



Institut de Recherche
en Informatique de Toulouse

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

Soutenance de stage 3A

Ecole Polytechnique – Vendredi 5 juillet

Maël Madon

Tuteur : Jean-Marc Pierson

INTRODUCTION - Green IT

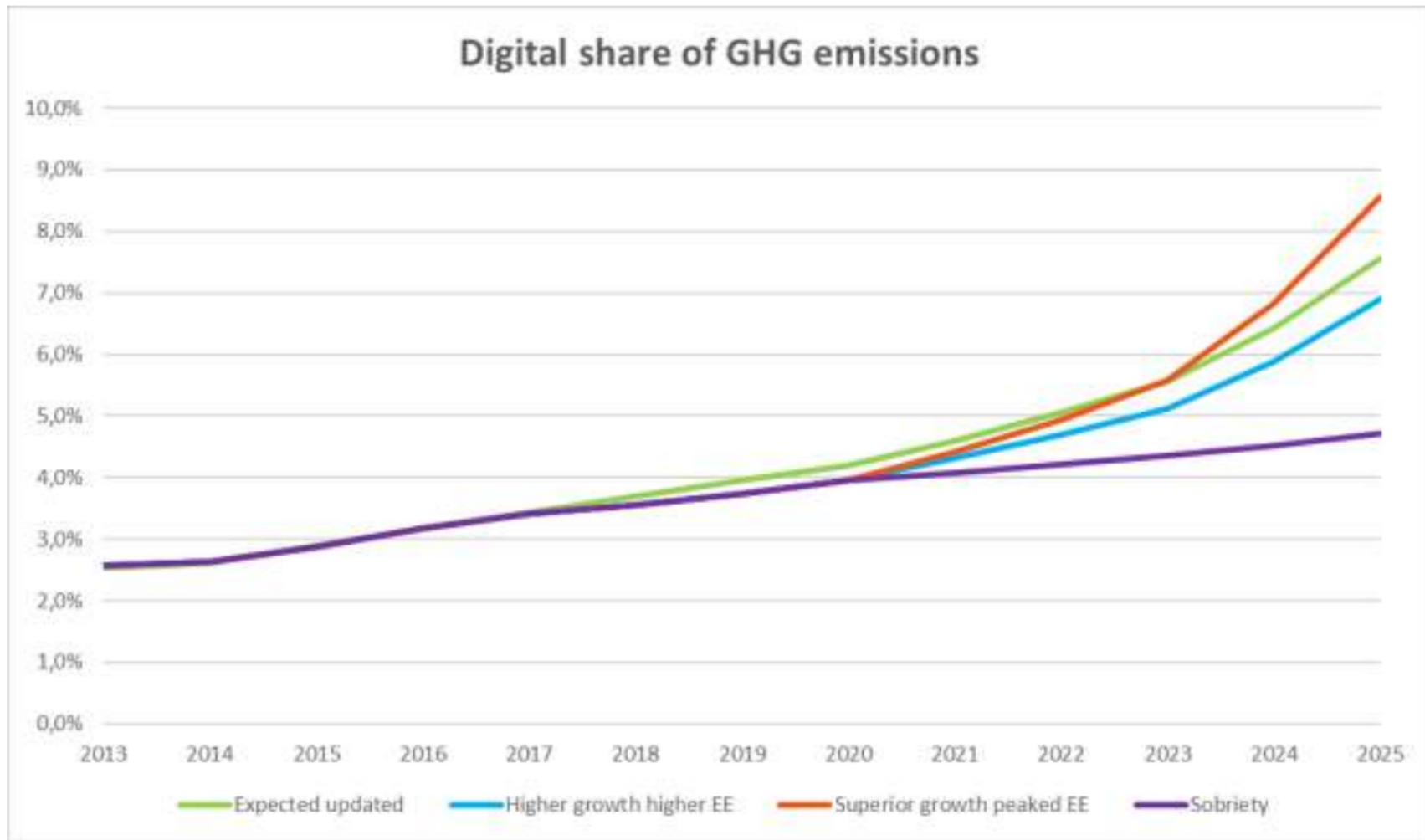


Figure 3 : Évolution 2013-2025 de la part du Numérique dans les émissions de GES

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

INTRODUCTION – Green IT

- **Numérique responsable : inclure une dimension économique, écologique et sociale**
 - Green for IT
 - IT for green

green **IT**.fr

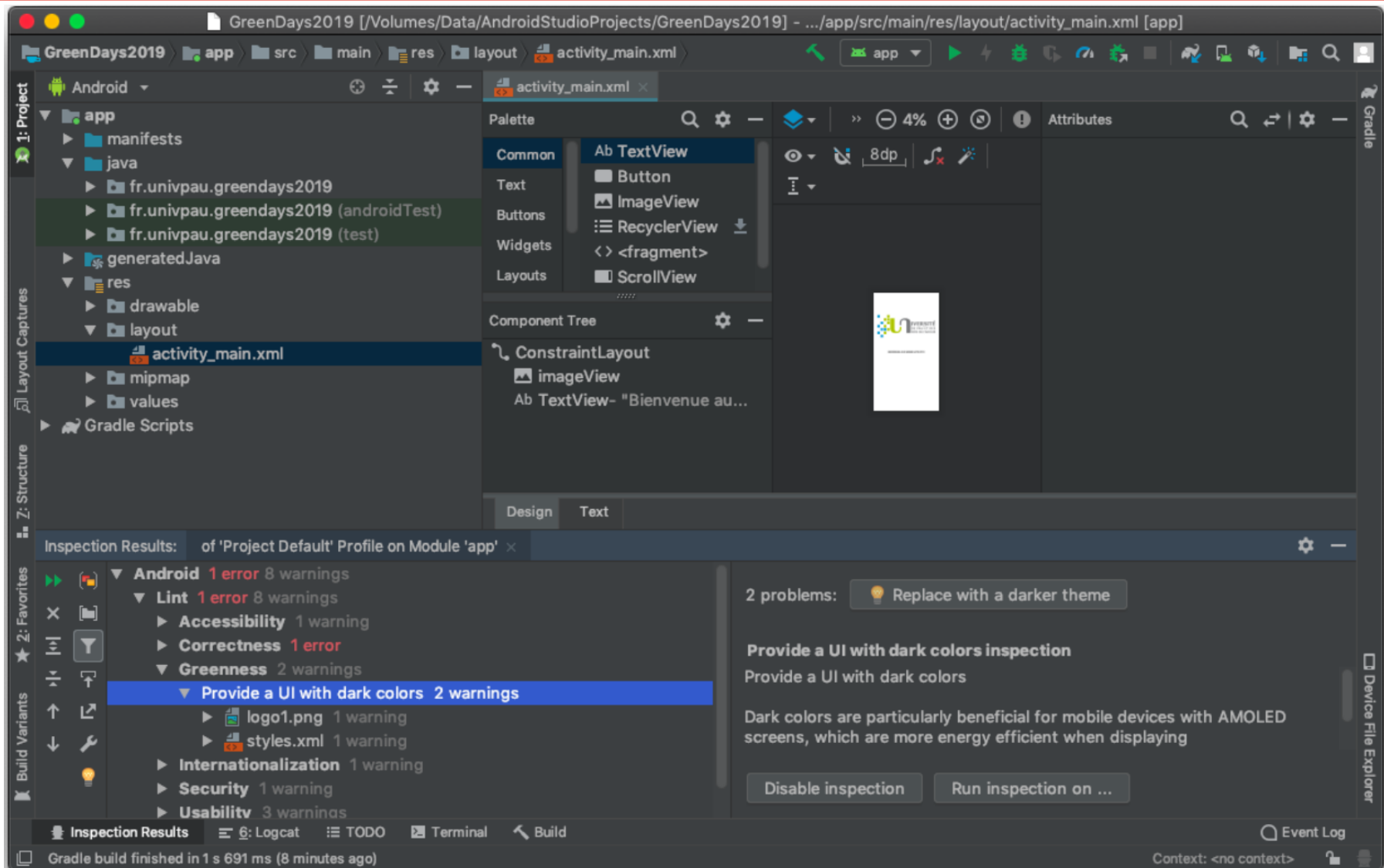


Green Days @ Anglet



POUR UNE INFORMATIQUE ÉCO-RESPONSABLE

INTRODUCTION - Green IT

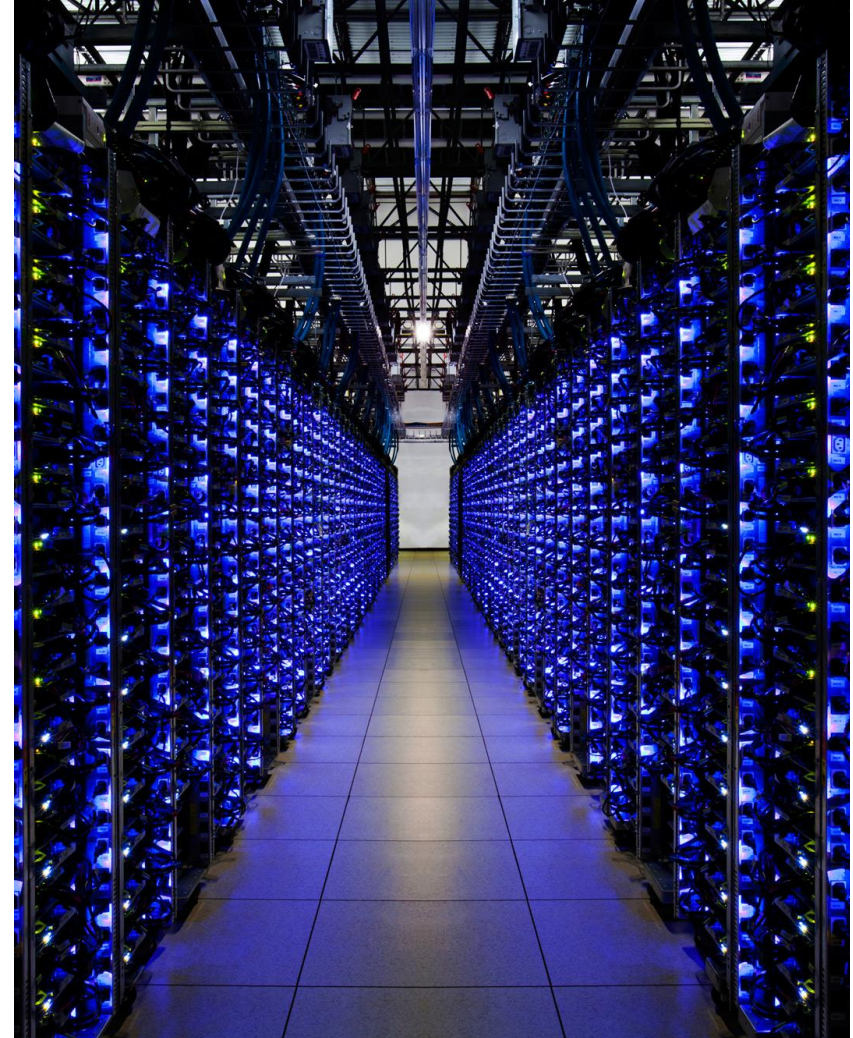


INTRODUCTION - Data centers

- **Data center = 1,8 % consommation électrique des États-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- Déroulé du stage**
- 3- Modélisation d'un data center**
- 4- Approche pour simuler le pre-cooling**
- 5- Résultats et suite**

PLAN

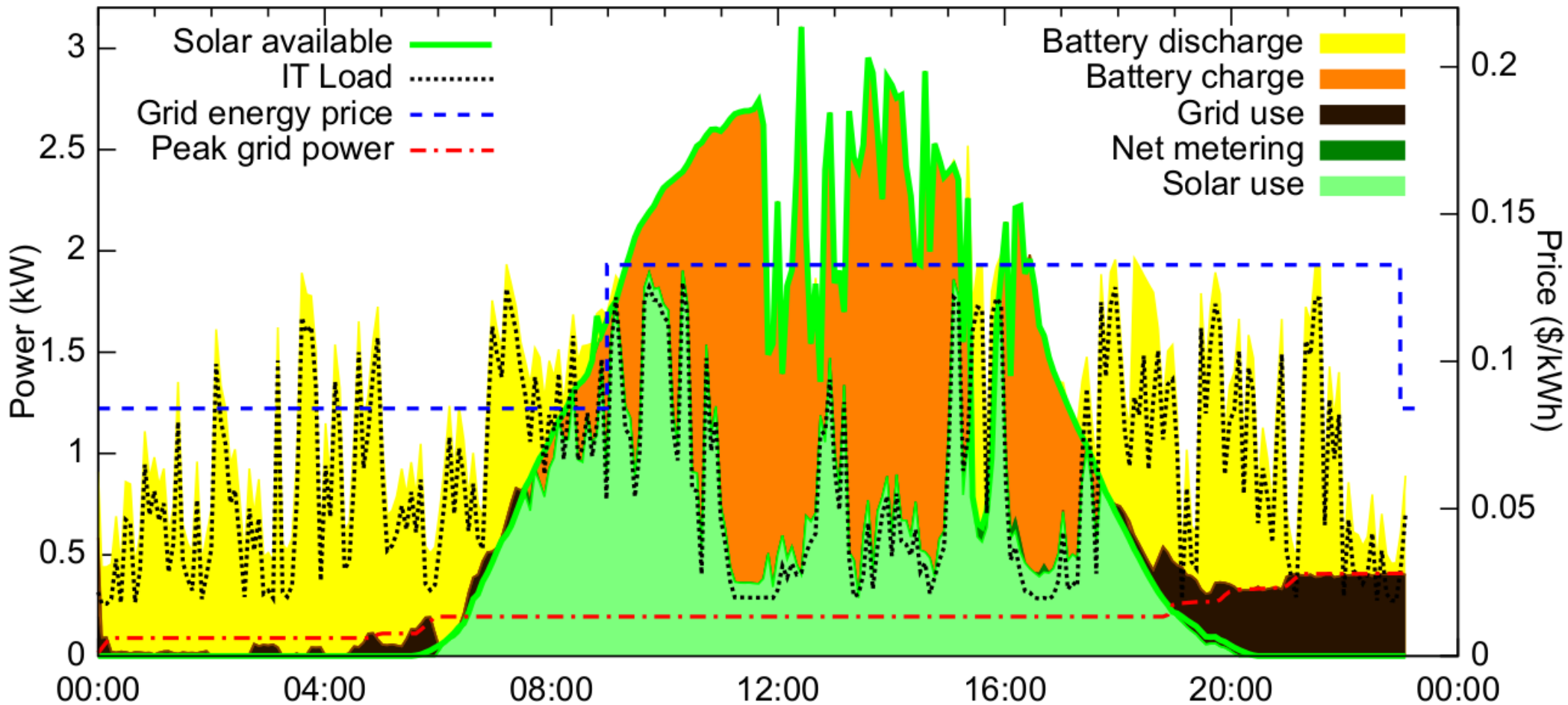
- 1- Contexte de l'étude**
- 2- Déroulé du stage**
- 3- Modélisation d'un data center**
- 4- Approche pour simuler le pre-cooling**
- 5- Résultats et suite**

CONTEXTE - Autoconsommation

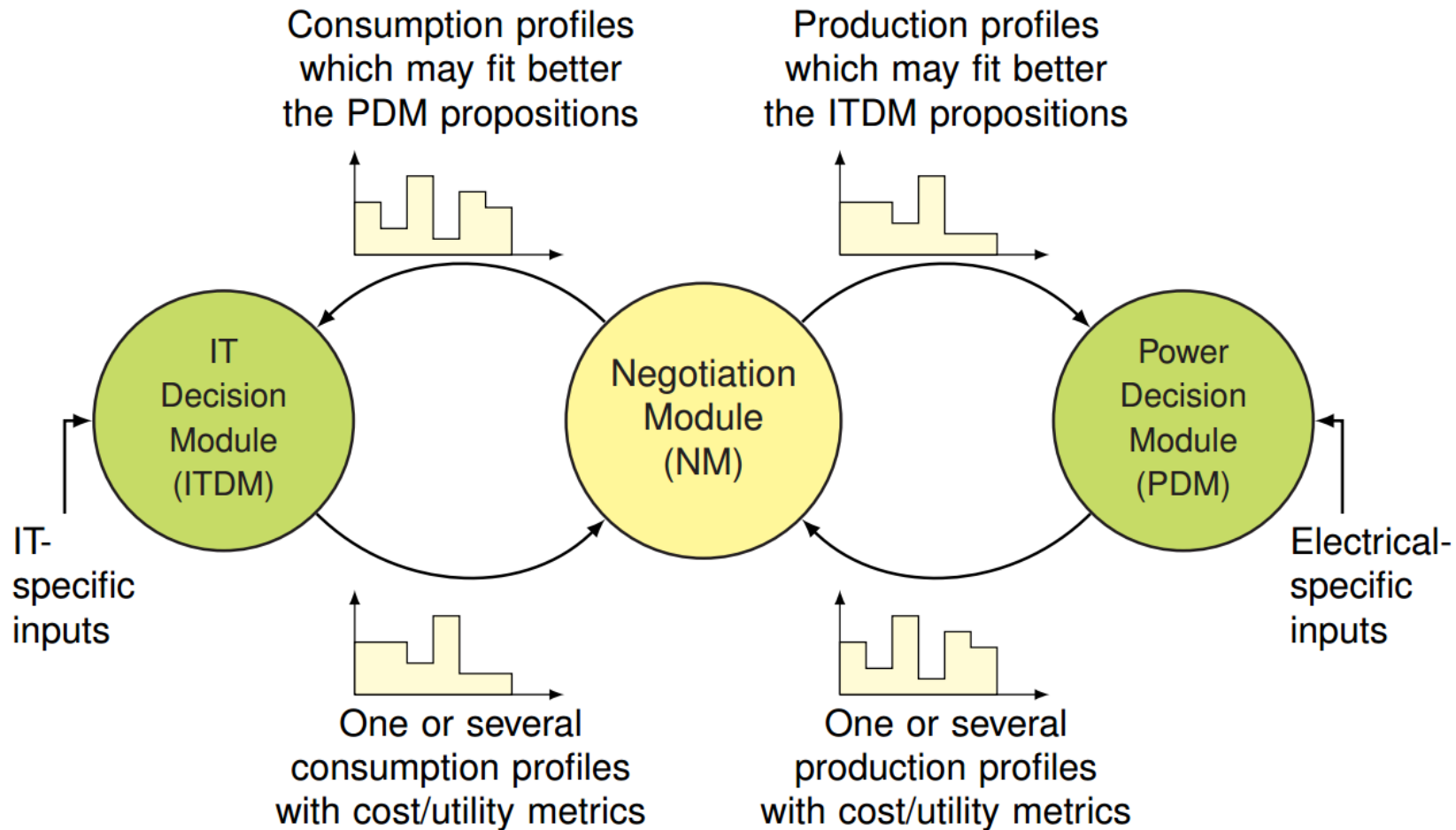
**Goiri et
al. 2013 :
Parasol et
GreenSwitch**



CONTEXTE - Autoconsommation



CONTEXTE - DataZero



CONTEXTE - Precooling

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

PLAN

- 1- Contexte de l'étude
- 2- **Déroulé du stage**
- 3- Modélisation d'un data center
- 4- Approche pour simuler le pre-cooling
- 5- Résultats et suite

DÉROULÉ DU STAGE

- **Méthode de travail**

- Réunion hebdomadaire
- Initiative
- Démarche scientifique

- **Chronologie**

- Bibliographie
- Modèle
- Simulation
- Solveur linéaire
- Green Days
- Article ?



PLAN

- 1- Contexte de l'étude
- 2- Déroulé du stage
- 3- **Modélisation d'un data center**
- 4- Approche pour simuler le pre-cooling
- 5- Résultats et suite

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 :

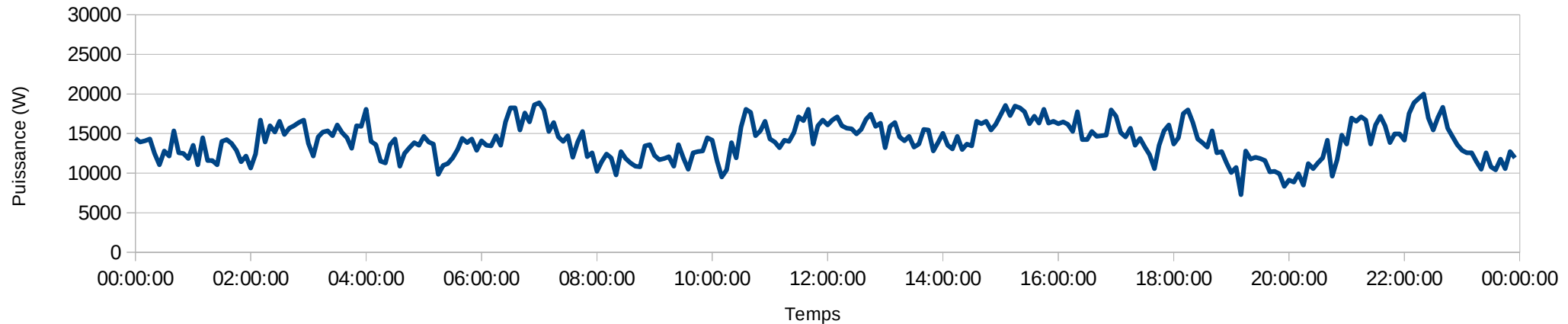
$$P_{cool}(t)$$

Serveurs informatiques :

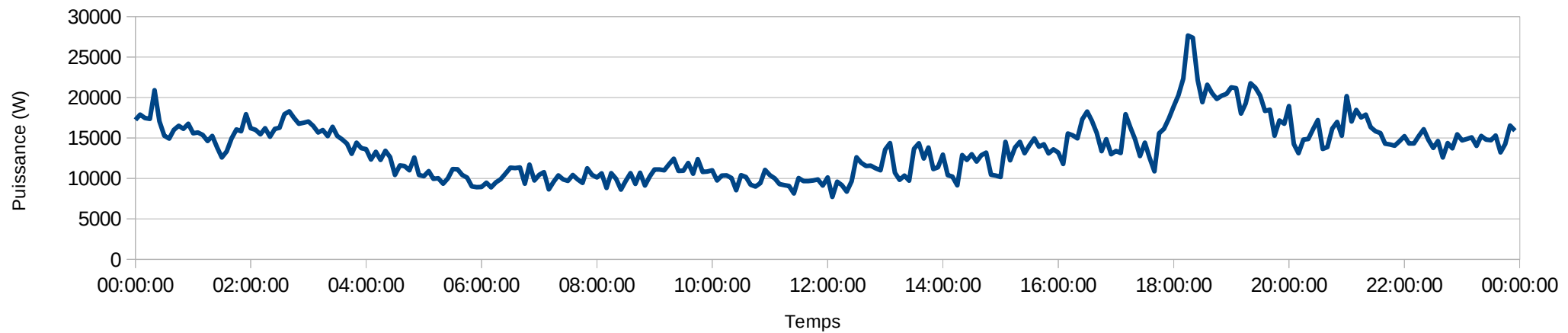
$$P_{IT}(t)$$

MODELE - Électrique

Trace Google générée



Trace Alibaba réelle



MODELE - Thermique

Evolution de température de la salle

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

↓
Inertie thermique

$$a = \exp\left(-\frac{h}{C.R}\right)$$

↓
Échanges
avec
l'extérieur

↓
Chaleur
émise par
les serveurs

↓
Chaleur dissipée
par le système de
refroidissement

MODELE - Refroidissement

Pompe à chaleur géothermique

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



$r(t) \in \{0,1,2\}$
Trois régimes pour
réguler thermostatiquement
la température

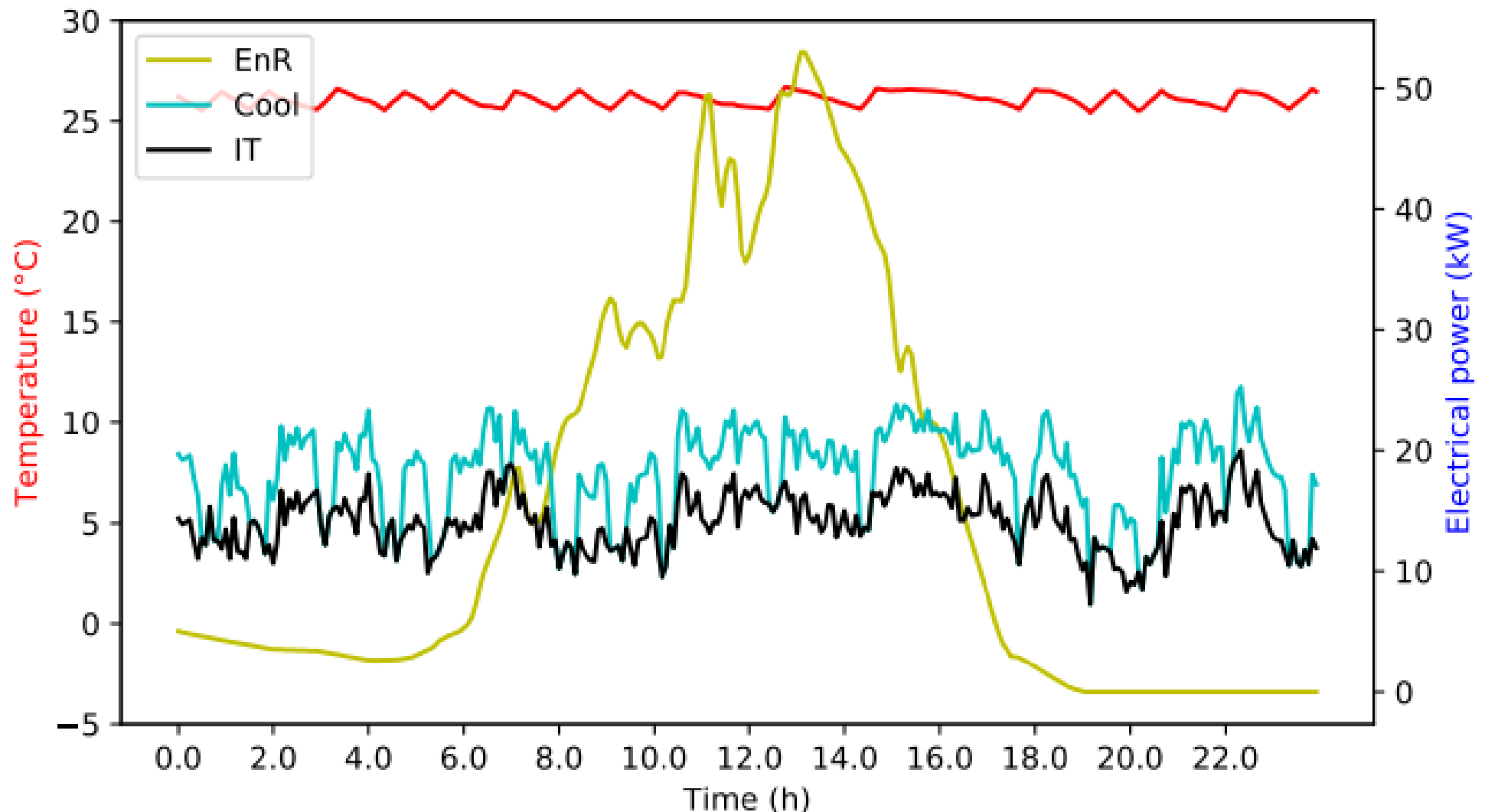
PLAN

- 1- Contexte de l'étude
- 2- Déroulé du stage
- 3- Modélisation d'un data center
- 4- **Approche pour simuler le pre-cooling**
- 5- Résultats et suite

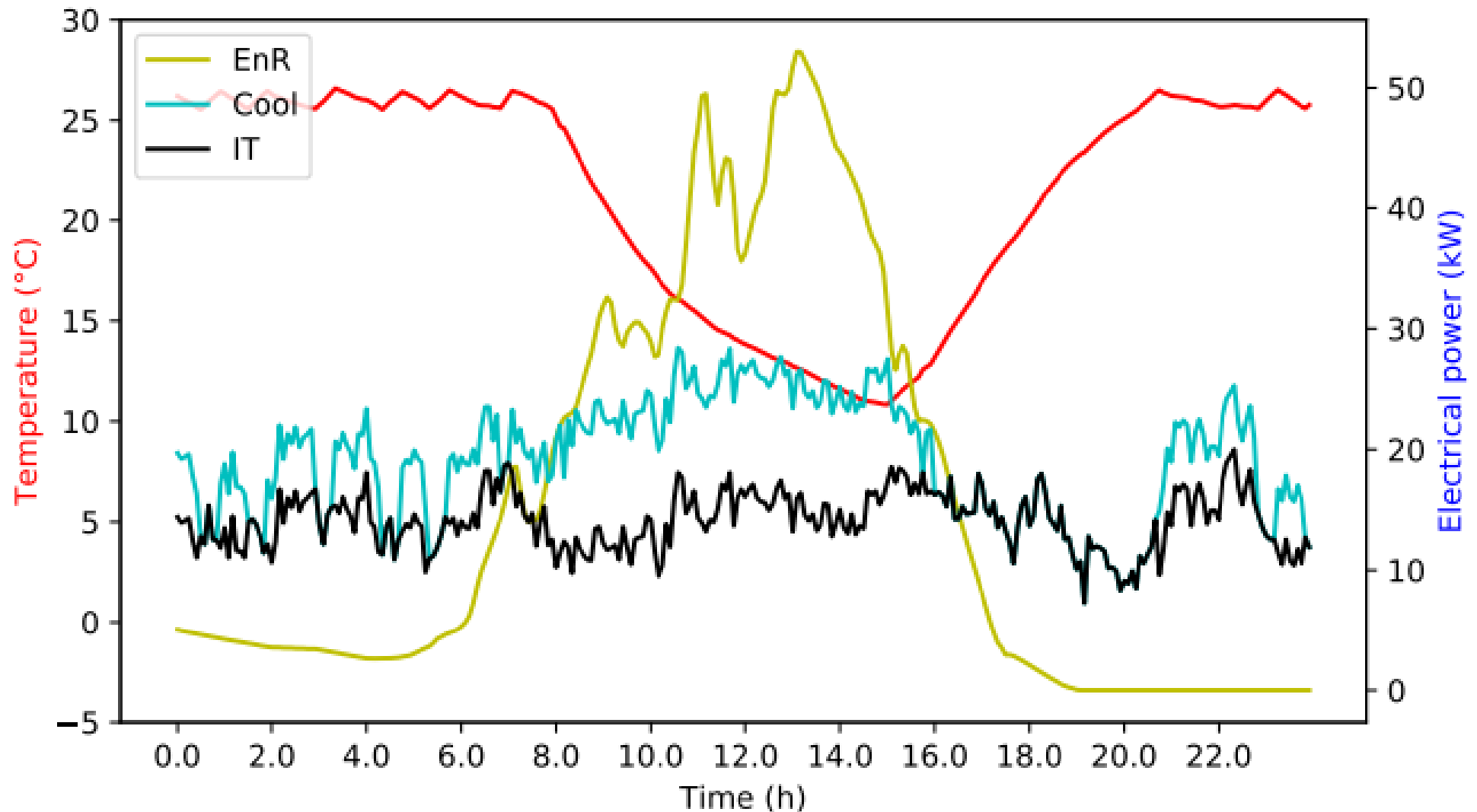
SIMULATION



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

Contraintes :

- Équations d'évolution de température

$$a.T_{k-1} + (1 - a)[T_{ext,k-1} + R(Q_{IT,k-1} - Q_{cool,k-1})]$$

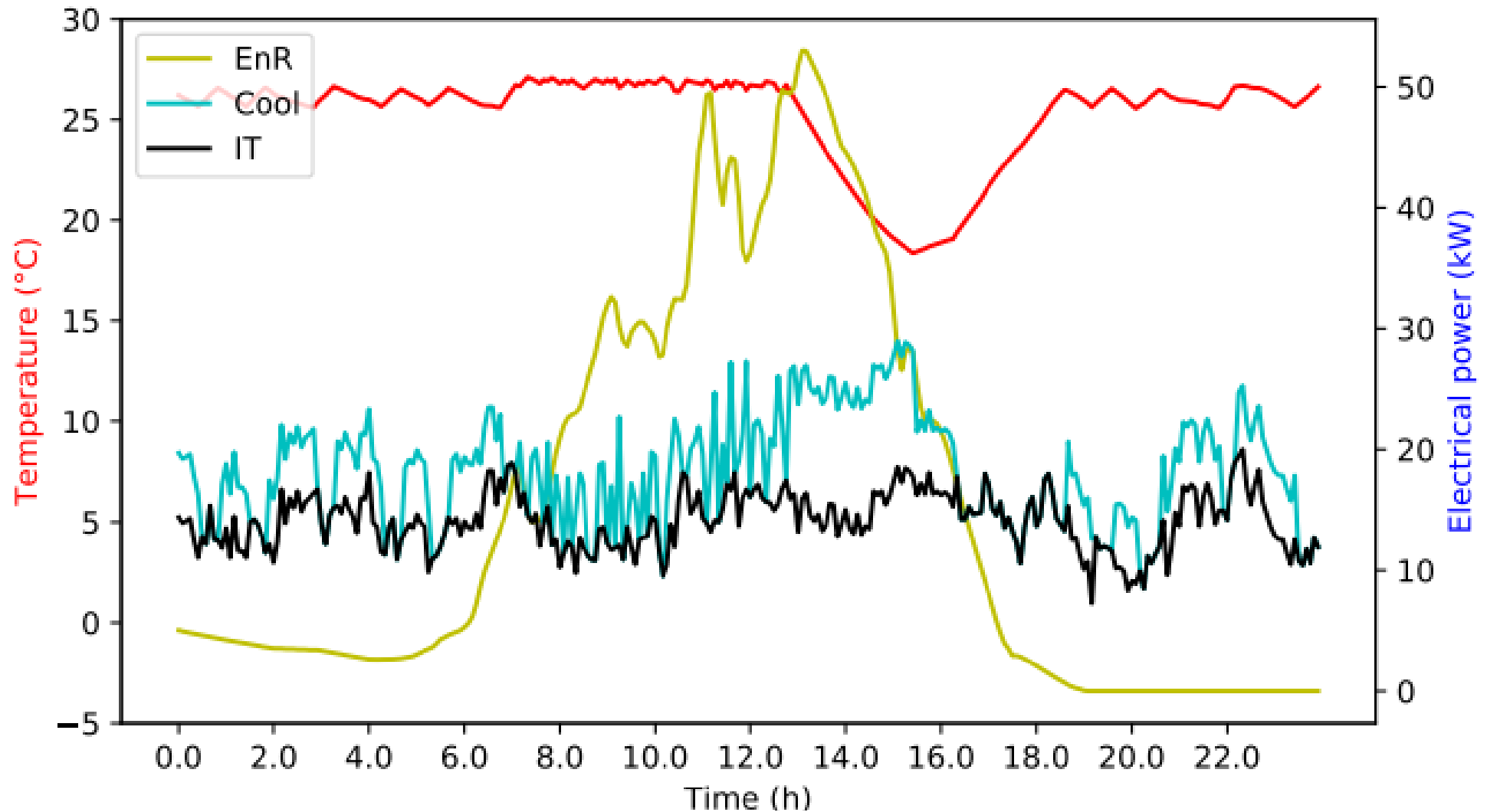
- Recommandations ASHRAE

$$T_{lo} \leq T_k \leq T_{up}$$

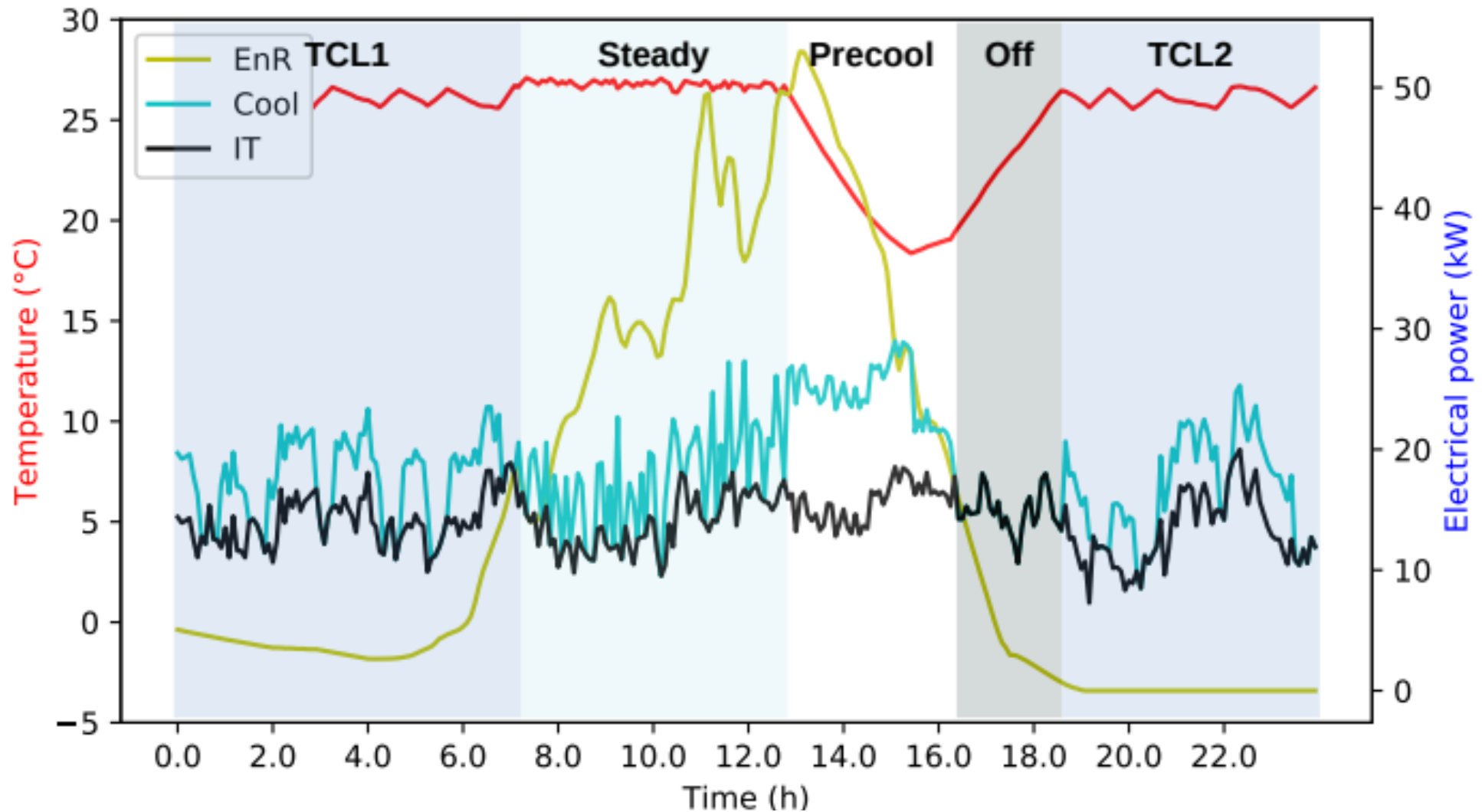
- Système de refroidissement

- Si $P_{prod,k} > P_{IT,k}$: fonctionnement en thermostat
- Sinon : laissé au solveur linéaire

SIMULATION - optimisation



SIMULATION - optimisation



SIMULATION - optimisation

	Dépenses PAC Témoin		Dépenses PAC Optimisé		Ecart (kWh)	Ecart (€)
Phase	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 %

SIMULATION - optimisation

	Dépenses PAC Témoin		Dépenses PAC Optimisé		Ecart (kWh)	Ecart (€)
Phase	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%)**

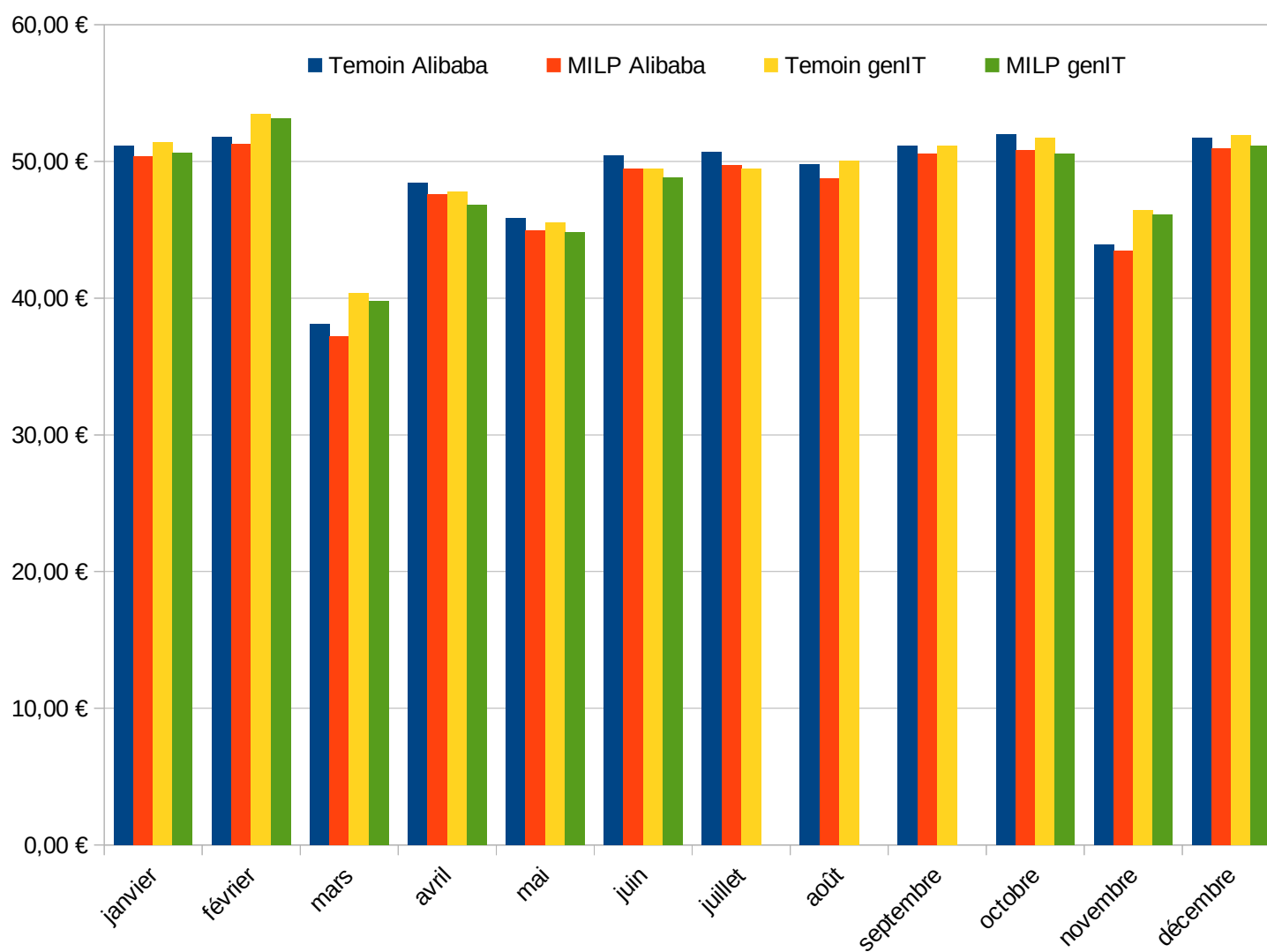
augmenter la température de 2 degrés

→ 84,12 kWh **(-10,06%)**

PLAN

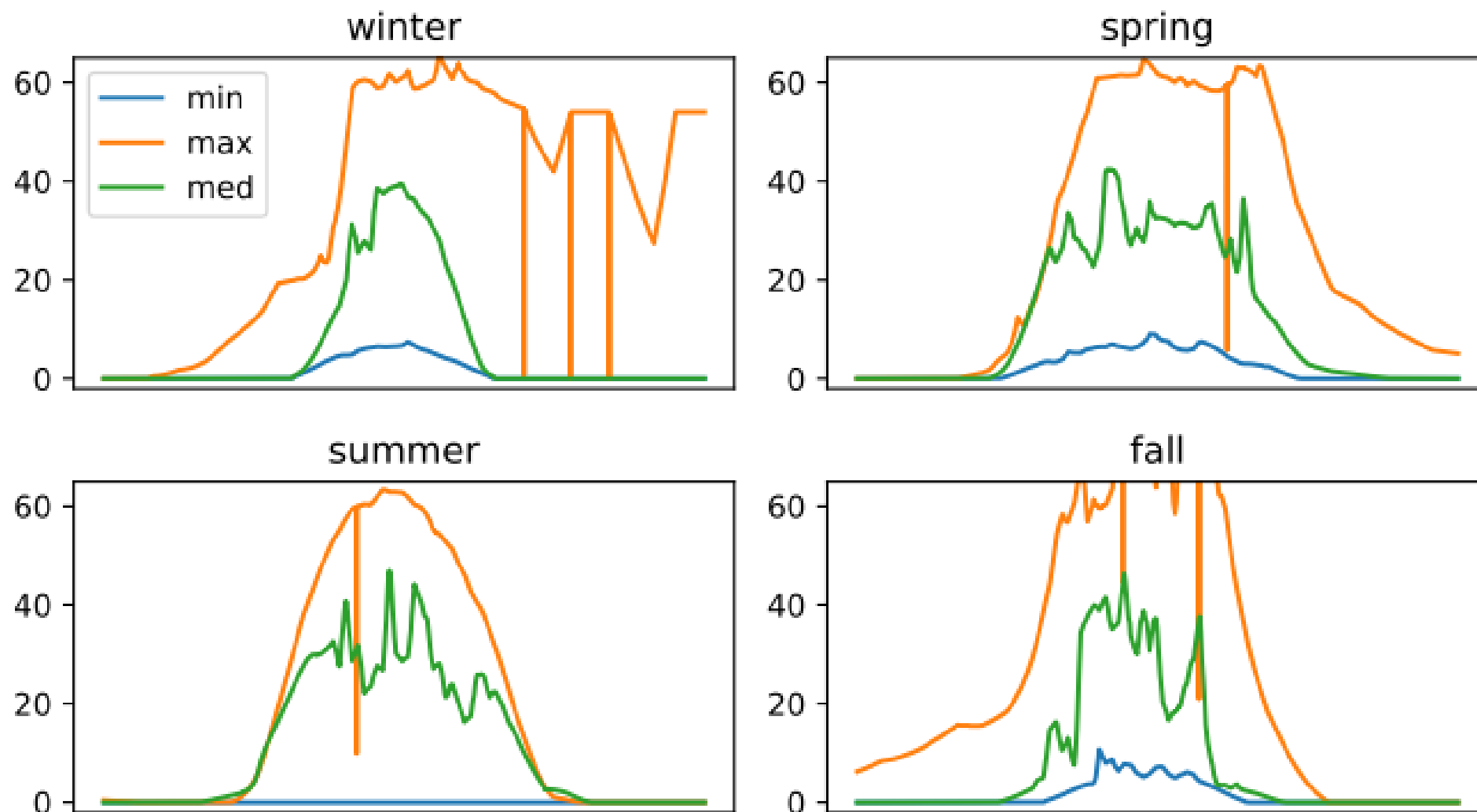
- 1- Contexte de l'étude**
- 2- Déroulé du stage**
- 3- Modélisation d'un data center**
- 4- Approche pour simuler le pre-cooling**
- 5- Résultats et suite**

RESULTATS - jours médians



	Alibaba	GenIT
janvier	1,51 %	1,44 %
février	0,99 %	0,54 %
mars	2,49 %	1,41 %
avril	1,83 %	2,04 %
mai	1,96 %	1,54 %
juin	1,95 %	1,26 %
juillet	1,81 %	
août	2,06 %	
sept	1,17 %	
oct	2,24 %	2,23 %
nov	1,10 %	0,80 %
dec	1,56 %	1,55 %
MOY	1,72 %	1,42 %

RESULTATS - saisons



RESULTATS - influence des paramètres

Paramètres thermiques R et C

$$C = 0,23 \quad \in [0,015 ; 0,065] \text{ kWh/}^\circ\text{C/m}^2$$

$$1/R = 0,0019 \quad \in [0,001 ; 0,003] \text{ kW/}^\circ\text{C/m}^2$$

Pricing / intensité carbone

$$p_{buy} = 0,15 \text{ €/kWh}$$

$$p_{sell} = 0,06 \text{ €/kWh}$$

- Autres contrats
- Autres mix énergétiques

MODELE - Thermique

Evolution de température de la salle

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



Inertie thermique

$$a = \exp\left(-\frac{h}{C.R}\right)$$



Échanges
avec
l'extérieur

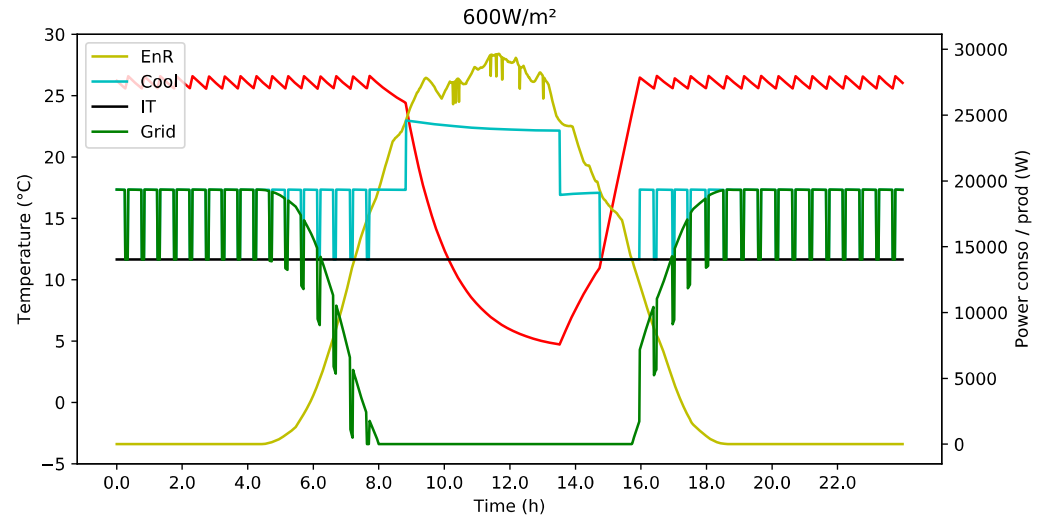
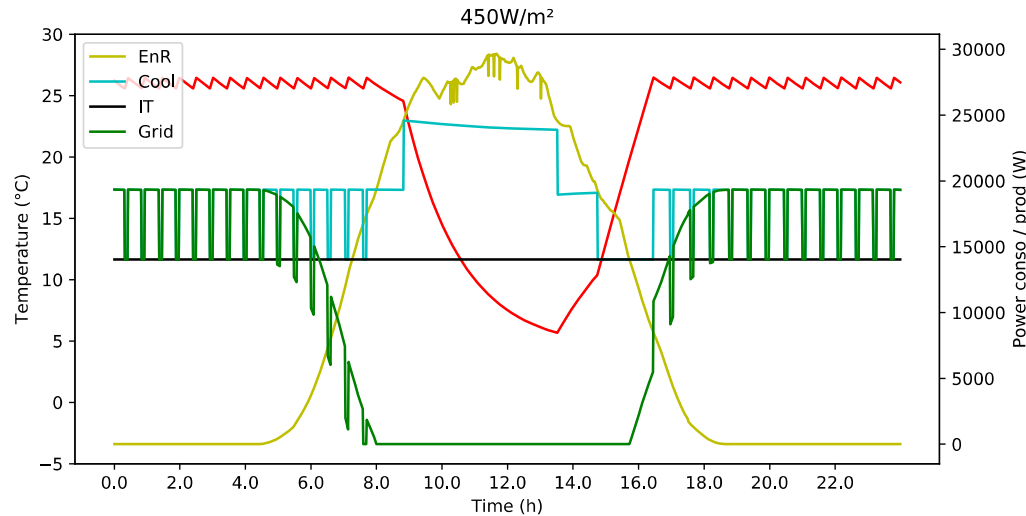
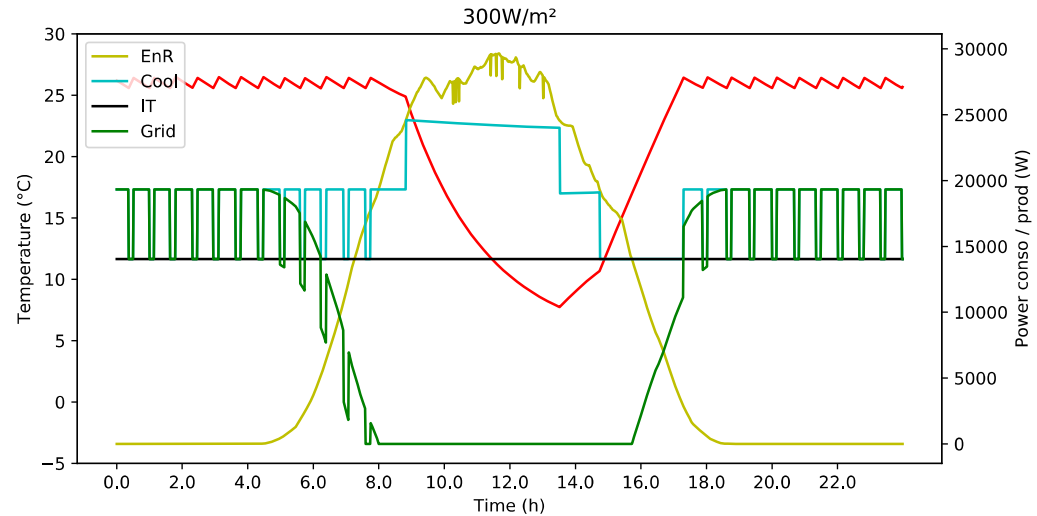
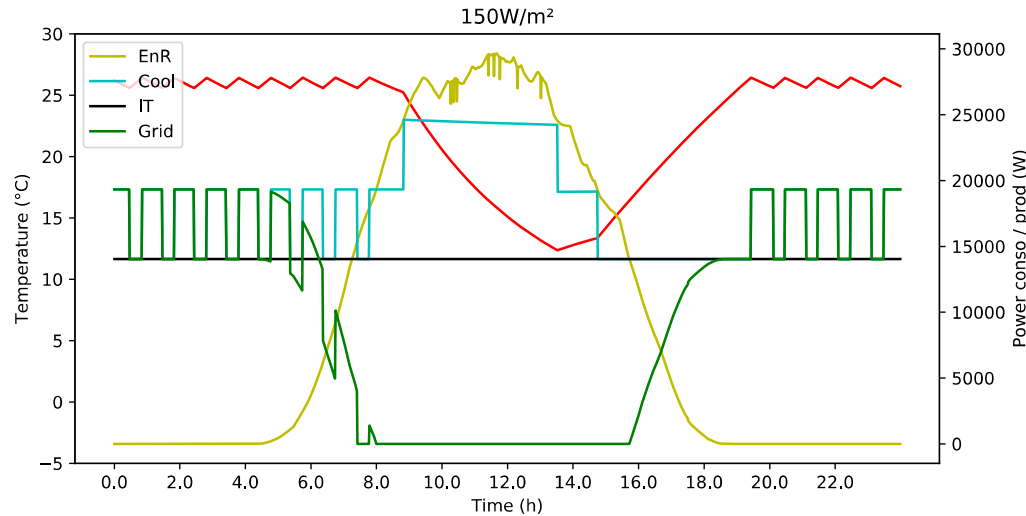


Chaleur
émise par
les serveurs



Chaleur dissipée
par le système de
refroidissement

RESULTATS - densité IT



RESULTATS – limites et pistes

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
 - Négó à 3 acteurs / intégration PDM

CONCLUSION

- **Pre-cooling = petite niche d'optimisation**
- **Approches globales plus intéressantes**
- **Data center monitoring :**
<http://pue.online.net/fr>

Ne pas perdre de vue que les gains d'efficacité énergétique ne sont bénéfiques que si ils vont de pair avec une certaine sobriété.



Institut de Recherche
en Informatique de Toulouse

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

Soutenance de stage 3A

Ecole Polytechnique – Vendredi 5 juillet

Maël Madon

Tuteur : Jean-Marc Pierson