



# ENV4101

## Consommation énergétique des data centers

Hind Castel, département Réseaux,  
Services et Télécommunication

Octobre 2023





# Plan

- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
- Economie d'énergie dans les data centers



# Plan

- [Introduction au cloud et aux data centers](#)
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
- Economie d'énergie dans les data centers

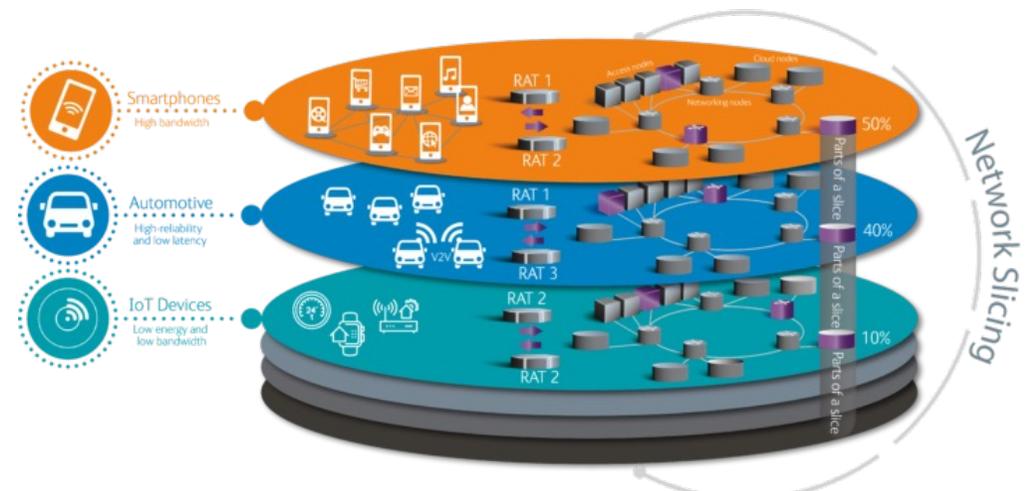
# LE CLOUD COMPUTING ET LES DATACENTERS

- **Le cloud computing** : pool de ressources disponibles à la demande sous forme de **services** dans des datacenters
- Le cloud est basé sur la technologie de **virtualization des ressources**



# LES APPLICATIONS ÉMERGENTES AVEC LA 5G/6G

- 5G : offre des débits beaucoup plus élevés et une gestion « intelligente du réseau »
- 5G Slicing (ou tranches de réseaux) :
  - Chaque slice correspond à un ensemble de **fonctions de réseaux virtuelles**
  - **Différents types de réseaux virtuels (ou slices) :**
    - **Très haut débit, Communications massives de type machine , des communications ultra-fiables et à faible latence**



L'utilisation des data centers va  
**explorer**



# Plan

- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
- Economie d'énergie dans les data centers

# Schéma d'un data center

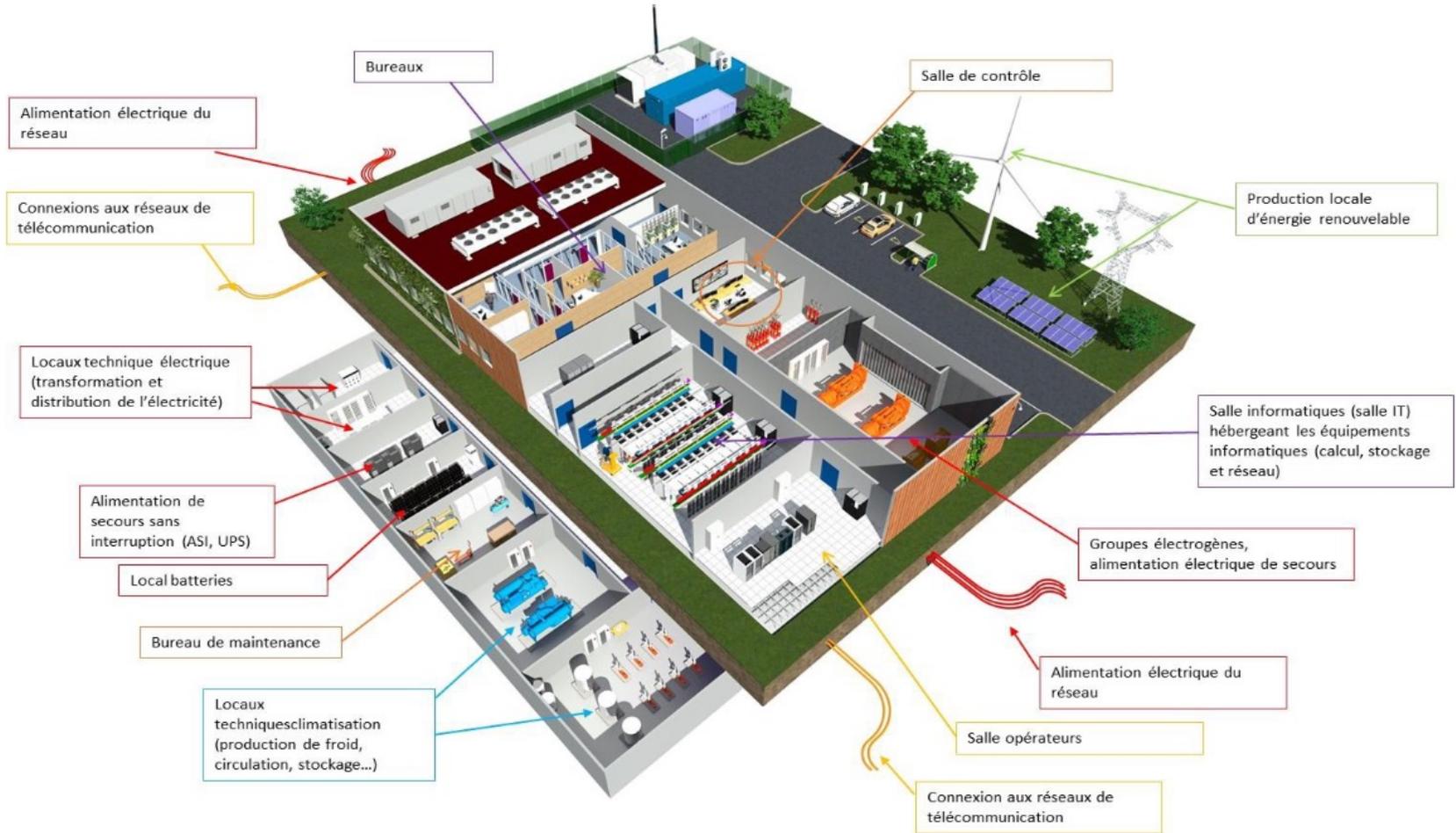
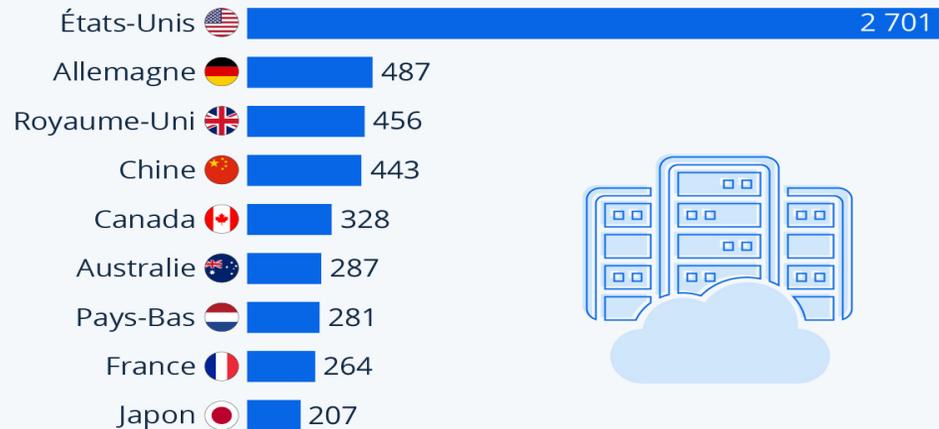


Schéma issu de la présentation d'OVHcloud (Tristan Vuillier)

# Carte des Datacenters dans le monde

## Les pays qui hébergent le plus de data centers

Nombre de centres de données recensés par pays en septembre 2022 \*



\* Sélection des pays avec plus de 200 data centers répertoriés.

Source : Cloudscene

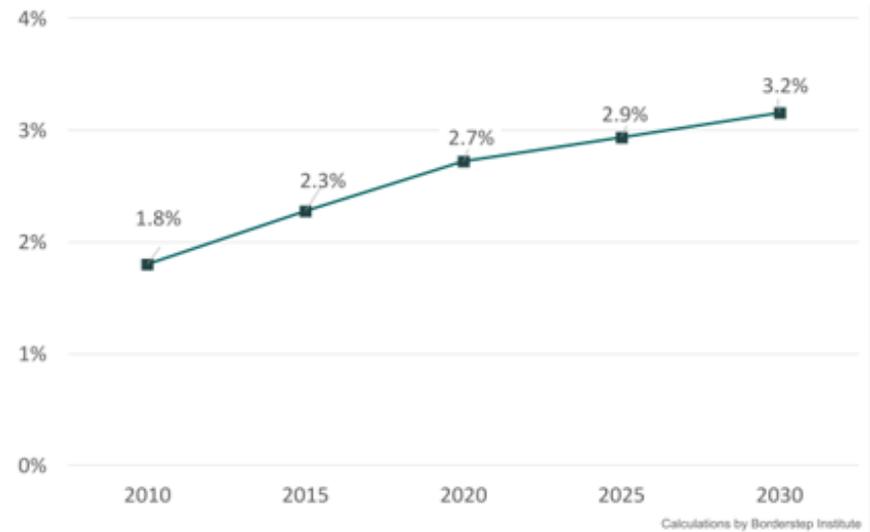


statista

<https://fr.statista.com/>

# LES DATA CENTERS ET LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

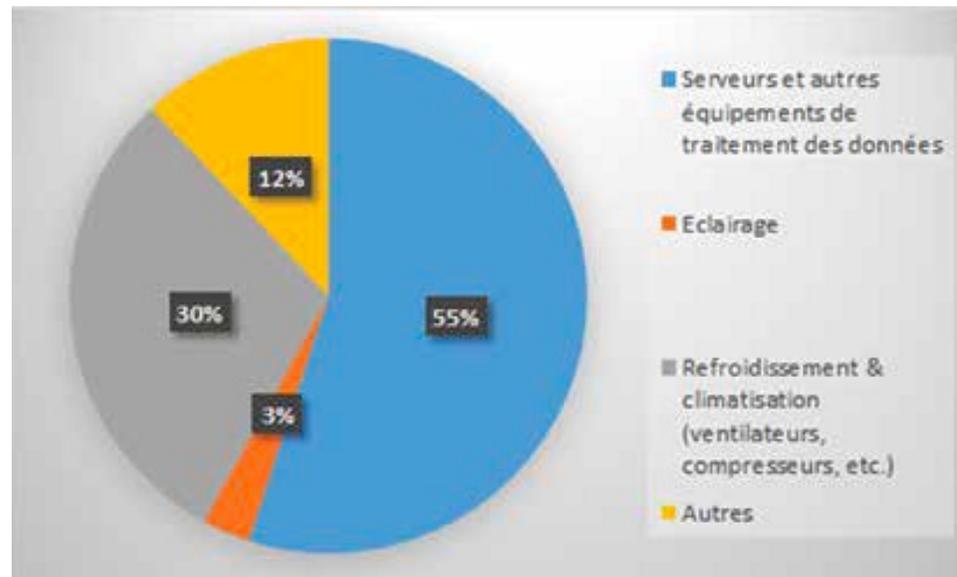
- Différentes tailles (Huge : 10000m<sup>2</sup>) à Small (200 m<sup>2</sup>)
- La France compte en 2020 environ 200 data centers dont 34% sont en Ile de France
- Haute disponibilité, fonctionne 24h/24h, et **consomme beaucoup** :
  - en moyenne un data center de **10000m<sup>2</sup>** consomme autant qu'une ville de **50000 habitants!!**



Pourcentage de la demande électrique des data centers dans l'union Européenne  
(<https://cloud-computing.developpez.com/>)

# LES DATA CENTERS ET LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

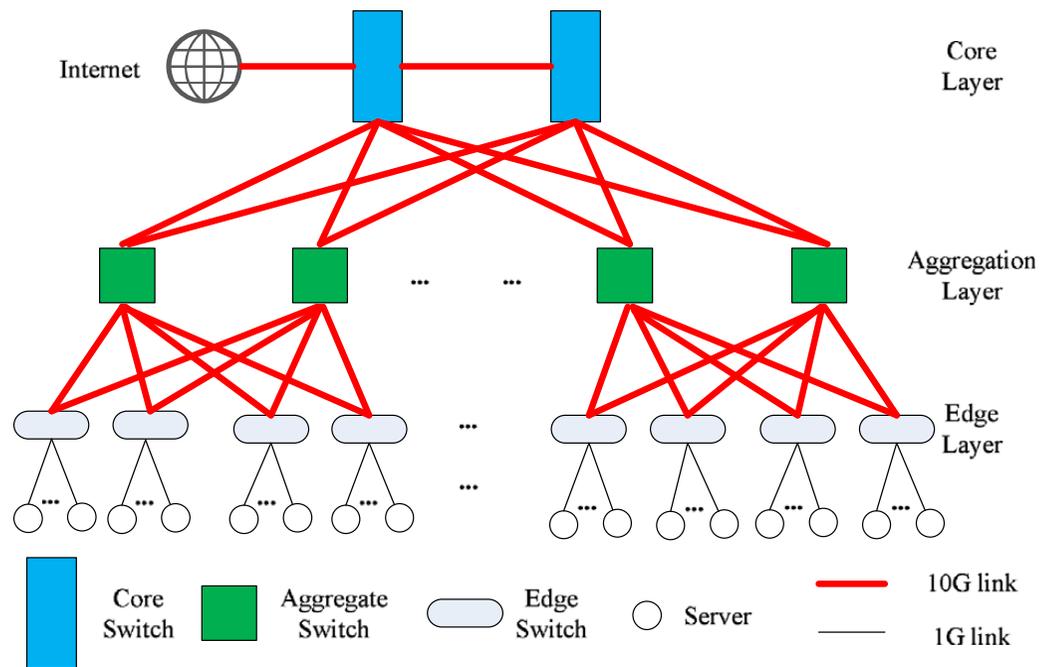
## Répartition de la consommation énergétique dans un data center



Tiré de « Les data centers »  
Article in Revue de l'Electricité et de l'Electronique · October 2015

Autres : systèmes d'alimentation électrique

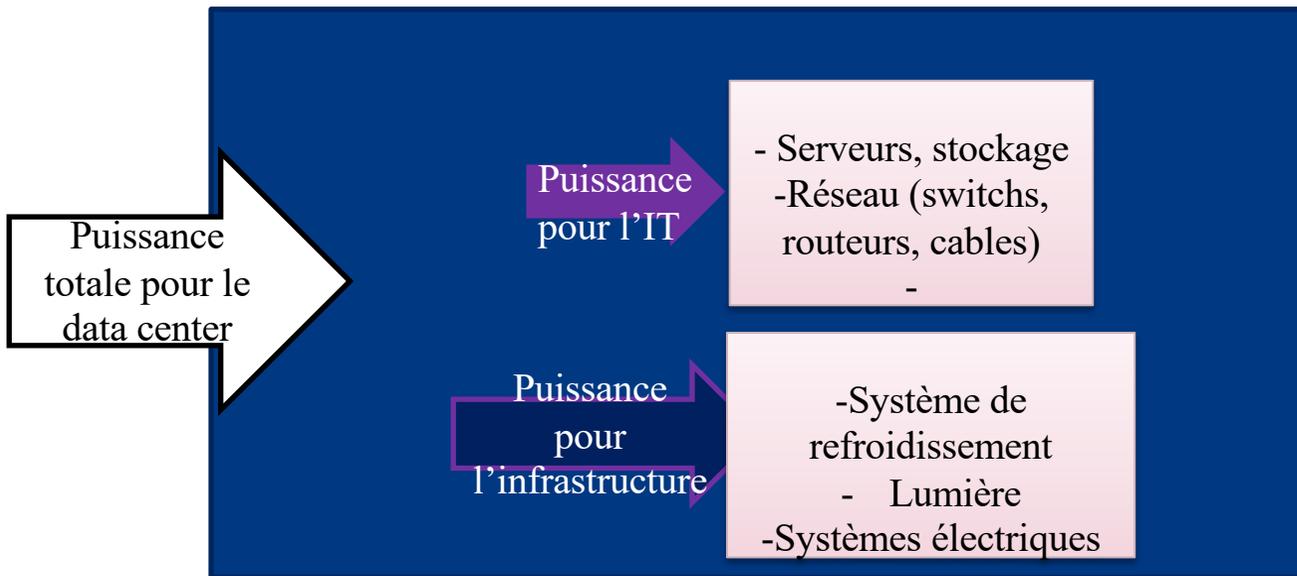
# Architecture standard de l'IT d'un data center



Vision des équipements qui traitent des données

The features, hardware, and architectures of data center networks: a survey, Tao Chen, Xiaofeng Gao\*, Guihai Chen, J. Parallel Distrib. Comput. 96 (2016) 45–74

# Mesure de l'efficacité énergétique : le PUE



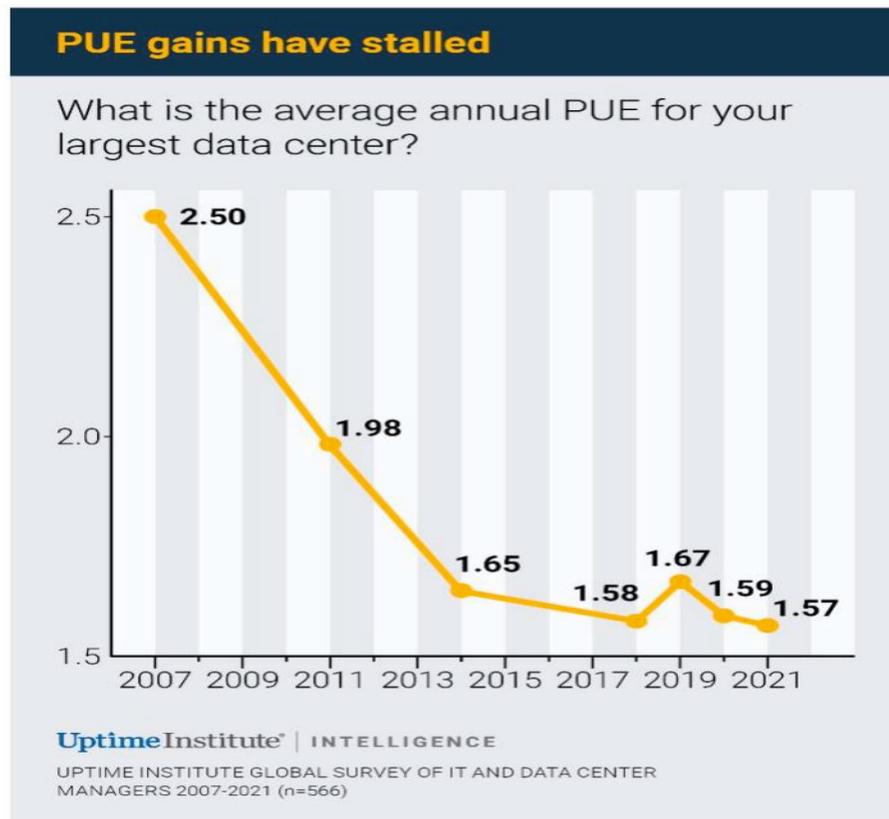
PUE : Power Usage Effectiveness

L'idéal est d'avoir un PUE de 1

**Pour 1 Watt consommé par un équipement informatique, le data center consomme 1 x PUE Watts**

$$PUE = \frac{\text{Puissance totale pour le data center}}{\text{Puissance pour les équipements informatiques et réseau}}$$

# Evolution du PUE des data centers (hyperscalers) dans le monde



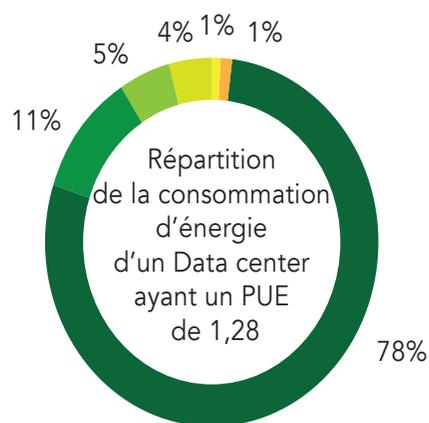
Avantage des hyperscalers (taille >10000m<sup>2</sup>, plus de 5000 serveurs)

- minimisation de l'espace occupé au sol (armoires de serveurs)
- systèmes de refroidissement plus efficaces

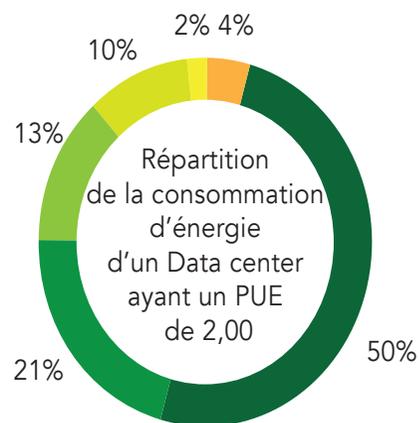


Google Cloud

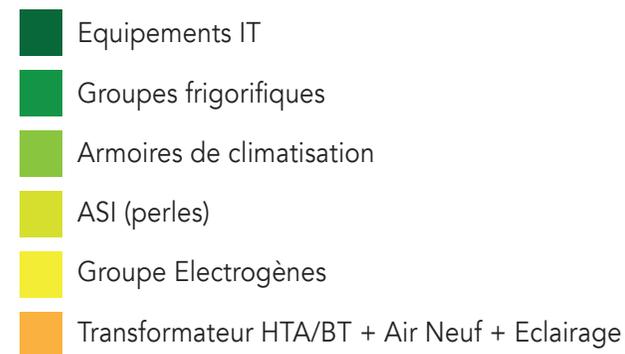
# Répartition de la consommation énergétique dans un data center en fonction du PUE



Data centers récents



Moyenne des parcs français



LIVRE BLANC LES INDICATEURS DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES DATA CENTERS



## Vers un data center « Green »

- Réduire la consommation électrique des différents équipements (refroidissement, alimentation électrique sécurisée, éclairage)
  - *l'un des plus gros data center va être implanté dans le nord de la Finlande, dans l'Arctique : pas besoin de système de refroidissement*
  - *Utiliser des techniques efficaces de refroidissement : free Cooling, Water Cooling, ...*
- Utiliser des énergies renouvelables (énergie solaire, éoliennes,...) difficulté car ces sources sont intermittentes
  - *possibilité de stockage mais les batteries ont une capacité limitée*
- **Réutiliser** la chaleur générée par les data centers (Ex : Qarnot qui distribue l'eau chaude pour des logements, bureaux,... )
- **Réduire la consommation énergétique des équipements informatiques : Mettre en place des stratégies pour économiser l'énergie**

# Refroidissement d'un Data center

## Free cooling

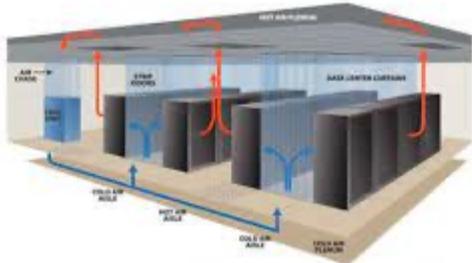
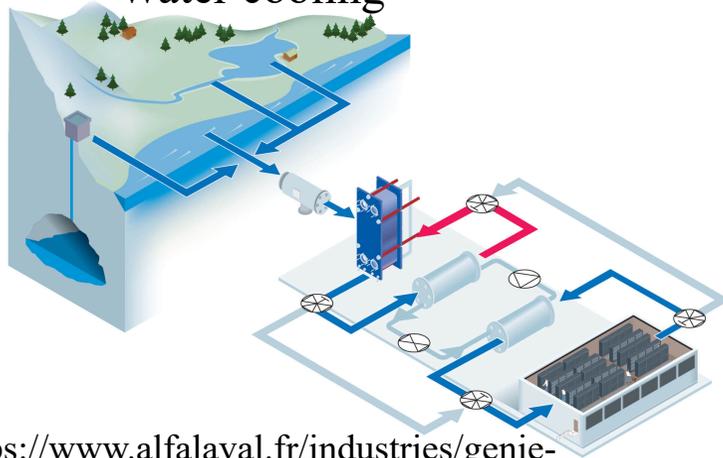


fig 6 Schéma simplifié du refroidissement d'un Data Center

L'EFFICACITE ENERGETIQUE  
DANS LES DATA CENTERS, 2016



## Water cooling



<https://www.alfalaval.fr/industries/genie-climatique/refroidissement-de-data-centers/free-cooling-eau/>

## « Immersion cooling »

Système de refroidissement de serveurs de Green Revolution Cooling (Source: GRC)-ICT journal 2019

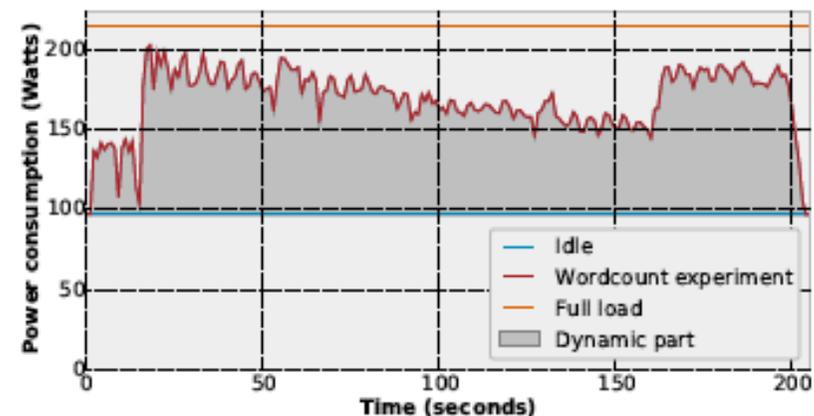


# Plan

- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- [La puissance consommée par un serveur physique](#)
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
- Economie d'énergie dans les data centers

# DIFFÉRENTS «TYPES» DE PUISSANCES POUR UN SERVEUR

- Puissance **idle** (ou **statique**) : **Pstatic**, puissance d'un serveur informatique lorsqu'il est allumé et n'exécute pas de tâches
- Puissance **dynamique** : **Pdynamic**, puissance consommée au-delà de la puissance statique, quand le serveur exécute des tâches, dépend de :
  - L'utilisation de la CPU, de la RAM, des I/O



How much does a VM cost? Energy-proportional accounting in VM-based Environments  
Mascha Kurpicz, Anne-Cécile Orgerie, Anita Sobe  
Euromicro International Conference on Parallel, Distributed,  
and Network-Based Processing, Feb 2016, Heraklion, Greece

# RÉPARTITION DE LA PUISSANCE DANS UN SERVEUR PHYSIQUE (RÉSULTATS DE MESURES)

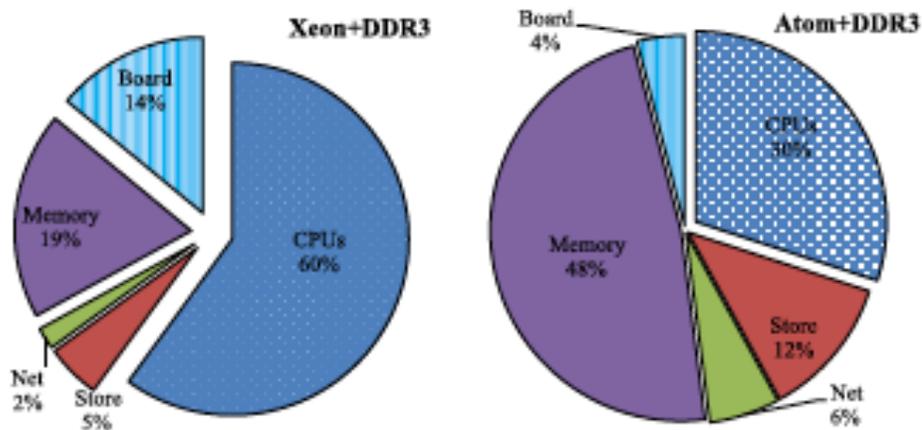


Fig. 8. Power breakdown across the components of two servers [103]. In the case of Atom processor based server, memory consumes largest amount of power while in Xeon based server, the CPUs are the main power consumers.

Dans la suite, on supposera que la puissance consommée dépend surtout de la CPU

La répartition des puissances consommées dépendent des spécificités physiques (type de mémoire, CPU) plus ou moins consommateurs

Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey, Miyuru Dayarathna, YonggangWen, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 18, NO. 1, FIRST QUARTER 2016

# Influence des fréquences et du pourcentage d'utilisation du CPU

Résultats de mesures Intel Xeon E5520 (16 cores total),  
2.27GHz, 16 Gb RAM, DVFS avec 2 fréquences possibles (2,26  
et 1,6) et différents pourcentages d'utilisation du CPU

*Programmes qui utilisent un certains % de CPU : ceux qui  
utilisent plus de CPU vont plus vite et consomment plus*



CPU %	Frequency	Time (sec.)	Watts
10	2.26	203000	0.052
20	2.26	188500	0.054
30	2.26	174100	0.057
40	2.26	163100	0.060
50	2.26	149300	0.063
60	2.26	134700	0.067
70	2.26	124400	0.070
80	2.26	110800	0.072
90	2.26	96800	0.074
100	2.26	86400	0.074

**Résultats de mesures pour une fréquence de 1.6  
et différents pourcentages d'utilisation du CPU**

CPU %	Frequency	Time (sec.)	Watts
10	1.6	205200	0.041
20	1.6	206300	0.042
30	1.6	201500	0.043
40	1.6	194700	0.045
50	1.6	189100	0.046
60	1.6	185200	0.048
70	1.6	181600	0.051
80	1.6	176100	0.054
90	1.6	169900	0.057
100	1.6	165000	0.061

Modeling Power Consumption for DVFS Policies

Fábio Diniz Rossi, Mauro Storch, Israel de Oliveira, César A. F. De Rose, 2015 IEEE



# Remarques sur les puissances consommées par un serveur

- **La puissance statique** d'un serveur peut **beaucoup varier** d'un serveur à un autre même s'ils ont des **caractéristiques similaires**
  - position du serveur dans le Rack s'il y a à proximité des serveurs allumés ou pas
- Selon **le type** d'applications, la puissance consommée par une machine peut dépendre davantage **d'un composant** que d'un autre
- Pour une même application, sur des machines différentes, mais similaires, il n'y a pas que le **CPU** qui impacte la puissance moyenne consommée, autres paramètres : **carte réseau, mémoire**

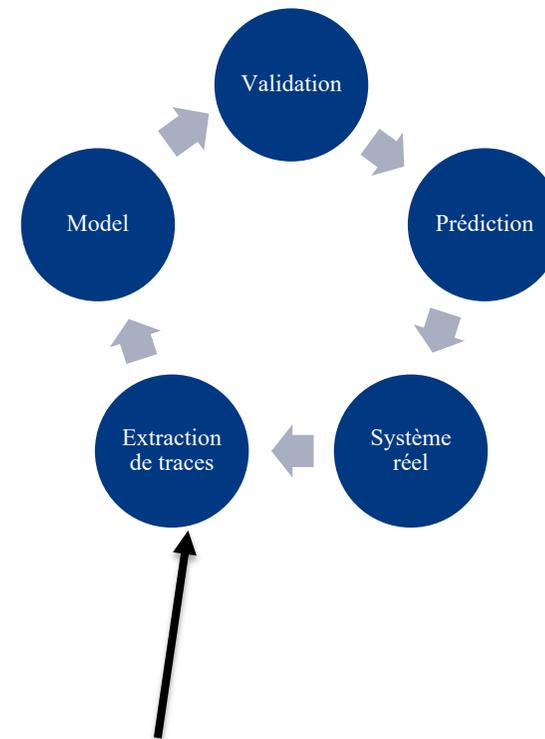


# Plan

- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
  - Comment construire un modèle polynomial avec la régression linéaire
  - Exemple de quelques modèles existants
- Economie d'énergie dans les data centers

# MODÉLISATION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE À PARTIR DE MESURES

- Un modèle :
  - équation, graphe, réseau neuronal,
  - abstraction permettant de prédire l'énergie consommée afin d'économiser l'énergie
- Différentes étapes pour « construire » un modèle :
  - **Extraction** de données à partir de traces
  - **Conception du modèle** et sa **validation**
  - Utilisation du modèle pour faire des **prédictions** et pour améliorer la **consommation énergétique** du système réel



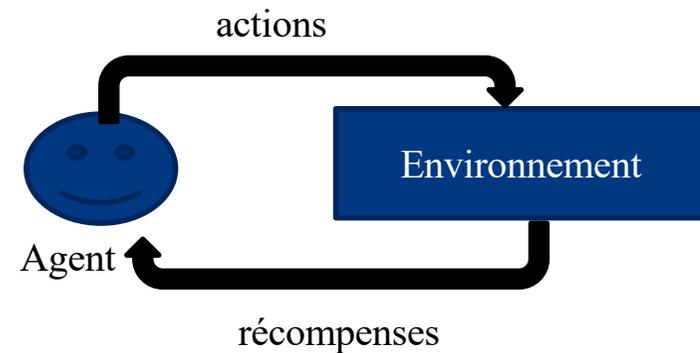
# Méthodes d'IA pour construire les modèles

## Apprentissage supervisé :

- L'apprentissage se fait à partir des valeurs d'entrée et de sortie.
- Méthodes : régression linéaire, arbre de décision, réseaux neuronaux

**Apprentissage non supervisé** : détecter des motifs cachés au sein de larges quantités de données

**Apprentissage par renforcement** : l'agent de contrôle apprend à partir des actions et reçoit des récompenses à optimiser : **Permet le contrôle dynamique des systèmes automatisés !**





# Plan

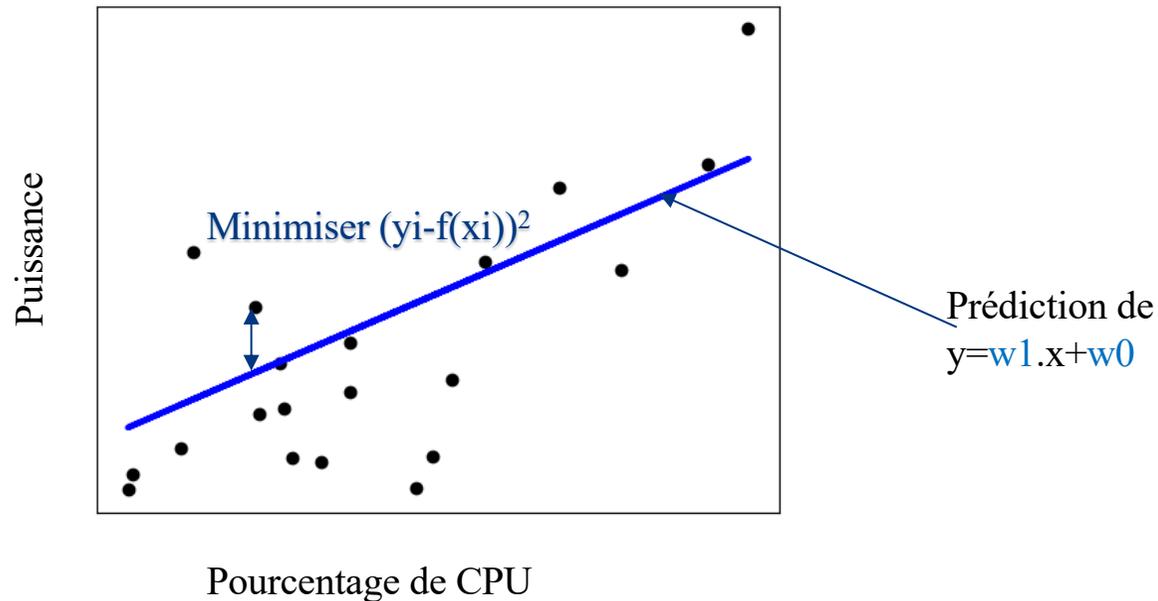
- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
  - Comment construire un modèle polynomial avec la régression linéaire
  - Exemple de quelques modèles existants
- Economie d'énergie dans les data centers

# Regression linéaire

-On considère 2 variables  $x$  et  $y$ , et on a des traces de valeurs de points observés  $(x_i, y_i)$

-On cherche à **prédire** une fonction  $f$  linéaire telle que  $y \approx f(x)$

-Cas de régression linéaire simple :  $y = f(x, W) = w_0 + w_1 \cdot x$  où  $w_0$  et  $w_1$  sont les deux coefficients à calculer,  $W = (w_0, w_1)$ .



$y_1, \dots, y_n$  : puissances mesurées en fonction de  
 $x_1, x_2, \dots, x_n$  : taux d'utilisation de la cpu

# Régression polynomiale : approche matricielle

- Considérons les valeurs de points observés  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$

- Soient  $X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 \end{pmatrix}$ ,  $W = \begin{pmatrix} W_0 \\ W_1 \\ W_2 \end{pmatrix}$   $Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}$

- On cherche à minimiser l'erreur, donc  $W = (X^T * X)^{-1} * Y$



# Test et vérification du modèle

- On cherche à calculer une mesure d'erreur entre les valeurs réelles et les valeurs prédites par le modèle
- La mesure qui est souvent utilisée est le RMSE ( Root Mean Square error) :

- $$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, W))^2}{n}}$$





# Exemple1

**DELL 620** : Dell Inc. PowerEdge R620 (Intel Xeon E5-2660, 2.2 GHz)

Traces prises <http://www.spec.org>

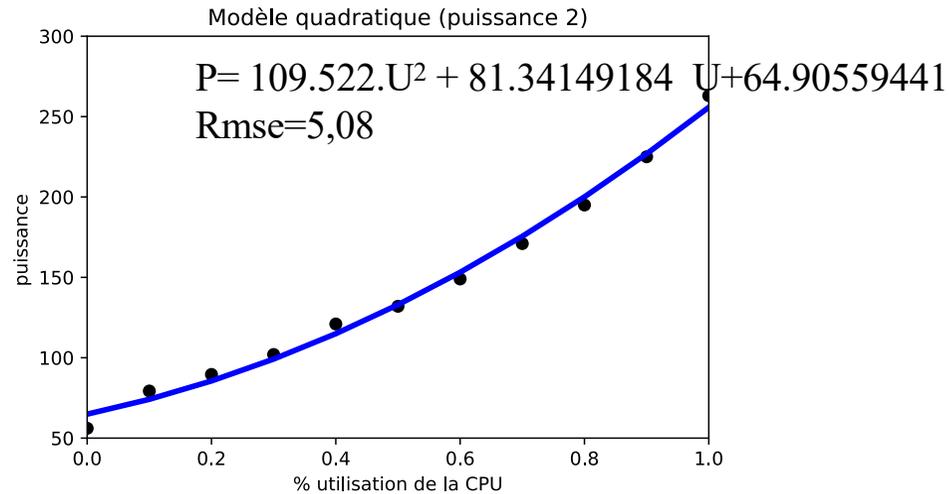
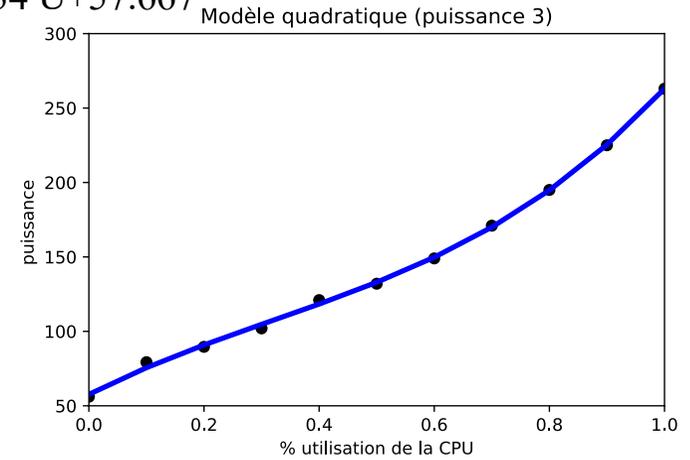
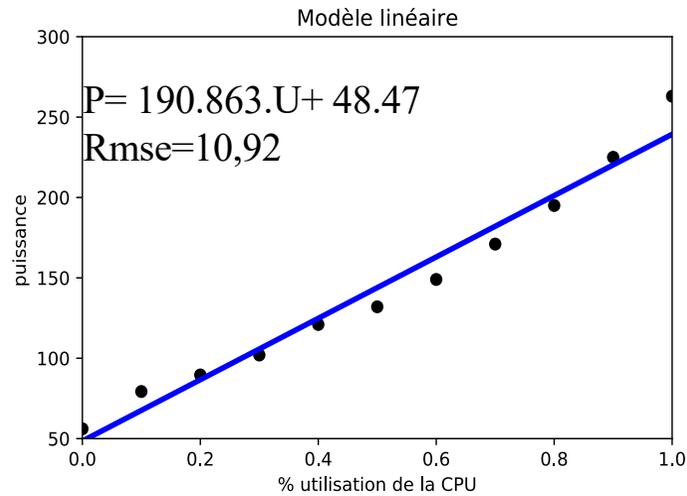
- % utilisation du CPU :  $U = ([0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1])$
- Puissances =  $([56.1, 79.3, 89.6, 102, 121, 132, 149, 171, 195, 225, 263])$

# Construction de modèles : DELL 620

X->U  
Y->P

$$P = 201.048.U^3 - 192.051.U^2 + 196.34.U + 57.667$$

Rmse=1,00





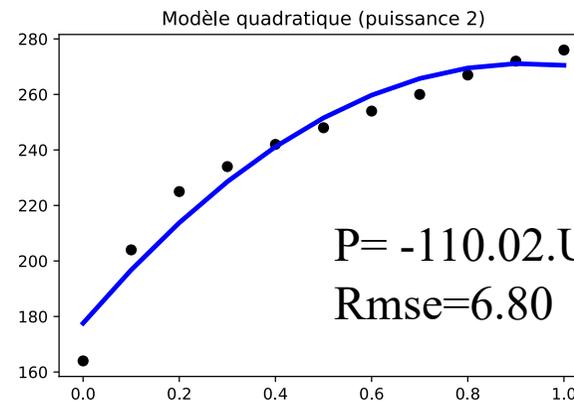
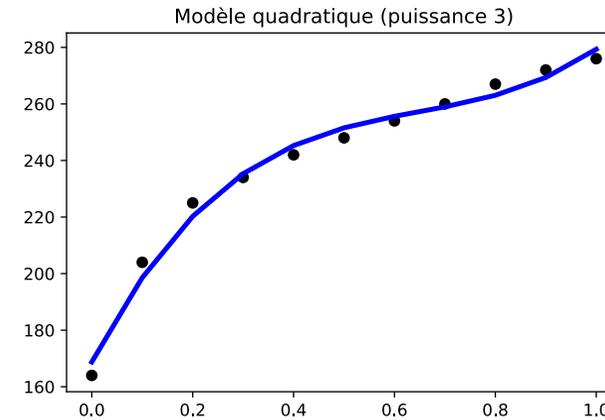
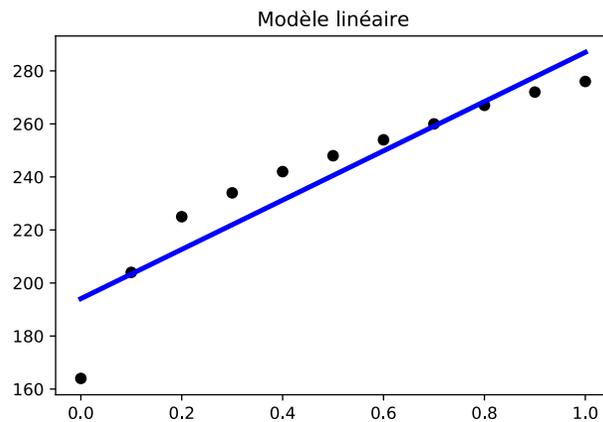
## Exemple 2

- **CX2266 : Colfax International CX2266-N2 (AMD Opteron Dual-Core, 2.4GHz)**
- % utilisation du CPU :  $U = ([0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1])$
- Puissances =  $([164, 204, 225, 234, 242, 248, 254, 260, 267, 272, 276])$

$$P = 245.U^3 - 477.U^2 + 343.15.U + 168.76$$
$$Rmse = 3.53$$

# Modèles pour le CX2266

$$P = 194.090.U + 92.90$$
$$Rmse = 11,86$$



$$P = -110.02.U^2 + 202.U + 177.587$$
$$Rmse = 6.80$$



# Plan

- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
  - Comment construire un modèle polynomial avec la régression linéaire
  - Exemple de quelques modèles existants
- Economie d'énergie dans les data centers



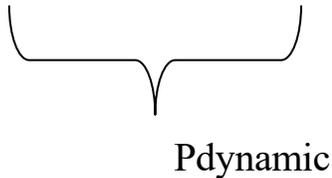
# Différents modèles de puissance existants

- En fonction de la fréquence et du voltage :
  - $P = C \cdot V^2 \cdot f + P_{static}$ , C : transistor capacitance, (constante) V : voltage , f : fréquence, (le voltage est croissant avec la fréquence)

- En fonction du % d'utilisation du CPU (U )
  - le modèle linéaire (avec le % d'utilisation du CPU) est :
  - $P = P_{static} + \underbrace{\beta \cdot U}_{P_{dynamic}}$  (Pstatic+  $\beta$  = Pmax)

Pdynamic ( Puissance dynamique qui dépend du % d'utilisation du CPU

- Le modèle quadratique donne :  
 $P = P_{static} + \beta \cdot U + \gamma \cdot U^2$  (Pstatic+  $\beta$  +  $\gamma$  = Pmax)



# PUISSANCE D'UN SERVEUR VIRTUALISÉ ET D'UNE VM

- Puissance d'un serveur virtualisé (avec des VM, tiré de (1))
  - $P = P_{\text{static}} + \sum_{i=1}^n P_{\text{dynamic}}(VM_i)$
- Puissance d'une VM (« *vision pay as you go* », tiré de (2) )
  - $P(VM) = P_{\text{static}}(VM) + P_{\text{dynamic}}(VM)$

Où  $P_{\text{static}}(VM) = \text{CPU}(VM) * P_{\text{static}}$

- $P_{\text{dynamic}}(VM) = \text{CPU}(VM) * P_{\text{dynamic}}$

CPU(VM) : % de CPU réservé à la VM

(1) Power Metering for Virtual Machine in Cloud Computing-Challenges and Opportunities, IEEACCESS 2014

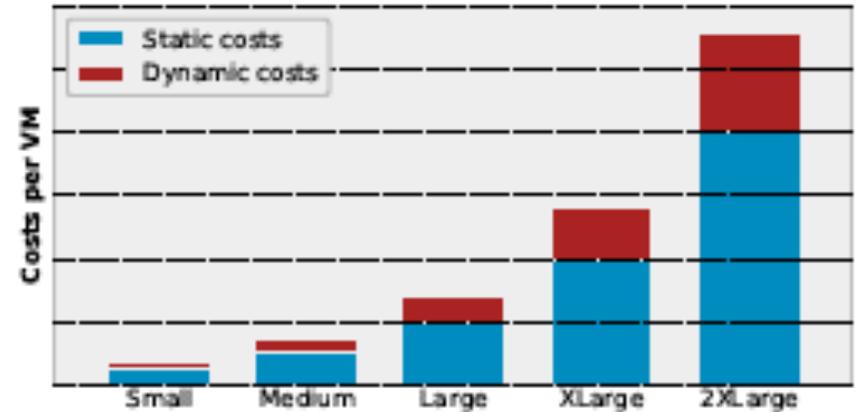


Fig. 1. Example of maximum costs distribution among different types of VM

Type	Medium	Large	XLarge	2XLarge
Number of cores	1	2	4	8

TABLE II. VM TYPES

(2) How much does a VM cost? Energy-proportional accounting in VM-based Environments, Mascha Kurpicz, Anne-Cécile Orgerie, Anita Sobe Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, Feb 2016, Heraklion, Greece

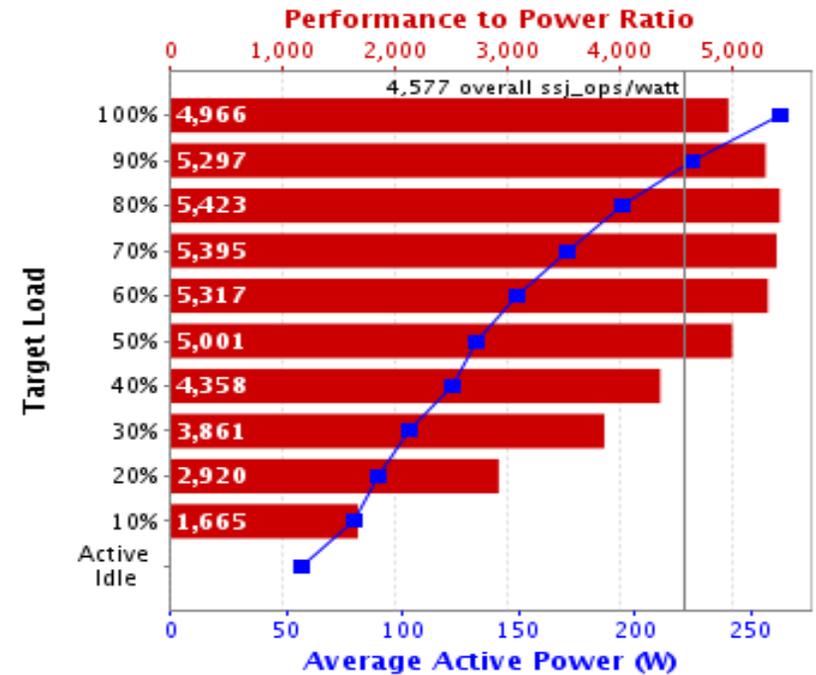
# INDICATEURS POUR LE COMPROMIS PERFORMANCE/ÉNERGIE

- Si on améliore les performances, la puissance moyenne consommée augmente
  - **Comment définir un compromis ?**
- **PPW** (Performance Par Watt) : nombre de requêtes traitées par watt consommé définie par :
$$PPW = \frac{\text{Nombre de requetes exécutées}}{\text{Puissance}}$$
- On cherche à **maximiser** PPW

# PERFORMANCE PAR WATT

Nombre d'instructions  
traitées par seconde

Performance			Power	Performance to Power Ratio
Target Load	Actual Load	ssj_ops	Average Active Power (W)	
100%	98.7%	1,304,143	263	4,966
90%	90.0%	1,189,359	225	5,297
80%	80.1%	1,058,423	195	5,423
70%	70.0%	924,380	171	5,395
60%	60.1%	793,480	149	5,317
50%	50.0%	659,947	132	5,001
40%	40.0%	528,649	121	4,358
30%	30.0%	395,736	102	3,861
20%	19.8%	261,732	89.6	2,920
10%	10.0%	132,099	79.3	1,665
Active Idle		0	56.1	0
$\Sigma ssj\_ops / \Sigma power =$				4,577



Tiré de <http://www.spec.org/>

Dell Inc. PowerEdge R620 (Intel Xeon E5-2660, 2.2 GHz)



# Consommation énergétique d'un data center

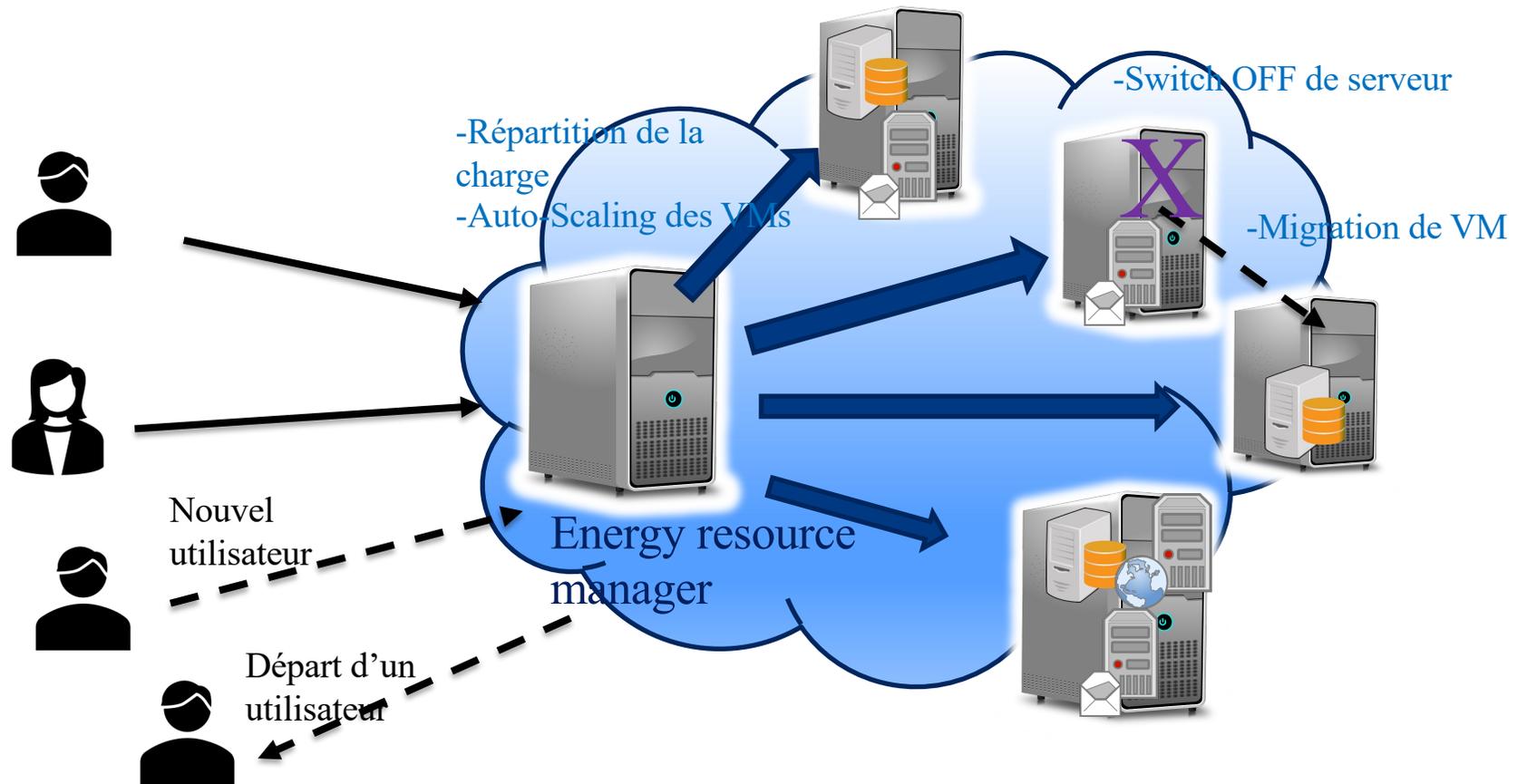
- **$P_{total} = PUE \cdot (P_{static} + P_{dynamic})$**
- $P_{static} = (\sum_{i=0}^n P_{static}(eq_i))$     Où  $eq_i$  : serveur, routeur , I/O
- $P_{dynamic} : (\sum_{i=0}^n P_{dynamic}(eq_i))$  dépend du taux d'utilisation des équipements



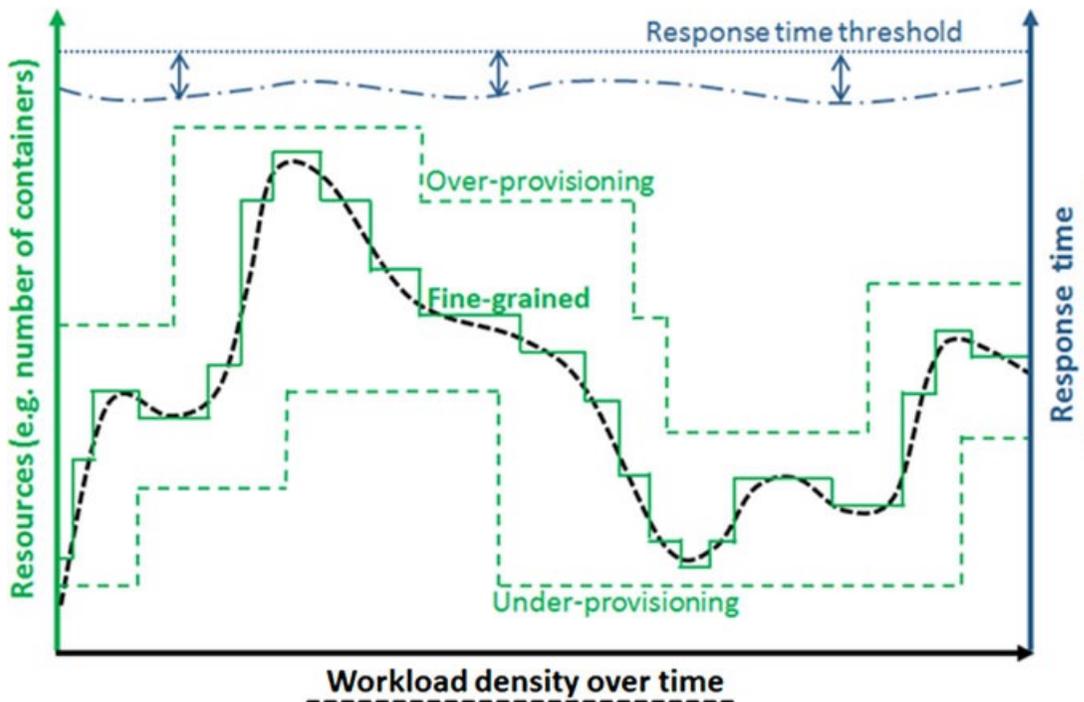
# Plan

- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
- Economie d'énergie dans les data centers
  - Auto-Scaling, migrations de VM, ON/OFF de serveurs
  - Optimisation de seuils à partir d'un modèle de file d'attente
  - Eteignage des serveurs (projet du TD)

# Mécanismes pour la gestion dynamique des performances et de l'énergie (Hyperscaler)



# Variabilité de la demande de ressources et auto-scaling



Dynamic Multi-level Auto-scaling  
Rules for Containerized Applications, S. TAHERIZADEH  
V. STANKOVSKI COMPUTER AND COMMUNICATIONS NETWORKS AND SYSTEMS  
THE COMPUTER JOURNAL, VOL. 62 NO. 2, 2019

**Problème** : diversité des applications, variabilité de la charge dans le cloud  $\Rightarrow$  nécessité d'allouer plus ou moins de ressources **automatiquement** par le fournisseur de cloud pour garantir la QoS et maîtriser la conso énergétique.

Worload=charge=quantité de ressources demandées



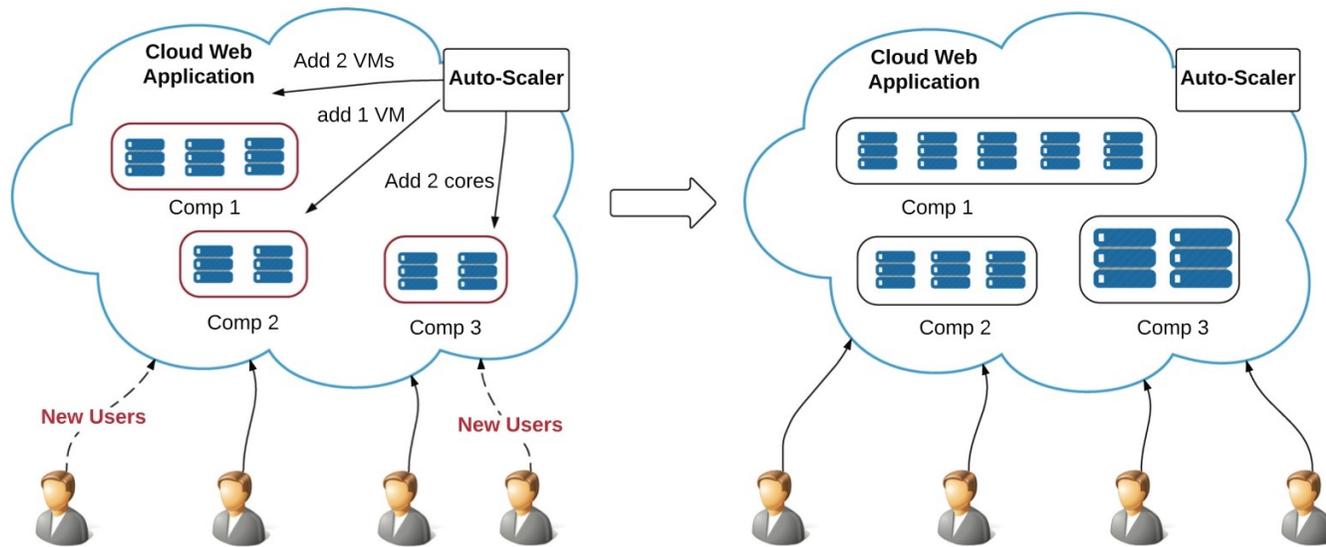
# Les différents types d'Auto Scaling

- Horizontal : activation/déactivation des VM en fonction de la charge
- Vertical : augmentation/diminution de la quantité de ressources (exemple CPU) en fonction de la charge
- Dvfs : augmentation/diminution de la fréquence et du voltage en fonction de la charge

<https://aws.amazon.com/fr/autoscaling/>

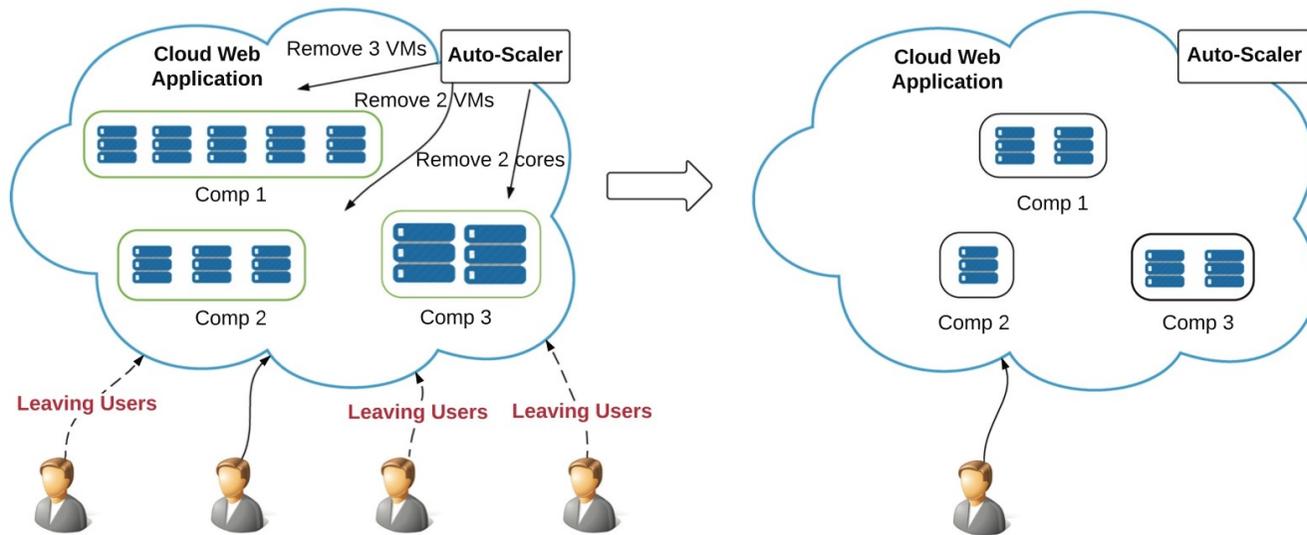
<https://azure.microsoft.com/fr-fr/features/autoscale/>

# Auto-Scaling horizontal et vertical



(a) Scaling Out/Up

# Auto-Scaling horizontal et vertical



(b) Scaling In/Down

# Créations de règles pour les seuils

Seuils de % CPU !!

(a)

Execute policy when: CPUUtilization  $\geq$  80 for 60 seconds

Take the action:

Add	1	instances	when 80 $\leq$ CPUUtilization < 85	
Add	2	instances	when 85 $\leq$ CPUUtilization < 95	✕
Add	4	instances	when 95 $\leq$ CPUUtilization < +infinity	✕

(b)

Execute policy when: CPUUtilization  $\leq$  50 for 60 seconds

Take the action:

Remove	1	instances	when 50 $\geq$ CPUUtilization > 40	
Remove	2	instances	when 40 $\geq$ CPUUtilization > 30	✕
Remove	4	instances	when 30 $\geq$ CPUUtilization > -infinity	✕

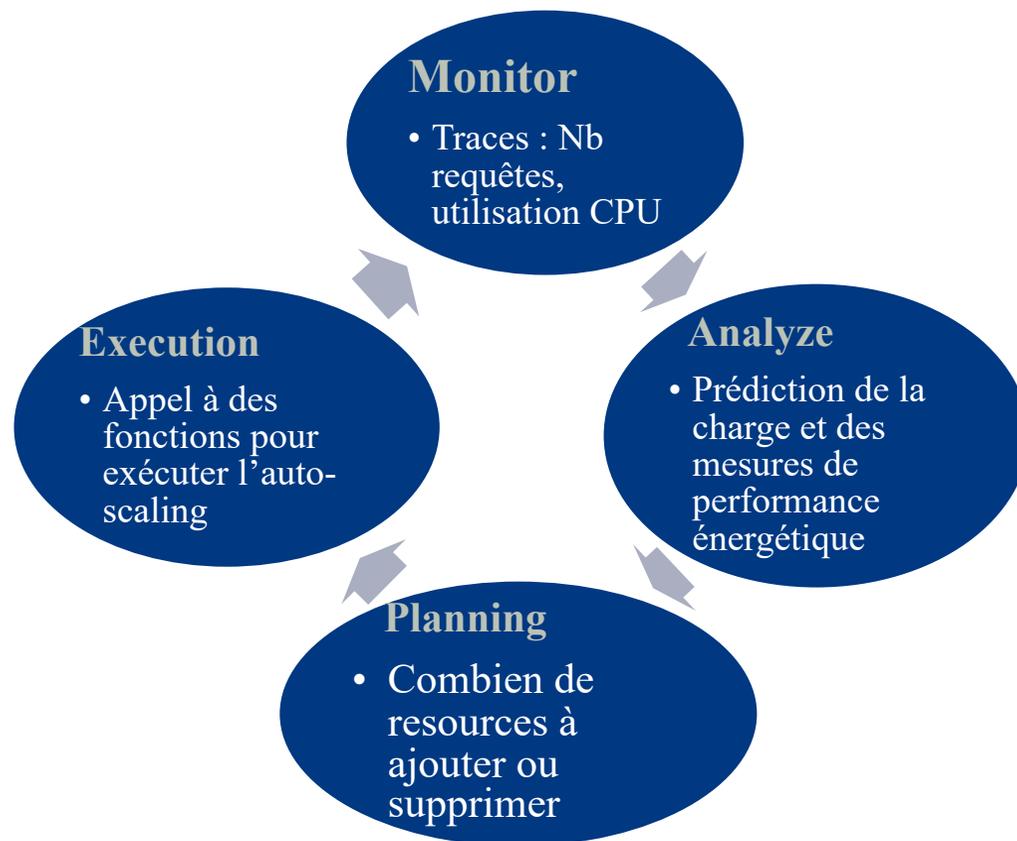
 Règles dans AWS

Dynamic Multi-level Auto-scaling

Rules for Containerized Applications, COMPUTER AND COMMUNICATIONS NETWORKS AND SYSTEMS

THE COMPUTER JOURNAL, VOL. 62 NO. 2, 2019

# Auto-scaler dans un cloud : pour automatiser l'auto scaling



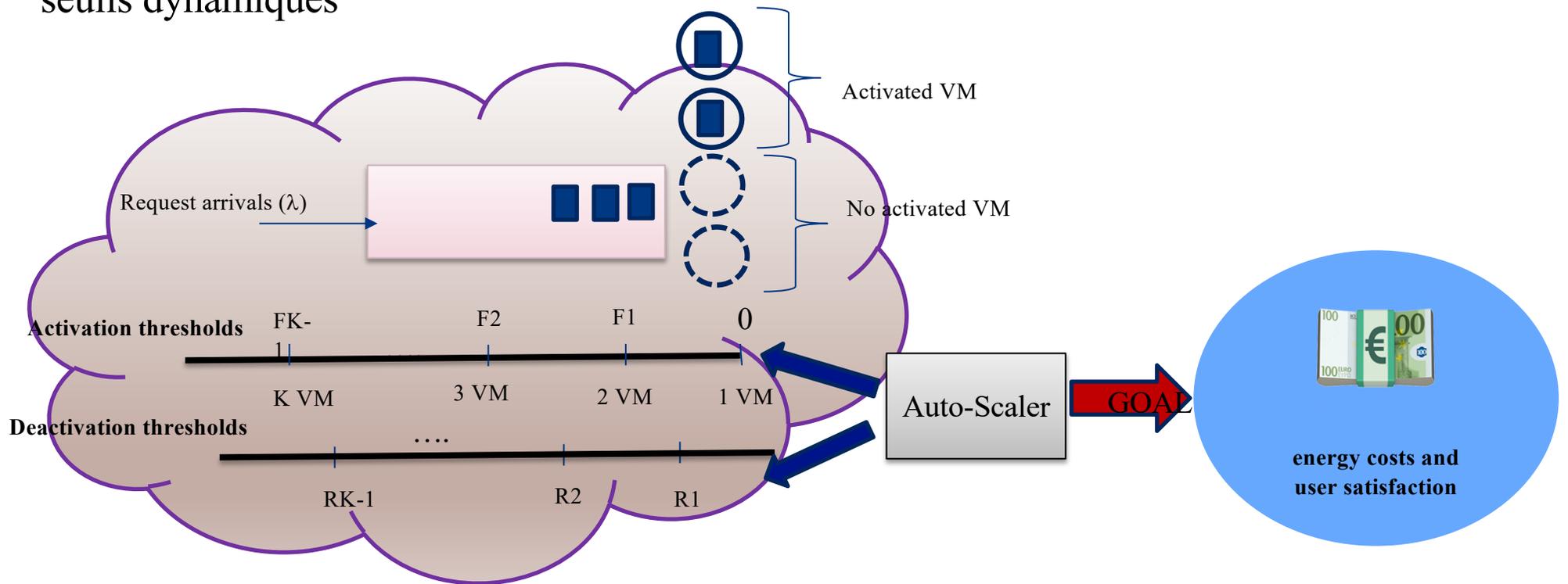
Auto-Scaling Web Applications in Clouds: A Taxonomy and Survey, ACM Computing Surveys, Vol. 51, No. 4, Article 73. Publication date: July 2018.



# Plan

- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
- Economie d'énergie dans les data centers
  - Auto-Scaling, migrations de VM, ON/OFF de serveurs
  - Optimisation de seuils à partir d'un modèle de file d'attente
  - Eteignage des serveurs (projet du TD)

# Etude d'un modèle de file d'attente pour le calcul de seuils dynamiques



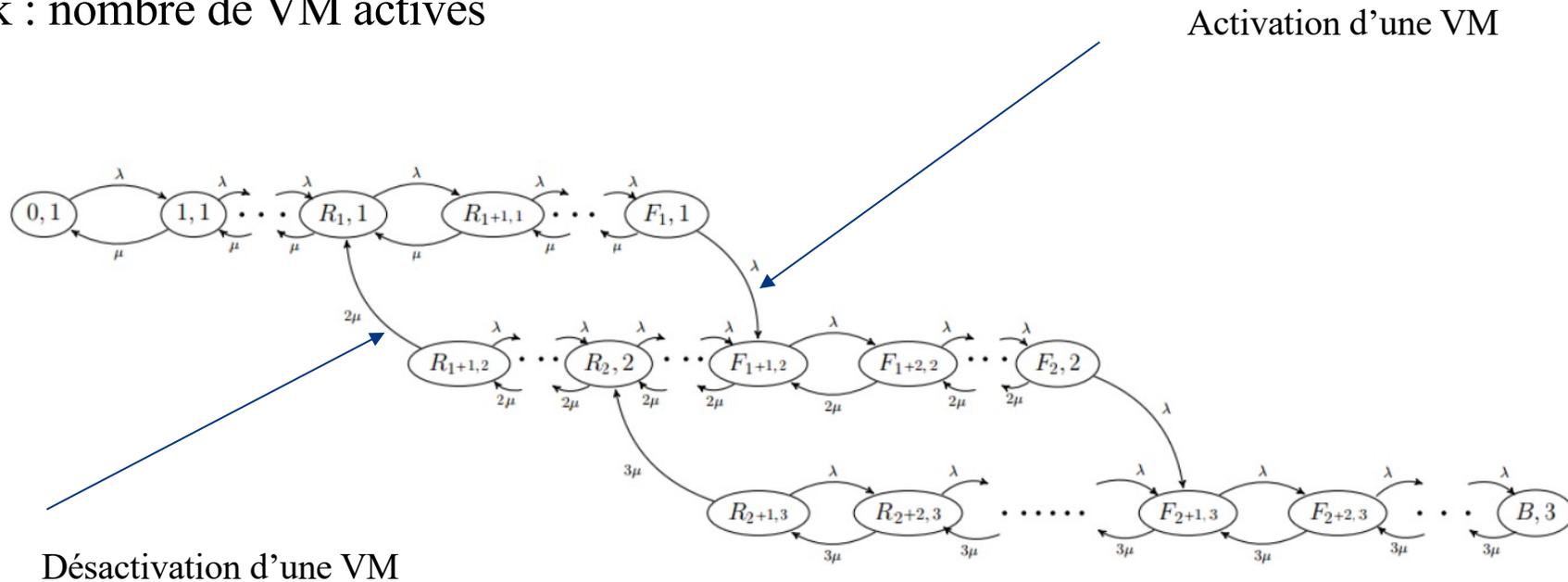
Model-Based Reinforcement Learning for Dynamic Resource Allocation in Cloud Environments, PHD Thesis, Thomas Tournaire, Nokia Bell labs, Télécom SudParis, Institut Polytechnique de Paris, May 2022.

# Modèle de Chaîne de Markov

État  $s=(m,k)$  :

$m$  : nombre de requêtes,

$k$  : nombre de VM actives





# Définition d'un coût global financier à minimiser

- Les **performances** et la consommation **énergétique** sont **inversement** proportionnels : nous proposons un coût global financier à **minimiser** pour le fournisseur de cloud
- On définit un **coût global financier** (pour le fournisseur de cloud) qui prend en compte:
  - le **SLA (Service Level Agreement)**
  - L'utilisation des ressources (pour l'énergie)



# Plan

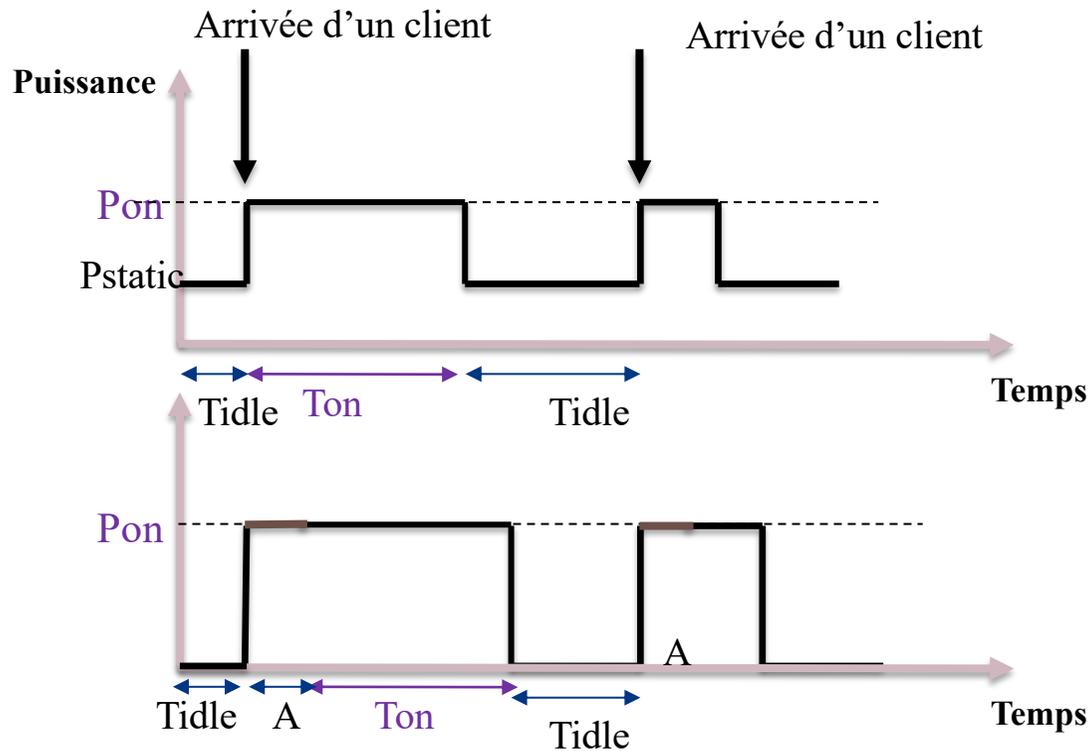
- Introduction au cloud et aux data centers
- Consommation énergétique des data centers
- La puissance consommée par un serveur physique
- Etude de différents modèles de consommation énergétique (avec ou sans virtualisation)
- Economie d'énergie dans les data centers
  - Auto-Scaling, migrations de VM, ON/OFF de serveurs
  - Optimisation de seuils à partir d'un modèle de file d'attente
  - Eteignage des serveurs (projet du TD)



# Présentation du projet

- Etant donné un serveur informatique :
  - CPU : Un certain nombre de cœurs, chaque cœur a une fréquence
  - Une puissance statique  $P_{static}$  (Idle) , et une puissance  $P_{on}$  quand il exécute des tâches.
- Le serveur reçoit des requêtes et les exécute, on veut calculer le temps de réponse des requêtes et la puissance moyenne consommée
- On veut étudier différentes stratégies de gestion du serveur afin de faire des économies d'énergie tout en étudiant aussi l'impact sur le temps de réponse

# Est-ce intéressant d'éteindre un serveur ?



➔ **Stratégie 1 : on n'éteint pas**

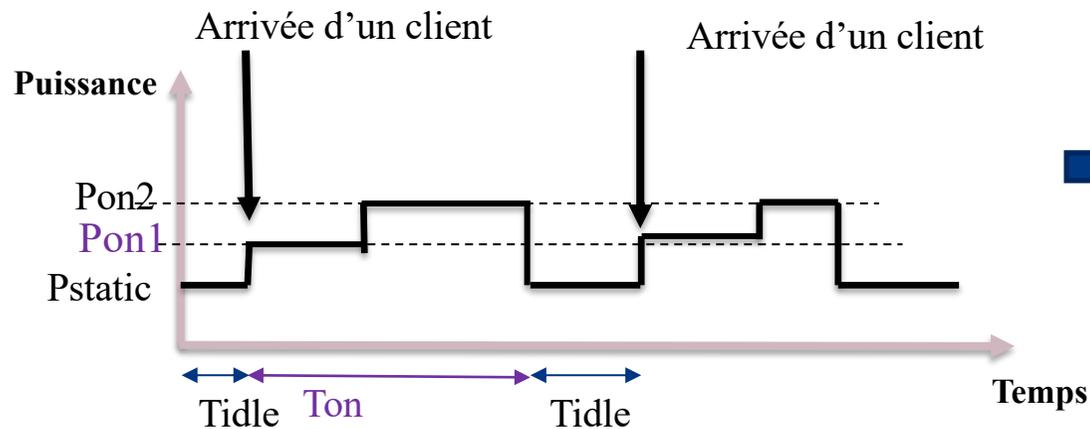
➔ **Stratégie 2 : On éteint mais l'allumage n'est pas instantané**

# Stratégie 3 : DVFS : Dynamic Voltage Fréquence scaling)

**On varie la fréquence et la puissance sans éteindre**

-Quand le système n'est pas trop chargé, fréquence  $f_1$  (et puissance  $P_{on1}$ )

-Quand le système devient chargé, fréquence  $f_2$  et puissance  $P_{on2}$





# La démarche utilisée

- On utilise les modèles de files d'attente : formules des temps de réponse et de puissance moyenne consommée
- On étudie l'impact des paramètres : taux d'arrivée des requêtes, durée de l'allumage, fréquences, seuils de changement des fréquences
- On analyse l'impact sur le temps de réponse et la puissance moyenne consommée : courbes et commentaires



# Conclusion/Questions

- Qu'est ce qui consomme le plus dans un data center ?
- A quoi sert le PUE ? Et comment le faire diminuer ?
- Quelles sont les pistes pour avoir un datacenter plus respectueux de l'environnement ?
- Pourquoi les modèles de la consommation énergétique sont importants ?
- Quelles sont les techniques pour réduire la consommation d'énergie des serveurs informatiques ?

# Conclusion/Questions

- Qu'est ce qui consomme le plus dans un data center ?

*Les équipements informatiques et réseau*

- A quoi sert le PUE ? Et comment le faire diminuer ?

*Le PUE (Power Usage Effectiveness) permet de quantifier l'efficacité énergétique du datacenter, Pour le réduire, il faudrait réduire la conso énergétique totale du data center essentiellement les systèmes de refroidissement*

- Quelles sont les pistes pour avoir un datacenter plus respectueux de l'environnement ?

*Il faut réduire sa consommation énergétique globalement (avoir des systèmes de refroidissement efficaces, réduire l'énergie des équipements informatiques), réutiliser l'énergie générée par le datacenter, utiliser des énergies renouvelables.*

- Pourquoi les modèles de la consommation énergétique sont importants ?

*Ils permettent de prédire la consommation énergétique en fonction de paramètres d'entrée afin de prendre de décision*

- Quelles sont les techniques pour réduire la consommation d'énergie des serveurs informatiques ? :

*L'autoscaling (gestion dynamique des ressources CPU, fréquence, VM) et éteignage des serveurs non occupés*