

EES CM3 : Énergie

Adrien Luxey-Bitri

Univ Lille – FST – FIL



2 octobre 2024

Au menu

Généralités

Anatomie des centres de données

Consommation électrique mondiale

Critiques, limites, discussion

Section 1

Généralités

L'énergie en physique

Énergie

Quantité de travail d'une force agissant sur une longueur :

$$[E] = [F] \times [L] = MLT^{-2} \times L = ML^2T^{-2}$$

Unités : joule (J), calorie (cal, kcal), **watt-heure (Wh)**...

1 Wh = énergie dispensée par 1 W de puissance en 1 h.

L'énergie en physique

Énergie

Quantité de travail d'une force agissant sur une longueur :

$$[E] = [F] \times [L] = MLT^{-2} \times L = ML^2T^{-2}$$

Unités : joule (J), calorie (cal, kcal), **watt-heure (Wh)**...

1 Wh = énergie dispensée par 1 W de puissance en 1 h.

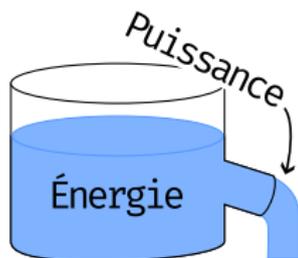
Puissance

Débit d'énergie (énergie par unité de temps) :

$$[P] = [E]/[T] = ML^2T^{-3}$$

Unité : watt (W)

$$1 W = 1 J/s \quad 1 Wh = 3600 J$$



Exemples de puissance

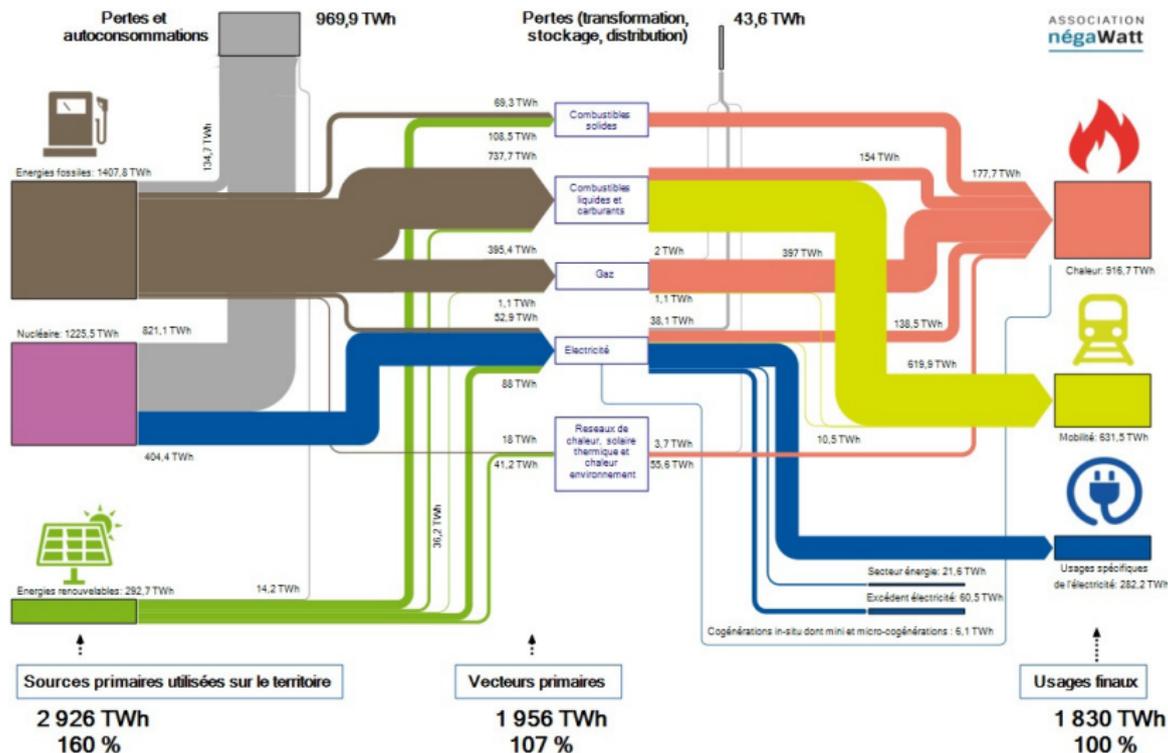
Chez moi, par semaine

	Puissance	Durée	Consommation
Serveur RPI	1.15 W	24/7	193.2 Wh
<i>Laptop</i>	15 W	60 h	900 Wh
Aspirateur	1 kW	1 h	1 kWh
2× serveurs M82 [Deu20]	60 W	24/7	10 kWh
Eau chaude	1-2kW	?	~ 20kWh
...			...
Total d'après relevé EDF			42 kWh

	Puissance	Durée	Consommation
Serveur RPI	1.15 W	24/7	193.2 Wh
<i>Laptop</i>	15 W	60 h	900 Wh
Aspirateur	1 kW	1 h	1 kWh
2× serveurs M82 [Deu20]	60 W	24/7	10 kWh
Eau chaude	1-2kW	?	~ 20kWh
...			...
Total d'après relevé EDF			42 kWh

Autres exemples de **puissance** :

Panneau solaire domestique (crête)	300-600 W/m ²
Moteur Renault ZOE	100 kW
Éolienne EDF (crête)	1-3 MW
Centrale nucléaire REP	~ 1 GW
Centrale nucléaire EPR	1.6 GW



Références

- [Nég17] NÉGAWATT, *Scénario négaWatt*, rapp. tech., 2017, URL : <https://negawatt.org/scenario/> (vu le 23/09/2024).
- [Deu20] DEUXFLEURS, *Consommation électrique*, 2020, URL : <https://guide.deuxfleurs.fr/infrastructures/energie/> (vu le 29/09/2024).
- [Min24] MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, *Chiffres clés de l'énergie*, rapp. tech., 2024, URL : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2024/> (vu le 23/09/2024).

Section 2

Anatomie des centres de données

Quid des infrastructures et terminaux ?

Leurs enjeux ne sont pas là.

Terminaux

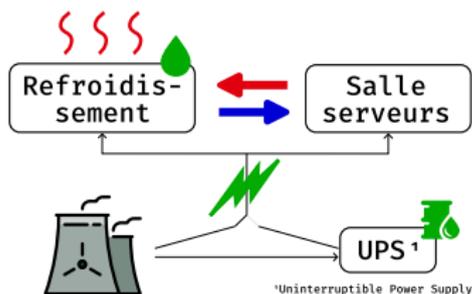
- De plus en plus optimisés : Moore, perf. par watt.
- C'est le client qui paye.
- Effet rebond, multiplication des usages.

Infrastructures

- Suit et dirige les usages.
- Consomme autant *idle* que saturé (*no CPU*).

On parlera surtout centres de données.

Composants d'un centre de données



Alim. sans coupure (UPS)

- Régule la tension
- Prend le relai si grille élec. HS

Contraintes :

- Connectivité
- Sécurité
- Disponibilité

Intrants :

- Électricité
- Énergie de secours
- Eau



Refroidissement

- **caloporteur**
(air, eau, huile...)
- Refroidi à l'eau

Salle serveurs

Modèle	Type	Année	Consommation
Dell R740 [Thi19]	Serveur complet (avec 2 Xeon 2017)	2017	308-352 W
Intel Xeon [Wik17]	Processeur seul	2017	98-120 W ¹
Intel Xeon [Int24]	Processeur seul	2024	310-750 W ¹
Nvidia Blackwell B200	GPU IA seul	2024	1500 W ¹

1. Calculée en multipliant par 1.5 l'enveloppe thermique publiée par le constructeur. [Wik24]

Alimentation sans coupure

Régulateur

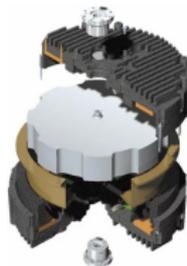


+

Démarrage



ou

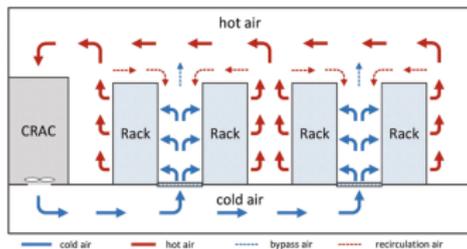


+

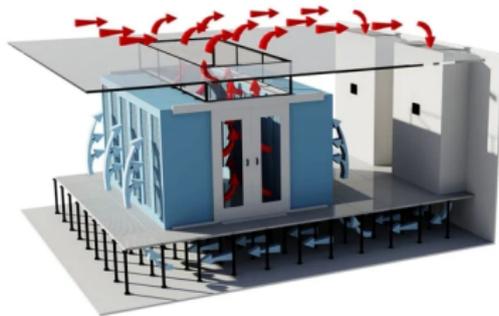
Générateur
de secours



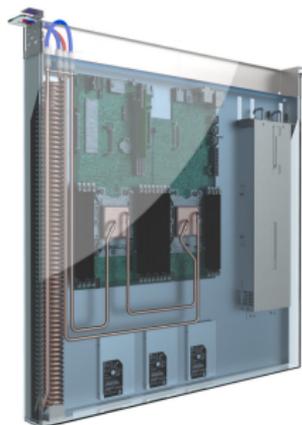
Refroidissement par climatisation



- Température
- Humidité



Refroidissement liquide



- Meilleurs caloporteurs que l'air
- Moins de volume à refroidir
- Inertie thermique en cas de panne
- ΔK plus grand (récupération chaleur)
- Depuis 2003 chez OVHCloud :
 - 20% consommation par serveur [Che+22]

Récupération de la chaleur fatale

Réseau de chaleur :



- Proximité source-puits
 - HPC plutôt que stockage
 - Infrastructure à adapter
- ⇒ Peu déployé en France.

Qarnot Computing :



Métrie : PUE

$$\text{Power Usage Effectiveness PUE} = \frac{P_{\text{serveurs}} + P_{\text{refr.}} + P_{\text{UPS}} + P_{\text{bureaux}} + \dots}{P_{\text{serveurs}}}$$

Standards : ISO/IEC 30134-2 :2016 [ISO16] & EN 50600-4-2.

OVH (ISO) : 1,29 (1,09 avec refr. liquide)

Google (pas ISO) : 1,09.

Limitations : charge des serveurs, climat local...

Métrieque : PUE

$$\text{Power Usage Effectiveness PUE} = \frac{P_{\text{serveurs}} + P_{\text{refr.}} + P_{\text{UPS}} + P_{\text{bureaux}} + \dots}{P_{\text{serveurs}}}$$

Standards : ISO/IEC 30134-2 :2016 [ISO16] & EN 50600-4-2.

OVH (ISO) : 1,29 (1,09 avec refr. liquide)

Google (pas ISO) : 1,09.

Limitations : charge des serveurs, climat local...



Sinon on met les serveurs sous l'eau.

Question : Pourquoi c'est discutable comme idée ?

Un centre de données en chiffres

- Débuté en 2016, CBRE, Suisse
- 15km², Tier III (redondance)
- 8 salles serveurs (4 construites)
- 72MW réservés :
 - 2 × 36 MW (pour 30 MW d'IT)
 - ⇒ 10 villes de 12k hab.
- PUE = 1,47



Par salle

- 1.5 MW (capacité : 750 kW)
- UPS :
 - 2000 batteries au plomb
 - dieseline 20 cyl., 4000 ch.
 - Réserves d'essence :
 - 2 × 5 jours

Refroidissement

- Réserve d'eau de pluie au sous-sol
- Alimente clim.
- Fortes chaleurs : aspersion sur les clim.

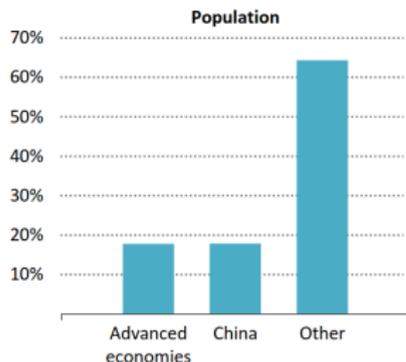
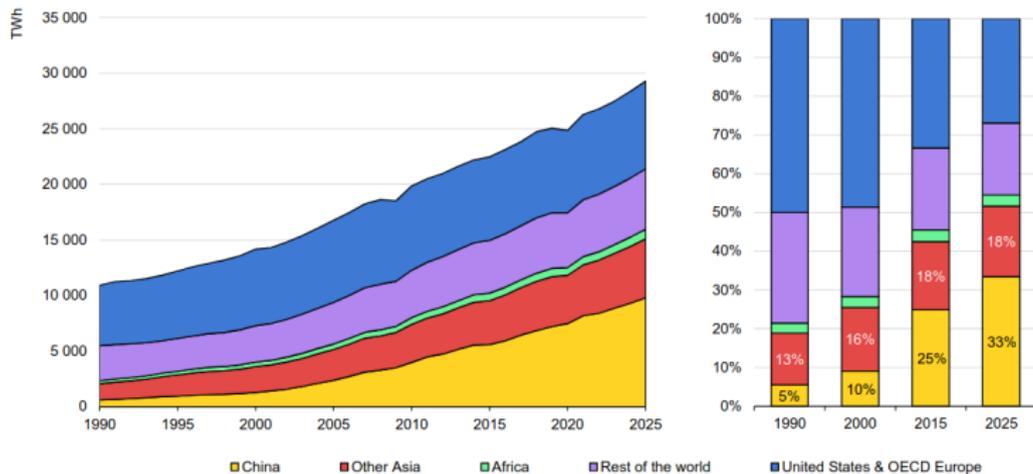
Références

- [ISO16] ISO, *ISO/IEC 30134-2 :2016*, 2016, URL : <https://www.iso.org/standard/63451.html> (vu le 01/10/2024).
- [Wik17] WIKIPEDIA, « List of Intel Xeon Processors (Kaby Lake-based) », À : (2017), URL : [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_Intel_Xeon_processors_\(Kaby_Lake-based\)&oldid=1200575986](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_Intel_Xeon_processors_(Kaby_Lake-based)&oldid=1200575986) (vu le 29/09/2024).
- [Che19a] Ali CHEHADE, *Water Cooling : From Innovation to Disruption – Part I*, déc. 2019, URL : <https://blog.ovhcloud.com/water-cooling-from-innovation-to-disruption-part-i/> (vu le 29/09/2024).
- [Che19b] Ali CHEHADE, *Water Cooling : From Innovation to Disruption – Part II*, déc. 2019, URL : <https://blog.ovhcloud.com/water-cooling-from-innovation-to-disruption-part-ii/> (vu le 29/09/2024).
- [Thi19] THINKSTEP, *Life Cycle Assessment of Dell R740*, Life Cycle Assessment, juin 2019, URL : https://www.delltechnologies.com/asset/en-us/products/servers/technical-support/Full_LCA_Dell_R740.pdf (vu le 16/03/2023).
- [Che+22] Ali CHEHADE et al., *New Hybrid Immersion Liquid Cooling Developments at OVHcloud*, oct. 2022, URL : <https://blog.ovhcloud.com/new-hybrid-immersion-liquid-cooling-developments-at-ovhcloud/> (vu le 29/09/2024).
- [Int24] INTEL, *Intel Xeon 6 Specifications*, 2024, URL : <https://www.intel.fr/content/www/fr/fr/products/sku/series/240357/intel-xeon-6.html> (vu le 01/10/2024).
- [Wik24] WIKIPEDIA, « Thermal Design Power », À : (sept. 2024), URL : https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermal_design_power&oldid=1244007290 (vu le 01/10/2024).

Section 3

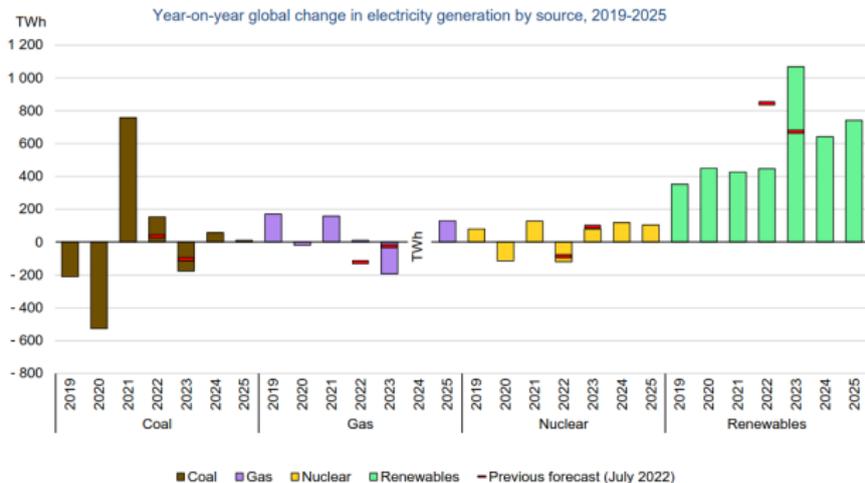
Consommation électrique mondiale

Une demande en hausse



Conso. mondiale 2022 : 29 033 TWh
 (29 033 $\times 10^{12}$ Wh)
 Pr evision IEA 2050 : 53 985 TWh

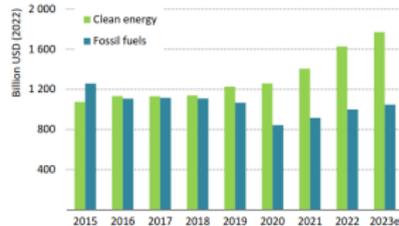
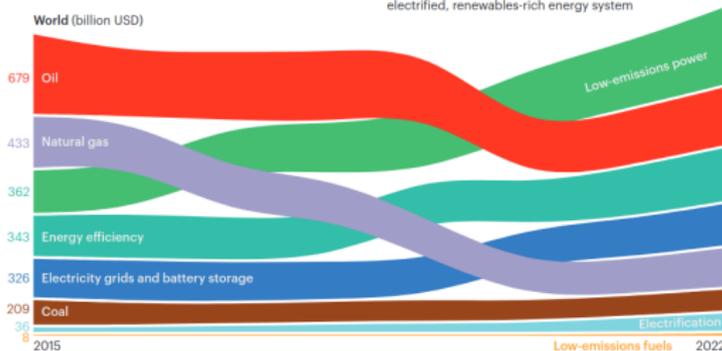
Investissement dans les « renouvelables »



Investment flows

World (billion USD)

The pattern of investments in recent years has started to shift the world towards a more electrified, renewables-rich energy system



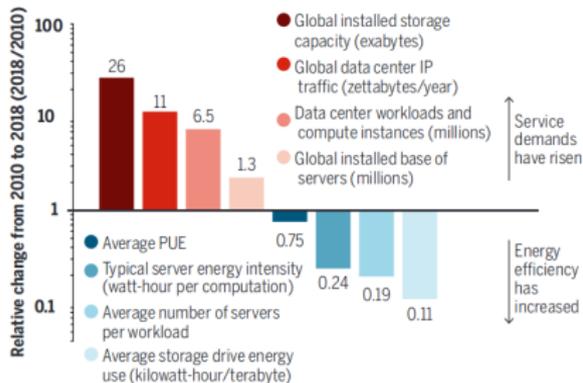
La part du numérique

En 2022, sur un total de 29 033 TWh [IEA23a] :

- Réseaux : 260–360 TWh (0,9–1,2 %)
- Centres de données (hors crypto) : 240–340 TWh (0,8–1,2 %)
- Crypto : 110 TWh (0,4 %)

Terminaux : ? (Hypothèse : sans compter TV, semblable aux Réseaux.)

Trends in global data center energy-use drivers



- Augmentation de l'efficacité
- Déploiements massifs de centres de données :
Irl. : $\times 5$ depuis 2015 = 18 %
Danemark : $\times 6$ d'ici 2030
- Toutes ces prévisions précèdent l'IA !

Références

- [IEA20] IEA, *Electricity Market Report*, rapp. tech., OECD, déc. 2020, DOI : 10.1787/f0aed4e6-en, URL : https://www.oecd-ilibrary.org/energy/electricity-market-report_f0aed4e6-en (vu le 01/10/2024).
- [Mas+20] Eric MASANET et al., « Recalibrating Global Data Center Energy-Use Estimates », À : *Science* 367.6481 (fév. 2020), p. 984-986, ISSN : 0036-8075, 1095-9203, DOI : 10.1126/science.aba3758, URL : <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba3758> (vu le 01/10/2024).
- [IEA23a] IEA, *Data Centres & Networks*, 2023, URL : <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks> (vu le 01/10/2024).
- [IEA23b] IEA, *World Energy Outlook 2023*, rapp. tech., OECD, 2023, URL : <https://origin.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (vu le 01/10/2024).

Section 4

Critiques, limites, discussion

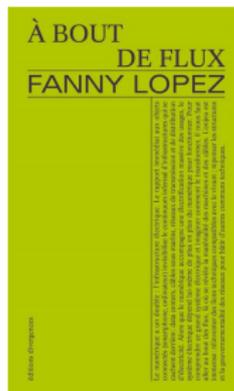


deuxfleurs.fr

Les usages

Quel est le juste niveau d'informatisation des sociétés ?





- 80% des échanges sont M2M
- Réservation élec. *datacenters* dysproportionnée
- AccapARATION privée d'un patrimoine public
- Demande concertation démocratique (sobriété)

C'est fini.

Rentrez chez vous.

```
-----  
/ Soyez raisonnables, \  
\ soyez subversif·ves ! /  
-----  
\  
\  
| \_--/| .~--~.  
/oo `./  
{o--, \ {  
/ . . ) \ \  
- - ' - ' \ }  
.( _ ( )-.'  
'---.~---|
```

Merci de votre attention !