

# Le Cloud Computing modèle et évaluation de performances

Par

Valérie D. JUSTAFORT

Candidate au Ph.D.  
École Polytechnique

Sous la direction de  
M. Samuel PIERRE, Ph.D.  
École Polytechnique  
Et la co-direction de  
M. Ronald BEAUBRUN, Ph.D.  
Université Laval

28 Mars 2014

# Plan

- Concepts de base
- Contexte
- Revue de littérature
- Éléments de la problématique
- Objectifs de recherche
- Modèle proposé
- Évaluation de performances
- Conclusion

# CONCEPTS DE BASE

Valérie D. JUSTAFORT

# *Cloud Computing* - DÉFINITION



## Cloud Computing ?

### **Concepts de base**

*Contexte*

*Revue de littérature*

*Problématique*

*Objectifs de recherche*

*Modèle proposé*

*Évaluation de performances*

*Conclusion*

- Nouveau paradigme informatique
- Utilisation des mémoires et des capacités d'ordinateurs répartis dans le monde
- Stockage et traitement de grands volumes de données

# Cloud Computing

## Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

Problématique

Objectifs de recherche

Modèle proposé

Évaluation de performances

Conclusion

- **Avantages**

- Amélioration de la gestion des entreprises
- Disponibilité des services
- Économies d'échelle
- Et autres...

- **Limitations**

- Sécurité
- Dépenses
- Perte d'indépendance...

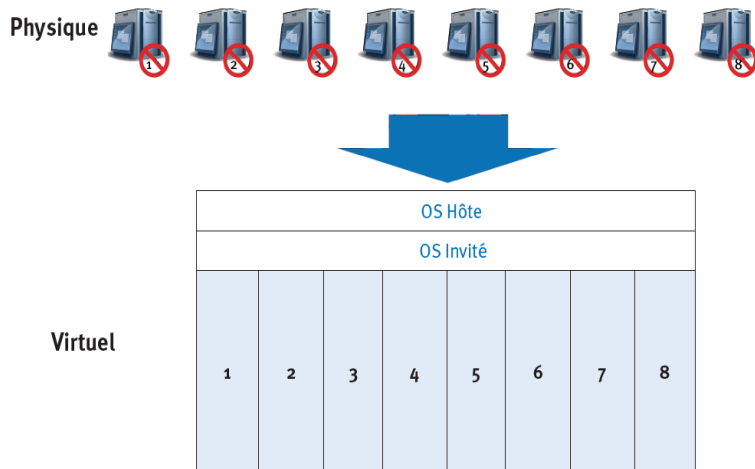
- **Défis**

- Sécurité
- Performance
- *Mapping* des ressources
- Hébergement des machines virtuelles
- Survivabilité
- Et autres...

# Cloud Computing - Planification

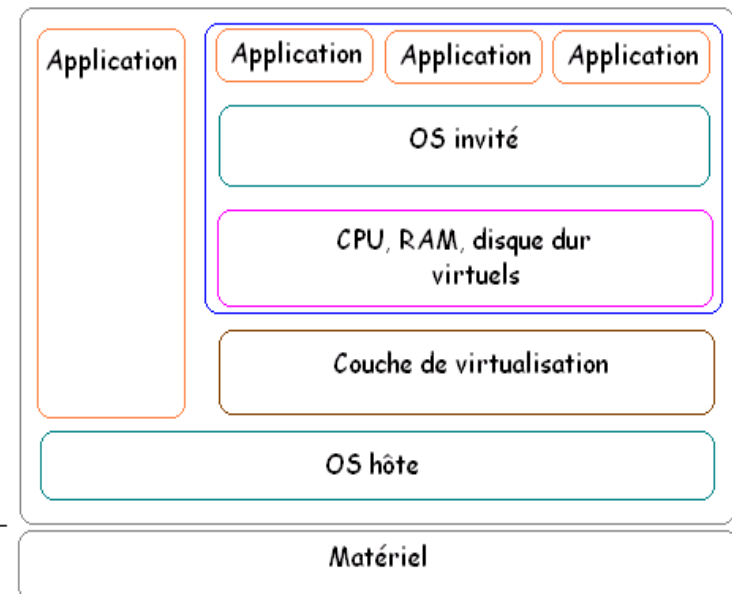
## Virtualisation

- Passé: rareté des ressources
- Présent: complexité des systèmes
- Plusieurs ressources informatiques sur un unique support physique



## Machine virtuelle

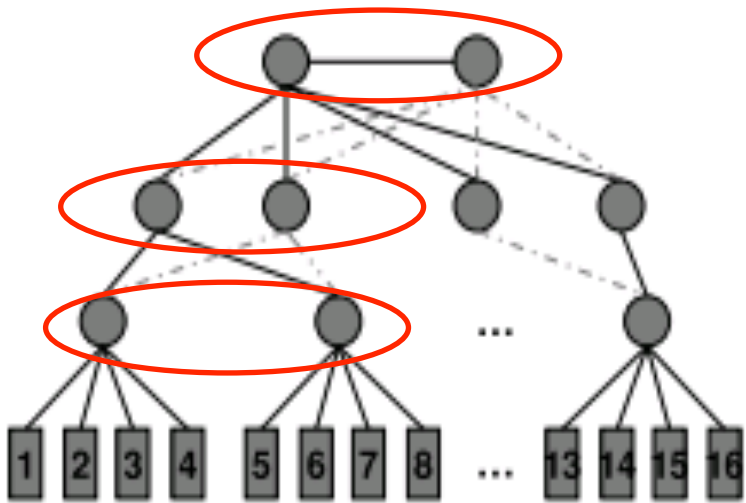
- Environnement d'exécution qui reproduit le comportement d'un système hôte.
- Respect des contraintes de QoS pour chaque application



# Cloud Computing - Planification

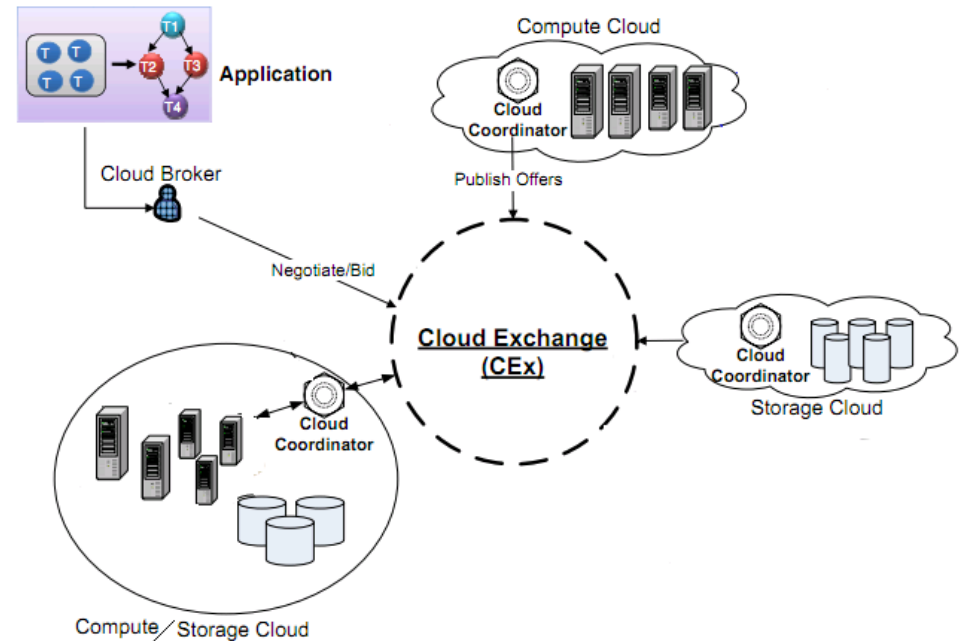
## Datacenter

- Réseau de serveurs interconnectés entre eux.
- Implémentation concrète d'un *Cloud*
- Architecture à trois niveaux :
  - Routeurs d'accès (connectés aux serveurs)
  - Réseau d'agrégation
  - Réseau cœur



## InterCloud

Regroupement de *Clouds* distants et interconnectés entre eux



# Minimisation de l'empreinte carbone

Valérie D. JUSTAFORT



# STATISTIQUES

## Émissions annuelles de CO<sub>2</sub> (2012)

Pays	Émissions de CO <sub>2</sub> (milliers de tonnes)	Émission per capita (en tonnes)
Monde	33 376 327	4.9
China	9 700 000	7.2
États-Unis	5 420 000	17.3
Inde	1 970 000	1.6
Russie	1 830 000	12.8

*Concepts de base*

**Contexte**

*Revue de littérature*

*Problématique*

*Objectifs de recherche*

*Modèle proposé*

*Évaluation de performances*

*Conclusion*

- Consommation moyenne des datacenters: 1.5% de la consommation mondiale
- Équivalent à la consommation d'une ville de 50 000 habitants
- Parcs de Google
  - Consommation moyenne par an: 2 675 898 MWh
  - Équivalent à 650 éoliennes terrestres
  - Empreinte carbone: 1.7 millions de CO<sub>2</sub>
- Environ 100 milliards de kWh en 2015 (serveurs)
- Impact énergétique croissant sur le réchauffement climatique
- Nécessité de réduire l'empreinte carbone des data centers

# REVUE DE LITTÉRATURE

Valérie D. JUSTAFORT

# Revue

## 1. Un datacenter

### A. PUE fixe

- I. Minimisation du nombre de serveurs et/ou routage optimal
  - E. Feller, L. Rilling et al. (2011)
  - Y. Wu, M. Tang et al. (2012)

### B. PUE variable

- I. Puissance des équipements et du cooling
  - E. Pakbaznia, M. Pedram (2009)
  - E. Lee [2012]

## 2. InterCloud

### A. PUE fixe

- F. Moghaddam, M. Cheriet et al. (2011)
- F. Moghaddam, M. Cheriet et al. (2012)
- F. Larumbe, B. Sanso (2012)

*Concepts de base*

*Contexte*

**Revue de littérature**

*Problématique*

*Objectifs de recherche*

*Modèle proposé*

*Évaluation de performances*

*Conclusion*

# ÉLÉMENTS DE LA PROBLÉMATIQUE

Valérie D. JUSTAFORT

Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

**Problématique**

Objectifs de recherche

Modèle proposé

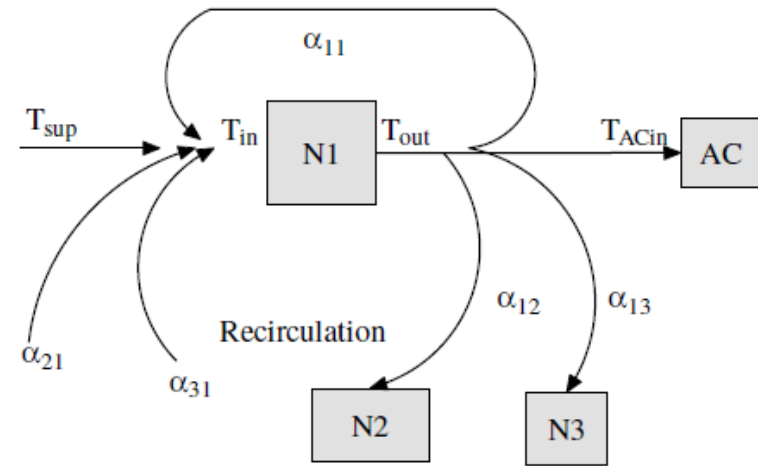
Évaluation de performances

Conclusion

- **Importance de l’empreinte carbone**
  - Impact sur l’atmosphère → le réchauffement climatique
- **Défis dans l’environnement *InterCloud***
  - Assignation des VMs avec contraintes de QoS
  - Empreinte carbone vs Puissance totale
    - Différentes
    - DCs verts: impact énergétique nul
    - DCs non verts: importance de minimiser la puissance consommée
  - Minimisation de la puissance
    - Optimisation conjointe de l’utilisation des équipements
      - ✓ Hypothèse de température minimale fixée
    - Augmentation de l’efficacité du data center
      - ✓ Minimisation de la puissance du « cooling system »
    - **Solution:** Consolidation de serveurs + routage optimal + température maximale de fonctionnement

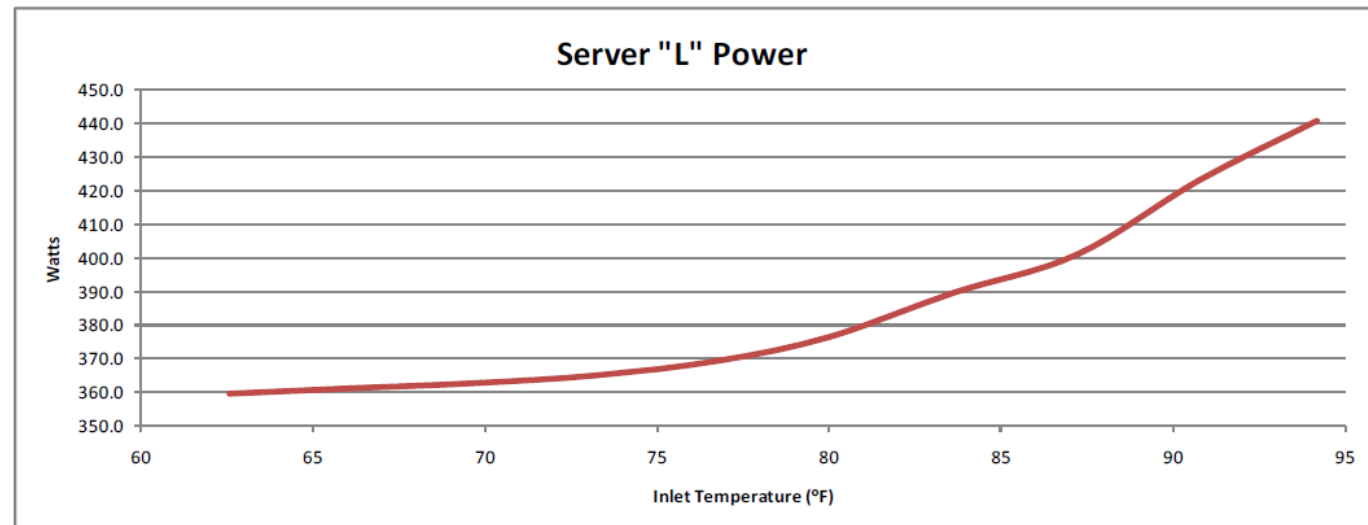


## 1- Phénomène de recirculation de la chaleur



## 2- Nature dynamique des serveurs

*server power vs. inlet temperature*



Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

**Problématique**

Objectifs de recherche

Modèle proposé

Évaluation de performances

Conclusion

# Question de recherche

Comment trouver, dans un environnement de datacenters géographiquement distribués, une configuration optimale des VMs et des applications, et de leur schéma de connectivité permettant de minimiser l'empreinte carbone.

*Concepts de base*

*Contexte*

*Revue de littérature*

**Problématique**

*Objectifs de recherche*

*Modèle proposé*

*Évaluation de performances*

*Conclusion*

# OBJECTIFS DE RECHERCHE

Valérie D. JUSTAFORT



Concevoir un cadre de planification des machines virtuelles et des applications dans la perspective d'une minimisation de l'empreinte carbone dans un environnement *InterCloud*.

*Concepts de base*

*Contexte*

*Revue de littérature*

*Problématique*

**Objectifs de recherche**

*Modèle proposé*

*Évaluation de performances*

*Conclusion*

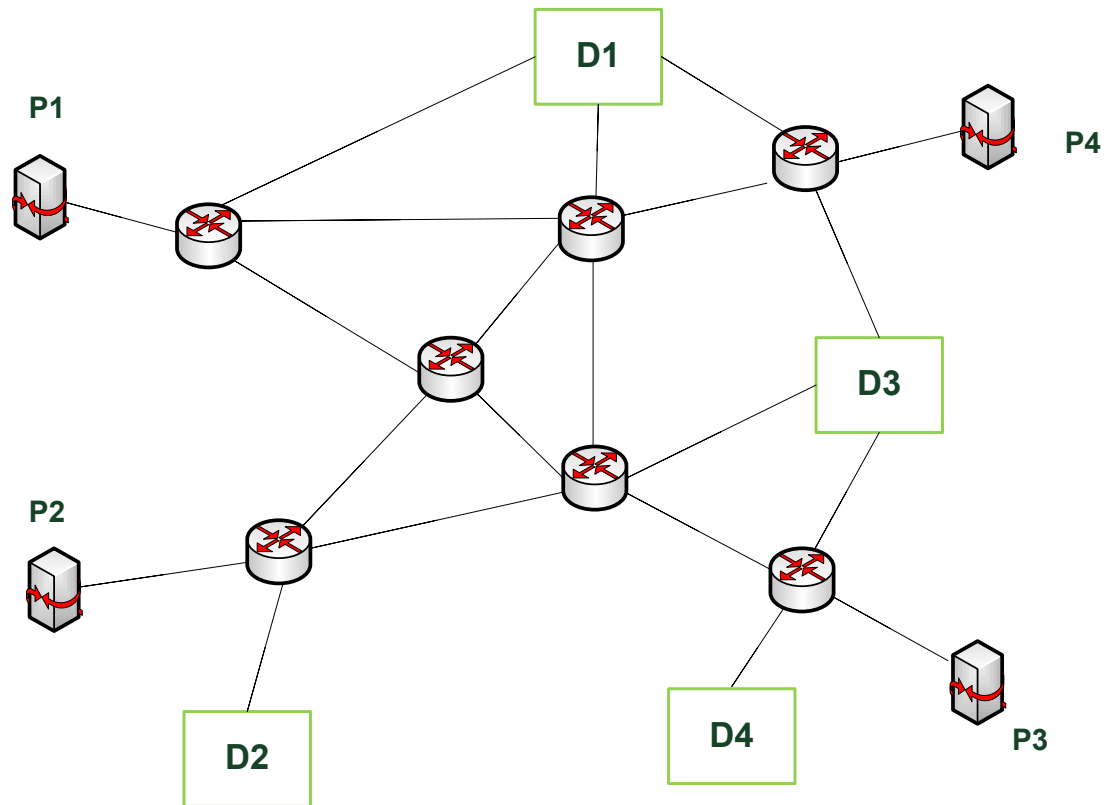
Plus précisément:

- Concevoir un modèle mathématique
  - Assignation des VMs avec respect des contraintes de QoS
  - Optimisation conjointe: consolidation de serveurs et routage du trafic
  - Température optimale de fonctionnement
- Implémenter le modèle sous un logiciel d'optimisation
- Évaluer les performances du modèle proposé

# Modèle proposé

Valérie D. JUSTAFORT

# InterCloud



Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

Problématique

Objectifs de recherche

**Modèle proposé**

Évaluation de performances

Conclusion

# MODÉLISATION

$$\text{Min: } C = \sum_{d \in D} \sum_{e \in E} G_s * e_{ed} * \rho_d(\tau_d) * P_d^{IT} \quad (1)$$

$$\rho_d(\tau_d) = [1 + 1/COP_d(\tau_d)] \quad (2)$$

$$COP_d(\tau_d) = 0.0068(\tau_d)^2 + 0.0008 * \tau_d + 0.458 \quad (3)$$

$$P_d^{IT} = \sum_{x \in X} \beta_{xd} * z_x^X * P_x^{CH} \quad (4)$$

$$P_x^{CH} = p_x^X + n_x^F * P_x^F(\tau) + \sum_{s \in S} \alpha_{sx}^X * z_s^S * (p_s^S + \sum_{k \in K} a_{sk} * u_{sk}) \quad (5)$$

$$P_x^F(\tau) = p_{\tau_{ref}}^{FAN} \left( \tau / \tau_{ref} \right)^3 = \eta^0 \tau^3 \quad (6)$$

Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

Problématique

Objectifs de recherche

**Modèle proposé**

Évaluation de performances

Conclusion

# MODÉLISATION

$$\sum_{s \in S} z_{vs}^V = 1, \quad \forall v \in V_c \quad (7)$$

$$\sum_{v \in V} z_{vs}^V * V_{vk} \leq C_{sk}, \quad \forall k \in K, s \in S \quad (8)$$

$$z_x^X \geq z_s^S * \alpha_{sx}^X, \quad \forall s \in S, x \in X \quad (9)$$

$$z_s^S \geq z_{vs}^V, \quad \forall v \in V, s \in S \quad (10)$$

$$\tau_d^{\text{sup}} \geq \tau_d^{\text{MIN}}, \quad \forall d \in D \quad (11)$$

$$\tau_d^{\text{sup}} \leq \tau_d^{\text{MAX}}, \quad \forall d \in D \quad (12)$$

Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

Problématique

Objectifs de recherche

**Modèle proposé**

Évaluation de performances

Conclusion

# Résultats

Valérie D. JUSTAFORT

# IMPLÉMENTATION

- LOGICIEL: AMPL (solveur: CPLEX)
- ENTRÉES:
  - Caractéristiques des data centers
  - Caractéristiques des demandes
- SORTIES
  - Empreinte carbone
  - Emplacement des VMs et des applications
  - Températures optimales (cooling et châssis)

*Concepts de base*

*Contexte*

*Revue de littérature*

*Problématique*

*Objectifs de recherche*

*Modèle proposé*

***Évaluation de performances***

*Conclusion*

# IMPLÉMENTATION

## ➤ VARIABLES

### ■ Binaires

- Châssis/ serveur actif ou non;
- VM hébergée sur un serveur donné ou non ;

### ■ RÉELLES

- Nombre de VMs par serveur
- Températures

*Concepts de base*

*Contexte*

*Revue de littérature*

*Problématique*

*Objectifs de recherche*

*Modèle proposé*

***Évaluation de performances***

*Conclusion*



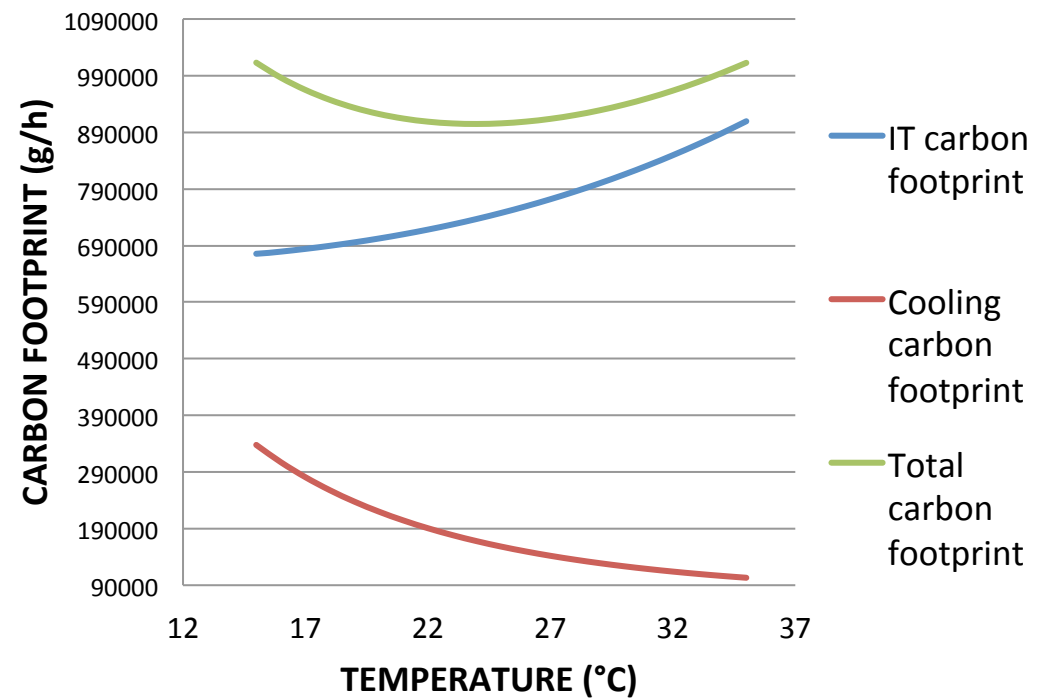
# COST STRUCTURE

## Simulation Data

Characteristics	Value
Initial IT power	1000 kW
Number of fans per chassis	6
Initial fan power	5 W
Utilization	100%
Coil (50%)	900 g/kWh
Gas (50%)	450 g/kWh

- 1 data center

## CARBON FOOTPRINT



# COST COMPARISON

## Data centers' characteristics

Charact	Topology	# chassis	Server types	# servers	Energy sources	# of fans per chassis	Initial fan power (w)	Tref (°C)
DC1	Tree	4	2	4	5	6	10	15
DC2	Tree	4	2	4	4	6	10	15

Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

Problématique

Objectifs de recherche

Modèle proposé

**Évaluation de performances**

Conclusion

## Data centers' characteristics (cont.)

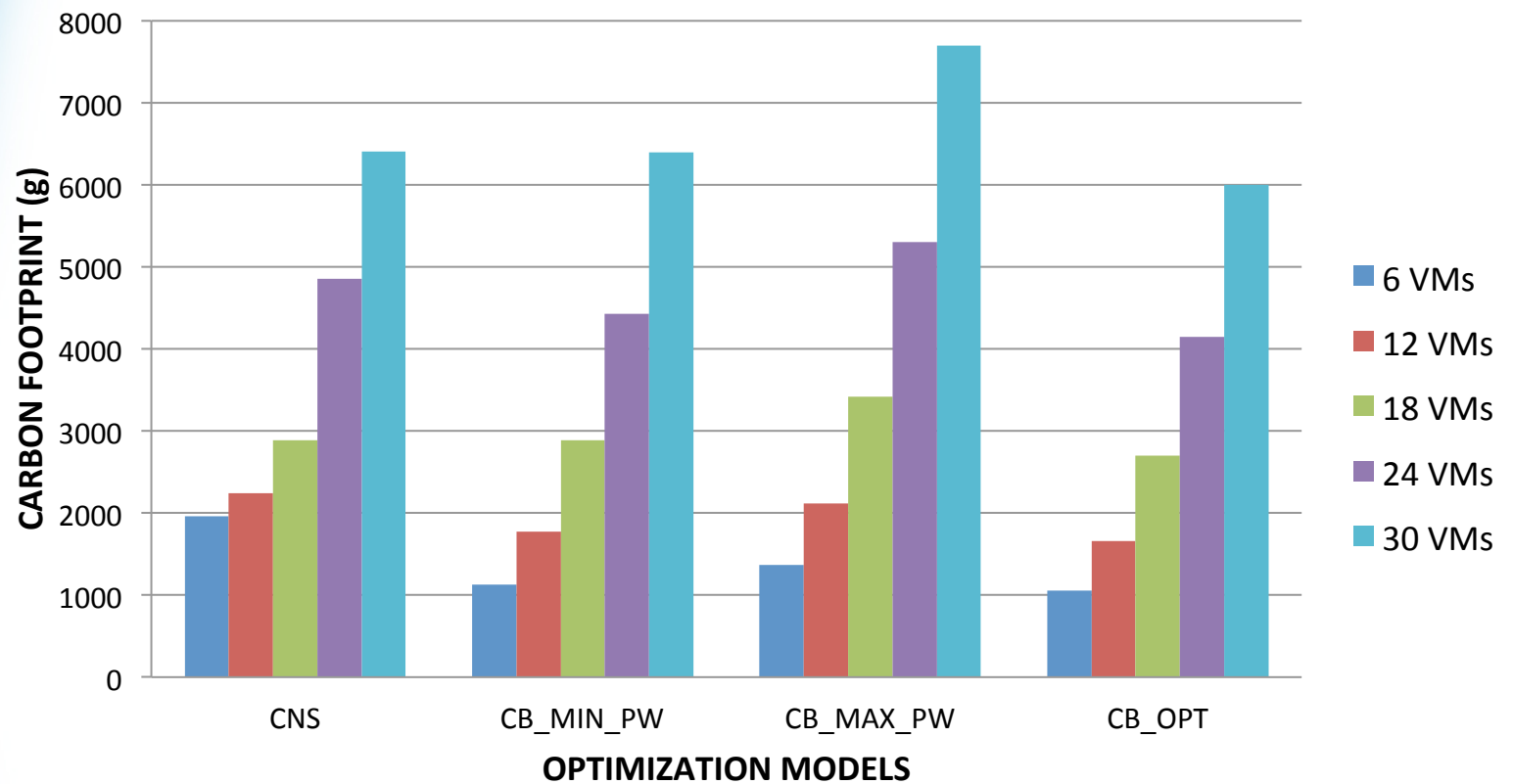
Charact	Wind	Solar	Coal	Gas	Hydro
DC1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
DC2	0.1	0	0.5	0.25	0.15

## Power consumption characteristics (W)

Charact	Idle	CPU	MEM	DISK	TRAF
Chassis	800	---	---	---	---
S1	60	70	100	50	---
S2	80	140	125	80	---
Switch	151	---	---	---	180

# COST COMPARISON

## CARBON FOOTPRINT



*Concepts de base*

*Contexte*

*Revue de littérature*

*Problématique*

*Objectifs de recherche*

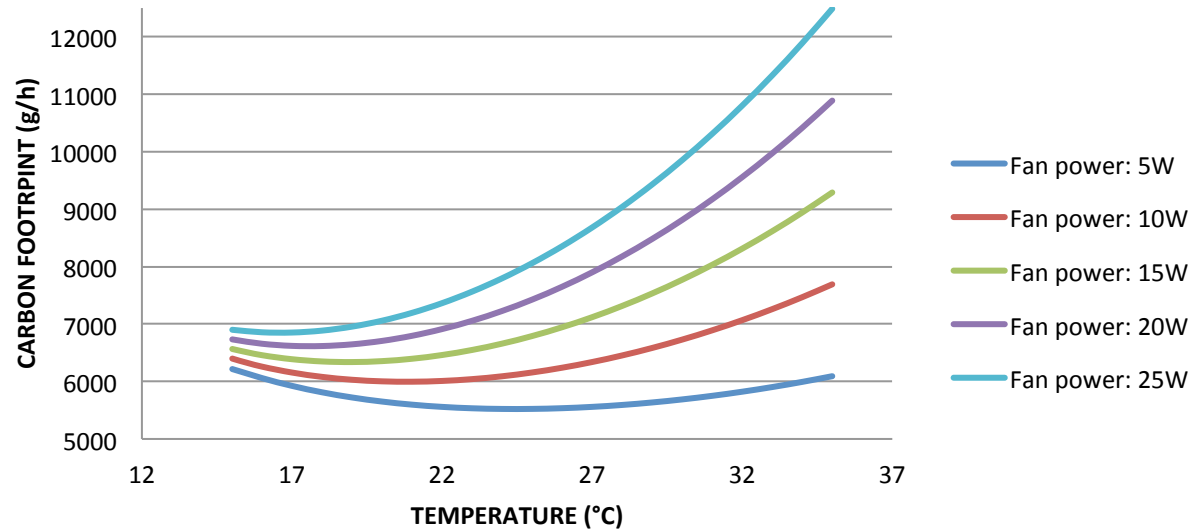
*Modèle proposé*

**Évaluation de performances**

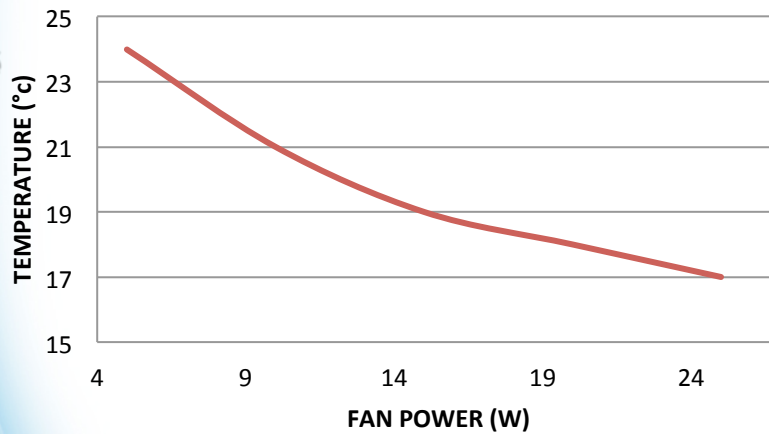
*Conclusion*

# FAN POWER IMPACT

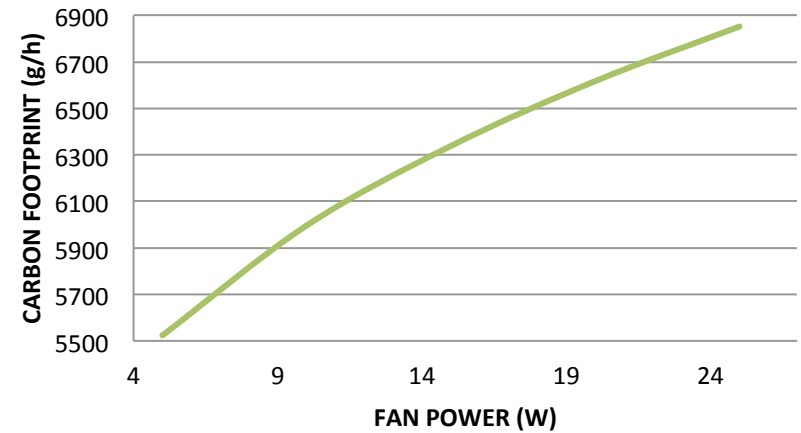
## CARBON FOOTPRINT



## OPTIMAL TEMPERATURE



## CARBON FOOTPRINT



Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

Problématique

Objectifs de recherche

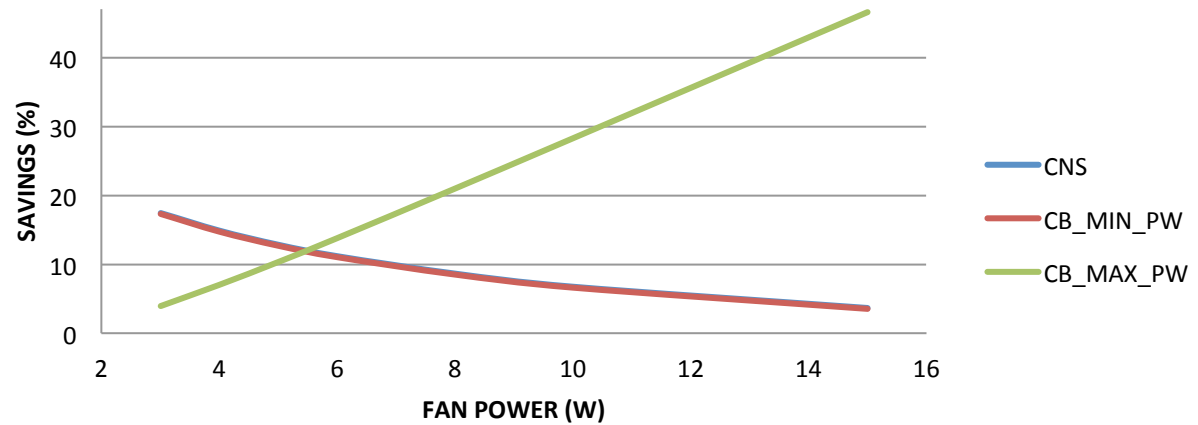
Modèle proposé

**Évaluation de performances**

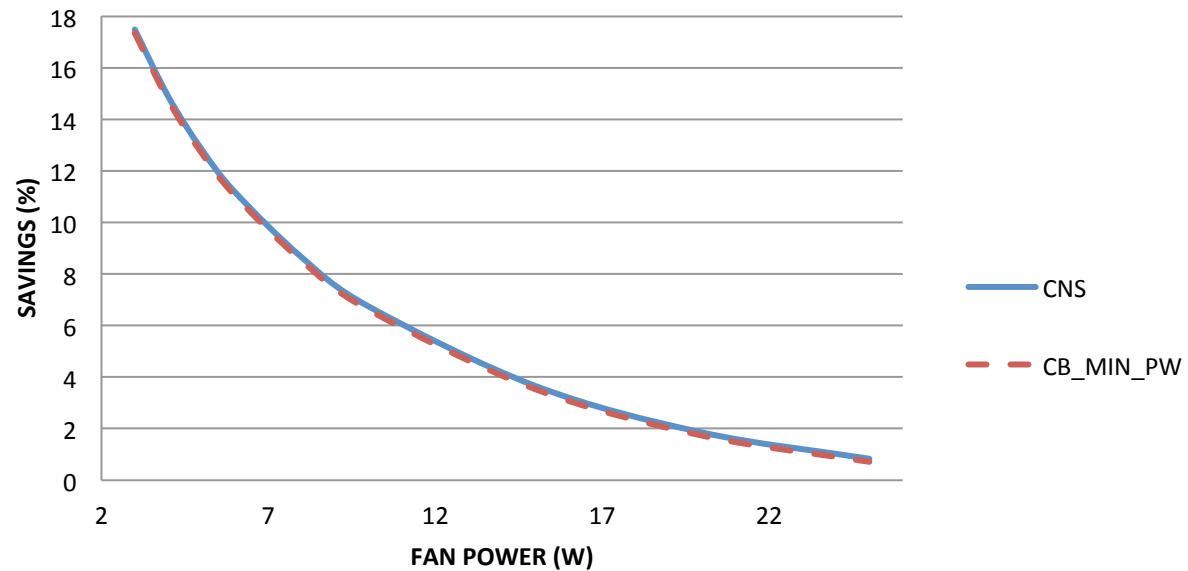
Conclusion

# FAN POWER IMPACT

## CARBON FOOTPRINT SAVINGS



## CARBON FOOTPRINT SAVINGS



Concepts de base

Contexte

Revue de littérature

Problématique

Objectifs de recherche

Modèle proposé

**Évaluation de performances**

Conclusion

# Conclusion

Valérie D. JUSTAFORT

*Concepts de base*

*Contexte*

*Revue de littérature*

*Problématique*

*Objectifs de recherche*

*Modèle proposé*

*Évaluation de performances*

**Conclusion**

## ➤ TRAVAIL RÉALISÉ

- Modélisation mathématique
  - Consommation des serveurs/switchs
  - Consommation du cooling
  - Consommation des fans

## ➤ RÉSULTATS

- Structure du coût non trivial
- Meilleur coût par rapport aux approches existantes
- Impact de la puissance des fans

## ➤ TRAVAUX FUTURS

- Adapter une heuristique afin de résoudre les problèmes de grandes tailles

Merci!

?

Valérie D. JUSTAFORT



# REFERENCES

- E. Feller, L. Rilling, and C. Morin, “Energy-aware ant colony based workload placement in clouds,” in Proceedings of the 12th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing, Lyon, France, Sep. 2011.
- **E. Pakbaznia** and M. Pedram, ["Minimizing Data Center Cooling and Server Power Costs,"](#)*Proc. of International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Aug. 2009
- Fereydoun Farrahi Moghaddam, Reza Farrahi Moghaddam, and Mohamed Cheriet. Carbon metering and effective tax cost modeling for virtual machines. In CLOUD’12, pages 758–763, Honolulu, Hawaii, USA, June 2012.
- Fereydoun Farrahi Moghaddam, Reza Farrahi Moghaddam, and Mohamed Cheriet. Multi-level grouping genetic algorithm for low carbon virtual private clouds. In CLOSER’12, pages 315–324, Porto, Portugal, April 18–21 2012
- F. Larumbe and B. Sanso, “Cloptimus: A multi-objective Cloud data center and software component location framework,” in 2012 IEEE 1<sup>st</sup> International Conference on Cloud Networking, CLOUDNET 2012, pages 23-28, November 2012
- EDGARD, base de données de la *European Commission and Netherlands Environmental Assessment Agency*
- EPA, “U.S. Environmental Protection Agency DATA CENTER CONSOLIDATION PLAN”, September 2011
- Q. Tang, S. Gupta et al. “Sensor-Based Fast Thermal Evaluation Model For Energy Efficient High-Performance Datacenters” *Proc. Int’l Conf. on Intelligent Sensing and Info. Process.*, Dec 2006, pp 203-208
- J. Bean “Energy impact of increased server inlet temperature” APC White Paper #138, August 2010

# Annexes

Valérie D. JUSTAFORT

## Lois des fans

Flot d'air

$$m \uparrow_{FAN} (\tau) = m \uparrow \tau$$

Puissance d'un fan

$$p \uparrow_{FAN} (\tau) = \eta \uparrow \tau^3$$

À densité constante

## Consommation de puissance

Empreinte carbone

$$C = \sum_{d=1}^{\|D\|} C_d(\tau_d^{in}, \tau_d^{sup})$$

$$C_d(\tau_d^{in}, \tau_d^{sup}) = G_d^{TOT} * \rho_d(\tau_d^{sup}) * P_d(\tau_d^{in})$$

GPUE

$$G_d^{TOT} = \sum_{s=1}^{\|S\|} G_s * e_{s_d}$$

PUE

$$\rho_d(\tau_d^{sup}) = 1 + 1/0.0068(\tau_d^{sup})^2 + 0.0008\tau_d^{sup} + 0.458$$

Puissance des équipements

$$P_d(\tau_d^{in}) = P_d^{CHÂSSIS\_TOT}(\tau_d^{in}) + P_d^{SWITCH}$$

Puissance des châssis (incluant serveurs et fans)

$$P_{d \uparrow CH\hat{A}SSIS\_TOT}(\tau_{d \uparrow in}) = \sum_{y=1}^{\uparrow} \|Y_{d \downarrow} \| \sum_{x=1}^{\uparrow} \|X_{y\_d} \| P_{x\_y\_d \uparrow CH\hat{A}SSIS\_TOT}(\tau_{x\_y\_d \uparrow in})$$

$$P_{x\_y\_d \uparrow CH\hat{A}SSIS\_TOT}(\tau_{x\_y\_d \uparrow in}) = P_{x\_y\_d \uparrow CH\hat{A}SSIS} + P_{x\_y\_d \uparrow CH\hat{A}SSIS\_FAN}(\tau_{x\_y\_d \uparrow in})$$

Puissance d'un châssis (incluant serveurs)

$$P_{x\_y\_d \uparrow CH\hat{A}SSIS} = w_{x\_y\_d \uparrow X} * \{ p_{x\_y\_d \uparrow X \downarrow stat} + \sum_{m=1}^{\uparrow} \|M_{x\_y\_d} \| w_{m\_x\_y\_d \uparrow M} * [ p_{m\_x\_y\_d \uparrow M \downarrow stat} + (a_{m\_x\_y\_d \uparrow M \downarrow CPU} * U_{m\_x\_y\_d \uparrow M \downarrow CPU} ) + (a_{m\_x\_y\_d \uparrow M \downarrow MEM} * U_{m\_x\_y\_d \uparrow M \downarrow MEM} ) + (a_{m\_x\_y\_d \uparrow M \downarrow DISK} * U_{m\_x\_y\_d \uparrow M \downarrow DISK} ) ] \}$$

## Puissance des fans d'un châssis

$$P_{x,y,d}^{CH\hat{A}SSIS\_FAN}(\tau_{x,y,d}^{in}) = w_{x,y,d}^X * n_{x,y,d}^{FAN} * p_{x,y,d}^{FAN}(\tau_{x,y,d}^{in})$$

$$p_{x,y,d}^{FAN}(\tau_{x,y,d}^{in}) = \eta_{x,y,d}^0(\tau_{x,y,d}^{in})^3$$

## Puissance d'un commutateur

$$P_d^{SWITCH} = \sum_{t=1}^{\|T_d\|} [\theta_{t,d} * p_{t,d}^{T\_stat} + (a_{t,d}^{T\_TRAF} * U_{t,d}^{T\_TRAF})]$$

## Équations de chaleur

$$P_{x,y,d} \uparrow \hat{CH\hat{A}SSIS\_TOT} (\tau_{x,y,d} \uparrow in) = Q_{x,y,d} \uparrow out - Q_{x,y,d} \uparrow in$$

$$P_{x,y,d} \uparrow \hat{CH\hat{A}SSIS\_TOT} (\tau_{x,y,d} \uparrow in) = m_{x,y,d} \uparrow \hat{FAN} (\tau_{x,y,d} \uparrow in) * (\tau_{x,y,d} \uparrow out - \tau_{x,y,d} \uparrow in)$$

Dans le domaine matriciel

$$P_{d} \uparrow \hat{CH\hat{A}SSIS\_TOT} (\tau_{d} \uparrow in) = M_{d} (\tau_{d} \uparrow in) * (\tau_{d} \uparrow out - \tau_{d} \uparrow in)$$

$$\tau_{d} \uparrow out$$

$$\tau_{d} \uparrow out = \tau_{d} \uparrow sup + (M_{d} (\tau_{d} \uparrow in) - \mu_{d}' M_{d} (\tau_{d} \uparrow in)) \uparrow^{-1} P_{d} \uparrow \hat{CH\hat{A}SSIS\_TOT} (\tau_{d} \uparrow in)$$

Expression de  $\tau_{d} \uparrow in$

$$(M_{d} (\tau_{d} \uparrow in) - \mu_{d}' M_{d} (\tau_{d} \uparrow in)) \tau_{d} \uparrow in = (M_{d} (\tau_{d} \uparrow in) - \mu_{d}' M_{d} (\tau_{d} \uparrow in)) \tau_{d} \uparrow sup + \mu_{d}' P_{d} \uparrow \hat{CH\hat{A}SSIS\_TOT} (\tau_{d} \uparrow in)$$