



Institut de Recherche
en Informatique de Toulouse

Etude du precooling d'un data center alimenté aux énergies renouvelables

Green Days, Anglet – 25 juin 2019

Maël Madon, stagiaire à l'IRIT (Toulouse)

Tuteur : Jean-Marc Pierson

INTRODUCTION

- **Data center = 1,8 % consommation électrique des Etats-Unis (2016)**

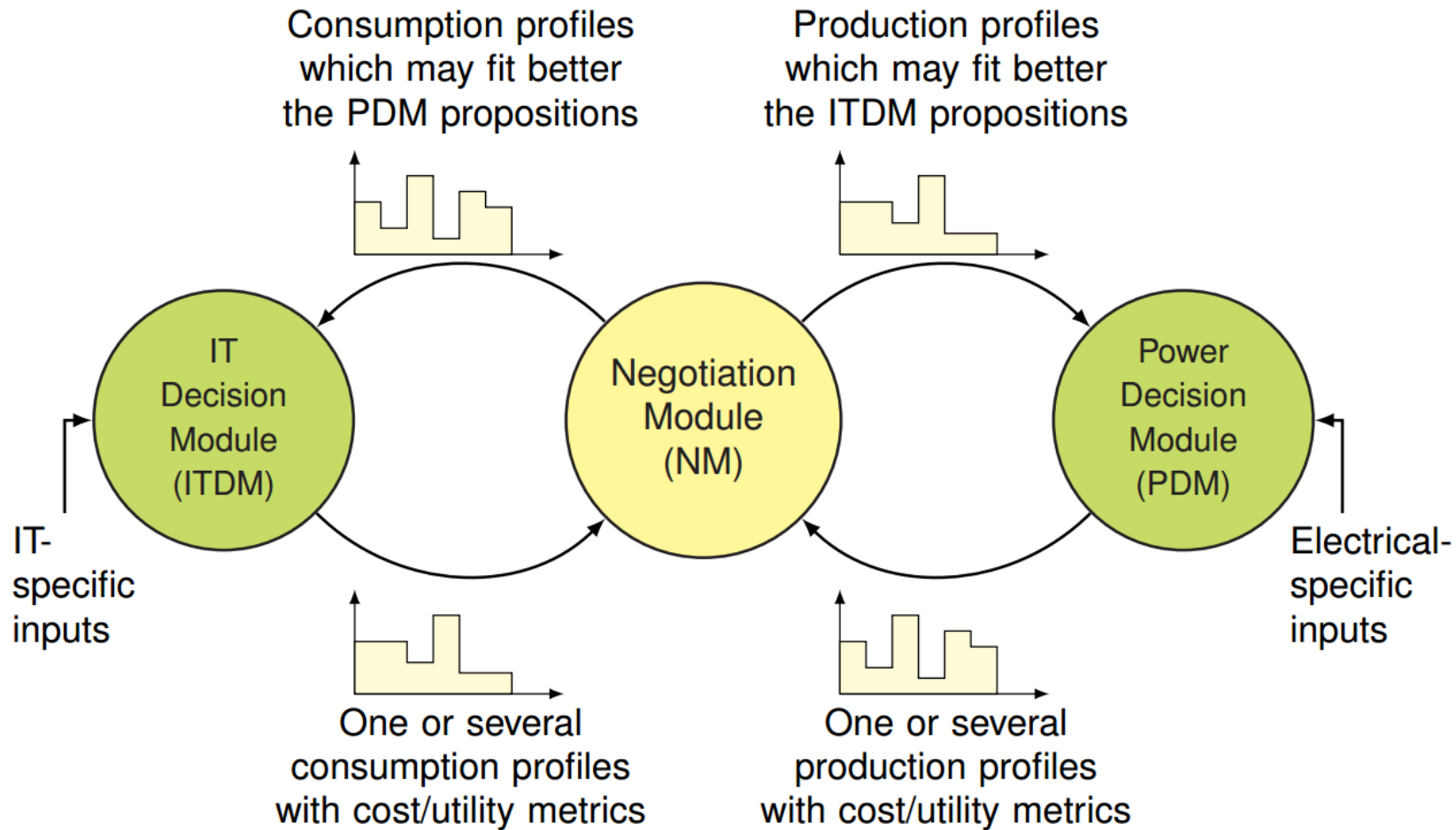
$$PUE = \frac{\text{dépense énergétique totale du DC}}{\text{dépense énergétique informatique}}$$

- **PUE moyen entre 1,8 et 1,89 (2008)**

PLAN

- 1. Contexte de l'étude**
- 2. Modélisation d'un data center**
- 3. Approche pour simuler le precooling**
- 4. Discussion et suite**

CONTEXTE - DataZero



CONTEXTE - Precooling

- **Lukawski et al., « *Demand Response for Reducing Coincident Peak Loads* », Cornell, 2019**
- **Zhang et al., « *TEStore: Exploiting Thermal and Energy Storage to Cut the Electricity Bill for Datacenter Cooling* », University of Tennessee, 2012**
- **Li et al., « *Thermal-Aware Hybrid Workload Management in a Green Datacenter towards Renewable Energy Utilization* », Qinghai University, 2019**

MODELE - Description

Data center alimenté aux énergies renouvelables et refroidi à l'aide d'une pompe à chaleur géothermique

- Petit bâtiment (data center telecom, universitaire, salle d'ordinateurs...)
- Thermique repris de Lukawski et al.
- Puissance IT moyenne : 14 kW
- Surface : 93 m²

MODELE - Électrique

$$P_{prod}(t) = P_{pv}(t) + P_{wind}(t)$$

$$P_{conso}(t) = P_{IT}(t) + P_{cool}(t)$$

Panneaux photovoltaïques :

$$P_{pv}(t)$$

Éolienne :

$$P_{wind}(t)$$

Accès au réseau :

$$P_{grid}(t)$$

Système de refroidissement :

$$P_{cool}(t)$$

Serveurs informatiques :

$$P_{IT}(t)$$

MODELE - Thermique

Evolution de température de la salle

$$T(t + h) = a.T(t) + (1 - a)[T_{ext}(t) + R(Q_{IT}(t) - Q_{cool}(t))]$$

Échanges avec l'extérieur

Chaleur émise par les serveurs

Chaleur dissipée par le système de refroidissement

Pompe à chaleur géothermique :

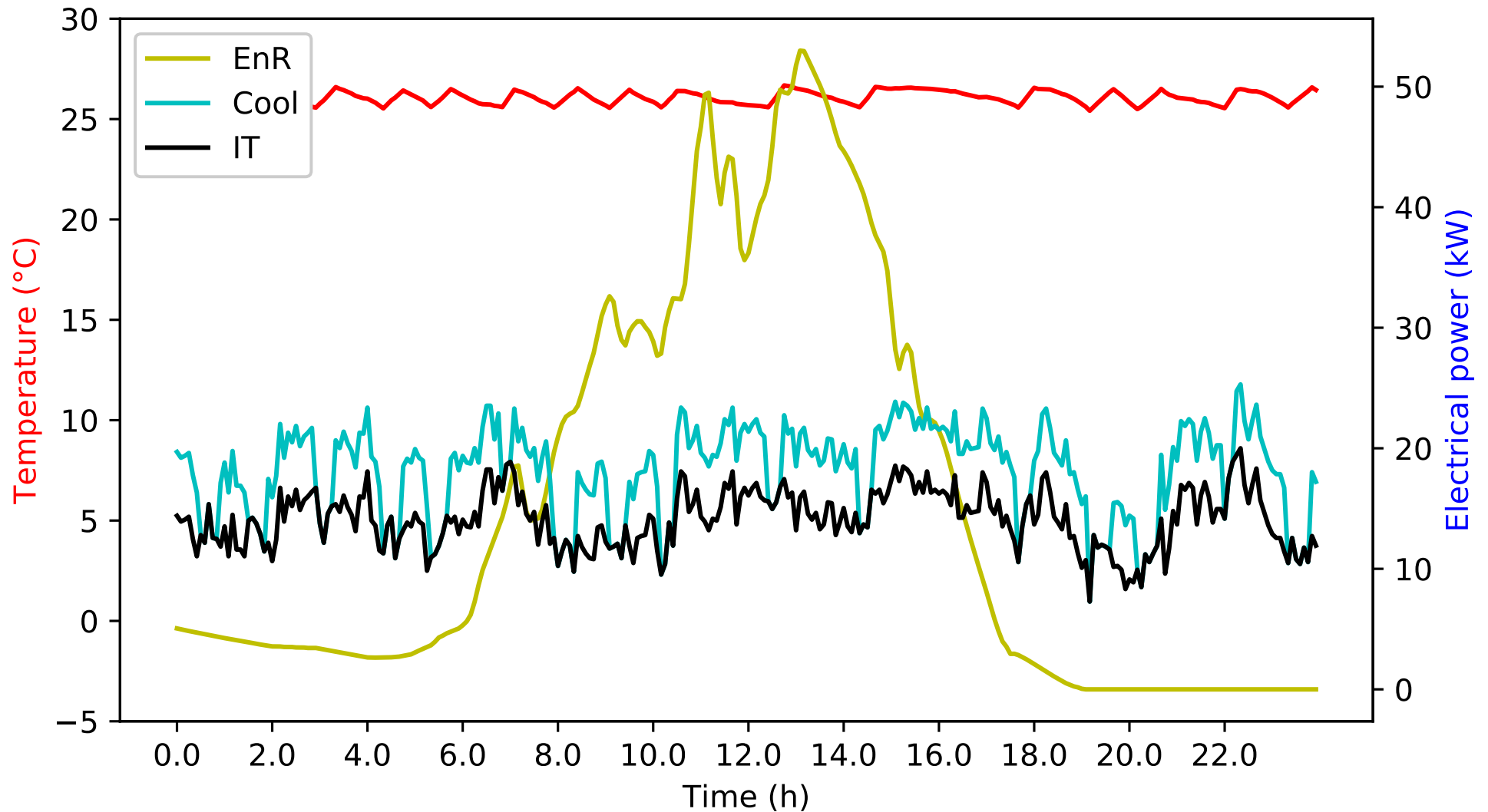
$$Q_{cool}(t) = r(t) \times Q_{cool,nom} \times (a_C \cdot T(t) + b_C)$$

Régime $\in \{0,1,2\}$: contrôle thermostatique entre deux températures

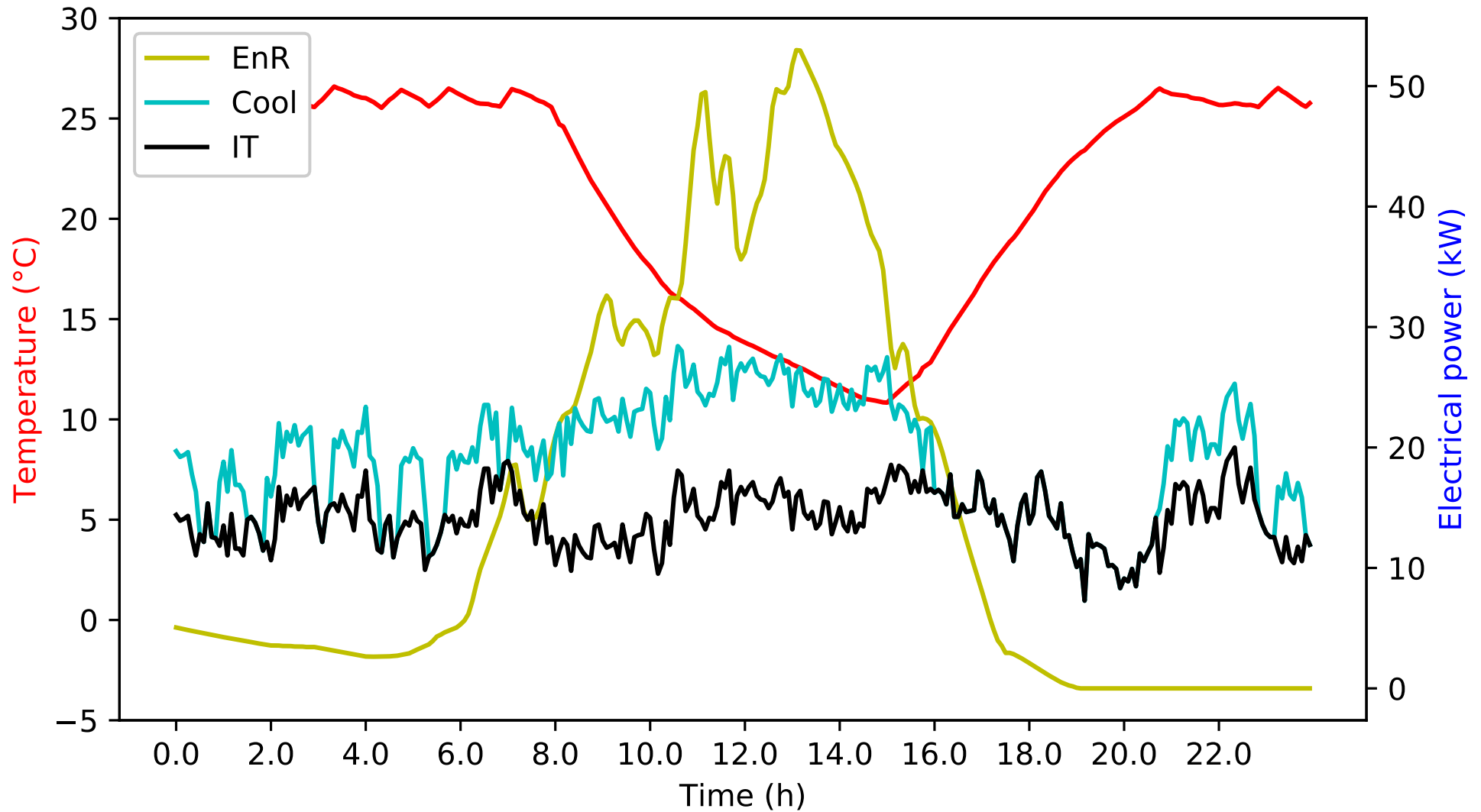
SIMULATION



SIMULATION - témoin



SIMULATION - naïf



SIMULATION - optimisation

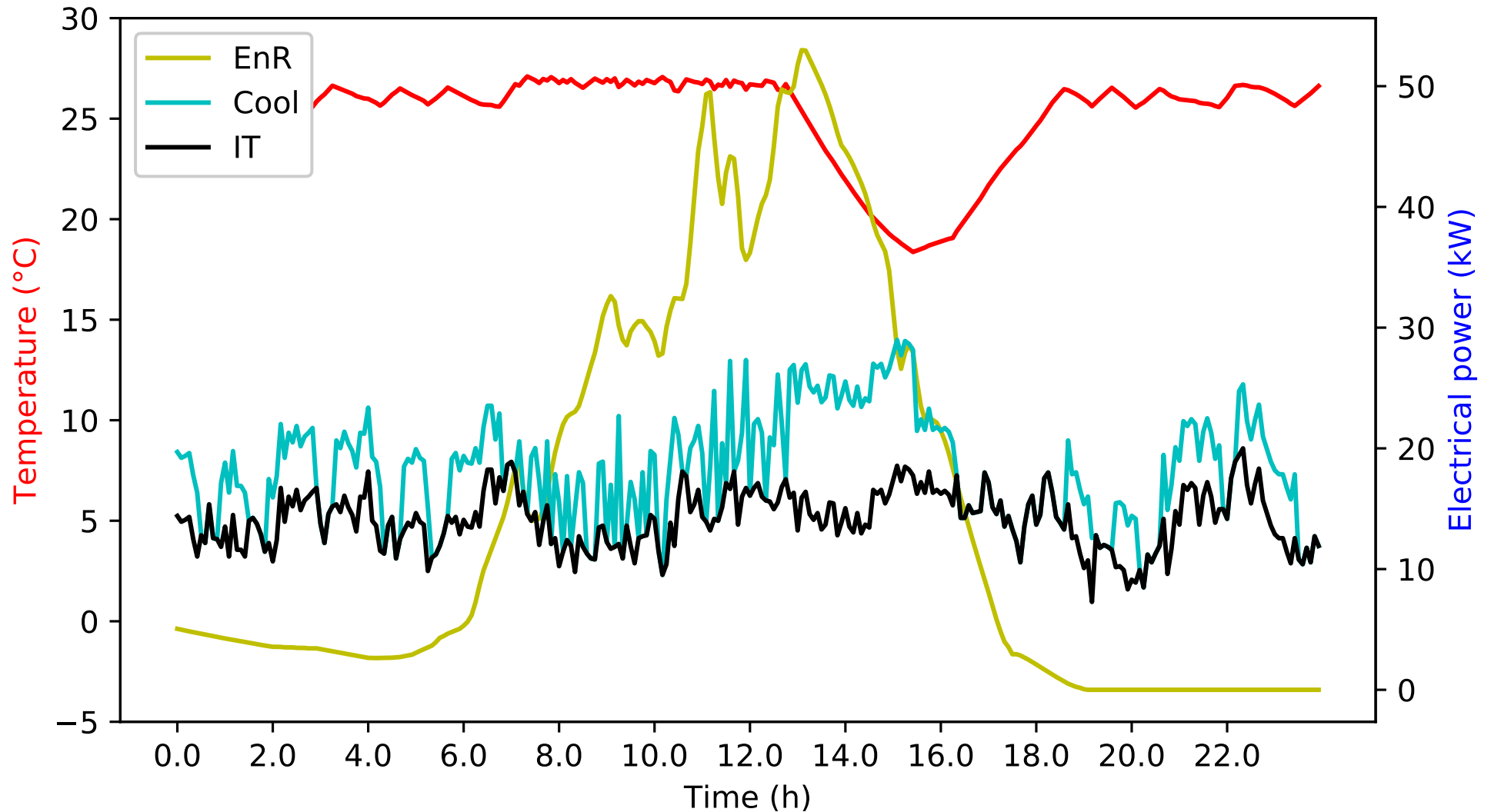
Objectif :

$$\text{minimize } \sum_{k=0}^{K-1} (p_{buy} \cdot P_{grid}(kh) + p_{sell} \cdot P_{self}(kh))$$

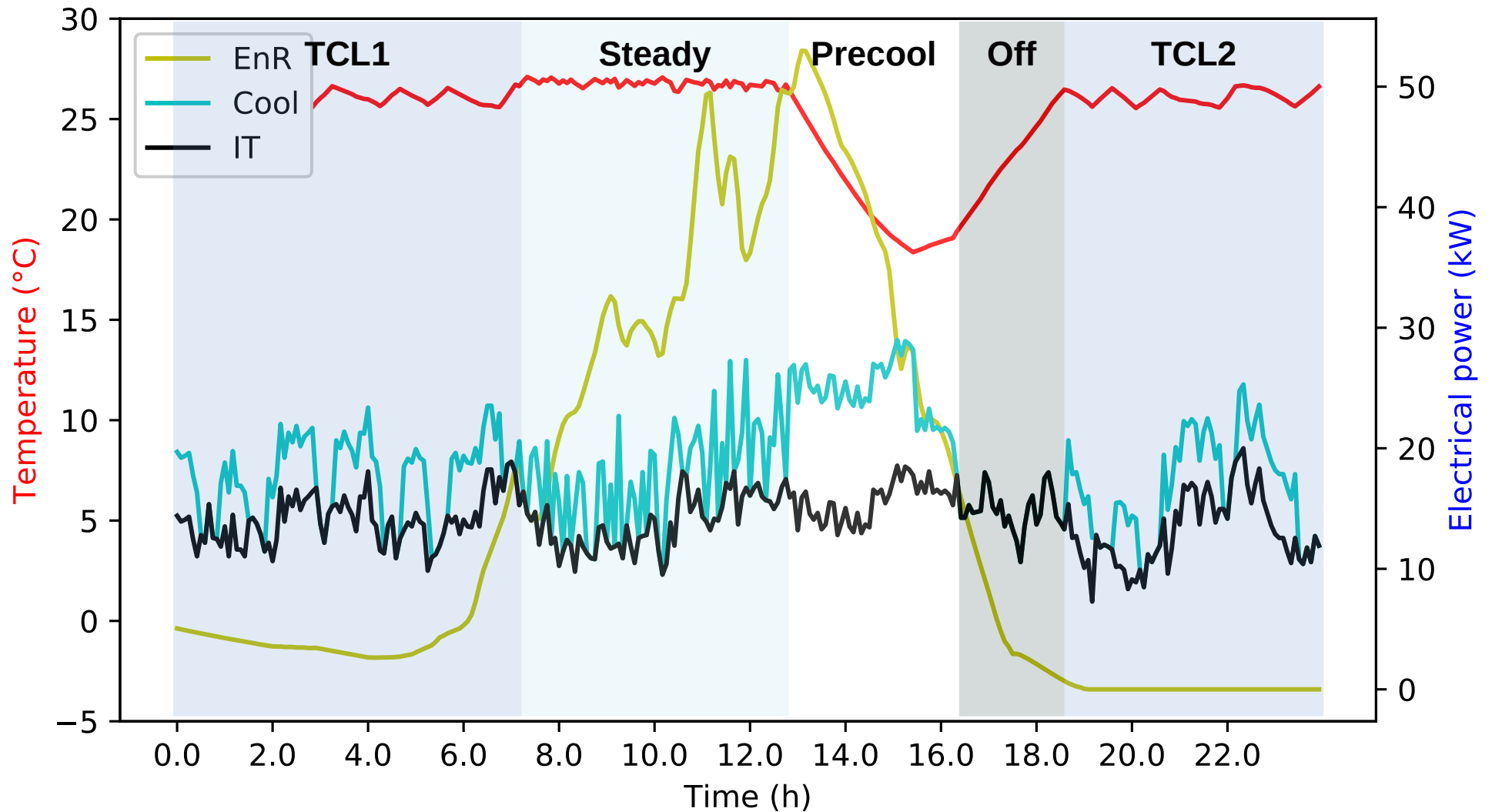
$$p_{buy} = 0,15 \text{ € / kWh}$$

$$p_{sell} = 0,06 \text{ € / kWh}$$

SIMULATION - optimisation



SIMULATION - optimisation



SIMULATION - optimisation

Phase	Dépenses PAC Témoin		Dépenses PAC Optimisé		Ecart (kWh)	Ecart (€)
	kWh	€	kWh	€		
TCL1	25,14	3,77 €	25,14	3,77 €	0,00 %	0,00 %
Steady	22,06	1,32 €	21,20	1,27 €	-0,92 %	-0,49 %
Precooling	16,77	1,01 €	32,32	1,94 €	16,62 %	8,85 %
Off	10,59	1,59 €	0	0,00 €	-11,32 %	-15,08 %
TCL2	18,97	2,85 €	18,97	2,85 €	0,00 %	0,00 %
TOTAL	93,54	10,54 €	97,63	9,83 €	4,38 %	-6,72 %

Comparaison :

augmenter la température d'un degré

→ 89,28 kWh **(-4,55%)**

augmenter la température de 2 degrés

→ 84,12 kWh **(-10,06%)**

DISCUSSION & SUITE

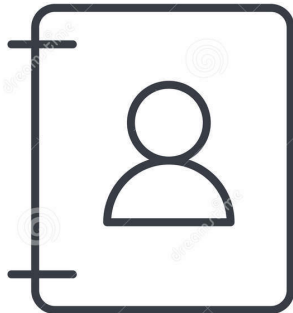
Limites :

- Besoin de prédictions météo précises
- Coefficients thermiques (R et C)
- Densité surfacique d'équipements informatiques

Pistes :

- Autres systèmes de refroidissement (CRAC, free cooling...)
- Modèle thermique plus précis (CFD, TRNSys)
- Intégration au projet DataZERO
 - Négo à 3 acteurs / intégration PDM

Merci pour votre attention !



Maël Madon

06 02 32 68 73

mael.madon@irit.fr

mael.madon@polytechnique.edu



Institut de Recherche
en Informatique de Toulouse

Etude du precooling d'un data center alimenté aux énergies renouvelables

Green Days, Anglet - 25 juin 2019

Maël Madon, stagiaire à l'IRIT (Toulouse)
Tuteur : Jean-Marc Pierson

INTRODUCTION

- **Data center = 1,8 % consommation électrique des Etats-Unis (2016)**

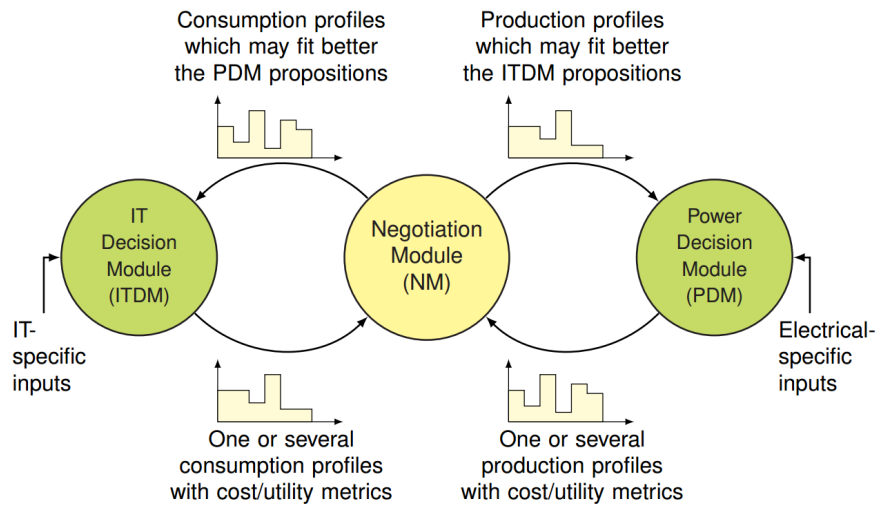
$$PUE = \frac{\text{dépense énergétique totale du DC}}{\text{dépense énergétique informatique}}$$

- **PUE moyen entre 1,8 et 1,89 (2008)**

PLAN

- 1. Contexte de l'étude**
- 2. Modélisation d'un data center**
- 3. Approche pour simuler le precooling**
- 4. Discussion et suite**

CONTEXTE - DataZero



CONTEXTE - Precooling

- **Lukawski et al., « *Demand Response for Reducing Coincident Peak Loads* », Cornell, 2019**
- **Zhang et al., « *TEStore: Exploiting Thermal and Energy Storage to Cut the Electricity Bill for Datacenter Cooling* », University of Tennessee, 2012**
- **Li et al., « *Thermal-Aware Hybrid Workload Management in a Green Datacenter towards Renewable Energy Utilization* », Qinghai University, 2019**

MODELE - Description

Data center alimenté aux énergies renouvelables et refroidi à l'aide d'une pompe à chaleur géothermique

- Petit bâtiment (data center telecom, universitaire, salle d'ordinateurs...)
- Thermique repris de Lukawski et al.
- Puissance IT moyenne : 14 kW
- Surface : 93 m²

MODELE - Électrique

$$P_{prod}(t) = P_{pv}(t) + P_{wind}(t)$$

$$P_{conso}(t) = P_{IT}(t) + P_{cool}(t)$$

Panneaux photovoltaïques :	$P_{pv}(t)$
Éolienne :	$P_{wind}(t)$
Accès au réseau :	$P_{grid}(t)$
Système de refroidissement :	$P_{cool}(t)$
Serveurs informatiques :	$P_{IT}(t)$

MODELE - Thermique

Evolution de température de la salle

$$T(t+h) = a.T(t) + (1-a)[T_{ext}(t) + R(Q_{IT}(t) - Q_{cool}(t))]$$

Échanges avec l'extérieur

Chaleur émise par les serveurs

Chaleur dissipée par le système de refroidissement

Pompe à chaleur géothermique :

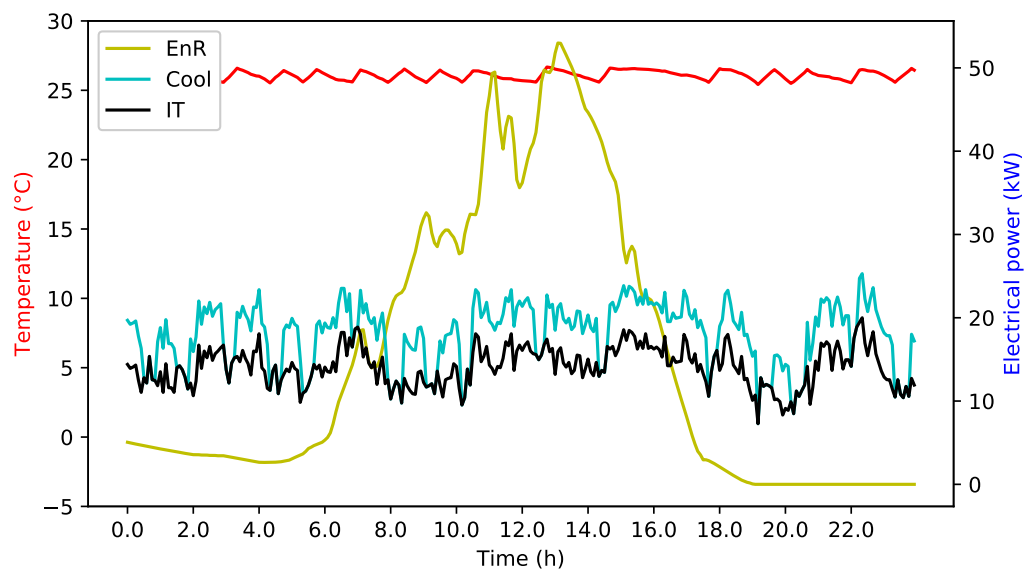
$$Q_{cool}(t) = r(t) \times Q_{cool,nom} \times (a_C \cdot T(t) + b_C)$$

Régime $\in \{0,1,2\}$: contrôle thermostatique entre deux températures

SIMULATION

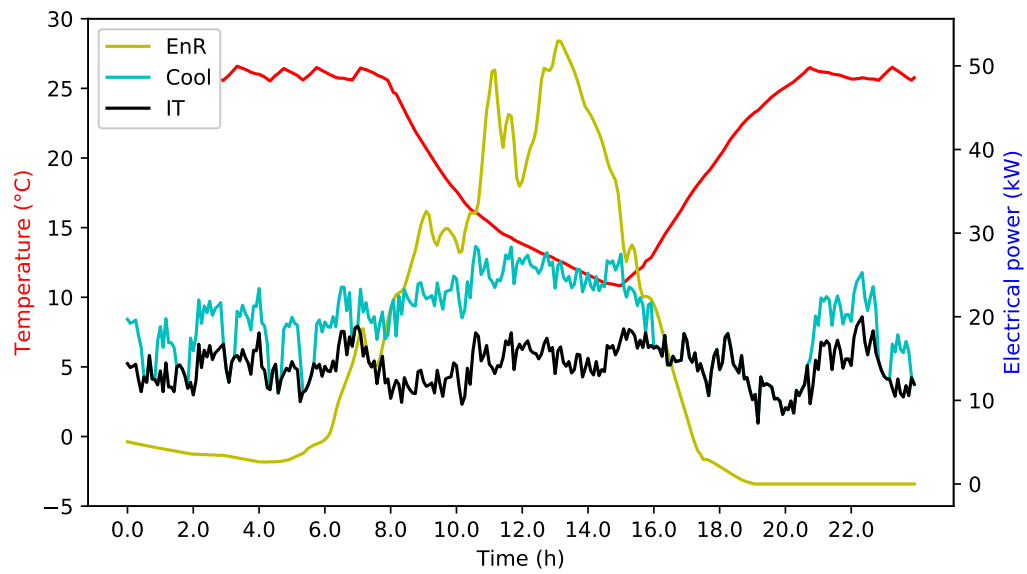


SIMULATION - témoin



10

SIMULATION - naïf



SIMULATION - optimisation

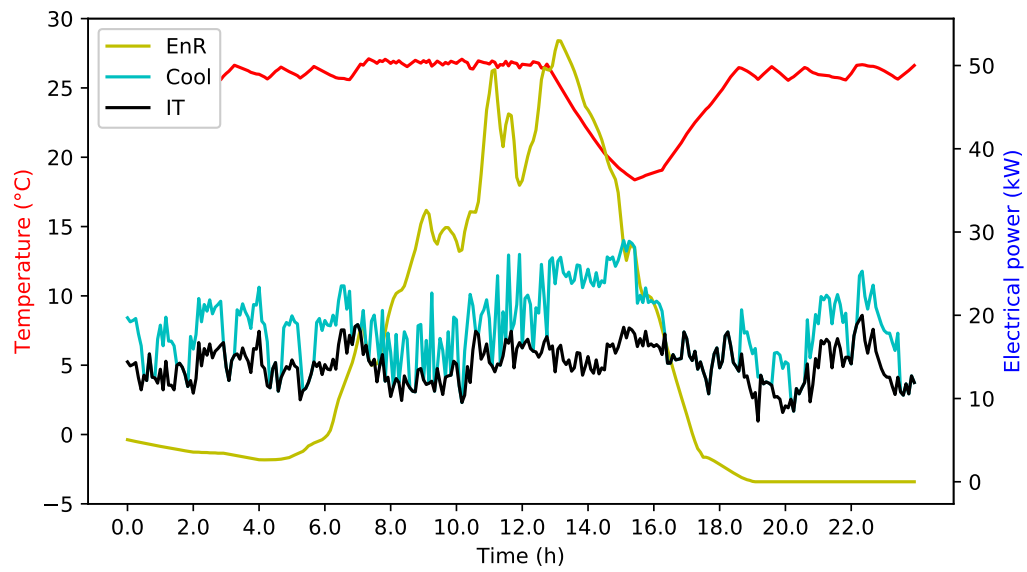
Objectif :

$$\text{minimize } \sum_{k=0}^{K-1} (p_{buy} \cdot P_{grid}(kh) + p_{sell} \cdot P_{self}(kh))$$

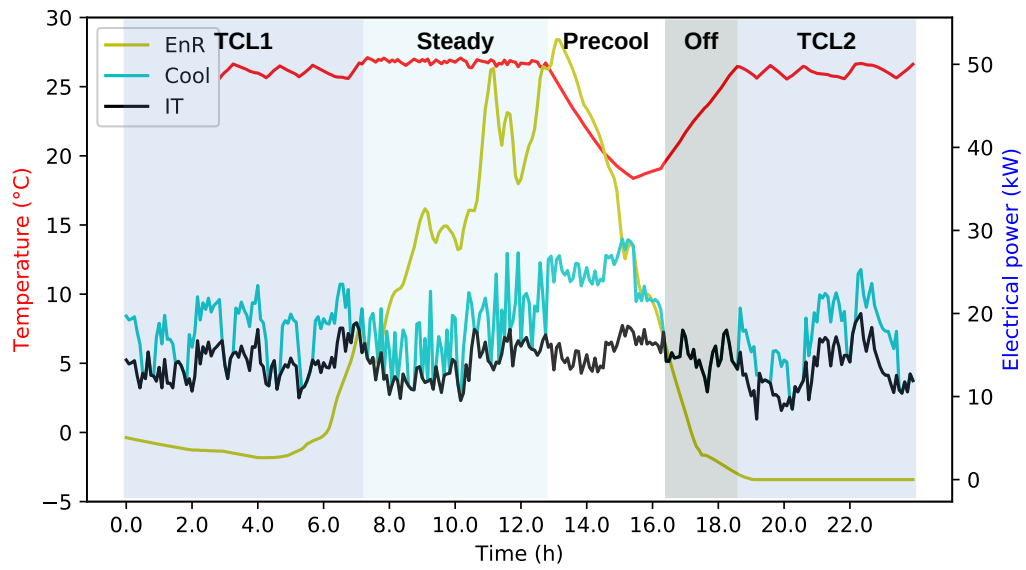
$$p_{buy} = 0,15 \text{ € / kWh}$$

$$p_{sell} = 0,06 \text{ € / kWh}$$

SIMULATION - optimisation



SIMULATION - optimisation



SIMULATION - optimisation

Phase	Dépenses PAC Témoin		Dépenses PAC Optimisé		Ecart (kWh)	Ecart (€)
	kWh	€	kWh	€		
TCL1	25,14	3,77 €	25,14	3,77 €	0,00 %	0,00 %
Steady	22,06	1,32 €	21,20	1,27 €	-0,92 %	-0,49 %
Precooling	16,77	1,01 €	32,32	1,94 €	16,62 %	8,85 %
Off	10,59	1,59 €	0	0,00 €	-11,32 %	-15,08 %
TCL2	18,97	2,85 €	18,97	2,85 €	0,00 %	0,00 %
TOTAL	93,54	10,54 €	97,63	9,83 €	4,38 %	-6,72 %

Comparaison :

augmenter la température d'un degré → 89,28 kWh **(-4,55%)**
 augmenter la température de 2 degrés → 84,12 kWh **(-10,06%)**

DISCUSSION & SUITE

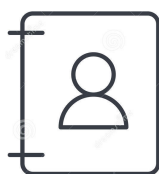
Limites :

- Besoin de prédictions météo précises
- Coefficients thermiques (R et C)
- Densité surfacique d'équipements informatiques

Pistes :

- Autres systèmes de refroidissement (CRAC, free cooling...)
- Modèle thermique plus précis (CFD, TRNSys)
- Intégration au projet DataZERO
 - Négo à 3 acteurs / intégration PDM

Merci pour votre attention !



Maël Madon

06 02 32 68 73

mael.madon@irit.fr

mael.madon@polytechnique.edu