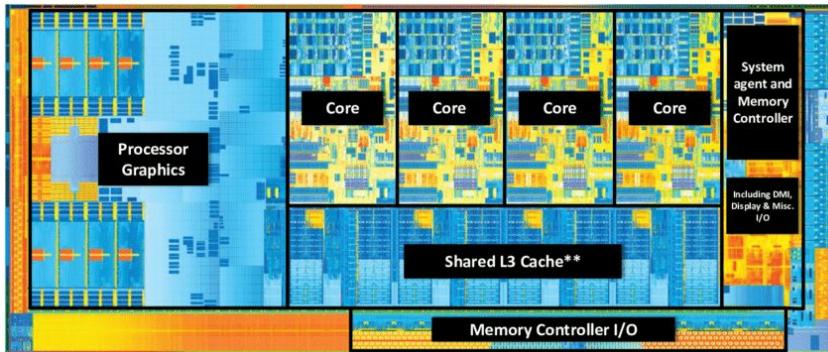
Bombardement d'ions puis dépôts de substrats pour former les transistors



Wafer d'Intel Core i9-13900K (Raptor Lake)

# Le CPU : focus sur cette petite puce de silicium

Ce wafer une fois terminé est ensuite découpé. Chaque découpe correspond à une puce intégrée CPU : le **die**



Die de CPU Quad-Core Intel Ivy Bridge (2012)



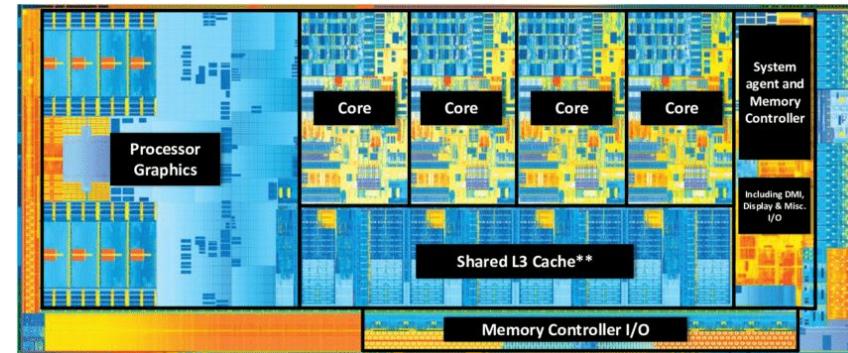
Prélèvement des dies

# Le CPU : focus sur cette petite puce de silicium

Le CPU contient les éléments fonctions suivantes :

- **Contrôleur mémoire** pour gérer les échanges avec la RAM
- **De la mémoire cache de différents niveaux : L1/L2/L3.** Plus le chiffre est petit devant le L, plus elle proche du Core sur le die et donc rapidement accessible.

Cette mémoire permet de stocker des informations lors des calculs afin d'y avoir plus rapidement accès et éviter un accès RAM. Cela se passe par exemple lors de récursion, la pile va d'abord être rentrée en cache avant d'être envoyée en mémoire RAM si elle est trop grande.

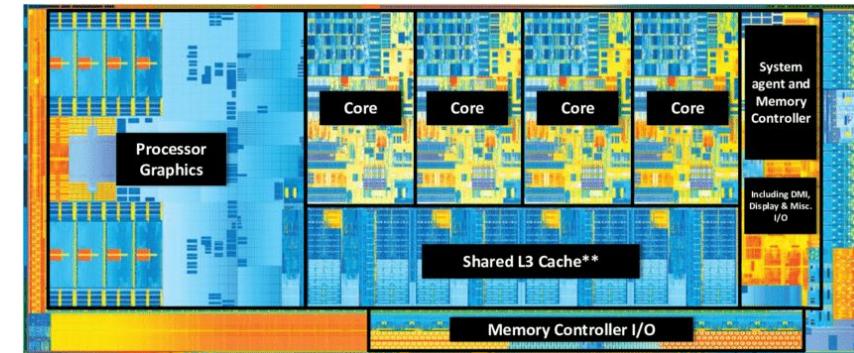


Die de CPU Quad-Core Intel Ivy Bridge (2012)

# Le CPU : focus sur cette petite puce de silicium

Le CPU contient globalement les éléments suivants :

- **Contrôleur mémoire** pour gérer les échanges avec la RAM
- **De la mémoire cache de différents niveaux : L1/L2/L3.**
- Des cœurs de calcul
- Un iGPU (integrated GPU)

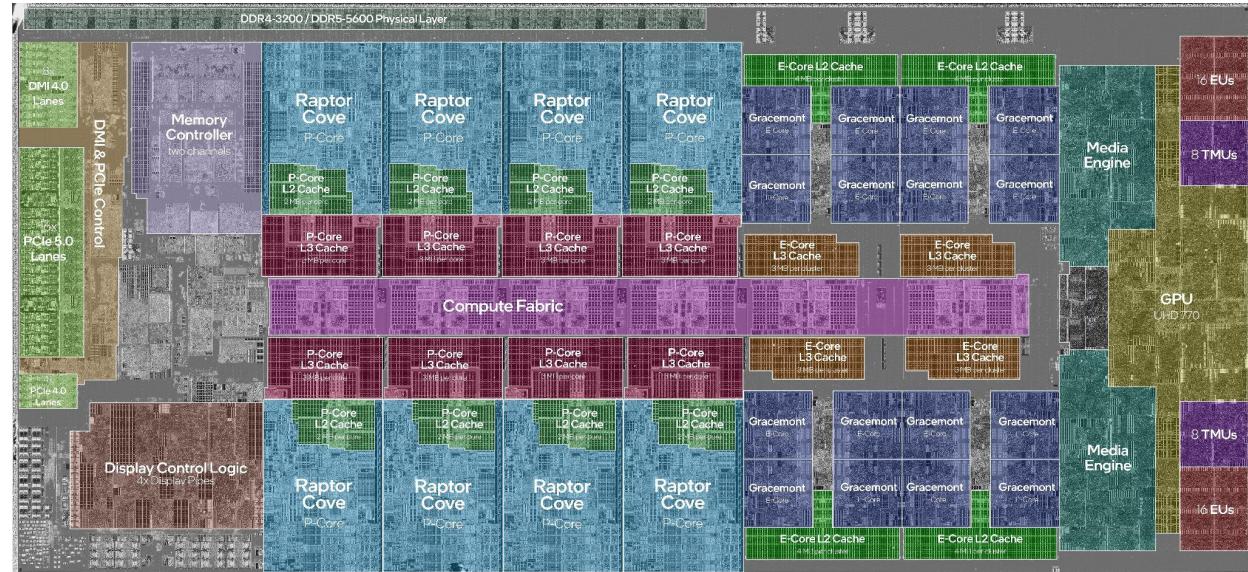


Die de CPU Quad-Core Intel Ivy Bridge (2012)

# Le CPU : focus sur cette petite puce de silicium

2022 : Intel Core i9-13900K (Raptor Lake) [[Datasheet](#)]

- 64bits
- Jeu d'instructions : x64
- Performance-core Base Frequency : **3Ghz**
- Efficient-core Max Turbo Frequency : 4.30GHz
- Max Turbo Frequency : **5.80GHz**
- Finesse de gravure de 10 nm
- **14,2 milliards de transistors**
- 24 coeurs (P-core)
- 16 efficient-cores (E-core)
- Processor Base Power : **125 W**
- Maximum Turbo Power : **253 W**



Die de CPU Intel Core i9-13900K (Raptor Lake)

# Gordon Moore et la loi éponyme

Gordon Earle Moore (1929-2023)  
physicien et co-fondateur d'Intel  
en 1968.

Il énonce la loi de Moore en 1965 :  
**doublement du nombre de  
transistors tous les 18 mois.  
Ajustée à tous les 2 ans, 10 ans  
après la première “prédiction”**



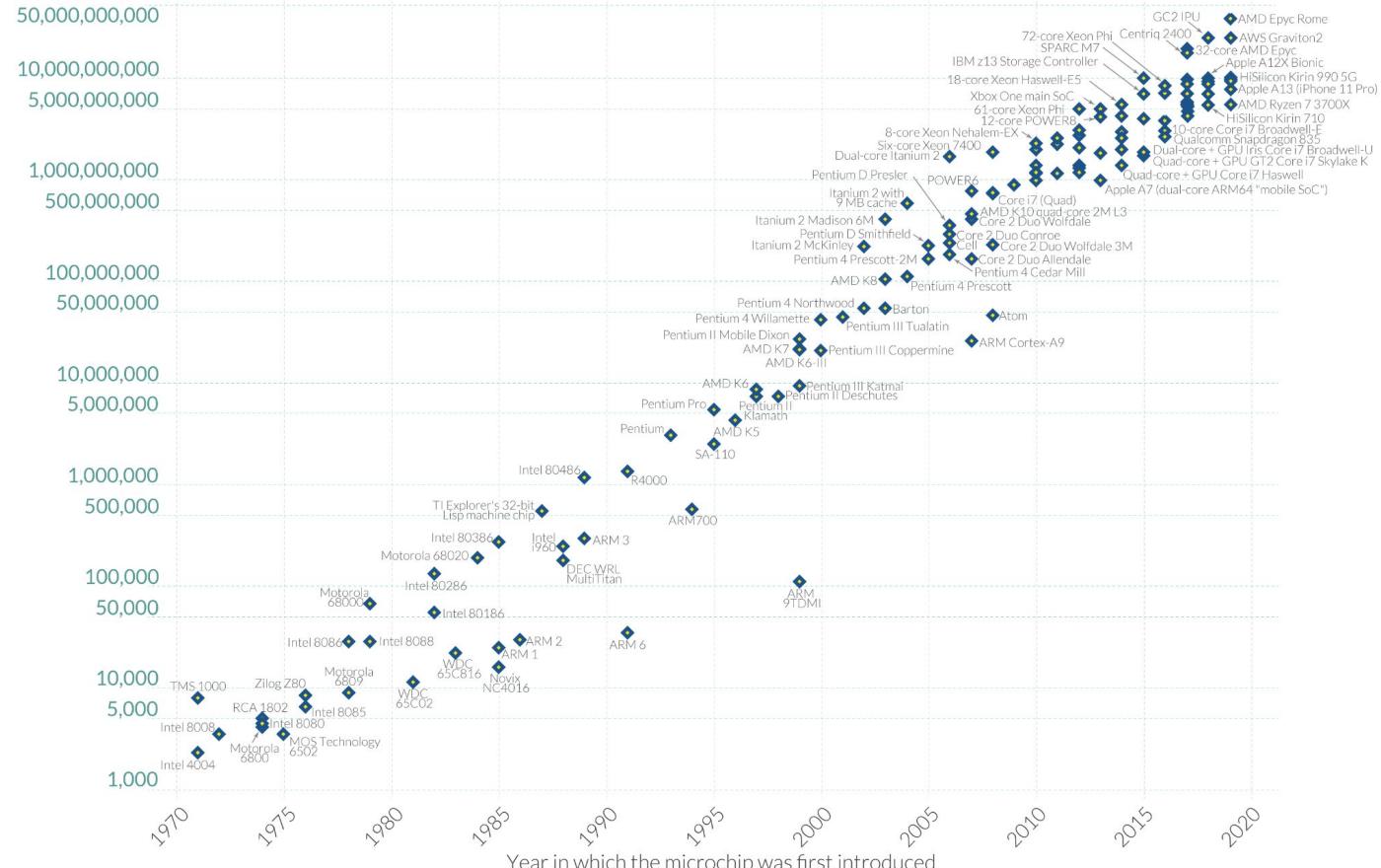
# Loi de Moore : ça joue !

[<https://ourworldindata.org/moores-law>]

## Moore's Law: The number of transistors on microchips has doubled every two years

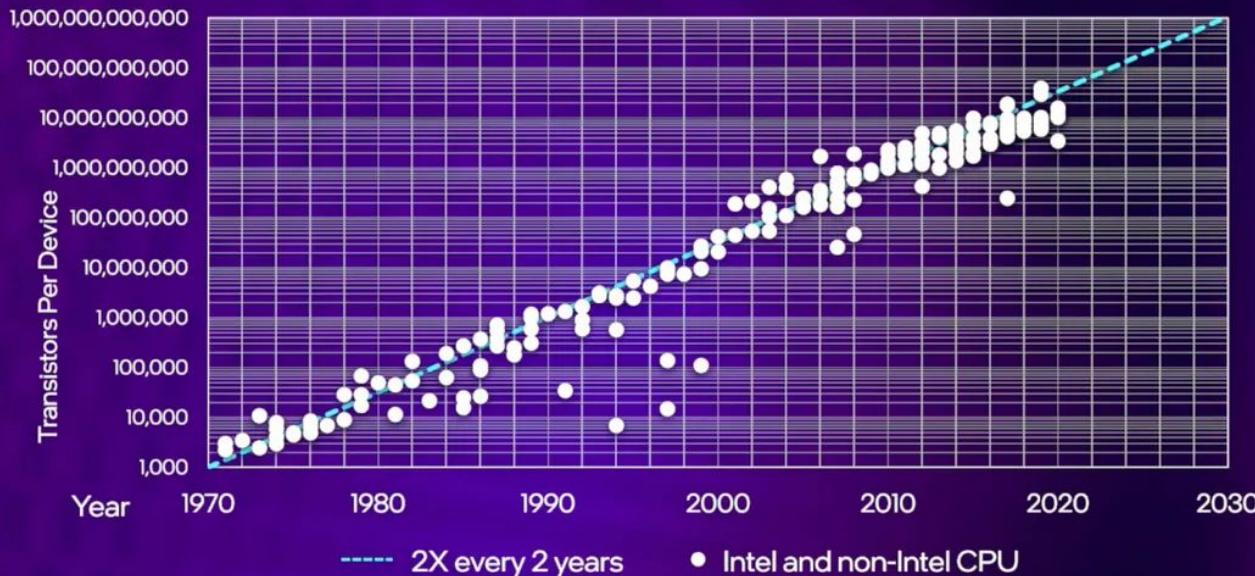
Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

### Transistor count



# Loi de Moore : ça joue !

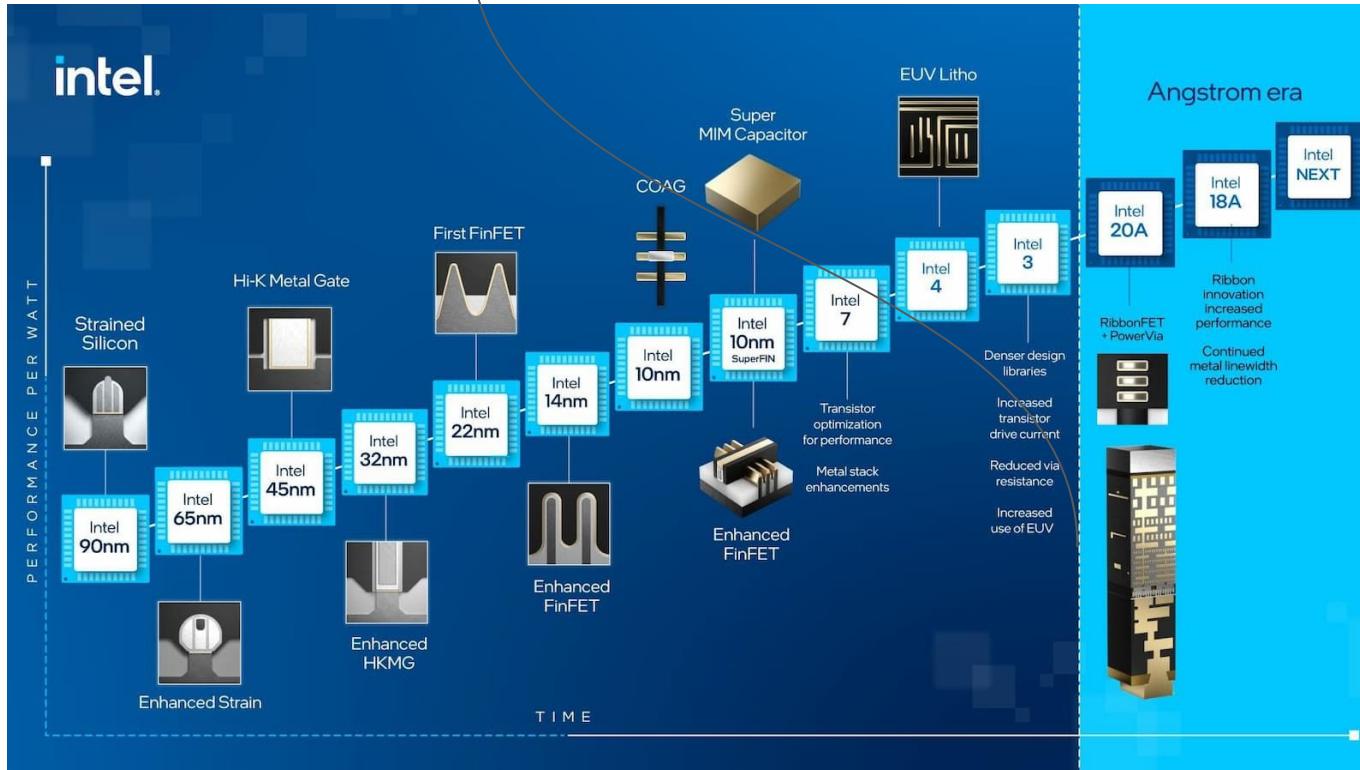
Moore's Law  
is alive and well



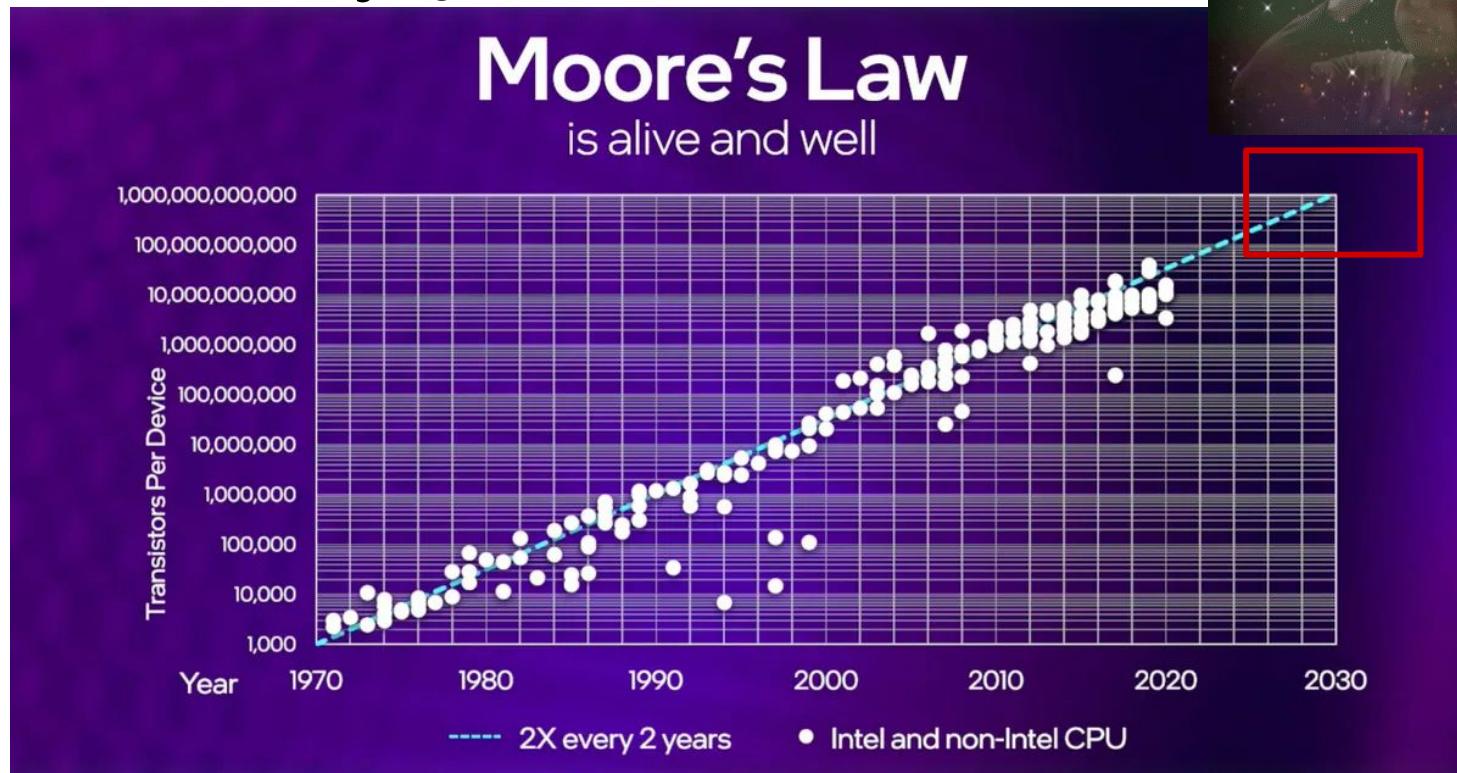
[[Site Intel](#)]

# Loi de Moore : ça joue !

[[Site Intel](#)]



# Loi de Moore : ça joue !



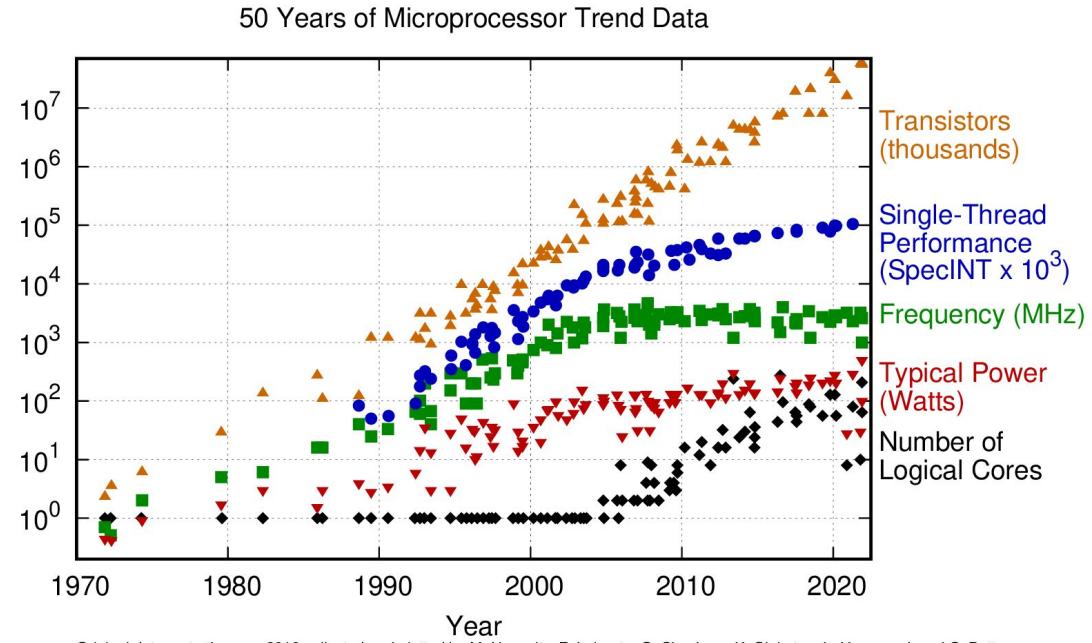
# Loi de Moore : ça joue ! (modulo la physique...)

## Atteinte des limites physiques du silicium sur les fréquences (~2006)

Performance single thread qui tend vers un plateau

Compensation → réduction de la finesse de gravure et augmentation du nombre de cœurs logiques

**Consommation qui tend à se stabiliser (pour le moment !)**



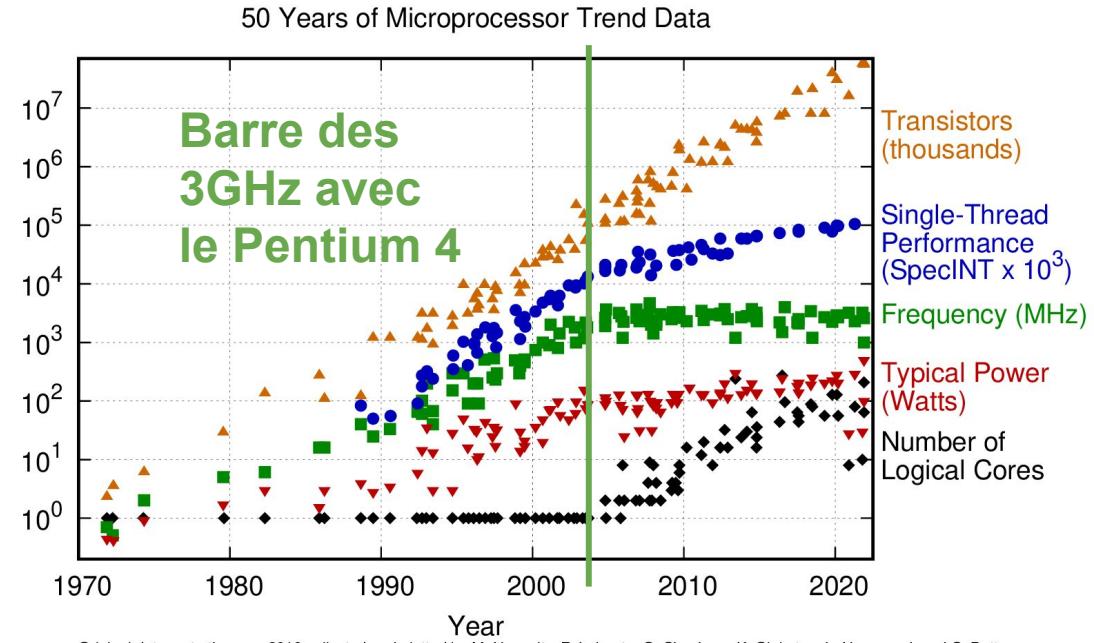
# Loi de Moore : ça joue ! (modulo la physique...)

## Atteinte des limites physiques du silicium sur les fréquences (~2006)

Performance single thread qui tend vers un plateau

Compensation → réduction de la finesse de gravure et augmentation du nombre de cœurs logiques

**Consommation qui tend à se stabiliser (pour le moment !)**



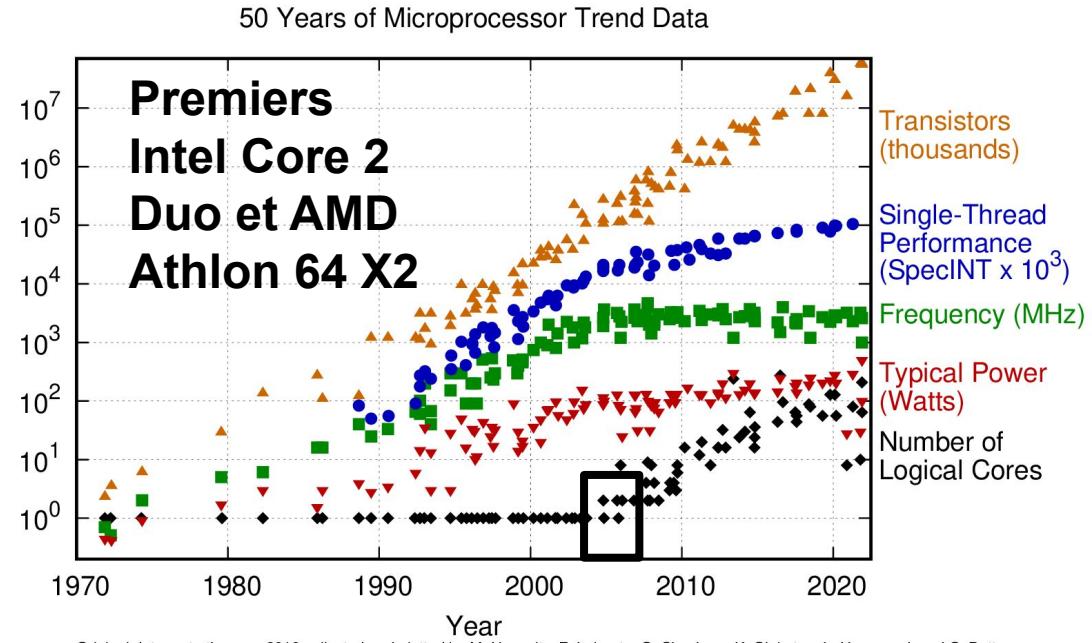
# Loi de Moore : ça joue ! (modulo la physique...)

## Atteinte des limites physiques du silicium sur les fréquences (~2006)

Performance single thread qui tend vers un plateau

Compensation → réduction de la finesse de gravure et augmentation du nombre de cœurs logiques

**Consommation qui tend à se stabiliser (pour le moment !)**

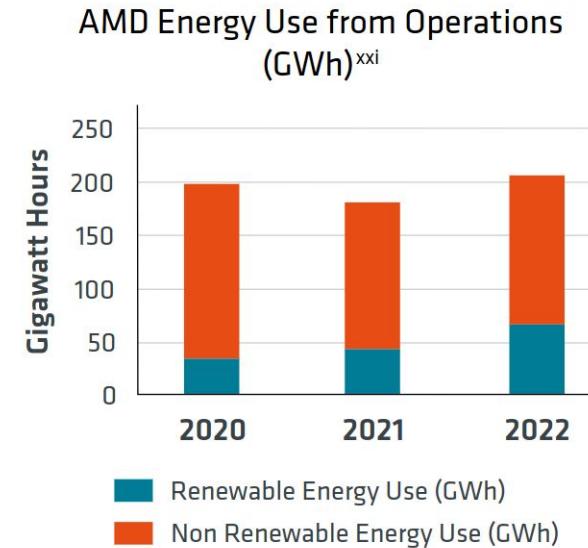
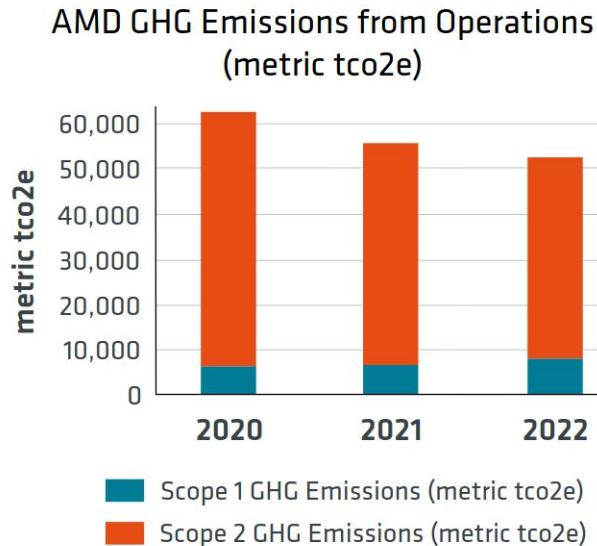


[Karl Rupp]

# Empreinte de la fabrication CPU / GPU / DRAM

# Empreinte de la fabrication des CPUs / Chips - AMD

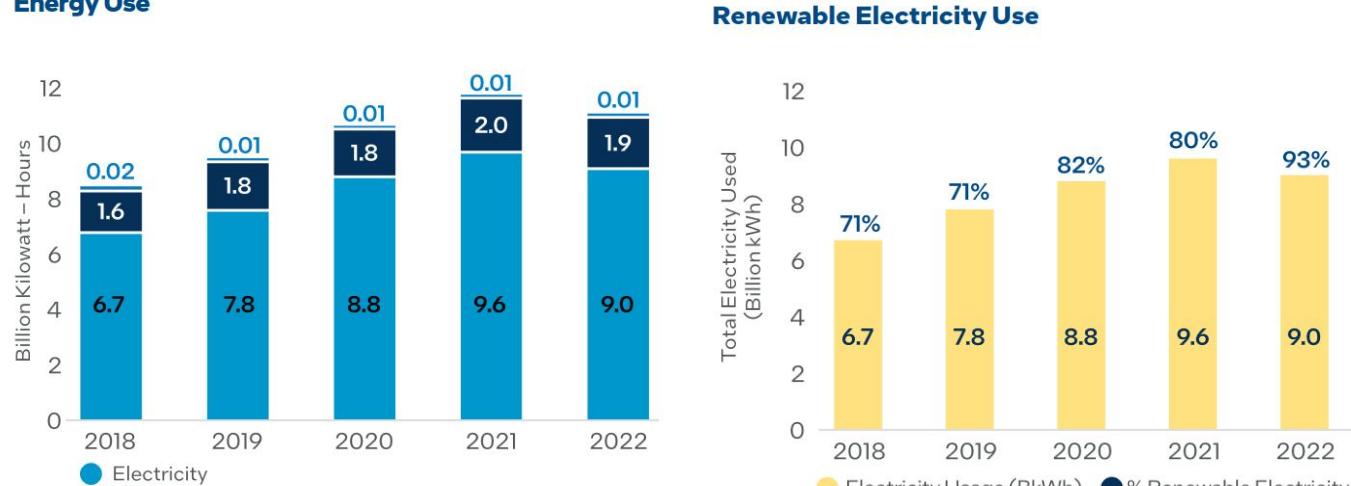
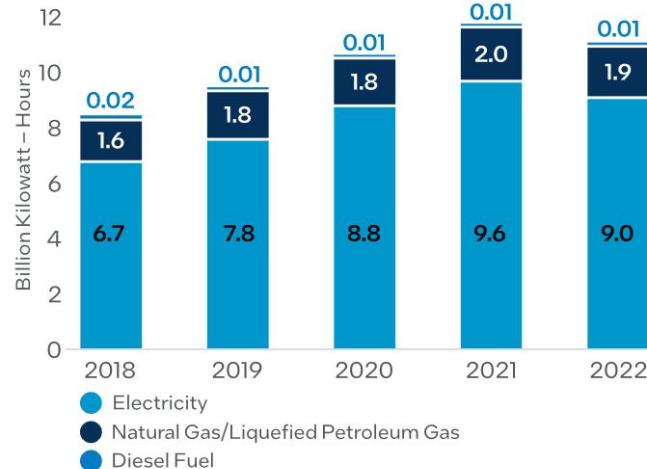
AMD 2022-23  
Corporate  
Responsibility  
Report (CSR)  
[\[AMD-CSR22\]](#)



# Empreinte de la fabrication des CPUs / Chips - Intel

Intel 2022-23  
Corporate  
Responsibility  
Report (CSR)  
[\[Intel-CSR22\]](#)

**Energy Use**



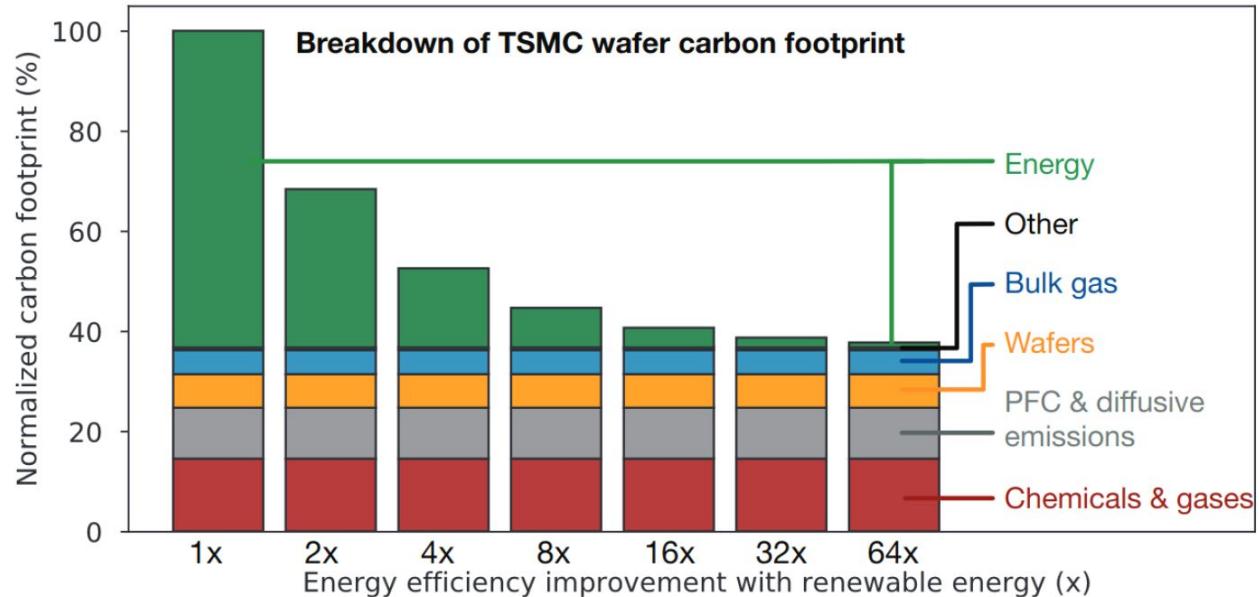
Our 2022 absolute energy use decreased 7% compared to 2021. In 2022, approximately 82% of our global energy use was electricity. The Dalian, China site was sold subsequent to year-end 2021 as part of the first closing of the divestiture of our NAND Memory business. Therefore, Dalian is not included in our sustainability goals and metrics beginning in 2022.

We achieved 93% renewable electricity across our global operations in 2022. The Dalian, China site was sold subsequent to year-end 2021 as part of the first closing of the divestiture of our NAND Memory business. Therefore, Dalian is not included in our sustainability goals and metrics beginning in 2022.

# Empreinte de la fabrication des CPUs / Chips - TSMC

**“By 2025, TSMC estimates renewable energy will produce 20% of the electricity that drives forthcoming 3nm”**

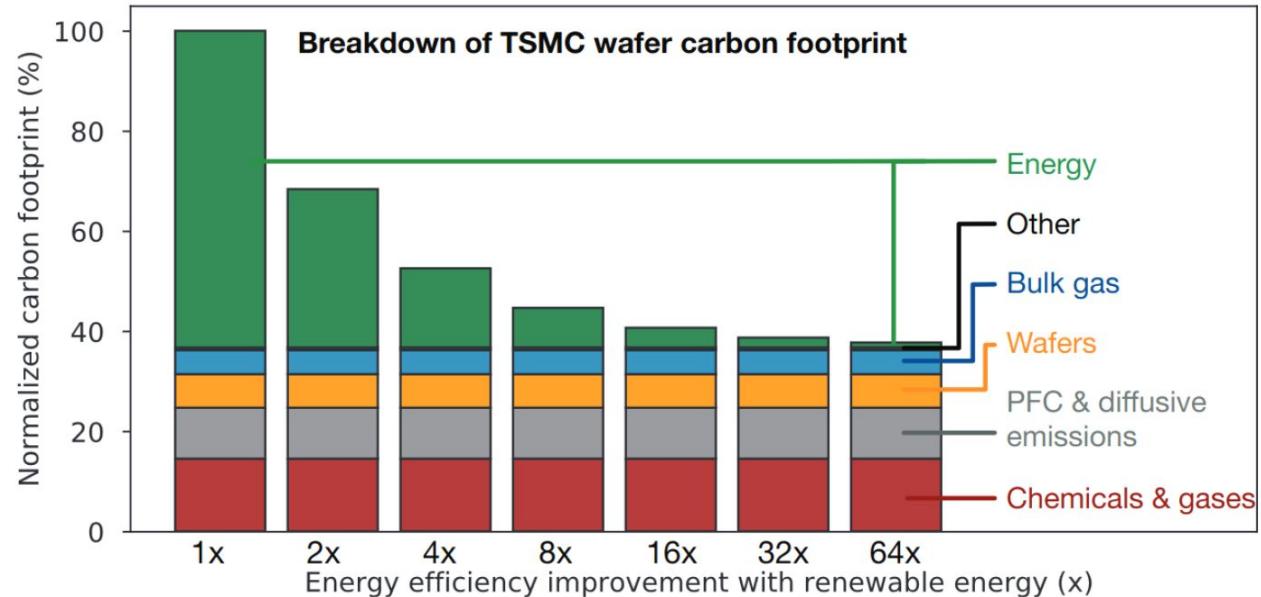
Gupta et al., “Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing”, 2021  
[\[Gupta2021\]](#)



# Empreinte de la fabrication des CPUs / Chips - TSMC

Malgré l'introduction de renouvelable dans le mix électrique pour la fabrication, il a une part incompressible d'émissions liées à la fabrication.

[[Gutpa2021](#)]



# Empreinte de la fabrication des puces RAM/SSD - SK Hynix

## SK Hynix 2023 Corporate Responsibility Report (CSR)

[SK Hynix-CSR23]

★ Overachieved   ● Achieved   ○ Underachieved

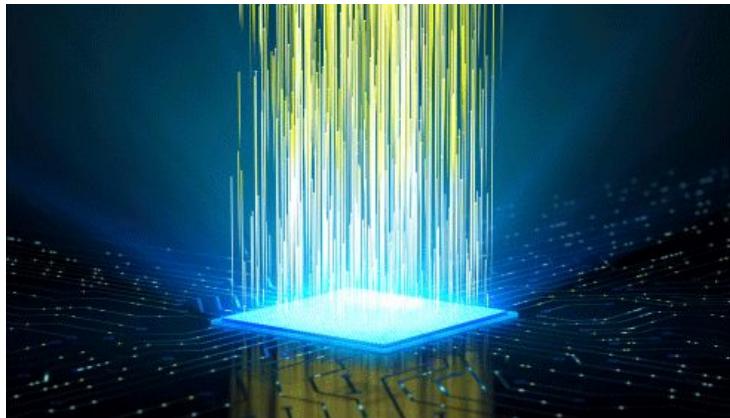
Category	2030 Goals (Base year: 2020)	2023 Targets	2022 Achievements	Compared to Target
Climate Action	Maintain Scope 1 and 2 GHG emissions at 2020 levels	6.19 million tCO <sub>2</sub> eq	7.17 million tCO <sub>2</sub> eq	★
	Reduce GHG emissions intensity by 57% (by 2026)	37% decrease	30% decrease	○
	Achieve cumulative energy savings of 3,000 GWh	678GWh	393GWh	★
	Attain 33% renewable electricity use	30%	Overseas 100% Overall 29.6%	●
Water Stewardship	Conserve 600 million tons of water (cumulative)	140 million tons	99.23 million tons	★
	Reduce water intensity by 35% (by 2026)	5% decrease	14% decrease	★
Circular Economy	Obtain ZWTL Gold (99%) certification	99% in Wuxi, 95% in Chongqing	100% in Korea	●

※ Emissions targets are based on market-based method. GHG emissions from the Dalian fabrication plant (acquired from Intel), and Key Foundry are not reflected. All intensities are measured by a unit of production (Gigabit equivalent).

★ Overachieved   ● Achieved   ○ Underachieved   - N/A (A biennial goal)

Category	2030 Goals (Base year: 2020)	2023 Targets	2022 Achievements	Compared to Target
Sustainable Manufacturing	Reduce GHG emissions from process gases by 40%	26% decrease	5.2% increase	○
	Achieve 95% scrubber efficiency	90% (overall)	94% (domestic)	●
Green Technology	Double HBM energy efficiency	1.38 times (2024)	1.28 times	●
	Increase eSSD energy efficiency by 1.8 times	1.26 times	1.2 times (2021)	-

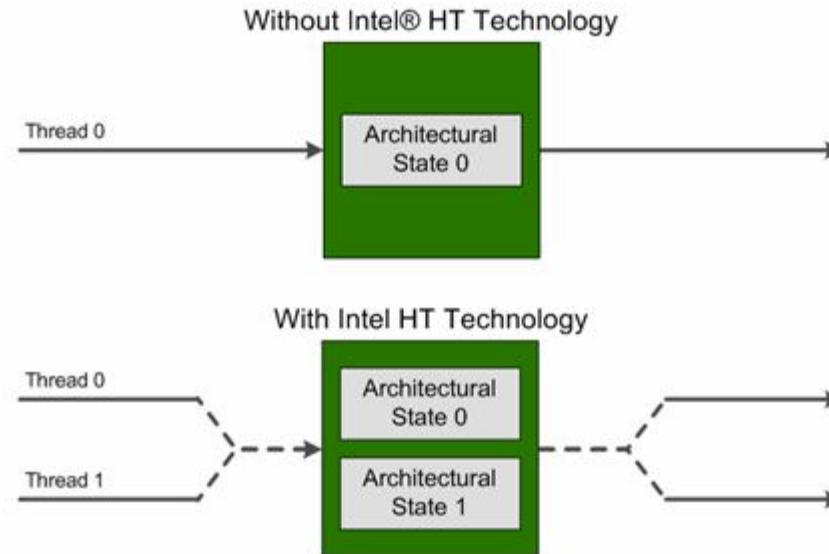
# Mécanismes d'optimisation des processseurs



# Intel Hyper-threading | AMD Simultaneous MultiThreading (SMT)

Technologie introduite en 2004 par Intel et intégrée par AMD sur les architectures Ryzen en 2020

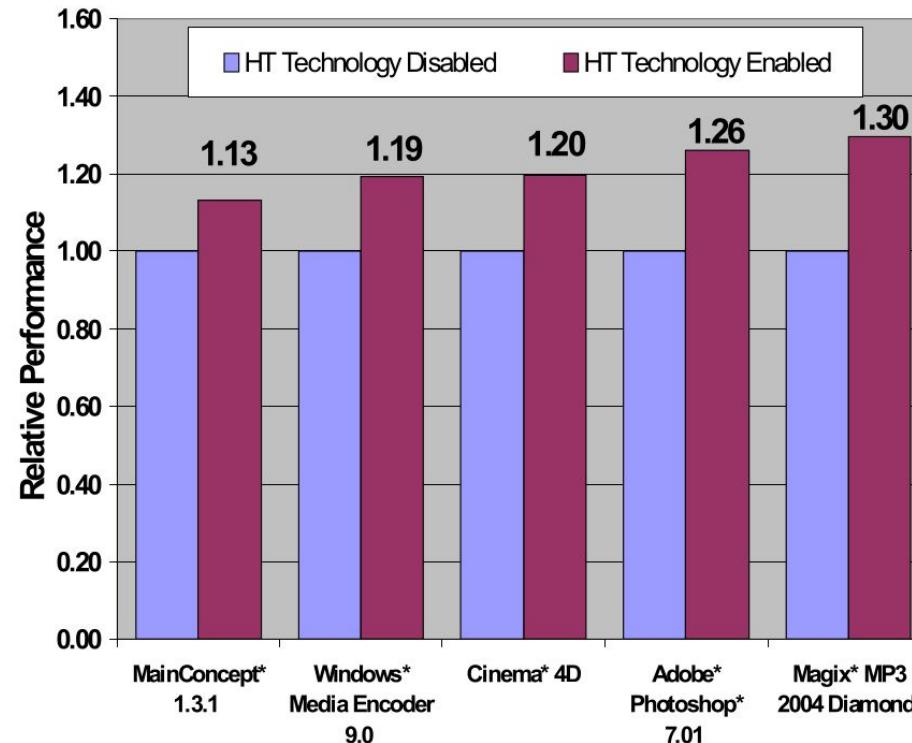
Principe : un cœur physique fonctionne comme deux "cœurs logiques"



# Intel Hyper-threading | AMD Simultaneous MultiThreading (SMT)

Principe : un cœur physique fonctionne comme deux "cœurs logiques"

Boggs et al., “*The Microarchitecture of the Intel® Pentium® 4 Processor on 90nm Technology*”, 2004  
[\[Boggs04\]](#)



# Intel Hyper-threading | AMD Simultaneous MultiThreading (SMT)

POUR LE FUN :  
configuration utilisée  
par Intel pour l'  
évaluation.

Boggs et al., “*The Microarchitecture of the Intel® Pentium® 4 Processor on 90nm Technology*”, 2004  
[\[Boggs04\]](#)

Processor	Pre-production Intel® Pentium® 4 processor 3.40E GHz supporting Hyper-Threading Technology
Motherboard	Intel Desktop Board
Motherboard BIOS	Pre-production BIOS
Cache	1MB full-speed Advanced Transfer Cache
Memory Size	512MB (4x128MB) Samsung PC3200U-30330-C3 M368L1624DTM-CCC 128MB DDR PC3200 CL3 Single-Sided DDR400 memory
Hard Disk	IBM 120GXP 80 GB IC35L080AVVA07-0 ATA-100
Hard Disk Driver	MS default UDMA-5
Video Controller/Bus	ATI Radeon 9700 Pro AGP graphics
Video Memory	128 MB DDRAM
Operating System	Microsoft* Windows* XP Professional, Build 2600, Service pack 1 on NTFS Default Microsoft DirectX* 9.0b
Video Driver Revision	ATI CATALYST 6.13.10.6166 driver
Graphics	1024x768 resolution, 32-bit color

# Intel Turbo-Boost | AMD Turbo Core

Technologie introduite  
en 2008 par Intel.

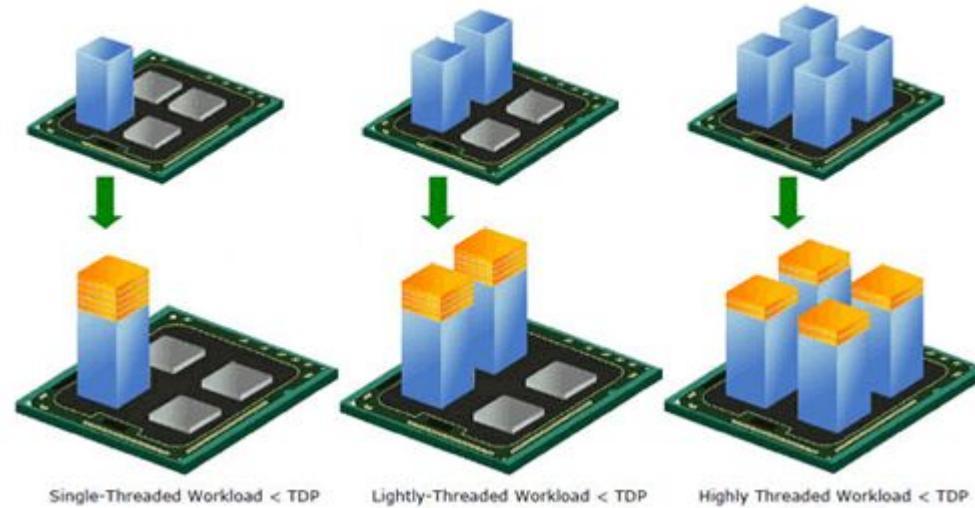
Principe : adapter la  
fréquence sur les  
différents cœurs en  
fonction de la charge



# Intel Turbo-Boost | AMD Turbo Core

Technologie introduite en 2008 par Intel.

Principe : adapter la fréquence sur les différents cœurs en fonction de la charge

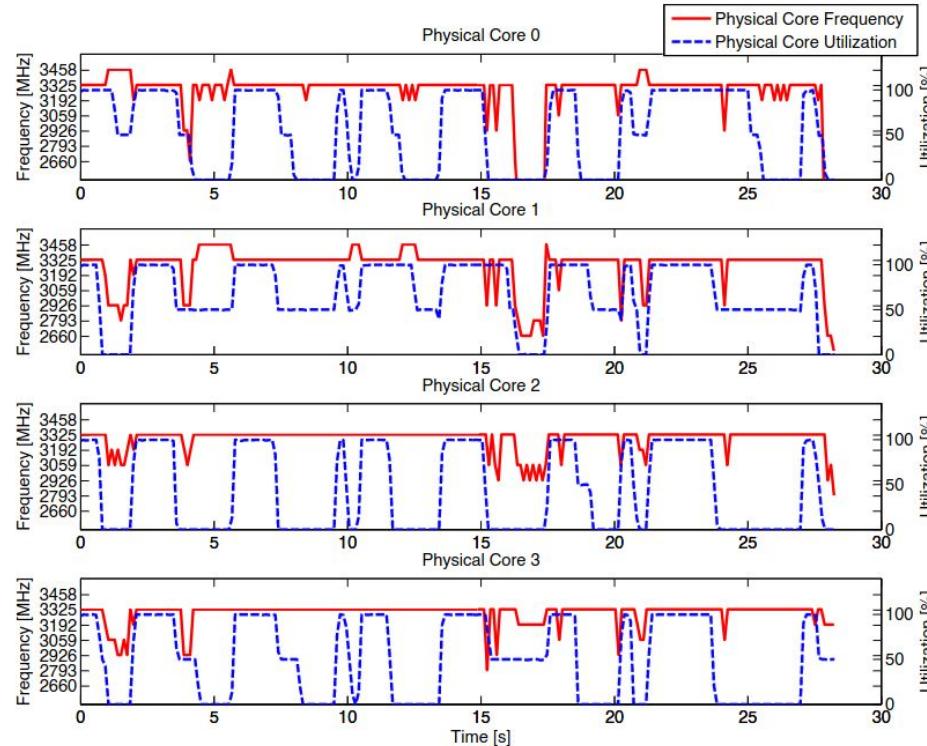


# Intel Turbo-Boost | AMD Turbo Core

Technologie introduite en 2008 par Intel.

Principe : adapter la fréquence sur les différents coeurs en fonction de la charge

Charles et al.,  
“Evaluation of the  
Intel® Core™ i7 Turbo  
Boost feature”, 2009  
[\[Charles2009\]](#)



# Mesure de l'énergie d'un CPU Intel

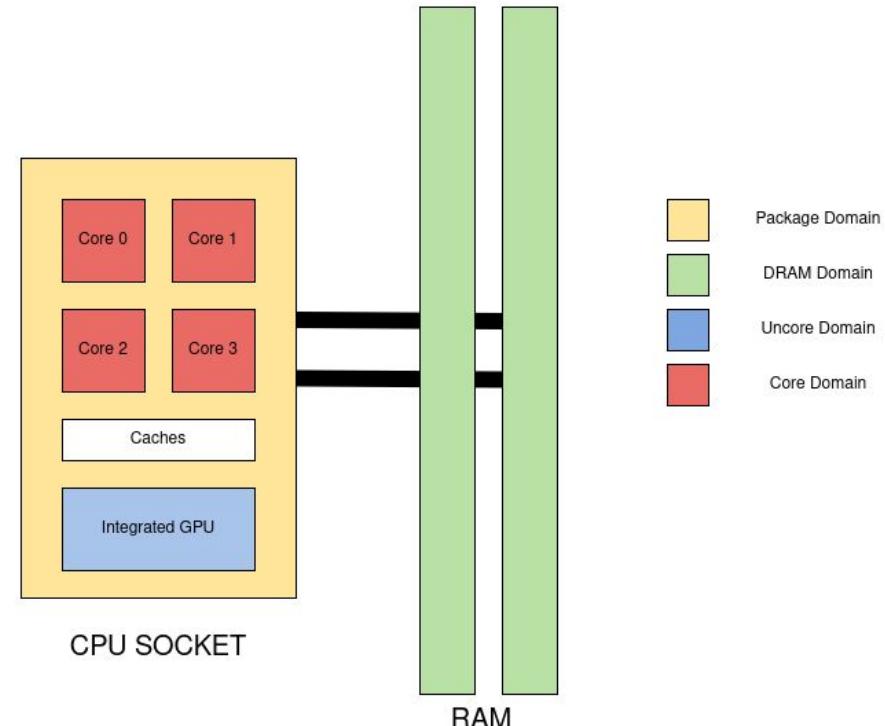
Il existe des registres spécifiques aux processeurs Intel permettant de mesurer la consommation d'énergie depuis que le processeur est allumé : **RAPL (Running Average Power Limit)**

Introduite en 2012 par Intel dans la génération Sandy Bridge

**RAPL** permet d'obtenir la consommation d'énergie du CPU en micro-joules à différents endroits du processeur.

La fréquence d'actualisation de RAPL est d'environ 1000Hz

Les valeurs RAPL sont aisément lisibles sur un système Linux

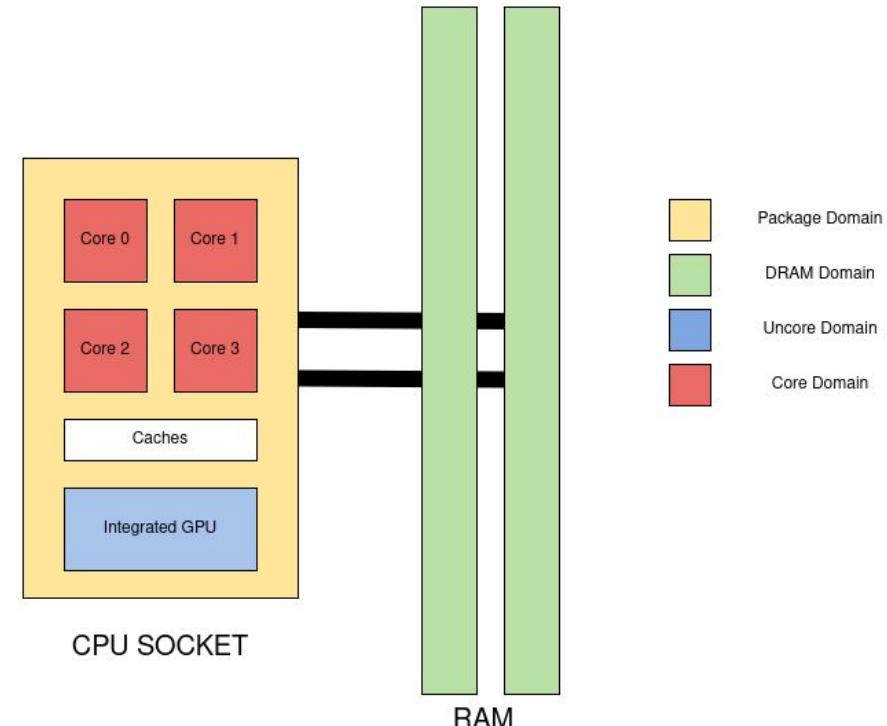


# Mesure de l'énergie d'un CPU Intel

RAPL permet d'obtenir la consommation d'énergie du CPU en micro-joules à différents endroits du processeur :

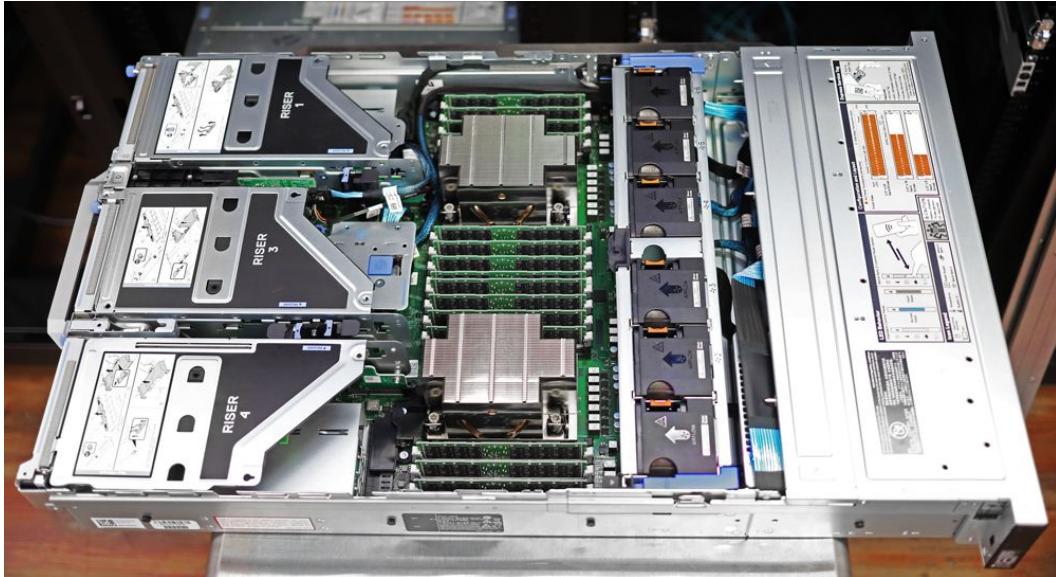
- **Core** : énergie consommée par les coeurs du CPU
- **Uncore** : énergie consommée par l'integrated GPU
- **Package** : qui mesure **Core** + **Uncore** + cache mémoire L1/L2/L3
- **Psys** : qui mesure la consommation du die complet

Les valeurs RAPL sont aisément lisibles sur un système Linux sur :  
"/sys/class/powercap/intel-rapl"

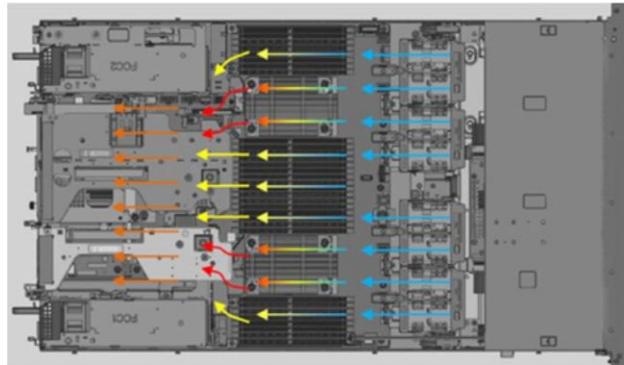


# Composition serveurs et PC

# Serveur “classique” - Dell EMC PowerEdge R750



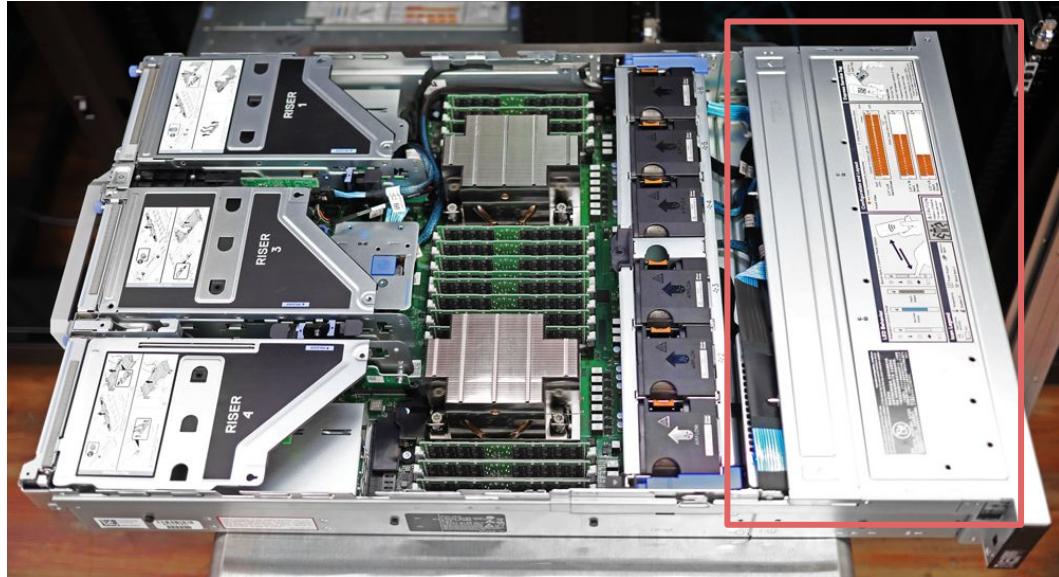
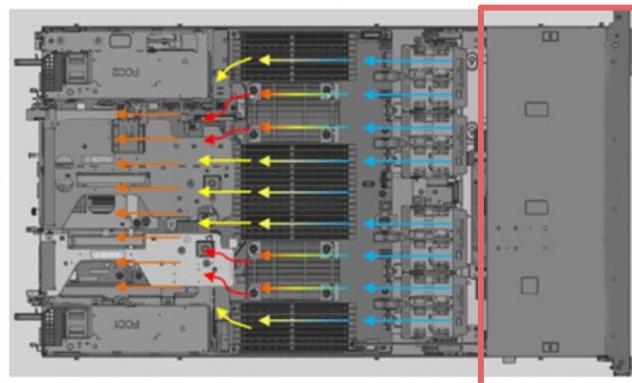
R750



# Serveur “classique” - Dell EMC PowerEdge R750

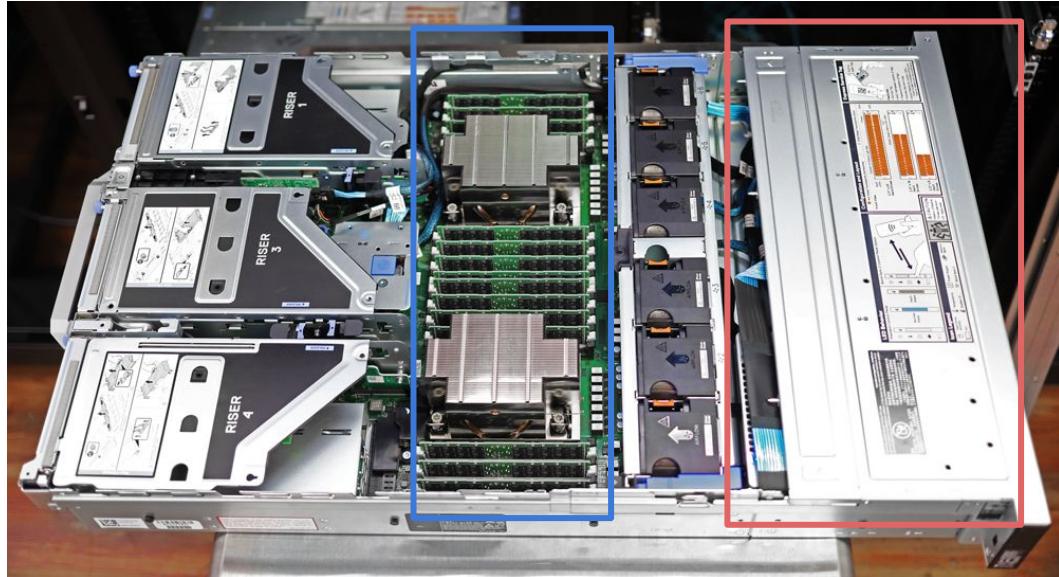
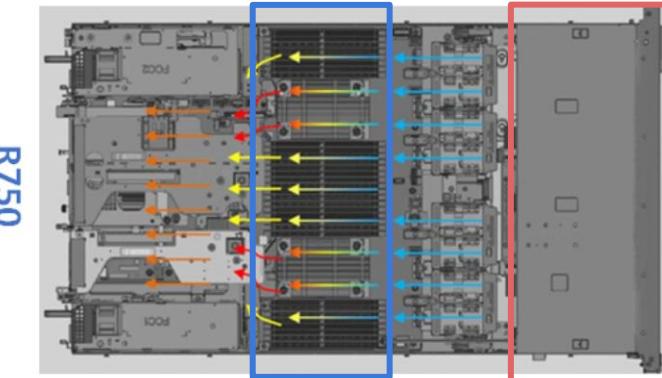


R750



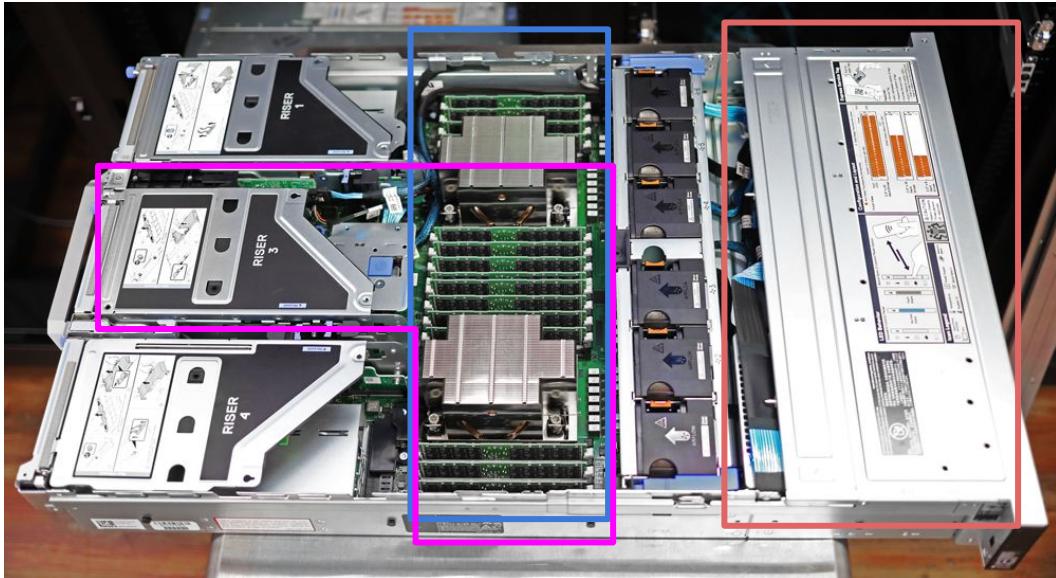
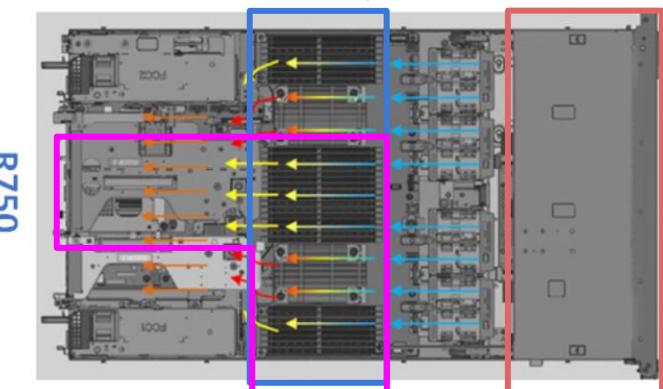
HDDs / SSDs

# Serveur “classique” - Dell EMC PowerEdge R750



**HDDs / SSDs  
2 CPUs + SDRAM**

# Serveur “classique” - Dell EMC PowerEdge R750



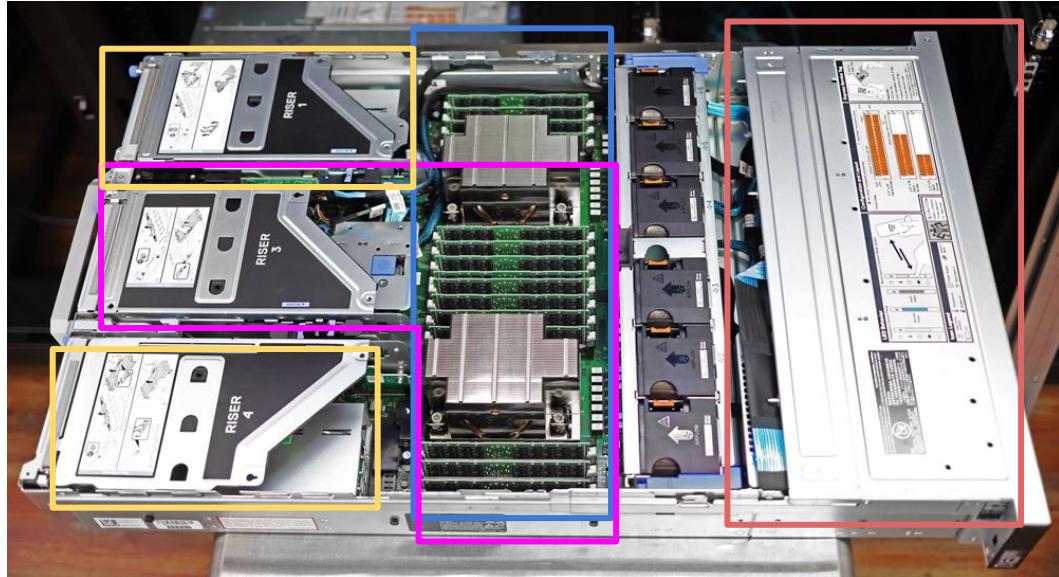
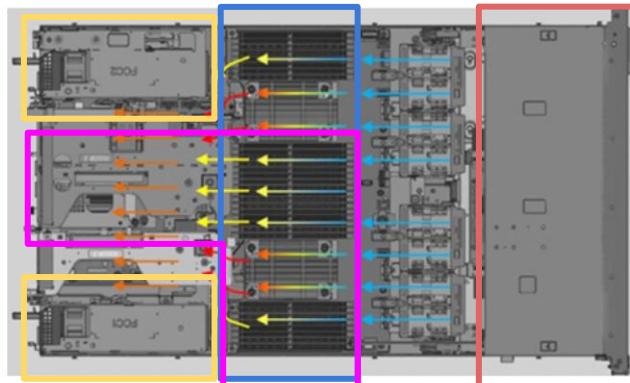
HDDs / SSDs  
2 CPUs + SDRAM

Carte mère

# Serveur “classique” - Dell EMC PowerEdge R750



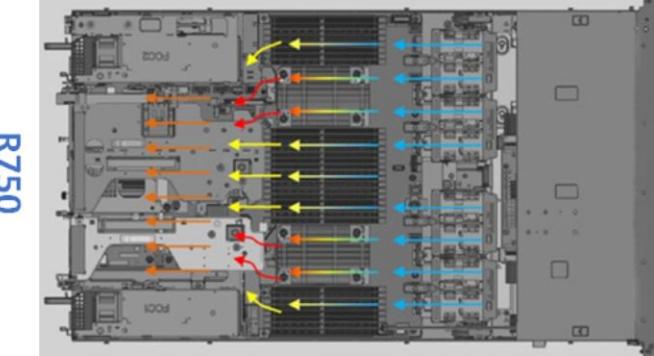
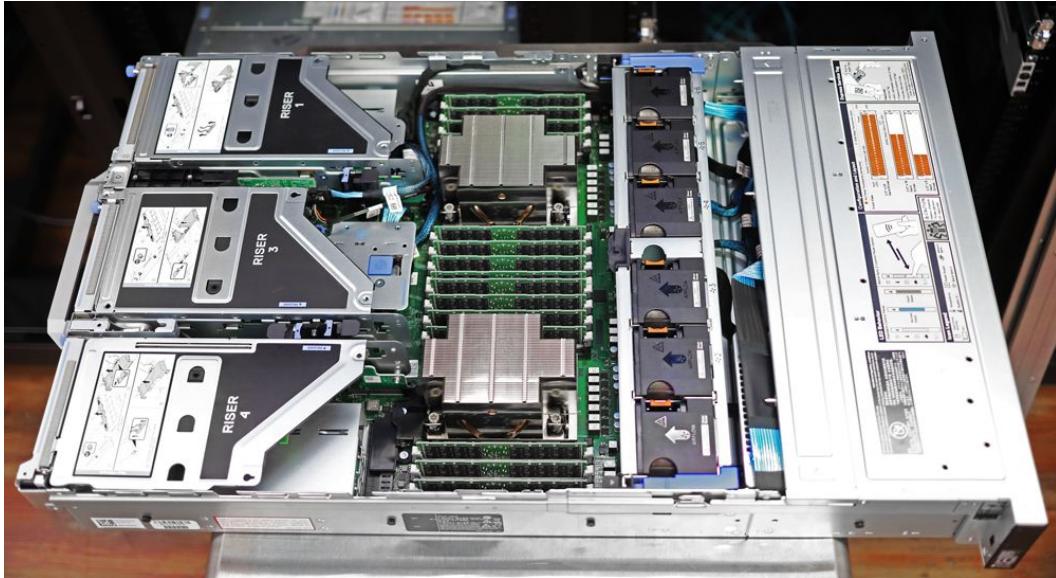
R750



**HDDs / SSDs**  
**2 CPUs + SDRAM**

**Carte mère**  
**2 Alimentations**

# Serveur “classique” - Dell EMC PowerEdge R750



Puissance de l'alimentation : 700W -  
2800 [[Site Dell](#)]

## Serveur “classique” - Dell EMC PowerEdge R750 - Consommation

⚡ Puissance de l'alimentation : 700W - 2800 [[Site Dell](#)]

Fonctionne 99,75 % du temps dans un datacenter de Tier II (22h d'interruption max chaque année)

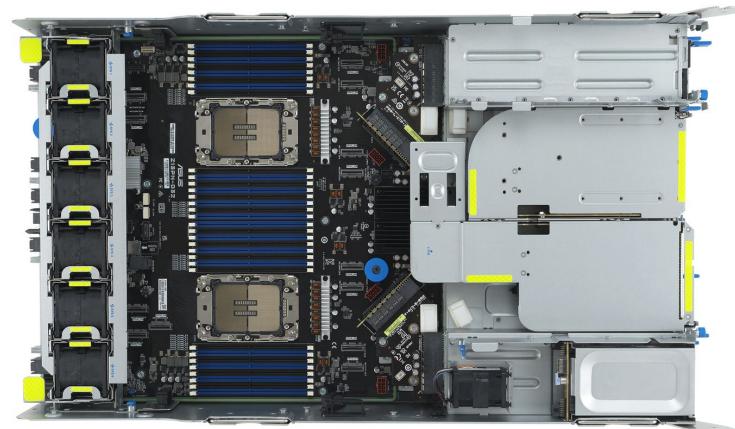
⚠ Attention : on suppose ici une charge maximale constante, ce qui n'est pas le cas en réel et on ne tient pas compte du rendement de l'alimentation. Ce calcul n'est là que pour avoir un ordre de grandeur.

$$\begin{aligned}\text{Énergie } 800\text{W} &= (24\text{h} \times 365 \text{ jours} - 22\text{h}) \times 800\text{W} \\ &= 6990 \text{ kWh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Énergie } 2800\text{W} &= (24\text{h} \times 365 \text{ jours} - 22\text{h}) \times 2800\text{W} \\ &= 24466 \text{ kWh}\end{aligned}$$



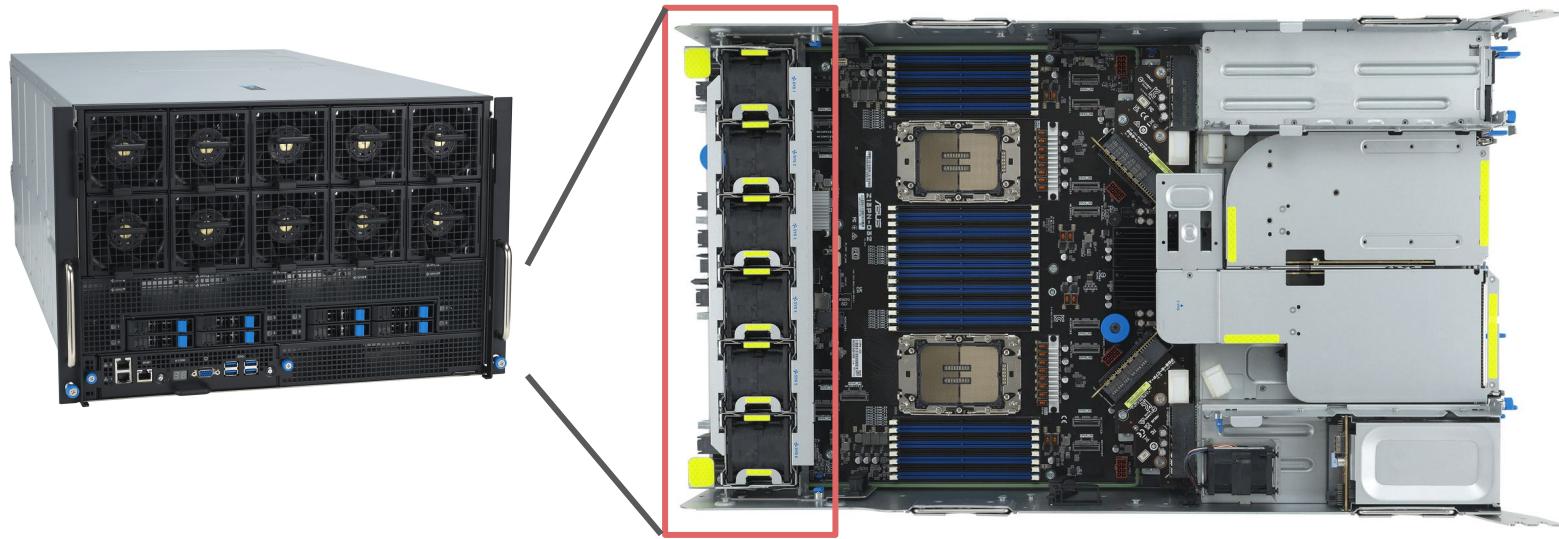
# Serveur de calcul GPU - Asus ESC N8-E11



**HGX H100 8 GPUs** [[Site NVIDIA](#)]

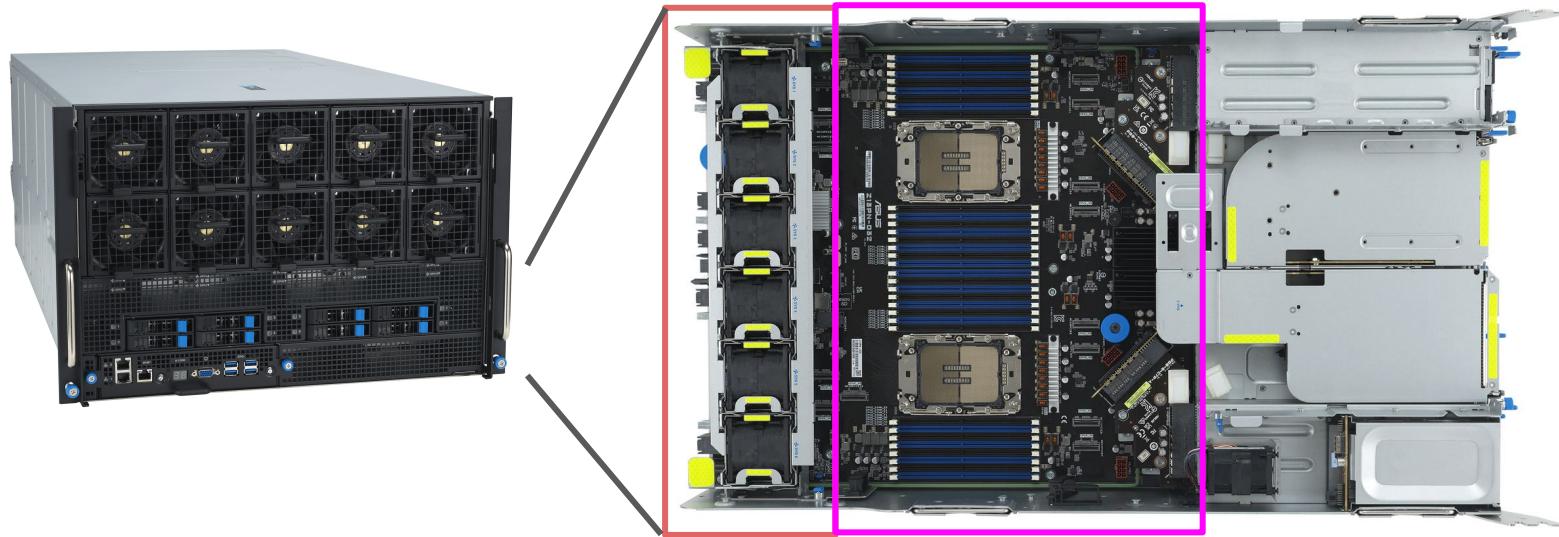
Asus ESC N8-E11 [[Site Asus](#)]

# Serveur de calcul GPU - Asus ESC N8-E11



**HDDs / SSDs**

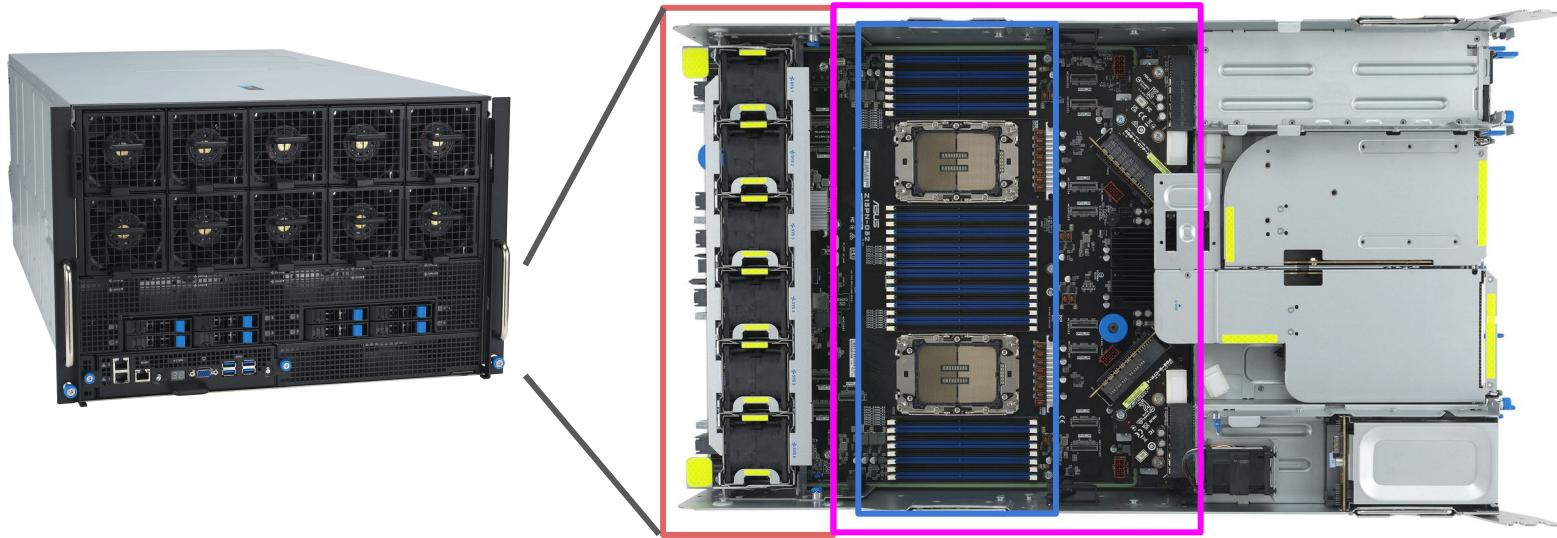
# Serveur de calcul GPU - Asus ESC N8-E11



**HDDs / SSDs**

**Motherboard**

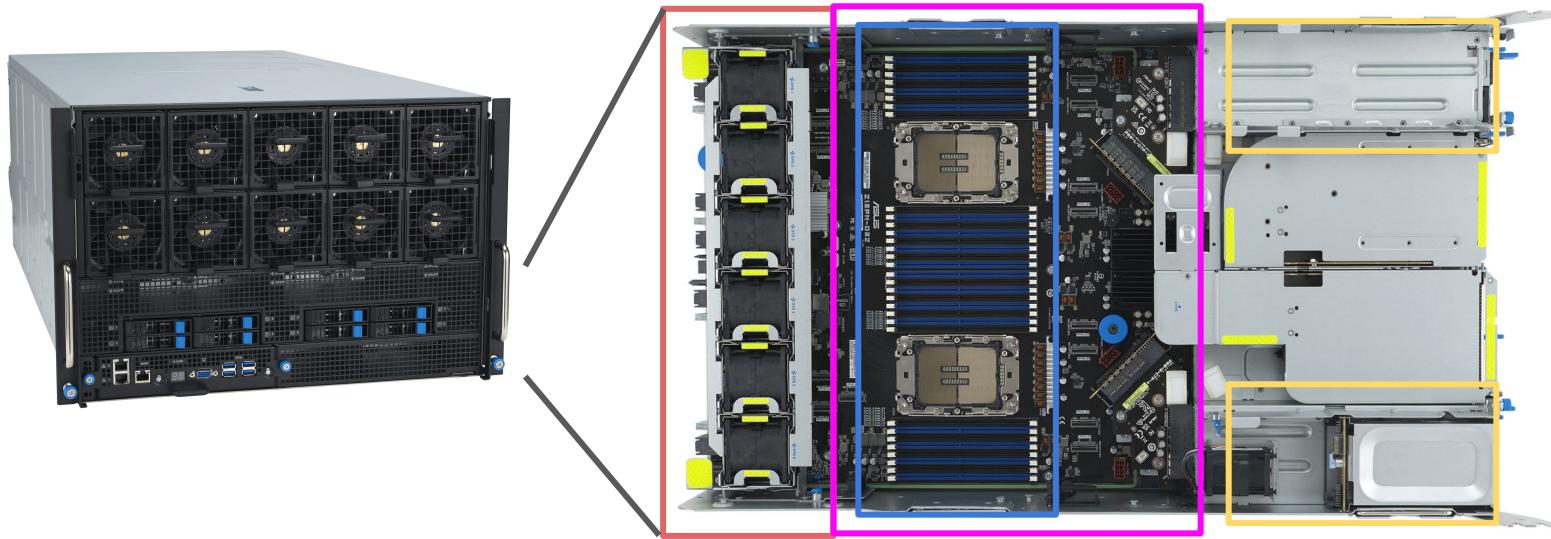
# Serveur de calcul GPU - Asus ESC N8-E11



**HDDs / SSDs**  
**2 CPUs + SDRAM**

**Carte mère**

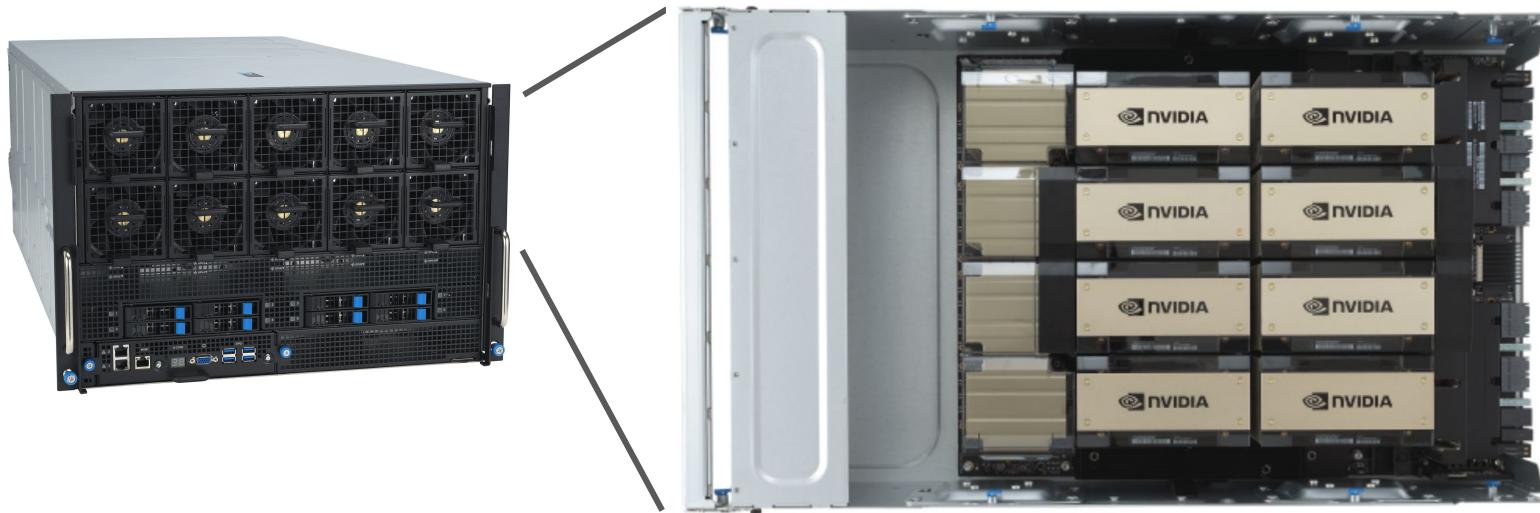
# Serveur de calcul GPU - Asus ESC N8-E11



**HDDs / SSDs**  
**2 CPUs + SDRAM**

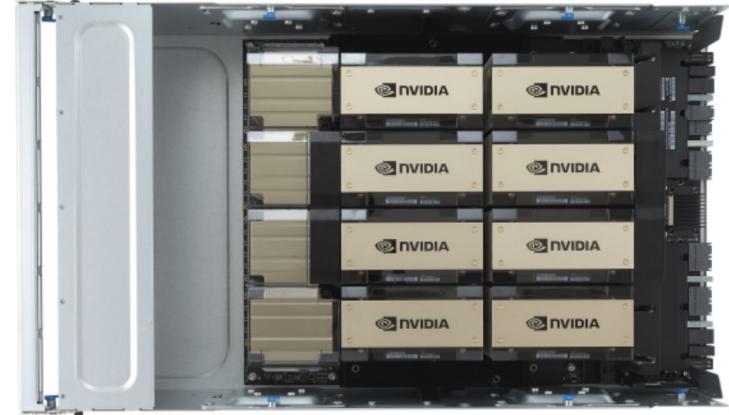
**Carte mère**  
**3-4 Alimentations**

# Serveur de calcul GPU - Asus ESC N8-E11



**8 NVIDIA GPUs H100**

# Serveur de calcul GPU - Asus ESC N8-E11



⚡ **Puissance d'alimentation** [[Site Asus](#)] :  
 $3 \times 3000W = 9kW \Leftrightarrow$  Pompe à Chaleur LG  
Therma V [[Site LG](#)]

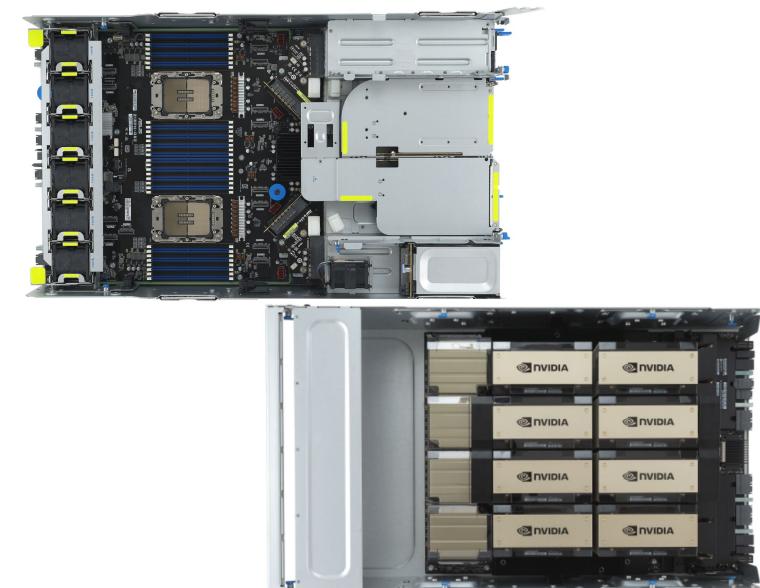
# Serveur de calcul GPU - Asus ESC N8-E11 - Consommation

⚡ Puissance de l'alimentation : 9000W [[Site Asus](#)]

Fonctionne 99,75 % du temps dans un datacenter de Tier II (22h d'interruption max chaque année)

⚠ Attention : on suppose ici une charge maximale constante, ce qui n'est pas le cas en réel et on ne tient pas compte du rendement de l'alimentation. Ce calcul n'est là que pour avoir un ordre de grandeur.

$$\begin{aligned}\text{Énergie } 9000\text{W} &= (24\text{h} \times 365 \text{ jours} - 22\text{h}) \times 9000\text{W} \\ &= 78642 \text{ kWh}\end{aligned}$$



Un serveur non-chargé (IDLE) ne consomme “quasiment rien” ? Puissance IDLE < 25% de sa puissance maximale en charge

Vrai ou faux ????



Idée reçue : un serveur non-chargé (IDLE) ne consomme “quasiment rien”

Vrai ou faux ???? Regardons !



## Idée reçue : un serveur non-chargé (IDLE) ne consomme “quasiment rien”

Exemple ici avec un serveur “classique”  
sur la grille de calcul Grid'5000 :

- Nova-11
- Serveur basé à Lyon
- Dell PowerEdge R430 (2016)
- 2x Intel Xeon E5-2620 v4
- 64GB RAM
- 598 Go de HDD

[[page descriptive de Nova-11](#)]



[Dashboard Grafana Grid'5000 de Lyon sur Nova-11](#) (accès restreint)

[[Anne-Cécile Orgerie, Séminaire IRISA “Energy consumption and environmental impacts of distributed systems”, 2023](#)]

## Idée reçue : un serveur non-chargé (IDLE) ne consomme “quasiment rien”

Exemple ici avec un serveur “classique”  
sur la grille de calcul Grid'5000 :

- Nova-11
- Serveur basé à Lyon
- Dell PowerEdge R430 (2016)
- 2x Intel Xeon E5-2620 v4
- 64GB RAM
- 598 Go de HDD

[[page descriptive de Nova-11](#)]

⇒ **Faux ! Un serveur IDLE ne consomme pas quasiment rien ! Ici, plus de 50% de la consommation est faite sans charge du CPU, en mode IDLE.**



[Dashboard Grafana Grid'5000 de Lyon sur Nova-11](#) (accès restreint)

[[Anne-Cécile Orgerie, Séminaire IRISA “Energy consumption and environmental impacts of distributed systems”, 2023](#)]

## Exemple de petites baies classiques



# Exemple de petite baie serveur classique (1/4 baie)

Baie dans un DC Tier IV:

- 2 voies d'alimentation ondulées
- Chaque voie a son propre tableau et onduleur
- Alimentations sont changeables à chaud et commutent automatiquement

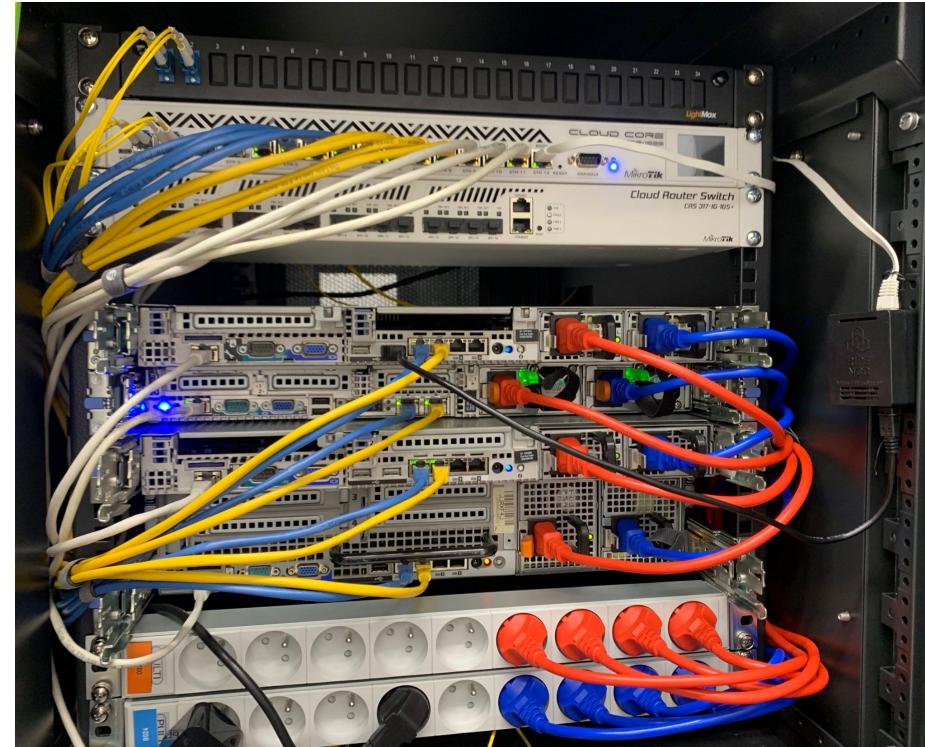


Photo de Cécile Morange,  
[@AtaxyaN](#) sur X

## PC et norme ATX

Norme ATX : norme définissant le format des boîtiers / composants ainsi que les alimentations de PC (connecteurs et tensions)



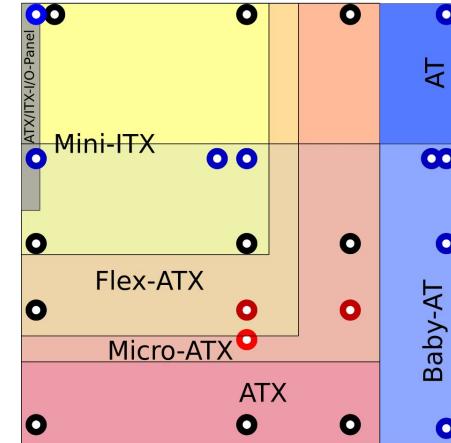
Micro-ATX



Mini-ITX



Nano-ITX



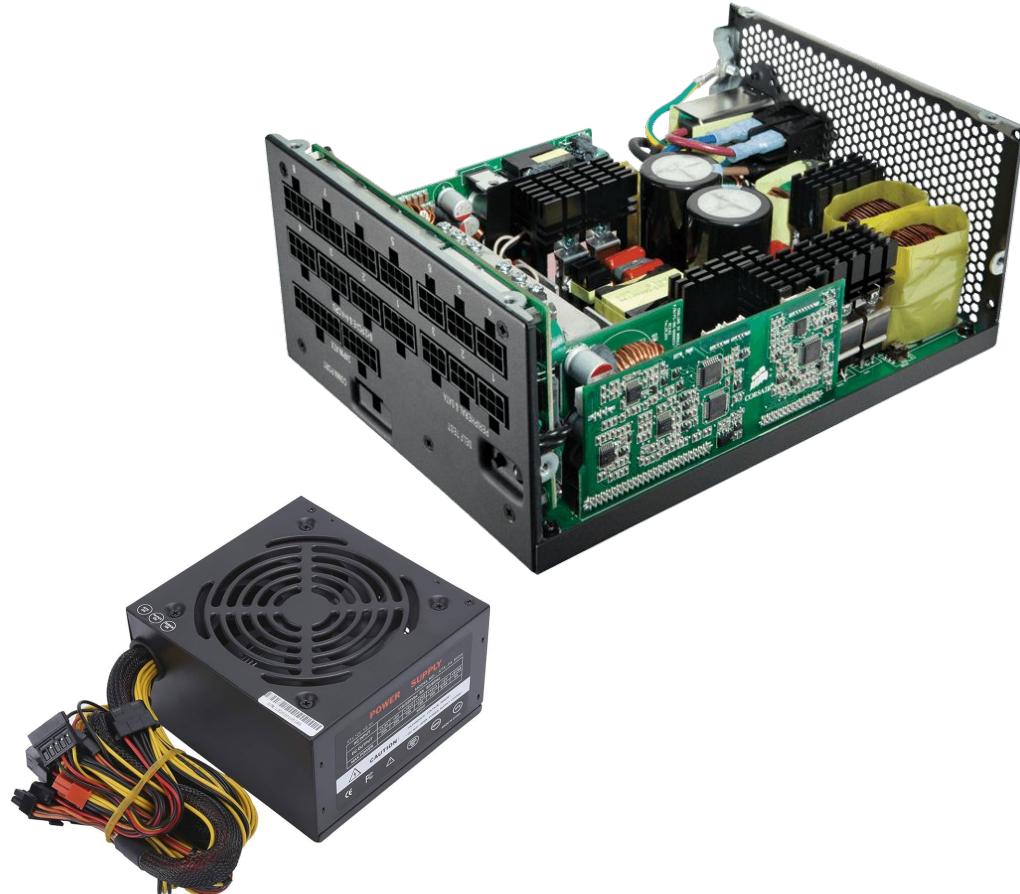
Standard-ATX



## PC et norme ATX

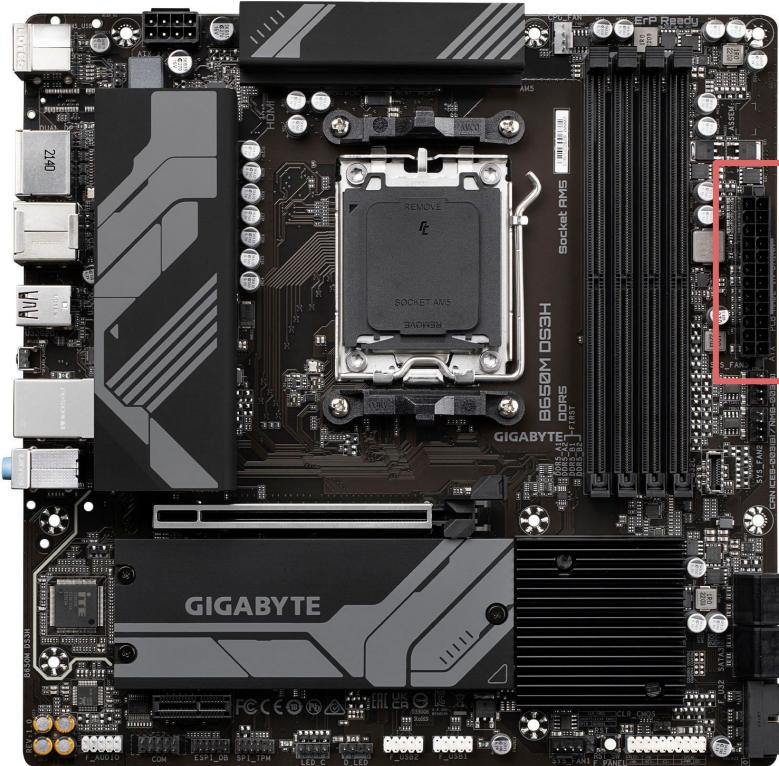
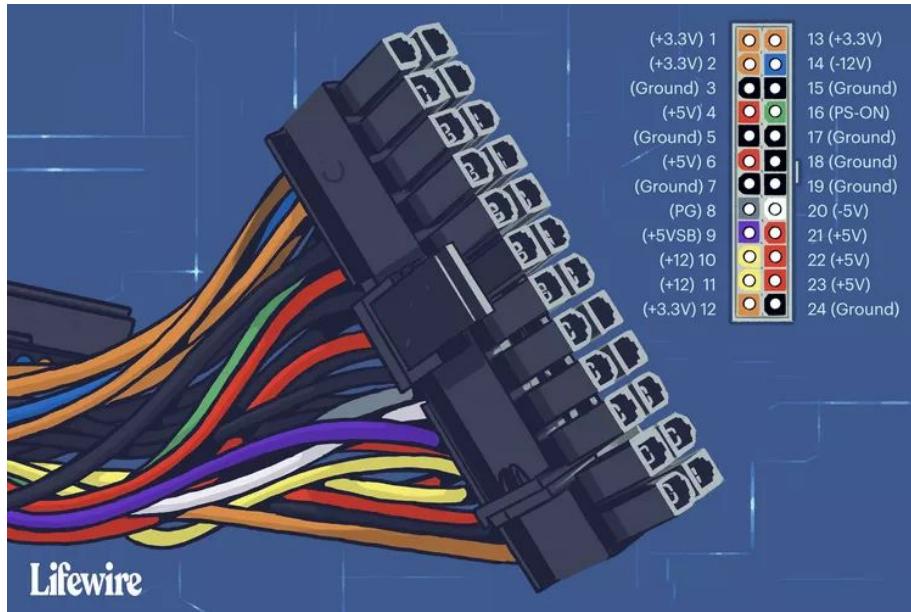
Alimentation ATX, alimentation à découpage :

- Puissance : 500W-3500W
- Tensions :
  - +12V / -12V
  - +5V / -5V
  - +3.3V
- Variation maximale de tension autorisée avant coupure automatique : +/- 5%
- Code couleur :
  - Jaune : +12V
  - Rouge : +5V
  - Orange : +3,3V
  - Blanc : -5V
  - Bleu : -12V
  - Gris/Vert/Brun : câbles de contrôle



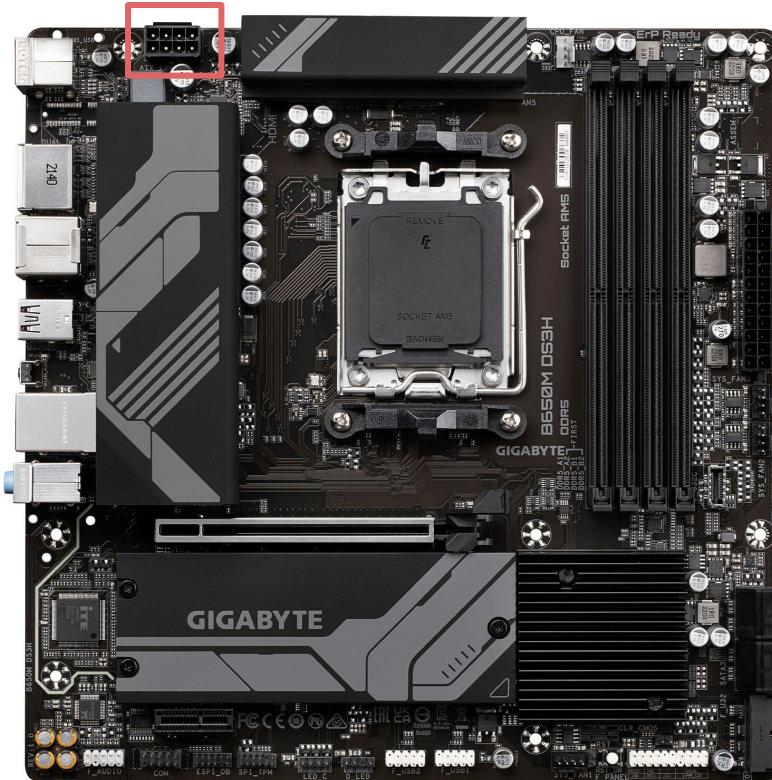
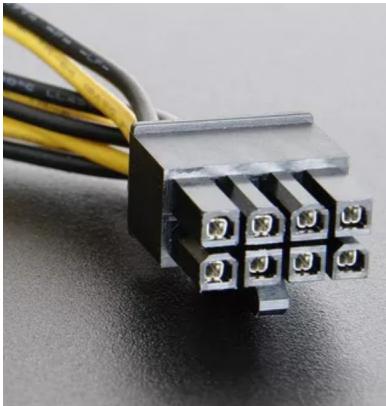
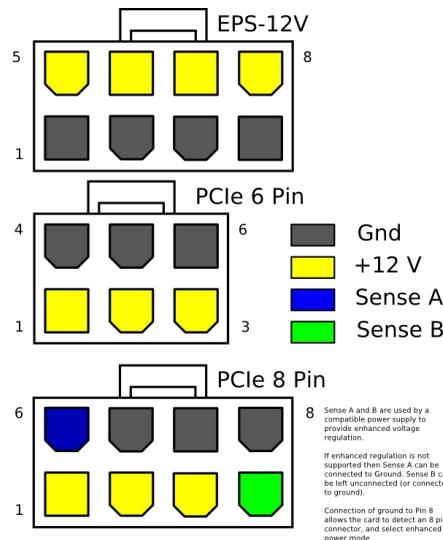
# PC et norme ATX - Prises

Prise ATX 24 Pins, prise principale d'alimentation sur la carte-mère



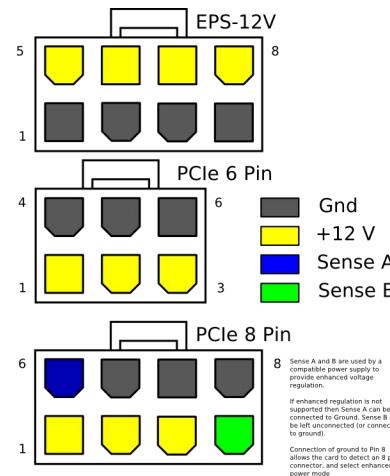
# PC et norme ATX - Prises

Prise ATX EPS 4+4 Pins, prise alimentation CPU



## PC et norme ATX - Prises

Prise PCI-Express 6 + 2 Pins (recommandations : 150W par connecteur 8 pins, 75-100W Max en 6 pins). Connecteur d'alimentation GPU



## PC et norme ATX - Prises

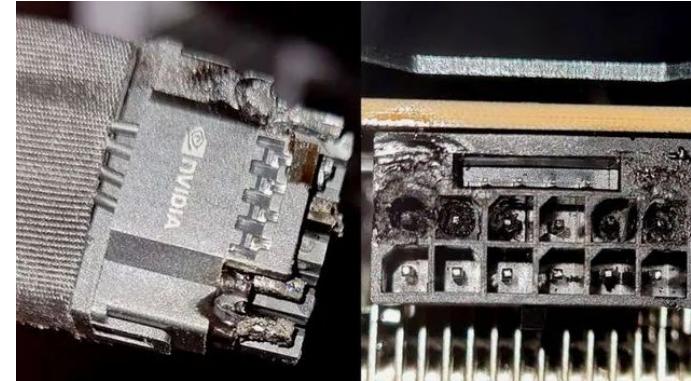
Exemple de problème avec des puissances importantes :

le GPU NVIDIA RTX4090 : Thermal Design Power : **450W soit 450W / 12V = 37,5A max en utilisation** [[datasheet](#)]

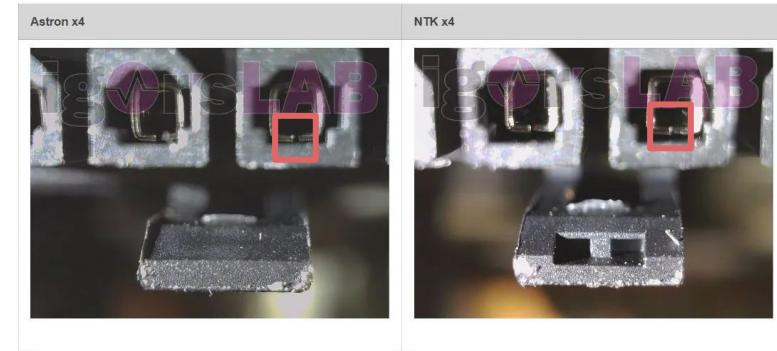


Connecteur 600W (4xPCI Express 8 pins)

[[article sur Digital Trends](#)]



Câble et prise fondues GPU sur les premières versions du connecteur 600W à cause d'un manque de contacts sur les pins



À gauche un connecteur "défectueux", à droite une version corrigée. L'écart entre les 2 parties métalliques (springs) à l'intérieur du connecteur était trop grand et pouvait entraîner de mauvais contacts.

## PC et norme ATX - Prises

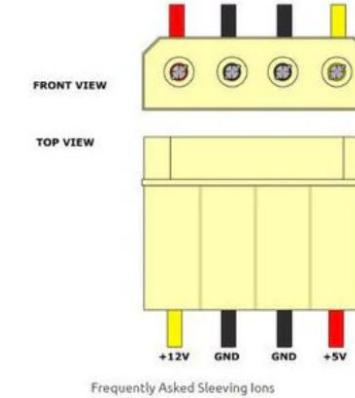
Prise Molex 4 Pins, connecteur d'alimentation HDD  
(vieux...), ventilateurs non PWM, autres périphériques.

Recommandations : 75W max par connecteur

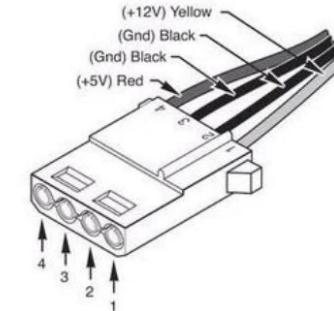


## PC et norme ATX - Prises

Prise Molex 4 Pins, connecteur d'alimentation HDD (vieux...), ventilateurs non PWM, autres périphériques.  
Recommandations : 75W max par connecteur

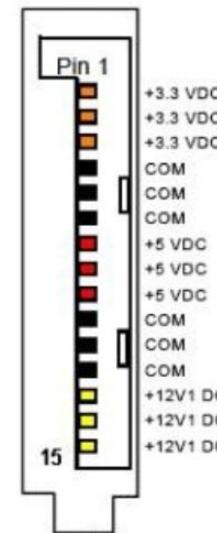
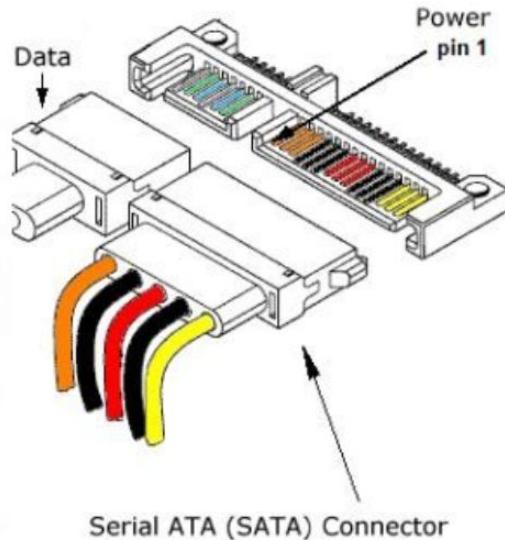


Frequently Asked Sleeving Ions



## PC et norme ATX - Prises

Prise SATA 15 Pins, connecteur d'alimentation  
HDD/SSD, lecteurs.



## Numérisation des services culturels et émissions de CO2 – exemple avec le gaming

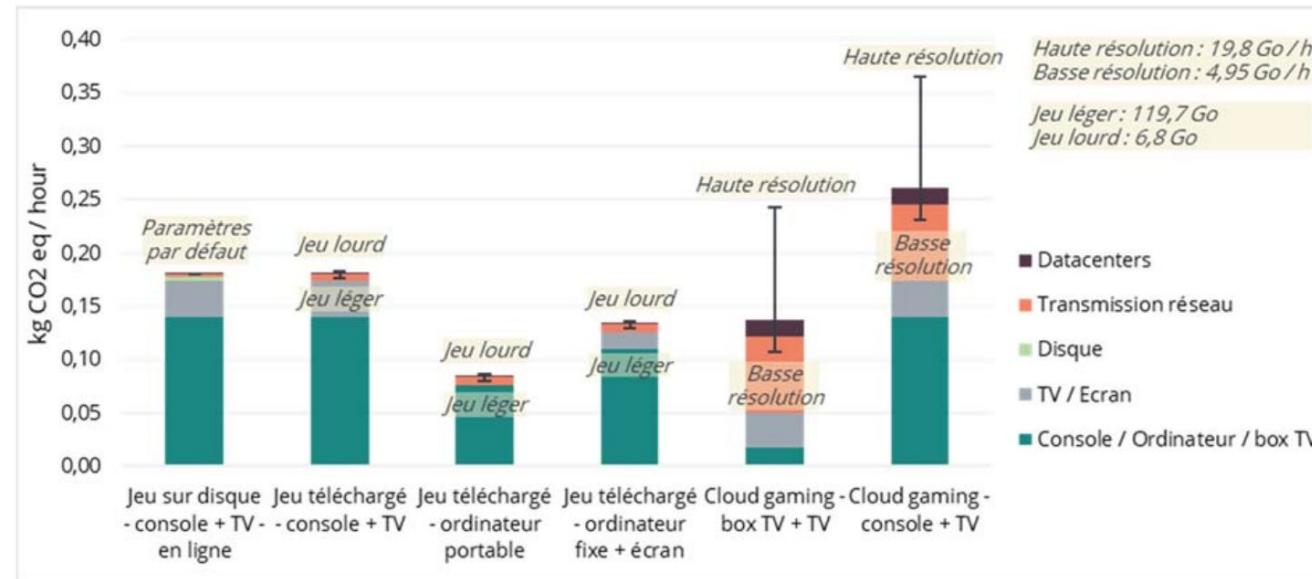


Figure 13 – Comparaison des impacts sur le changement climatique des scénarios étudiés pour l'UF « jouer 1h à un jeu vidéo en France »

[ADEME, “Impact de la digitalisation des services culturels”, 2023]

## Numérisation des services culturels et émissions de CO2 – exemple avec le gaming

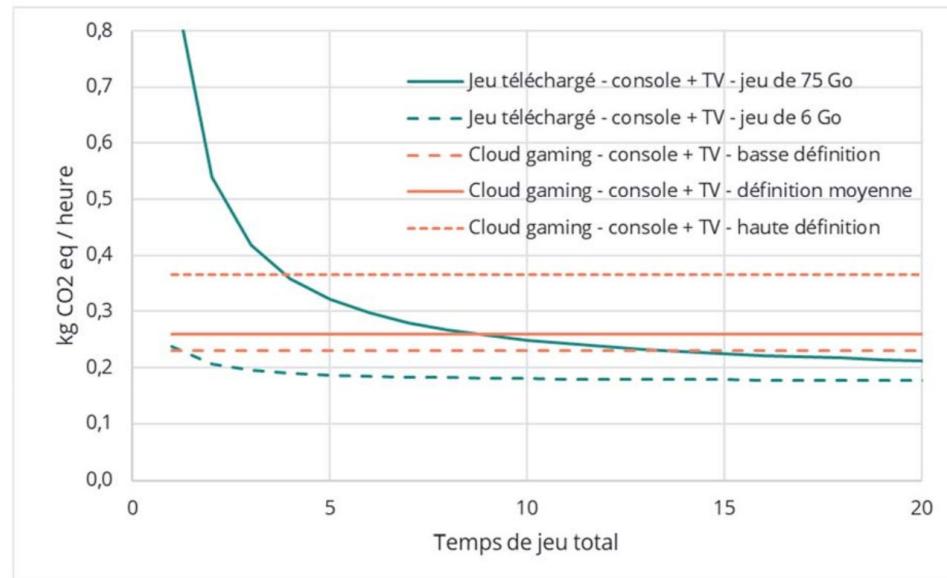


Figure 14 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go, ou de faible taille 6Go) et le jeu en cloud gaming (selon trois définitions de jeu différentes), selon le temps de jeu total

[ADEME, “Impact de la digitalisation des services culturels”, 2023]

# Fonctionnement et consommation des datacenters (DCs)

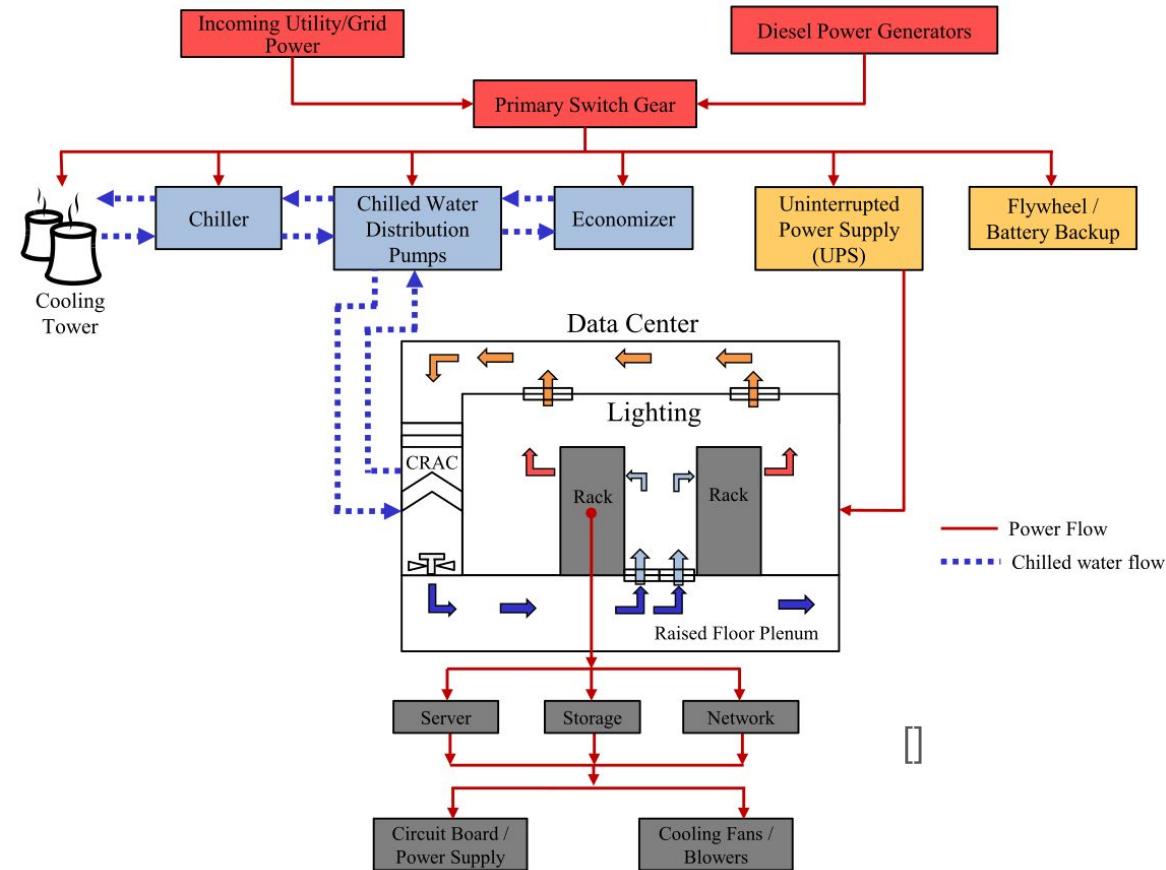


# Fonctionnement global d'un DC

Un datacenter est un système en lui-même et se conçoit comme tel avec des sous-systèmes.

On y trouve :

- Des flux d'**énergie électrique**
- Des **flux thermiques**
- Des flux réseaux
- Des flux "humains"

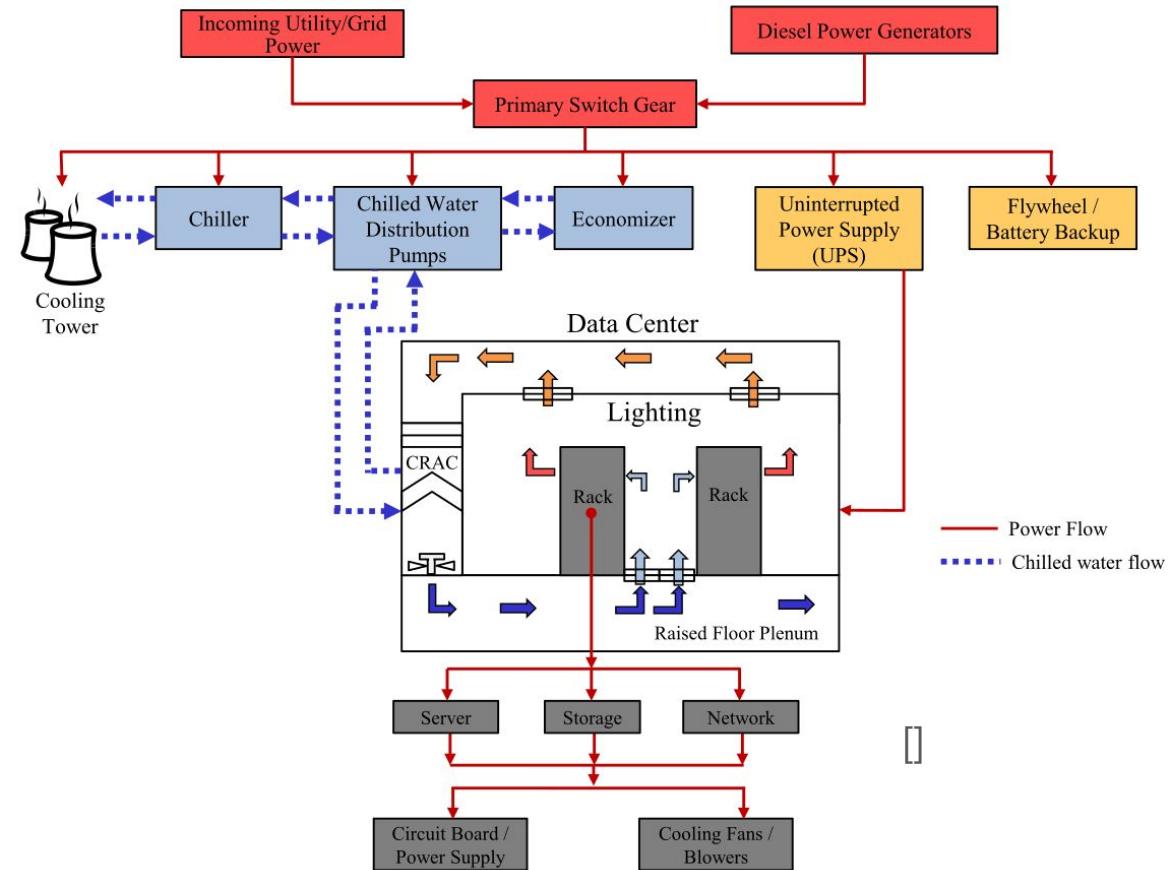


# Fonctionnement global d'un DC

Un datacenter est un système en lui-même et se conçoit comme tel avec des sous-systèmes.

On y trouve :

- Des flux d'**énergie électrique**
- Des **flux thermiques**
- Des flux réseaux
- Des flux "humains et matériels"



# Fonctionnement global d'un DC

Pour illustrer les systèmes d'un datacenter, nous allons prendre le cas du Datacenter de Scalway DC3 construit en 2012 à Vitry-sur-Seine.

[[Photos issues d'une visite du datacenter Illiad/Scaleway DC3 de 2015](#)]

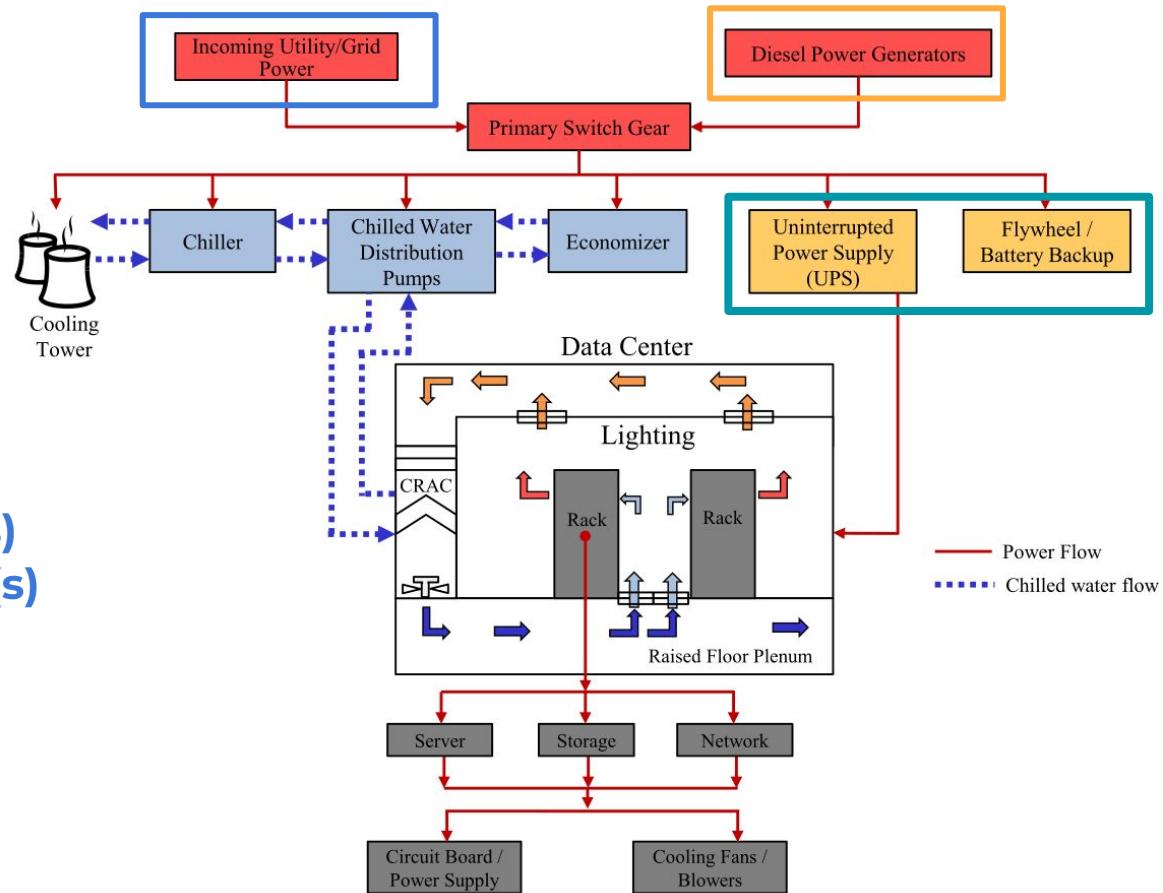


Datacenter Illiad/Scaleway  
DC3 à Vitry-sur-Seine

# Fonctionnement global d'un DC

Des flux d'énergie électrique pouvant provenir :

- du fournisseur réseau :
  - ligne(s) principale(s)
  - ligne(s) secondaire(s) (secours)
- de batteries/onduleurs
- de générateurs diesel



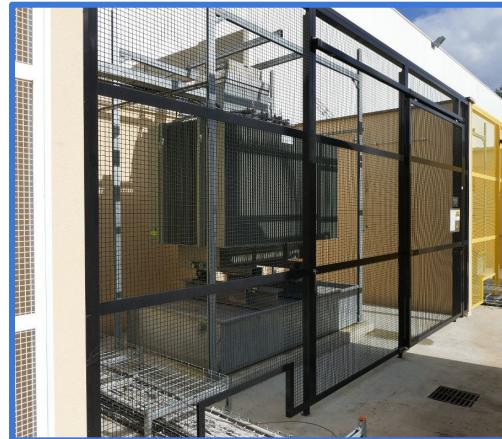
# Fonctionnement global d'un DC

Des flux d'**énergie électrique** pouvant provenir

- **du fournisseur réseau**
- **de batteries/onduleurs**
- **de générateurs diesel**

[Photos issues d'une visite du datacenter Illiad/Scaleway DC3 de 2015]

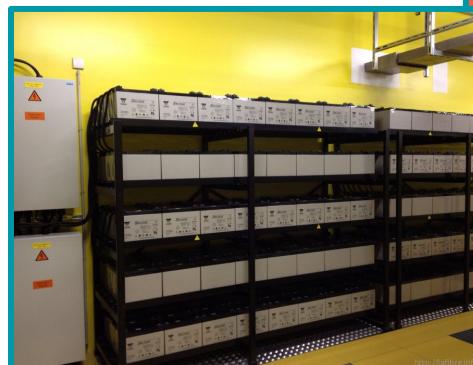
Transformateur 20 000V - 2MW



Générateurs diesel de secours



Batteries de secours



Salle onduleurs et disjoncteurs 4000A

# Fonctionnement global d'un DC

Des flux d'**énergie électrique** pouvant provenir

- **du fournisseur réseau**
- **de batteries/onduleurs**
- **de générateurs diesel**

[Photos issues d'une visite du datacenter Illiad/Scaleway DC3 de 2015]



Salle onduleurs et disjoncteurs 4000A

# Fonctionnement global d'un DC

Des flux d'énergie  
électrique pouvant

- du fournisseur
- de batteries/onduleurs
- de générateurs

[Photos issues d'une visite  
datacenter Illiad/Scaleway  
2015]



Salle onduleurs et  
disjoncteurs 4000A

# Fonctionnement global d'un DC

Des flux d'**énergie électrique** pouvant provenir

- **du fournisseur réseau**
- **de batteries/onduleurs**
- **de générateurs diesel**

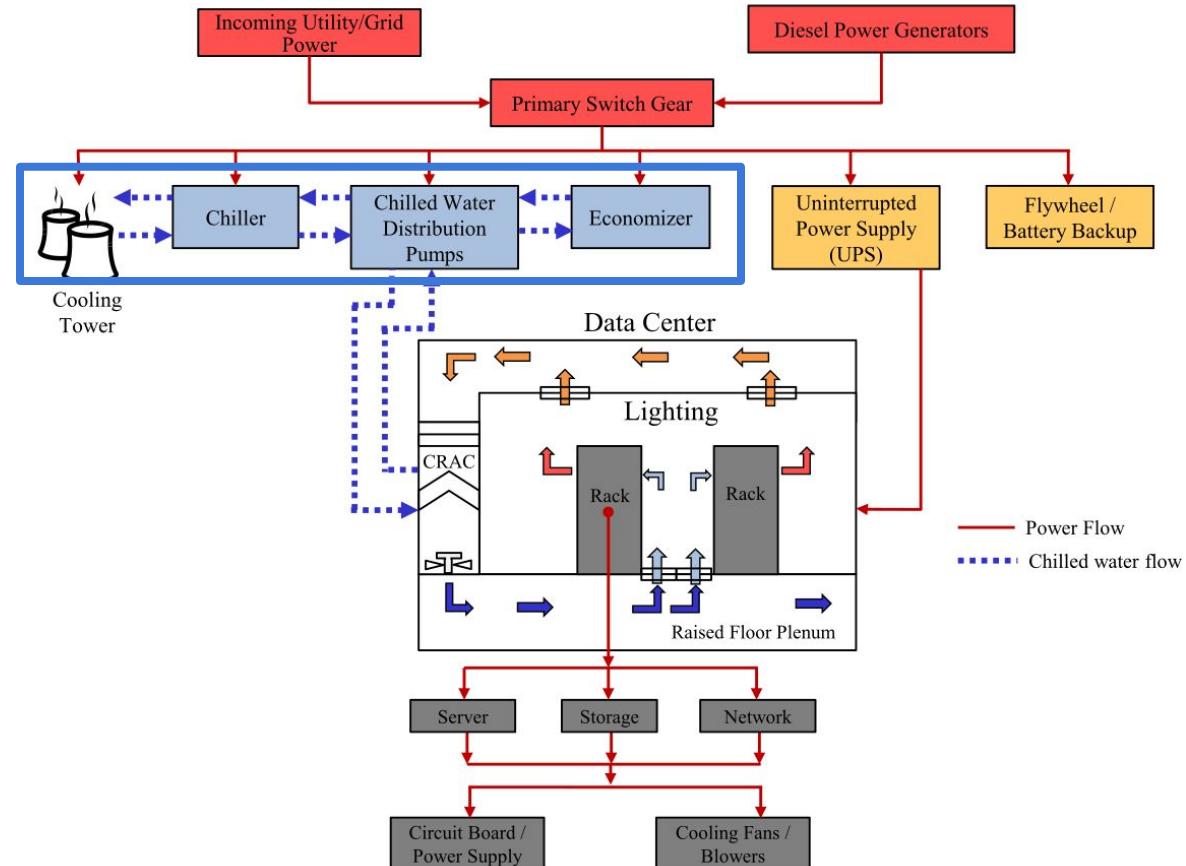
[[Photo issue d'une visite du datacenter Illiad/Scaleway DC5 de 2019](#)]



Galerie plafond d'alimentation et d'extraction d'air chaud de Scalway DC5

# Fonctionnement global d'un DC

Des **flux thermiques** permettant le refroidissement des serveurs, mais aussi des systèmes d'alimentation électrique.



# Fonctionnement global d'un DC

Des **flux thermiques** permettant le refroidissement des serveurs, mais aussi des systèmes d'alimentation électrique.

Dans le cas de Scaleway DC3, on refroidit les serveurs via des systèmes de climatisation à eau glacée (*free-cooling indirect*)

Échangeurs de chaleur



Aéro-réfrigérants sur le toit du DC



Groupe froid  
(compresseur/condenseur)  
de 3,4MW (1.7MW froid)



Armoire de climatisation de 200kW froid

# Fonctionnement global d'un DC

*free-cooling indirect =*  
**l'air refroidit de l'eau qui, via un échangeur, refroidit le circuit interne d'eau glacée. Cette eau glacée "interne" est ensuite utilisée dans les armoires de climatisation des salles (air froid).**

Échangeurs de chaleur



Aéro-réfrigérants sur le toit du DC



Groupe froid  
(compresseur/condenseur)  
de 3,4MW (1.7MW froid)

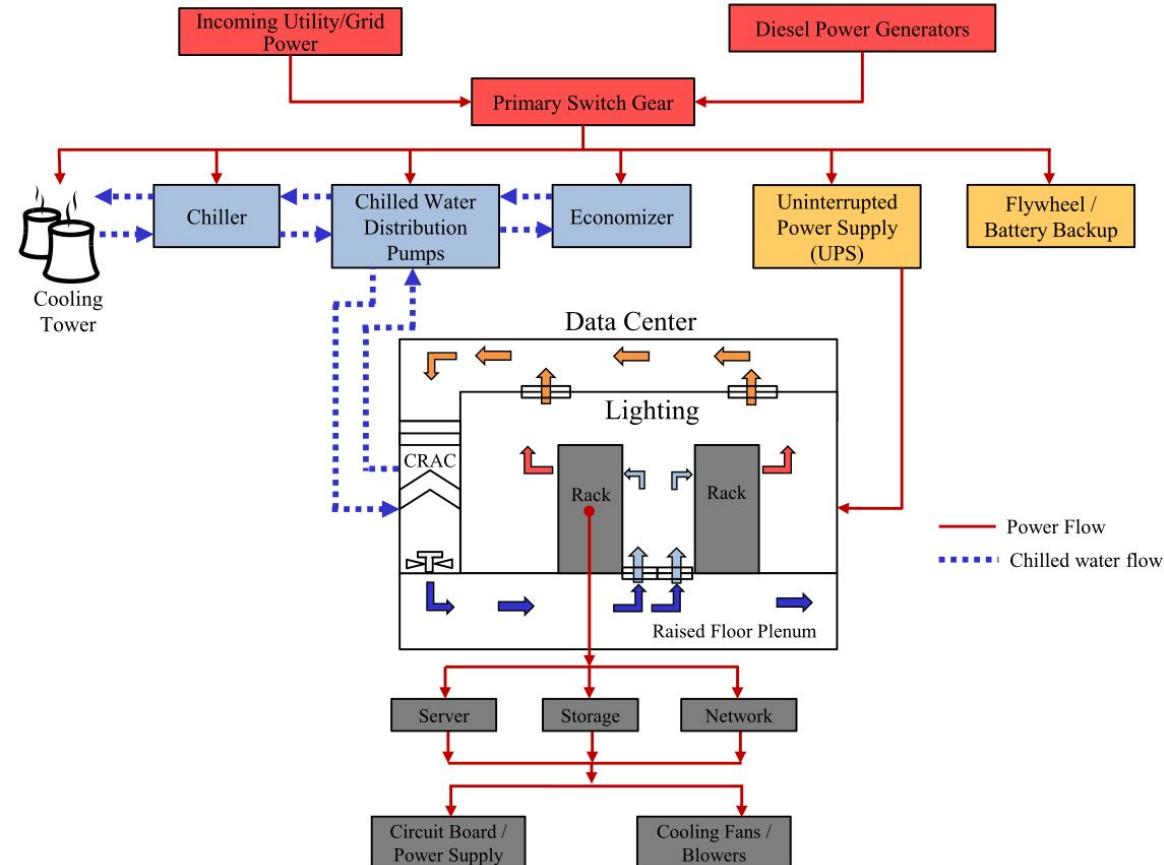


Armoire de climatisation de 200kW froid

# Fonctionnement global d'un DC

Des **flux thermiques** permettant le refroidissement des serveurs, mais aussi des systèmes d'alimentation électrique.

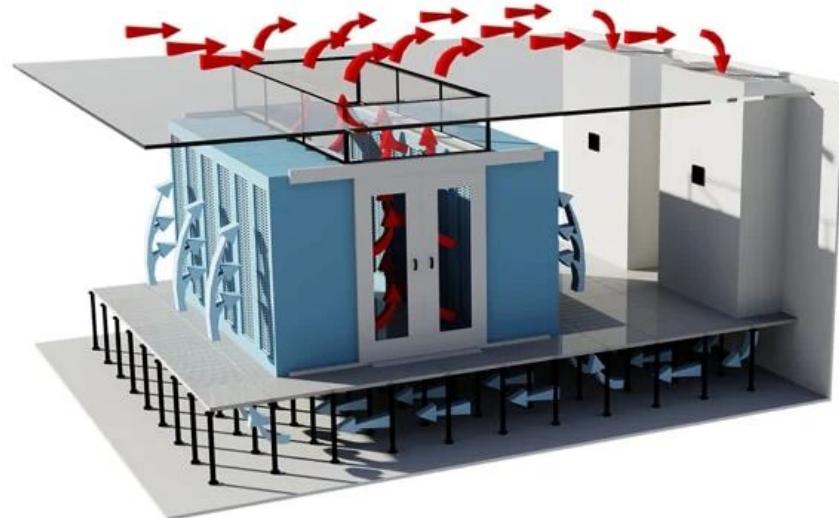
Pour refroidir les serveurs on utilise souvent la technique dite du Hot/Cold Corridor



# Fonctionnement global d'un DC

**Pour refroidir les serveurs on utilise souvent la technique Hot/Cold Corridor**

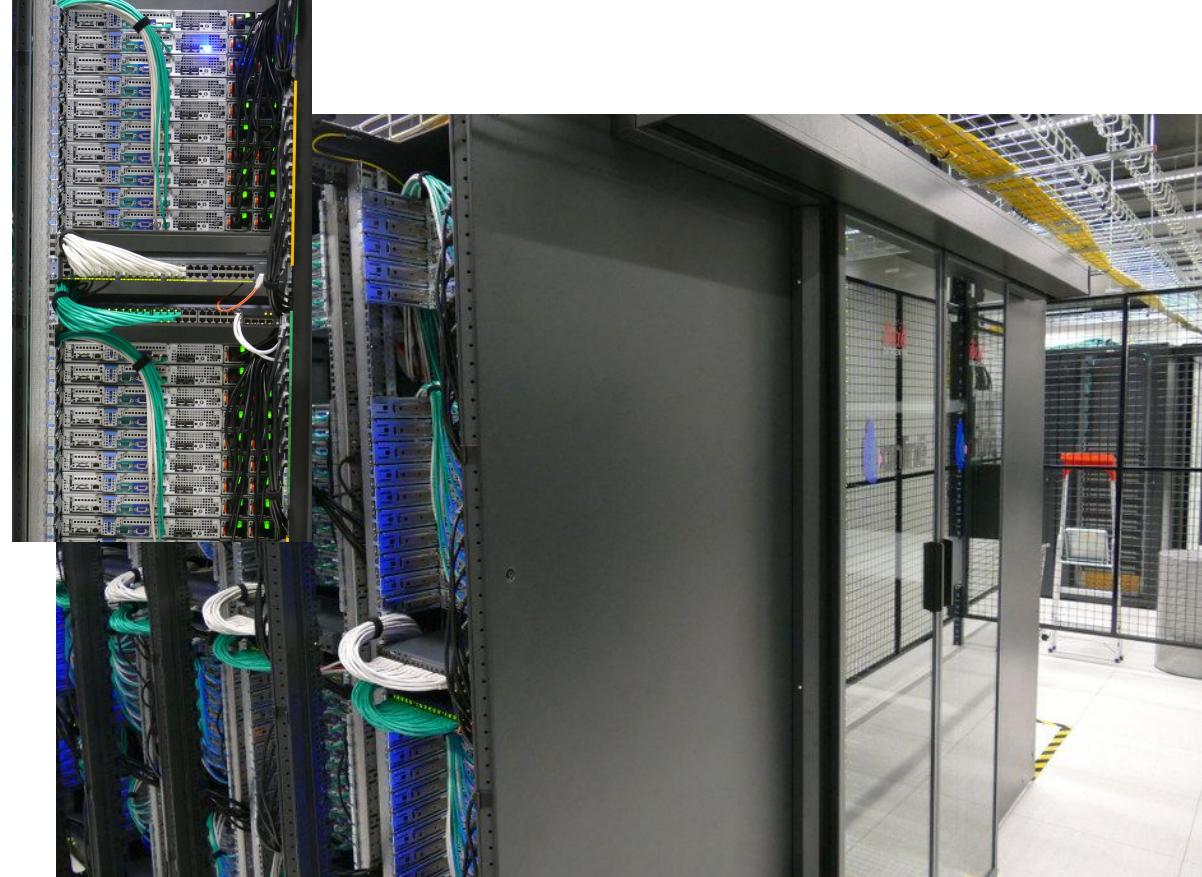
L'air froid est injecté par le plancher en façade des serveurs (cold corridor). Il est réchauffé au passage dans le serveur puis éjecté dans un couloir chaud (hot corridor). Cela peut être aussi l'inverse.



# Fonctionnement global d'un DC

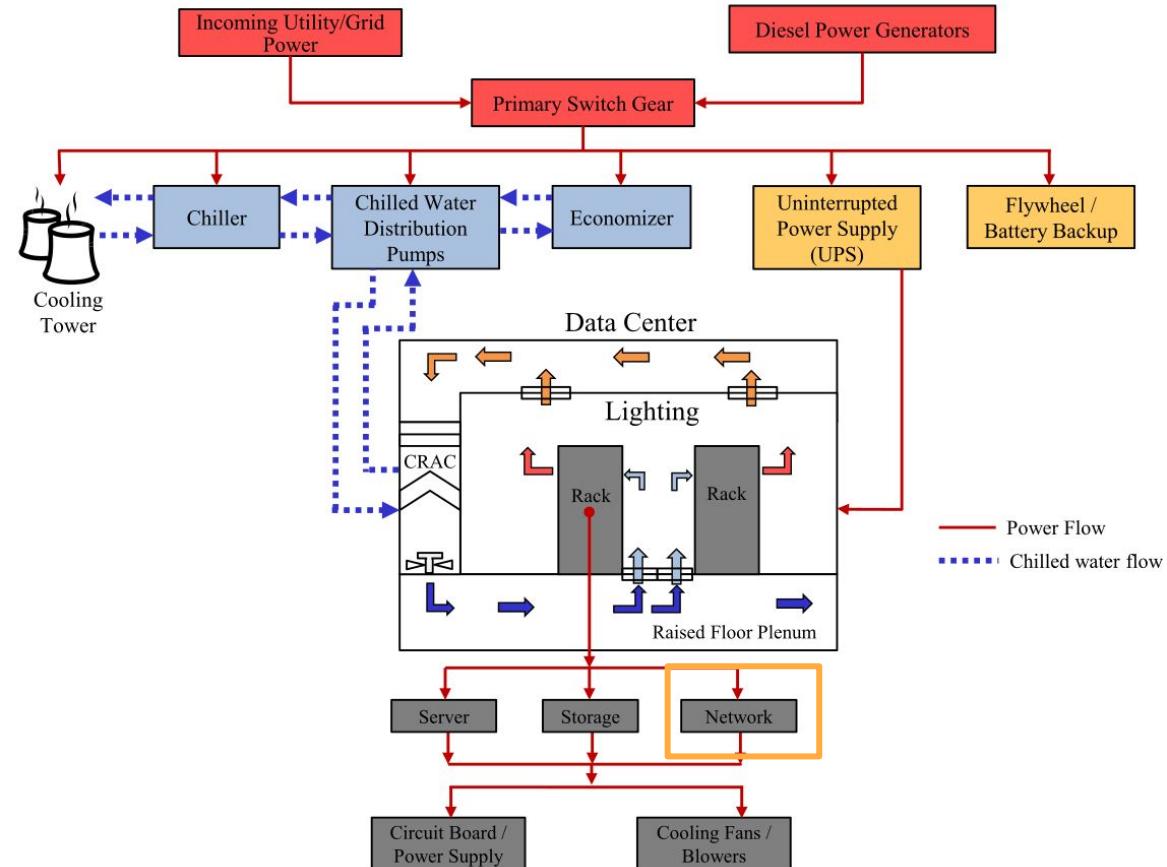
**Pour refroidir les serveurs on utilise souvent la technique Hot/Cold Corridor**

L'air froid est injecté par le plancher en façade des serveurs (cold corridor). Il est réchauffé au passage dans le serveur puis éjecté dans un couloir chaud (hot corridor)



# Fonctionnement global

Des **flux de réseaux** en provenance des opérateurs, mais aussi internes

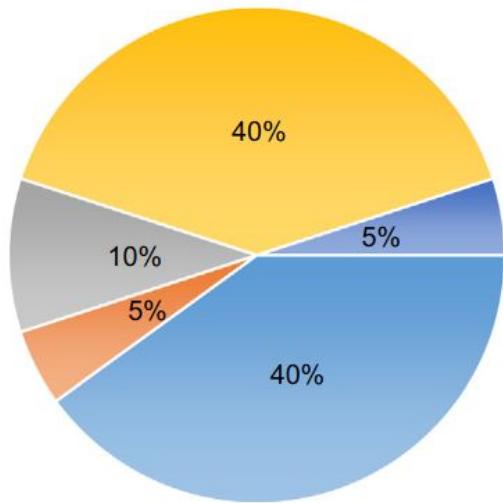


# Fonctionnement global

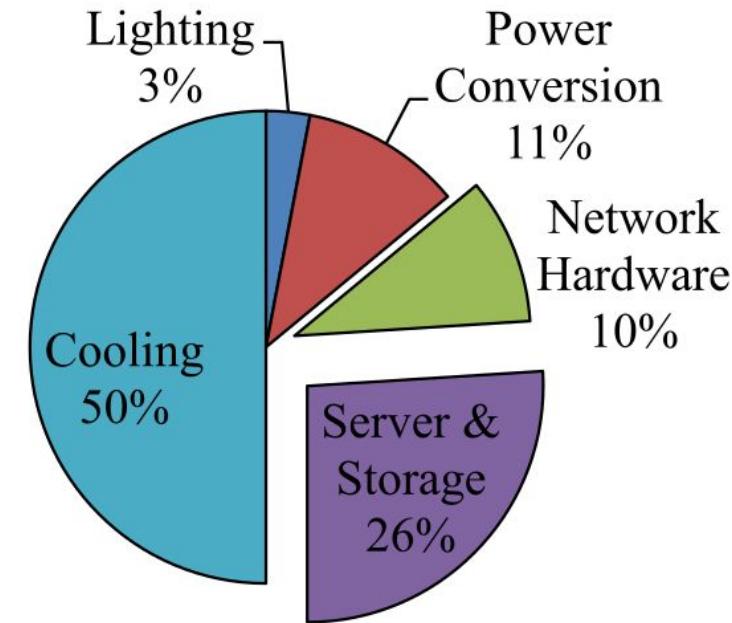
Des **flux de réseaux** en provenance des opérateurs, mais aussi internes



# Consommation d'un datacenter



- Server power consumption
- Communications equipment energy consumption
- Energy consumption of power supply system
- Energy consumption of refrigeration system
- Energy consumption of the storage device



[[Info-Tech, “Top 10 energy-saving tips for a greener data center,” Info-Tech Research Group](#)] 2007

[[Info-Tech, “Top 10 energy-saving tips for a greener data center,” Info-Tech Research Group](#)] 2007

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - PUE

Le **PUE = Power Usage Effectiveness** ⚡ est le ratio entre l'énergie totale consommée par l'infrastructure du data center et l'énergie consommée par les systèmes informatiques. Inventé en 2006 par The Green Grid et rentré dans les normes ISO en 2016.

$$PUE = \frac{\text{Énergie totale consommée par le data center}}{\text{Énergie consommée par les équipements informatiques}}$$

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - PUE

Le **PUE = Power Usage Effectiveness** ⚡ est le ratio entre l'énergie totale consommée par l'infrastructure du data center et l'énergie consommée par les systèmes informatiques. Inventé en 2006 par The Green Grid et rentré dans les normes ISO en 2016.

Un **PUE = 2** signifie que :

$$PUE = \frac{\text{Énergie totale consommée par le data center}}{\text{Énergie consommée par les équipements informatiques}}$$

- pour **200W consommés** en entrée du DC
- seulement **100W sont utilisés** par les équipements IT
- **100W sont consommés par des équipements hors du périmètre IT** (refroidissement, éclairage, sécurité, etc.)

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - PUE

Le **PUE = Power Usage Effectiveness** ⚡ est le ratio entre l'énergie totale consommée par l'infrastructure du data center et l'énergie consommée par les systèmes informatiques. Inventé en 2006 par The Green Grid et rentré dans les normes ISO en 2016.

## Limitations du PUE :

- occulte les sources d'énergie permettant de produire l'énergie entrante (renouvelables ou non)
- ne tient pas compte d'autres facteurs comme notamment la consommation d'eau par les systèmes de refroidissement ou encore la réutilisation de chaleur

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - WUE

Le **WUE = Water Usage Effectiveness**  est le ratio entre la quantité annuelle d'eau consommée par le datacenter et la consommation énergétique des équipements informatiques.

$$WUE = \frac{\text{Quantité d'eau consommée par le data center}}{\text{Énergie consommée par les équipements informatiques}}$$

**Plus ce ratio est faible, meilleure est la consommation d'eau par rapport à l'énergie consommée par l'IT**

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - WUE

Le **WUE = Water Usage Effectiveness**  est le ratio entre la quantité annuelle d'eau consommée par le datacenter et la consommation énergétique des équipements informatiques.

## Limitation du WUE :

- Ne peut être utilisé seul pour prendre une décision sur l'efficacité globale d'un datacenter

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - REF

Le **REF = Renewable Energy Factor** ☀️⚡🌊 est le ratio entre la quantité d'énergie renouvelable utilisée par le datacenter et sa consommation d'énergie totale.

$$REF = \frac{\text{Énergie renouvelable consommée par le datacenter}}{\text{Énergie totale consommée par le data center}}$$

**Plus ce ratio est grand, plus le datacenter utilise des énergies renouvelables, soit par le mix électrique, soit par sa propre production.**

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - REF

Le **REF = Renewable Energy Factor**  est le ratio entre la quantité d'énergie renouvelable utilisée par le datacenter et sa consommation d'énergie totale.

## Limitations du REF:

- N'inclue pas la récupération d'énergie par le datacenter
- Un datacenter peut avoir beaucoup d'énergie renouvelable mais être peu efficient énergétiquement

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - ERF

Le **ERF = Energy Reuse Factor**   énergie réutilisée à l'extérieur du data center (réseau de chaleur, chauffage des locaux du DC, etc.) et sa consommation d'énergie totale.

$$ERF = \frac{\text{Énergie réutilisée}}{\text{Énergie totale consommée par le data center}}$$

**Plus ce ratio est grand, plus le datacenter cède sa chaleur perdue (chaleur fatale) au profit d'autres usages.**

# Mesure de l'efficacité énergétique d'un datacenter - ERF

Le **ERF = Energy Reuse Factor**   énergie réutilisée à l'extérieur du data center (réseau de chaleur, chauffage des locaux du DC, etc.) et sa consommation d'énergie totale.

## Limitations du ERF:

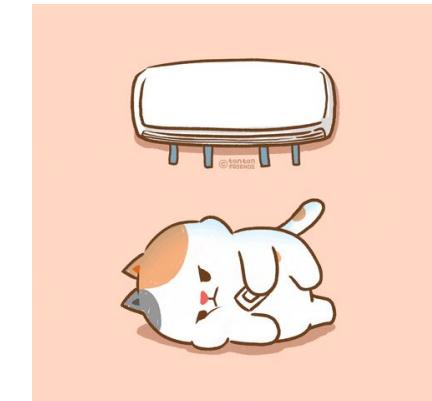
- Un datacenter peut céder beaucoup d'énergie, mais être en lui-même peu efficient énergétiquement (PUE élevé)

## Et concrètement... ? Quelques exemples

Mise à disposition des données et avoir une visualisation du PUE ⚡📊, exemple avec Illiad/Scalway DC3 : <https://pue.dc3.scaleway.com/fr/>

Récupération de la chaleur fatale 🌩️蠟烛, produits de chez Qarnot Computing chaudières et radiateurs de calcul (<https://youtu.be/hBvdm6jAL2Y>)

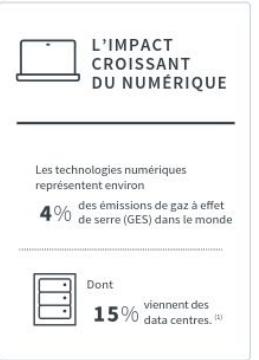
Récupération de la chaleur des serveurs pour redistribution sur réseau de chaleur 🌩️蠟烛, chez OVH : <https://lafibre.info/ovh-datacenter/new-hybrid-immersion-liquid-cooling-developments-at-ovhcloud/>





Conscient de son impact, OVHcloud mesure et partage son bilan carbone sur les 3 scopes depuis 2017.

# Bilan carbone 2023 d'OVH



### LA MAJEURE PARTIE DE NOTRE BILAN CARBONE

Le scope 3 représente toutes les autres émissions indirectes le long de la chaîne de valeur : les matières premières utilisées pour la fabrication de nos centres de données, leur transport et leur fin de vie, les déplacements professionnels et les activités d'achat.

Nous travaillons à améliorer sa mesure et à minimiser son impact avec nos fournisseurs et grâce à notre modèle intégré qui nous permet de contrôler l'ensemble de notre chaîne de valeur.



AUGMENTER LA DURÉE DE VIE DES SERVEURS

5 ans

durée de vie moyenne qui peut atteindre 9 ans



▶ Tout au long de notre chaîne de valeur : par la réparation et le reconditionnement  
▶ Par nos partenaires : grâce à la réutilisation



1 CONTRIBUTION AU GLOBAL NETZERO SUR LES SCOPES 1 & 2 D'ICI À 2025

2 CONTRIBUTION AU GLOBAL NETZERO SUR LES 3 SCOPES D'ICI À 2030

3 100% ÉNERGIE BAS CARBONE D'ICI À 2025

4 ZÉRO DÉCHET EN DÉCHARGE D'ICI À 2025<sup>(3)</sup>

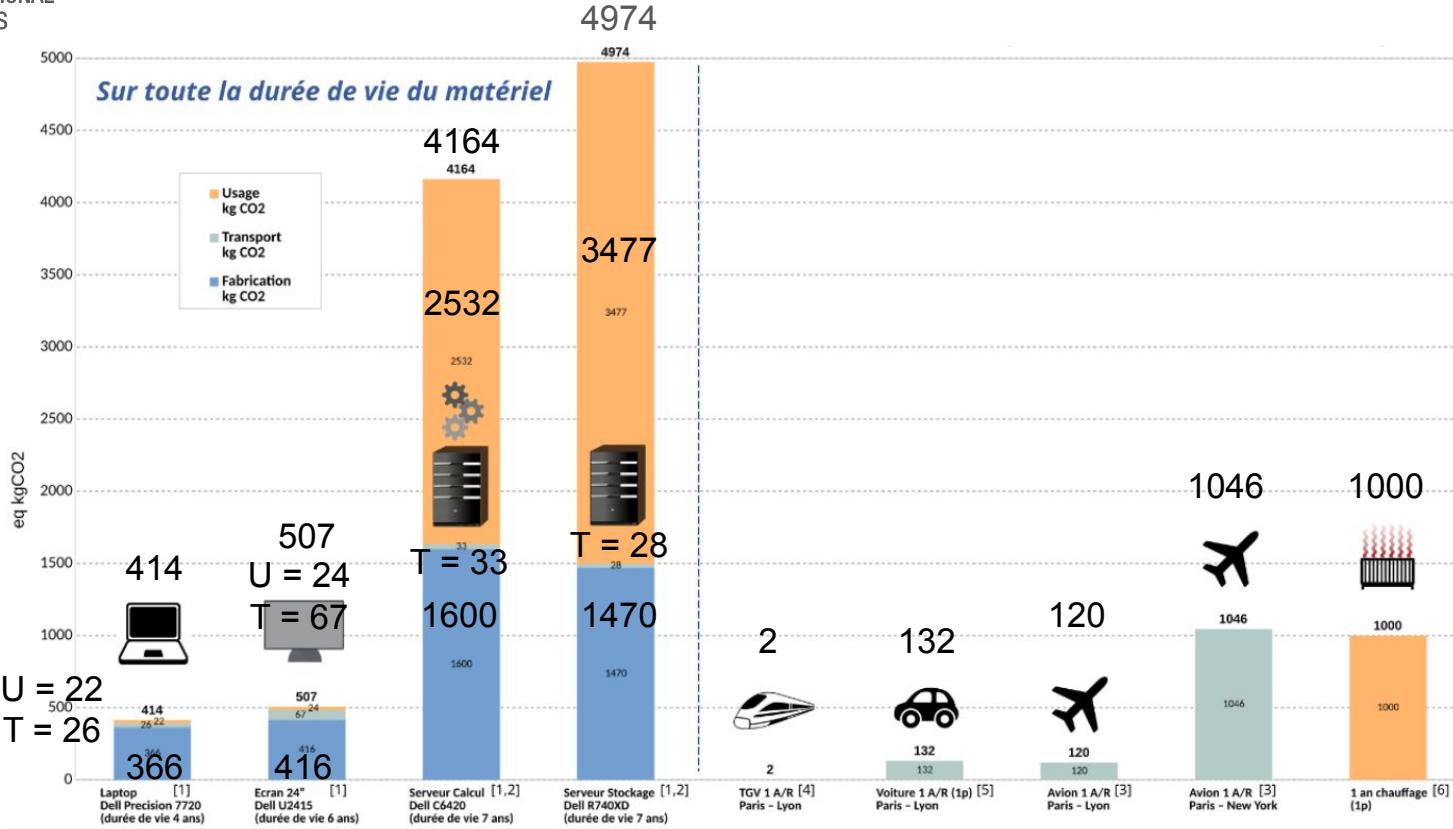
<sup>(1)</sup> Empreinte environnementale du monde numérique, Green IT, 2019

<sup>(2)</sup> www.BC Operators PUE, Uptime Institute, 2022

<sup>(3)</sup> A périmètre géographique constant, pour les déchets produits par les processus d'OVHcloud.

# Impact du l'utilisation VS fabrication

Bonamy et al.,  
“L'écoconception  
d'un service  
numérique :  
des actions pour  
réduire l'impact  
environnemental du  
numérique”, 2022]



[1] Données Fiches Dell (usage corrigé pour usage FR) :

([https://www.dell.com/learn/us/en/upscore1/corp-comm/environment\\_carbon\\_footprint\\_products](https://www.dell.com/learn/us/en/upscore1/corp-comm/environment_carbon_footprint_products))

[2] Usage à partir de la consommation moyenne (Berthoud et al. 2020) d'un noeud = 275W (C6420), 375W (R740XD) (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02549565>)

[3] <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>

[4] <https://ressources.data.sncf.com/explore/dataset/emission-co2-tgv/table/>

[5] Trajet de 473km, pour une voiture émettant 140g CO2/km

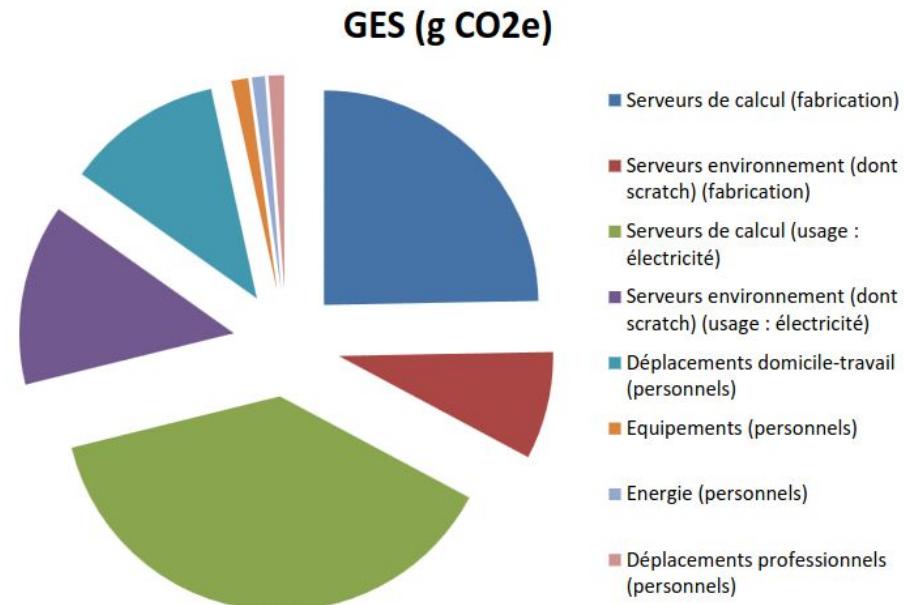
[6] <https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/1281320/ip1445.pdf>

Facteur d'impact : 0,108 kgCO2e/kWh (FR)

## Coût d'une heure de calcul dans un datacenter dédié au calcul (mésocentre à Grenoble - GRICAD)

“Finalement, avec les données suivantes :

- Durée de vie des équipements : 7 ans
- Facteur d'émission électricité : 0,108 kg CO<sub>2</sub>e / kwh consommé
- Taux d'utilisation moyen du cluster : 72%
- PUE = 1,4”



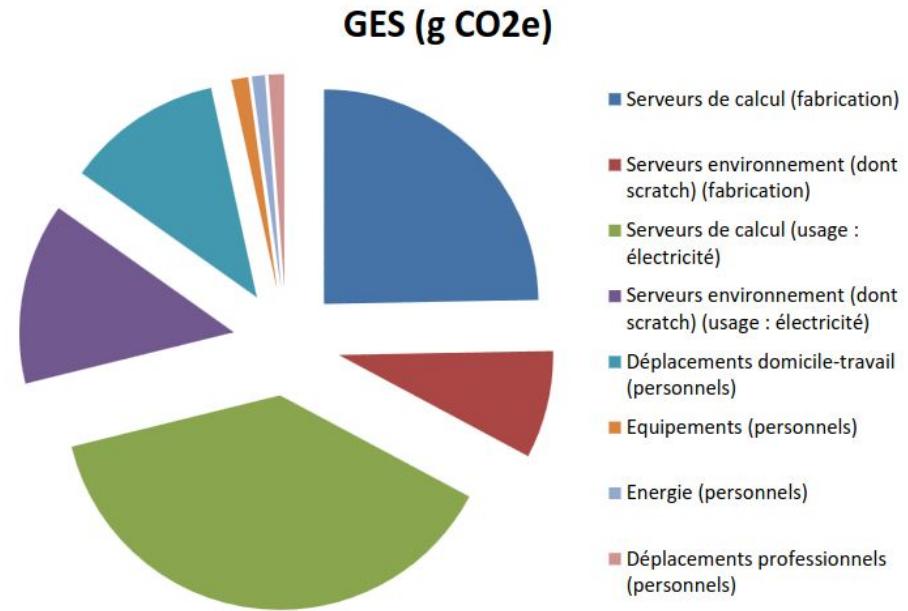
[Berthoud et al., “Estimation de l'empreinte carbone d'une heure.coeur de calcul”, 2020\]](#)

## Coût d'une heure de calcul dans un datacenter dédié au calcul (mésocentre à Grenoble - GRICAD)

"1h.coeur génère 4,68 g CO<sub>2</sub>e, avec la répartition suivante :"

- Serveurs de calcul (fabrication): 1,16 g CO<sub>2</sub>e
- Serveurs environnement (dont scratch) (fabrication) = 0,38 g CO<sub>2</sub>e
- Serveurs de calcul (usage : électricité) = 1,79 g CO<sub>2</sub>e
- Serveurs environnement (dont scratch) (usage : électricité) = 0,64 g CO<sub>2</sub>e
- Déplacements domicile-travail (personnels) = 0,55 g CO<sub>2</sub>e
- Équipements (personnels) = 0,06 g CO<sub>2</sub>e
- Énergie (personnels) = 0,05 g CO<sub>2</sub>e
- Déplacements professionnels (personnels) = 0,06 g CO<sub>2</sub>e

**TOTAL = 4,68 g CO<sub>2</sub>e"**



[\[Berthoud et al., "Estimation de l'empreinte carbone d'une heure.coeur de calcul", 2020\]](#)

# Conclusion

- Évolution très importante de l'informatique ces 30 dernières années sur différents aspects (puissance, miniaturisation, efficacité, etc.)
- Les **datacenters** représente **entre 18 et 41%** des émissions d'eqCO<sub>2</sub> au niveau mondial
- Tendance à l'amélioration de l'efficacité énergétique, des composants, des serveurs et des datacenters ⇒ **Attention à l'effet rebond !** **Effet rebond = l'augmentation de consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie, ici la consommation électrique.**
- **Un serveur IDLE ne consomme pas “rien”**
- **La plupart des émissions sur la durée de vie du matériel sont faites :**
  - à l'utilisation pour les serveurs (classiques et de calcul) : environ 60%
  - pendant la fabrication pour les PCs et écrans personnels : environ 90%

# Bonus associations de récupération de matériels

Association TeamRécup' : [@AssoTeamRecup](https://www.teamrecup.fr/) | <https://www.teamrecup.fr/>

Inforéa : [@ Inforea](https://www.inforea.tech/) | <https://www.inforea.tech/>

GoRécup : [@GoRecup](https://go-recup.fr/) | <https://go-recup.fr/>