



**COSTIC**

Comité Scientifique et Technique  
des Industries Climatiques

# **Simplification et usage d'un modèle de fonctionnement de pompe à chaleur UNIGE**

**Systemes énergétiques**

**17/11/2016**

**Julien CAILLET**  
**j.caillet@costic.com**

Créateur d'horizons du Génie Climatique

# Introduction

## Le COSTIC, Qui sommes-nous?

### Centre d'études et de formation pour le génie climatique et les équipements techniques du bâtiment

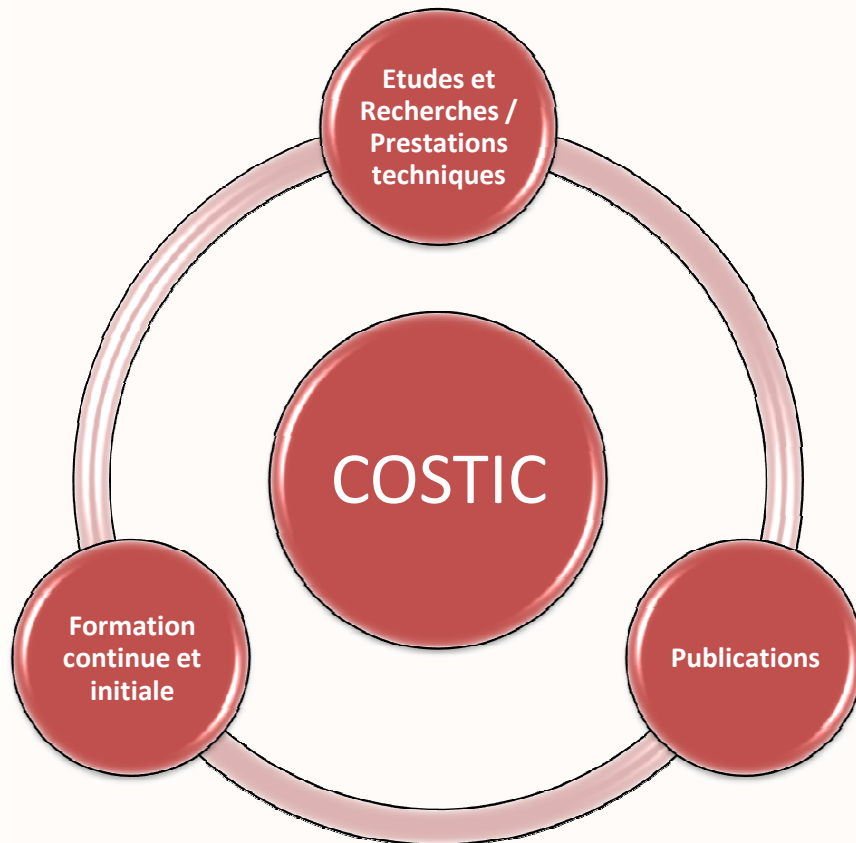
- ➔ Association fiscalisée, non subventionnée fondée en 1906
- ➔ Située à St Rémy les Chevreuse dans les Yvelines (78)
- ➔ Membre fondateur : UECF (Union des Entreprises du génie énergétique et Climatique de France)
- ➔ Membres actifs : FEDENE, SERCE, FFB, FFIE, UNCP
- ➔ **Notre Mission :**

***Assister les Professionnels du Génie Climatique des corps d'états techniques du bâtiment qui conçoivent, qui mettent en œuvre, qui maintiennent...***



# Introduction

## Domaines d'intervention



### **Etudes & Recherches / Prestations techniques**

Contributions aux innovations en génie climatique et équipement technique du bâtiment : études, recherches appliquées, analyses et prospections

### **Formation continue**

Auprès du personnel technique des secteurs de l'équipement technique du bâtiment, de l'ouvrier à l'ingénieur, des stages pratiques et techniques

### **Formation initiale**

Auprès des futurs ingénieurs de l'INSA de Strasbourg, l'INSA Centre Val de Loire et l'EPMI de Cergy-Pontoise

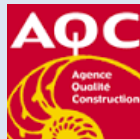
### **Publications**

Plusieurs milliers d'ouvrages et d'études, de textes réglementaires et techniques

# Introduction



## Institutionnels et adhésions



## Formation continue et initiale



# Introduction

## Nature des études

### ⇒ Analyse d'une technologie, d'un produit

*Etat de l'art, état de l'offre, analyse de la réglementation, évaluations, études de cas*

### ⇒ Analyse des pratiques professionnelles

*Analyse des pratiques actuelles, mise en place d'outils ou de méthodes pour les améliorer, évolution des méthodes de dimensionnement*

### ⇒ Calculs et simulations

*Etude des systèmes, simulation thermique dynamique, simulation des écoulements, création d'outils de calculs, Titres V*

### ⇒ Mesures sur banc et sur site

### ⇒ Rédaction de guides techniques



# Introduction

Mesurer pour comprendre, valider, innover

➔ Une 100<sup>aine</sup> de sites partout en France

➔ **Les systèmes suivis**

*Condensation, Pompe à chaleur, Système multi-fonctions, Chauffe-eau thermo, Micro-cogénération, Pile à combustible, Module thermique d'appartement, Puits climatique, Ventilation double-flux PAC gaz, Système hybride, Installation solaire, Chaufferie bois, Mur solaire*

➔ **Sur tout type de bâtiment**

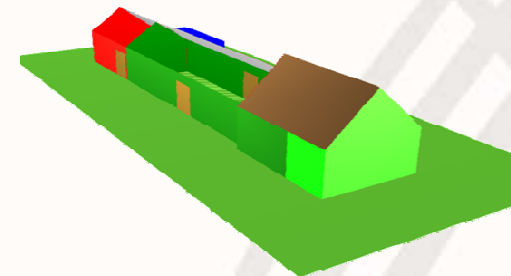
*Maisons individuelles, Logements collectifs, Ecoles, Bureaux, Industrie*



# Introduction

## Les prestations techniques

- ➔ Audit d'une chaufferie
- ➔ Audit d'un réseau de chaleur
- ➔ Audit de sous-stations d'un réseau de froid
- ➔ Audit d'un groupe de production d'eau glacée
- ➔ Audit énergétique dans des centres de secours
- ➔ Mesure de confort dans un bureau
- ➔ ...



# Introduction

## La Formation continue nos stages

- ➔ **climatisation** : *conception, installation et maintenance*
- ➔ **chauffage** : *conception, installation et maintenance*
- ➔ **bâtiment et santé** : *eau, air, bruit, hygiénisation des réseaux*
- ➔ **efficacité énergétique** : *audit, instrumentation*
- ➔ **énergies renouvelables** : *solaire, bois, pompes à chaleur*
- ➔ **électricité, régulation, automatisation**
- ➔ **e-formation**
- ➔ **Journées techniques**





# Introduction

## Ressources techniques et réglementaires

### ➔ Publications

- Guides pratiques
- Notes de savoir-faire
- Diagrammes
- Productions du programme RAGE

### ➔ Service Degrés-Jours-Unifiés

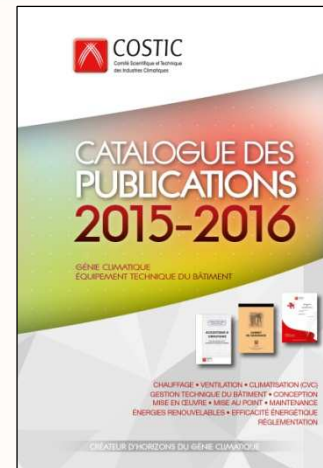
### ➔ Base de connaissance technique

- 64 thèmes techniques - 30 000 pages numérisées

### ➔ Base de connaissance réglementaire

- 14 thèmes et + 700 textes réglementaires consolidés du génie climatique

### ➔ Service Questions-Réponses



# Plan de la présentation

## Simplification et usage d'un modèle de fonctionnement de PAC

- ➔ Introduction
- ➔ Méthode retenue pour l'étude
- ➔ Présentation du modèle
- ➔ Présentation des sites
- ➔ Etude de sensibilité
- ➔ Modèle complet
- ➔ Conclusion et discussions

# Contexte

## Performances normatives

### → Des performances normatives

➤ NF EN 14511: essais à pleine charge

➤ NF EN 14825: essais à charge partielle

### → Des performances minimales « saisonnières » à respecter (directive Ecoconception)

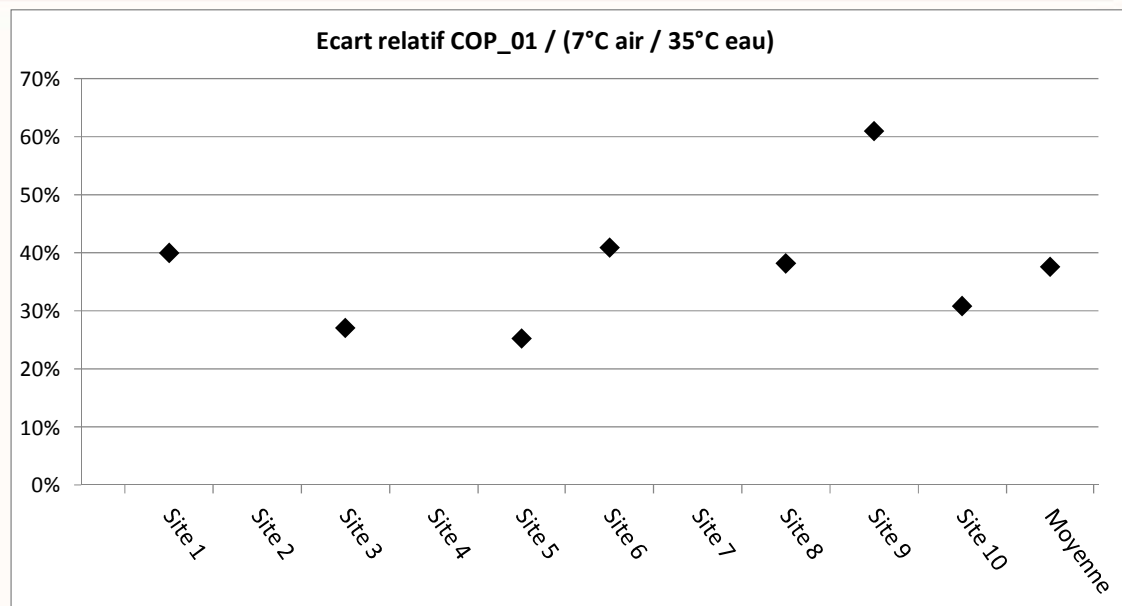
➔ Des performances permettant de comparer des produits, non valorisables directement pour évaluer une consommation !

# Contexte

## REX

### ➔ Exemples de mesures (\*)

(\*) Données issues de: « Suivi métrologique de 10 maisons individuelles équipées d'une pompe à chaleur haute température fonctionnant en substitution de chaudière » - Costic pour Ademe - 2012



### ➔ De multiples facteurs permettent d'expliquer ces résultats:

- Conditions de fonctionnement différentes (charge partielle, température)
- Dimensionnement
- Débit réglé
- ...

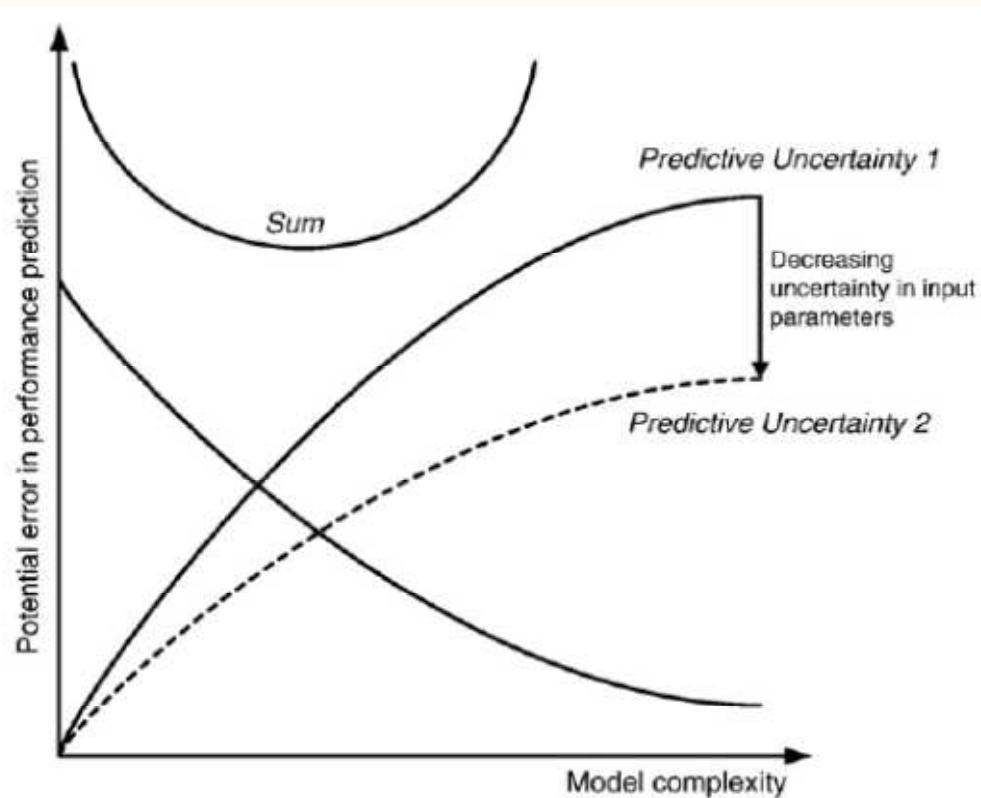
# Contexte

## Les intérêts pour la filière

- ➔ *Etude menée dans le cadre du programme « Règles de l'Art – Grenelle de l'Environnement »*
- ➔ *Besoins de l'installateur*
  - *Concevoir et dimensionner*
  - *Annoncer une consommation prévisionnelle réaliste*
  - *Suivre et être capable de justifier la consommation constatée*
  - *Sur la base d'une étude technique nécessitant un temps raisonnable*
- ➔ *Aucun outil ne permet de répondre à ces besoins*

# Contexte

- Définir un cahier des charges pour un module de calcul de PAC:
  - ✓ Modèle mathématique
  - ✓ Définir entrées et paramètres pour optimiser le coût d'utilisation & précision



# Méthode

## ➔ Confrontation d'un modèle avec des mesures réelles

### ➤ Etude de sensibilité du modèle

Valeurs par défaut  
Valeur mesurée



Modèle



Variation du résultat

### ➤ Test de différents niveaux de simplification du modèle

Entrées  
Simplifiées  
Intermédiaires  
Complexes



Modèle

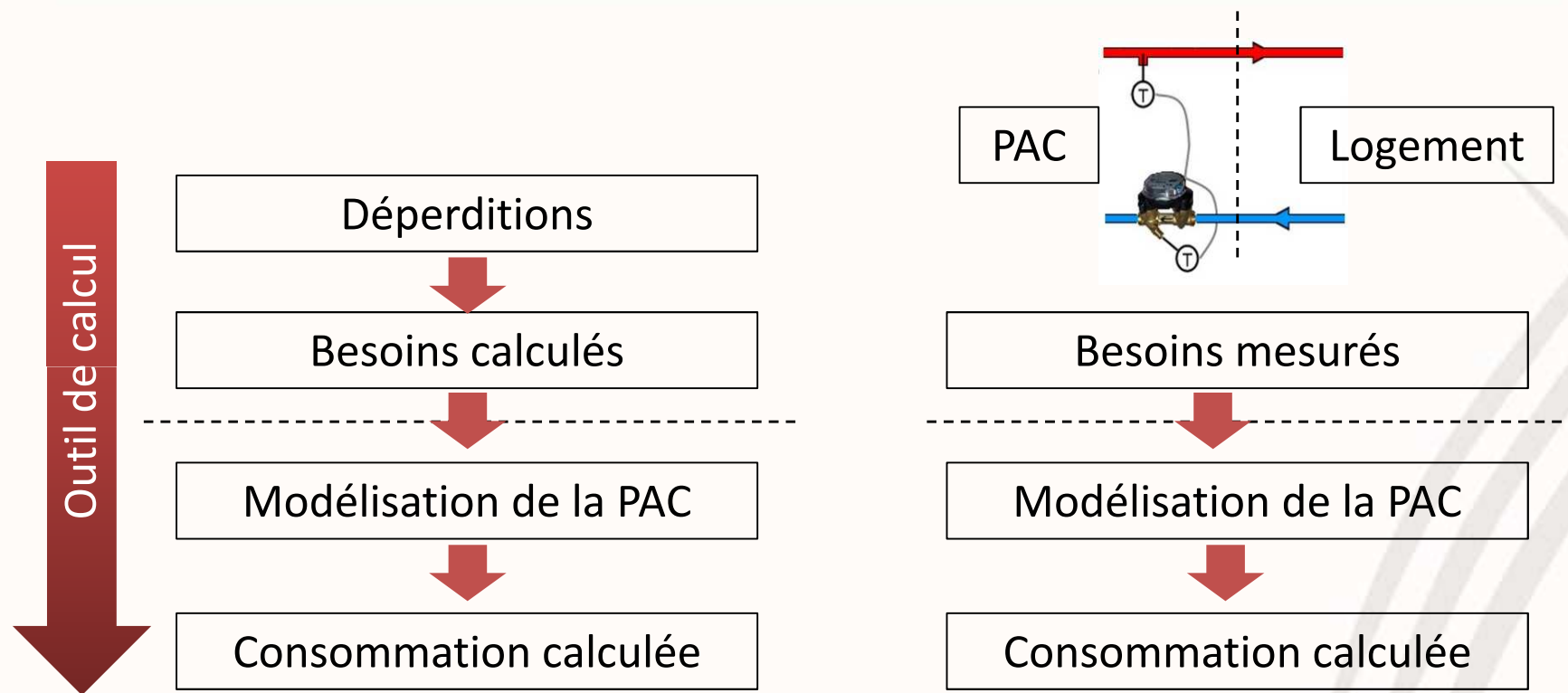


Consommation calculée



Consommation  
mesurée\*

# Méthode



➔ Remarque : Besoins connus



# Présentation du modèle

- ➔ Basé sur NF EN 15316-4-2
  - « Méthode de calcul des besoins énergétiques et des rendements des systèmes / Systèmes de pompe à chaleur »
- ➔ Fonctionnement à pleine charge
  - Influence des températures de sources
- ➔ Impact de la charge partielle
- ➔ Prise en compte de l'appoint, des accessoires, des veilles
- ➔ Applicable par classe de température ou au pas horaire

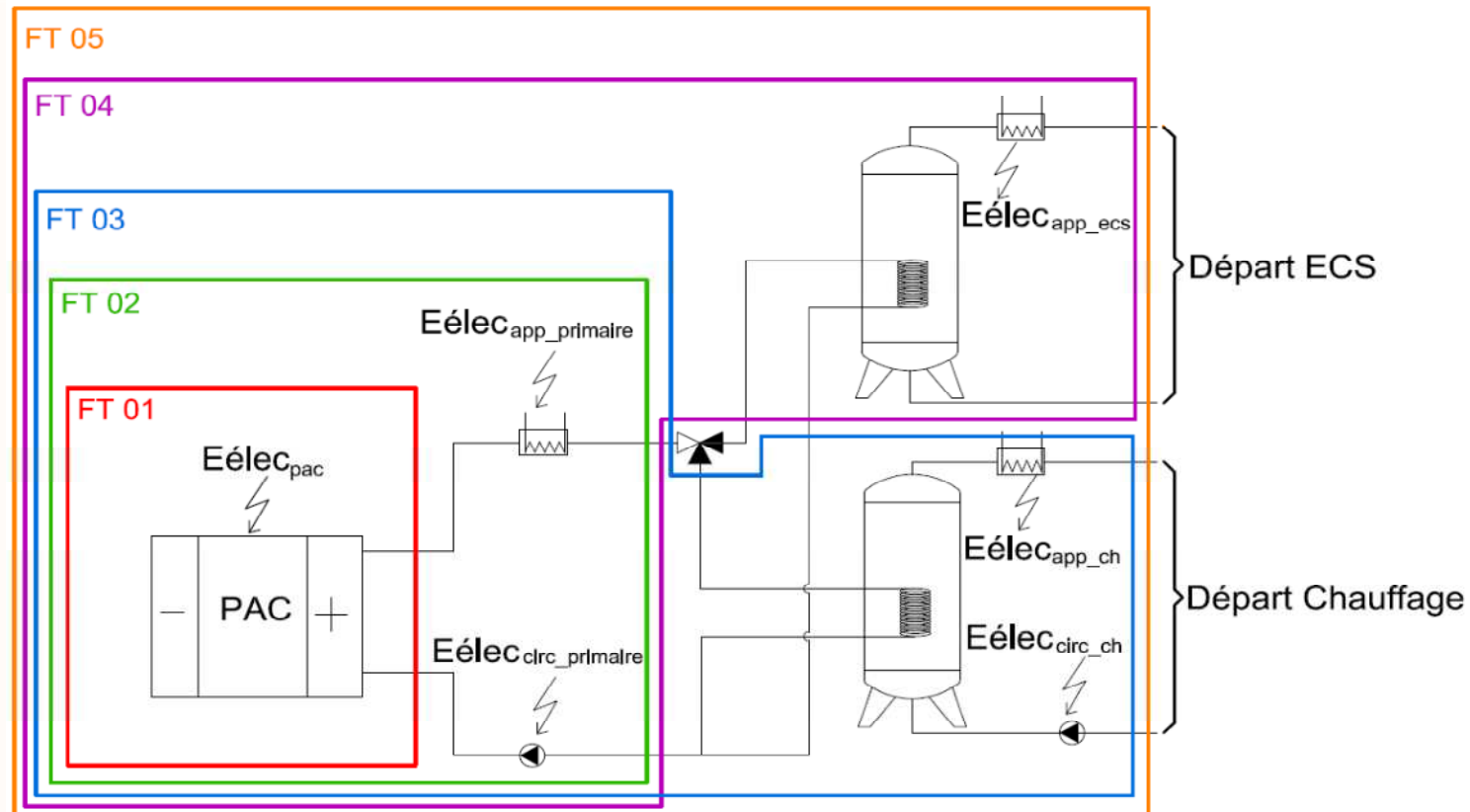
# Présentation des sites

## 4 installations de PAC air/eau

		Site n°1	Site n°2	Site n°3	Site n°4
Performance intrinsèque	Technologie de modulation de puissance	TOR	TOR avec 2 compresseurs	TOR	Variation de vitesse
	COP normatif (35°C eau / 7°C ext)	3,8	3,4	4,0	3,7
Conception de l'installation	Appoint électrique	Oui	Oui	Oui	Non
	Production d'ECS	Non	Non	Non	Oui
	Volume tampon / organe de découplage	Bouteille	Volume tampon en série + bipasse	Non	Volume tampon de faible capacité en série
	Type d'émetteurs	Radiateurs	Radiateurs	Planchers	Radiateurs
	Dimensionnement PAC	94%	220%	65%	138%
Exploitation	Régulation de la température de départ	Correcte	Correcte	Non optimisée	Non effectuée
	Nombre de DJU mesuré	2263	2380	1410	2340

# Présentation des sites

## Données disponibles



- ➔ Plan de comptage: jusqu'à 5 COP peuvent être définis en fonction de l'intégration de la PAC sur le terrain

# *Etudes de sensibilité*

- Données nominales
- Régulation de puissance / plage TOR
- Régulation de puissance / plage vitesse variable
- Loi d'eau

# Données nominales

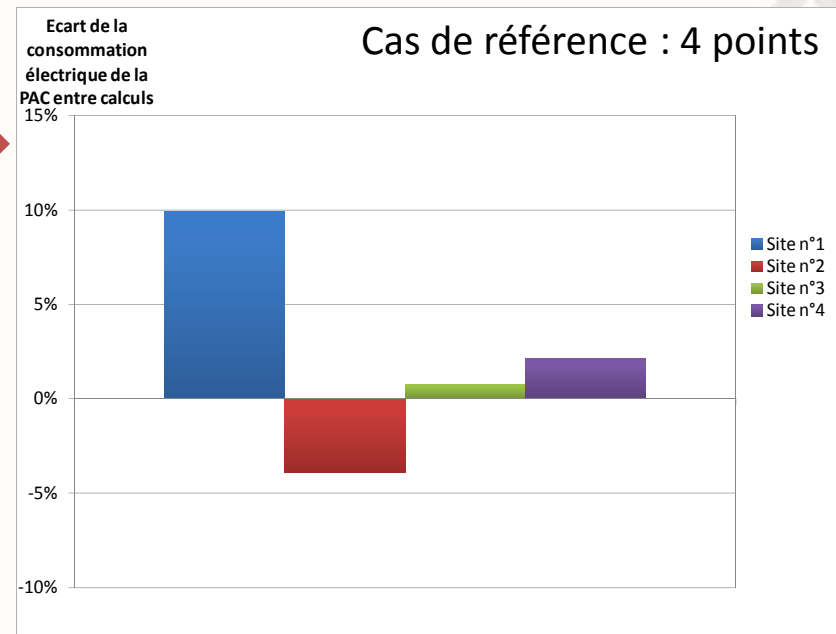
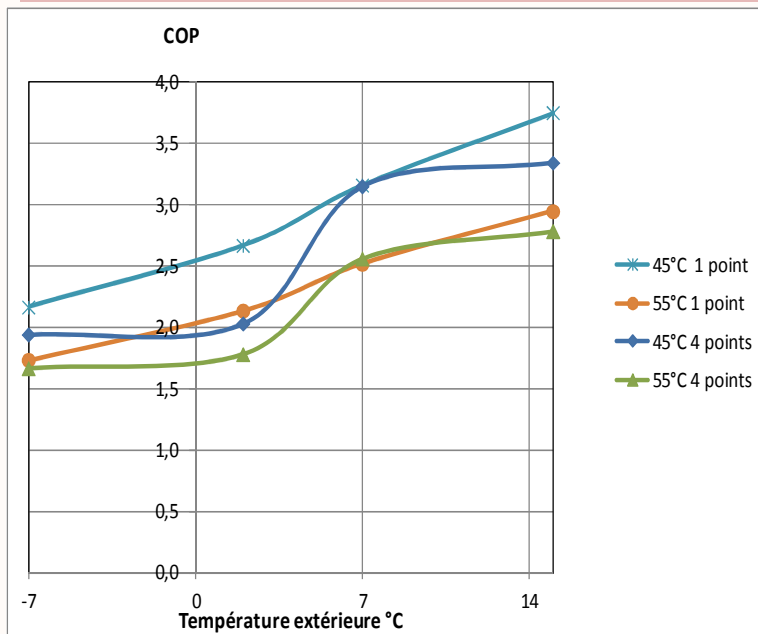
Nombre de points pour décrire le modèle

Valeurs testées :

4 points

1 point + modèle par défaut

(pour deux T° de source chaude)



# Régulation de puissance / plage TOR

## Forme du modèle : plage ToR

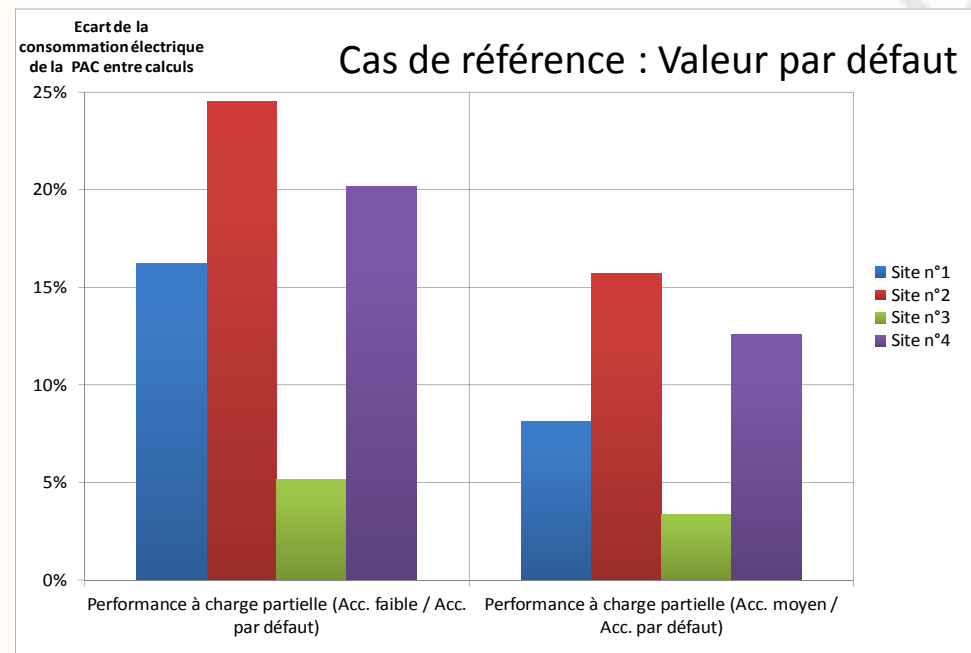
$$COP_{PLR} = COP_{pc} PLF_{min} \frac{PLR/PLR_{min}}{\left( \frac{PLR}{PLR_{min}} C_c + (1 - C_c) \right)}$$

Valeur par défaut : Cc=90%

Valeur moyenne : Cc=95%

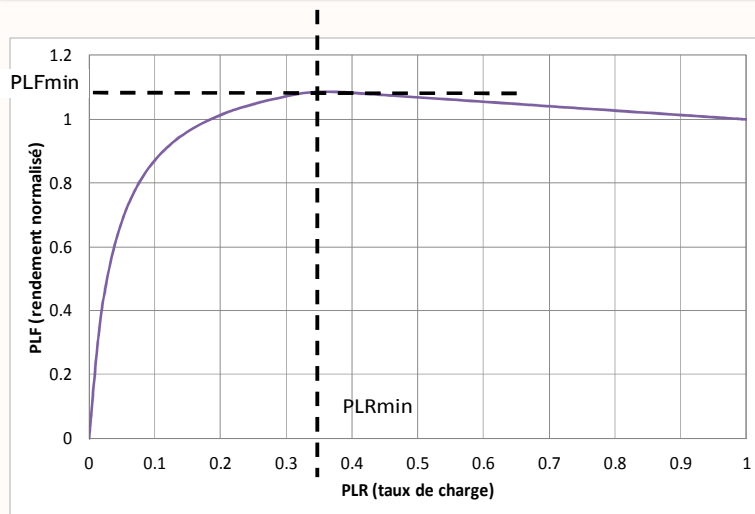
Valeur faible : Cc=98%

→ Impact important

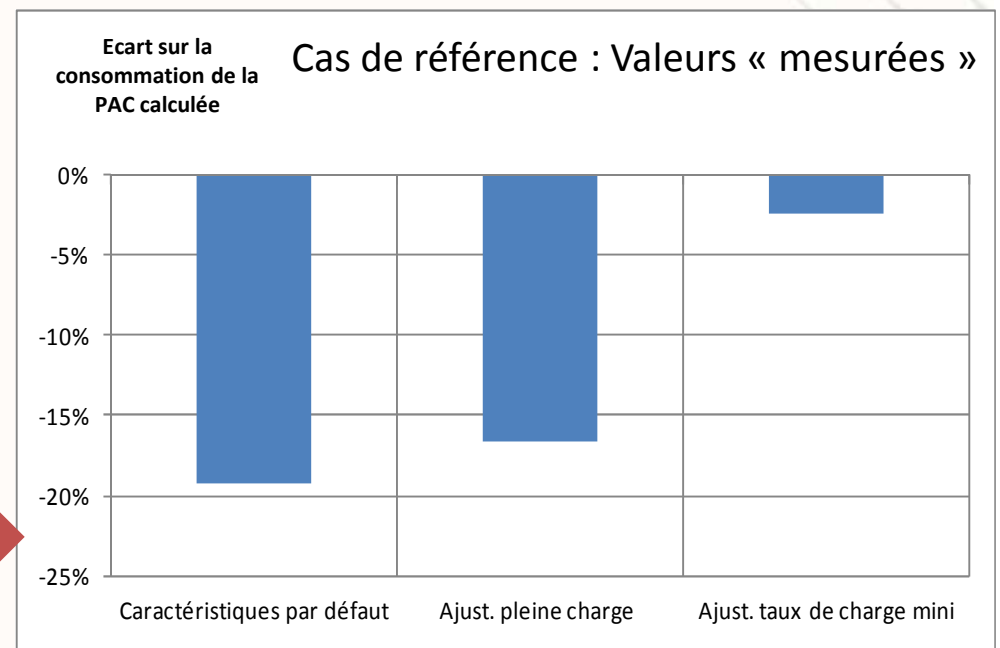


# Régulation de puissance / plage vitesse variable

Forme du modèle: PAC inverter

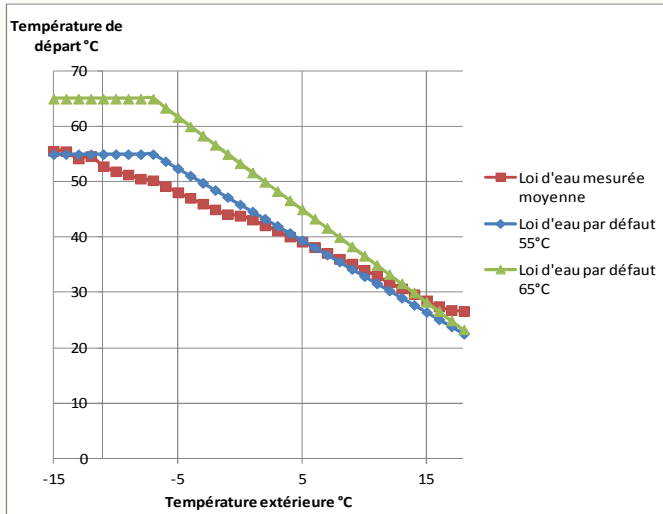


Valeurs par défaut  
Valeurs déterminées à partir  
des mesures

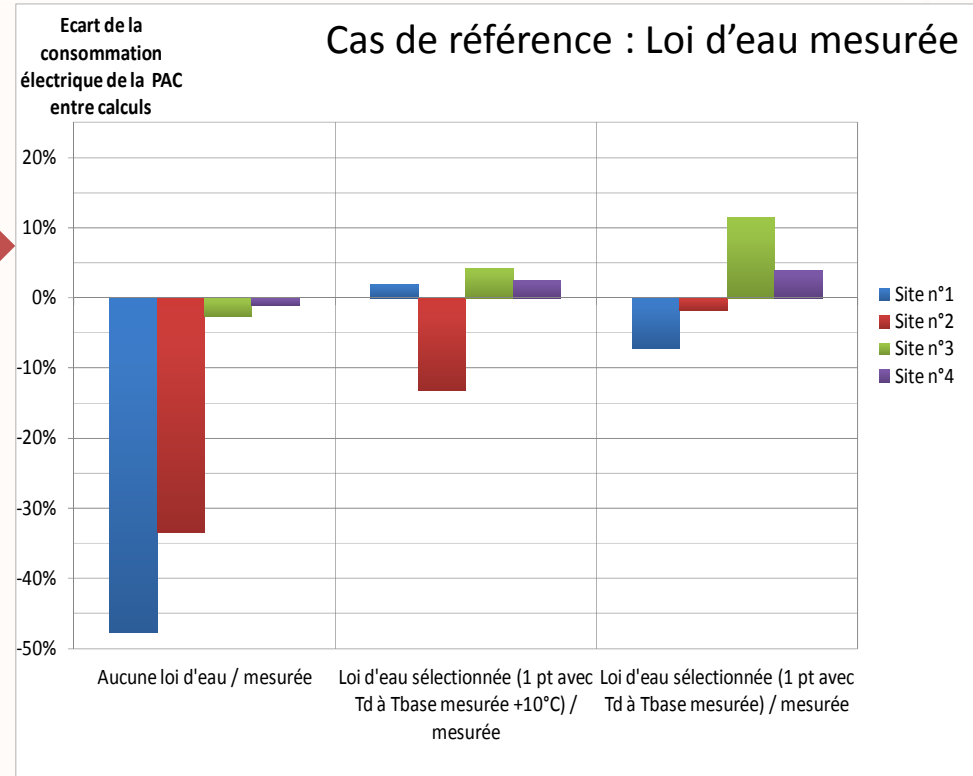


# Loi d'eau

## Valeurs testées



Pas de loi d'eau  
Estimée +10 K  
Estimée selon les émetteurs  
Mesurée





# *Modèle complet*

- Quel niveau de complexité retenir ?
- Quel biais acceptable ?
- Approche par niveau de complexité croissante

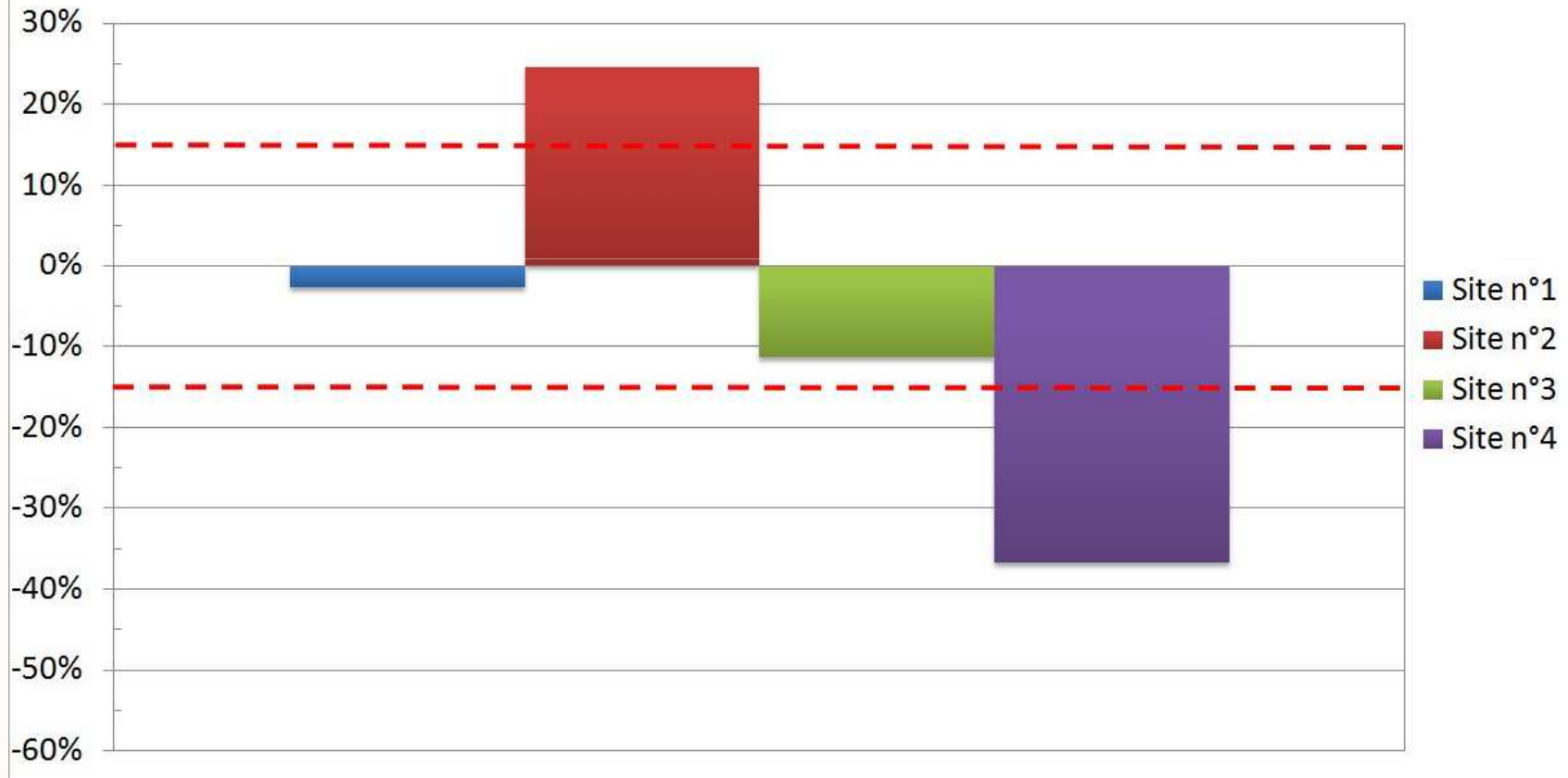
# Niveau 1

- Données nominales (COP et  $P_c$ ) : 1 point
- Part des accessoires :  $C_c = 90\%$
- Taux de charge mini : 40%
- Performance au taux de charge mini : 100%
- Loi d'eau : + 10 K
- Climat : Fichier moyen

# Niveau 1

Sous estimation

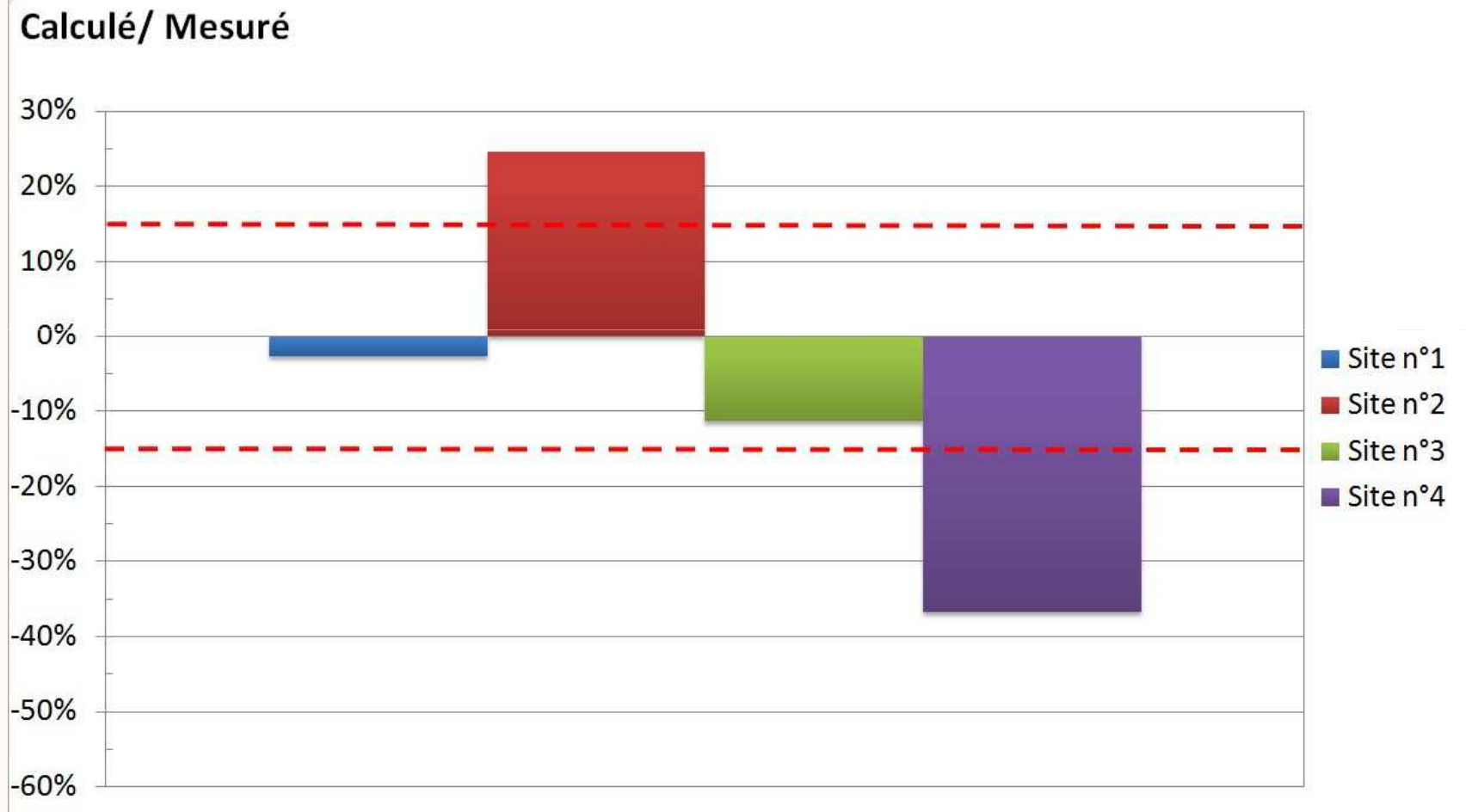
Calculé/ Mesuré



## Niveau 2

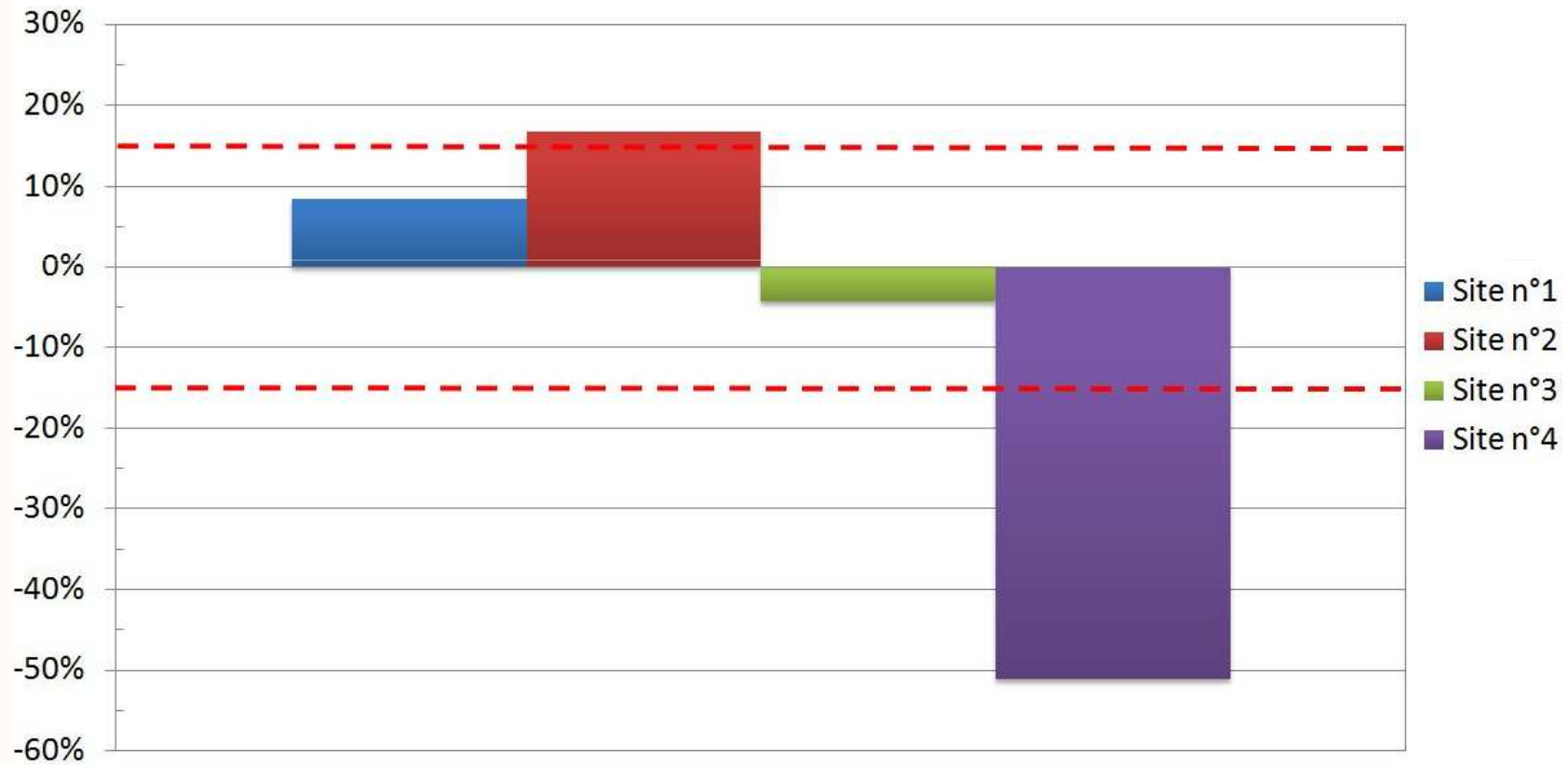
- Données nominales (COP et  $P_c$ ) : 1 point
- Part des accessoires :  $C_c = 90\%$
- Taux de charge mini : 40%
- Performance au taux de charge mini : 100%
- Loi d'eau : Estimée
- Climat : Fichier moyen

# Niveau 1



# Niveau 2

## Calculé/ Mesuré

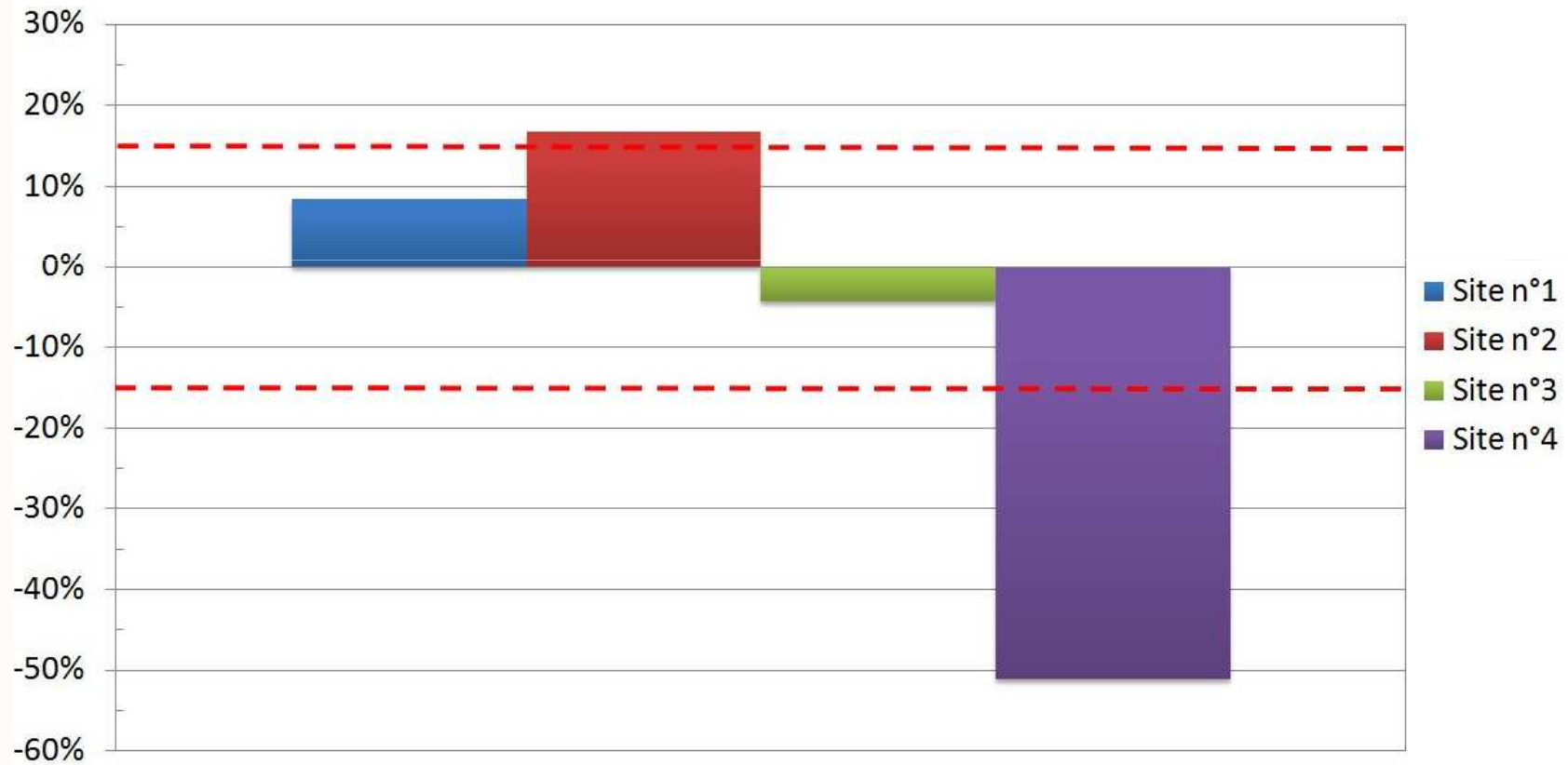


## Niveau 3

- Données nominales (COP et  $P_c$ ) : 4 points
- Part des accessoires :  $C_c = 90\%$
- Taux de charge mini : 40%
- Performance au taux de charge mini : 100%
- Loi d'eau : Estimée
- Climat : Fichier moyen

# Niveau 2

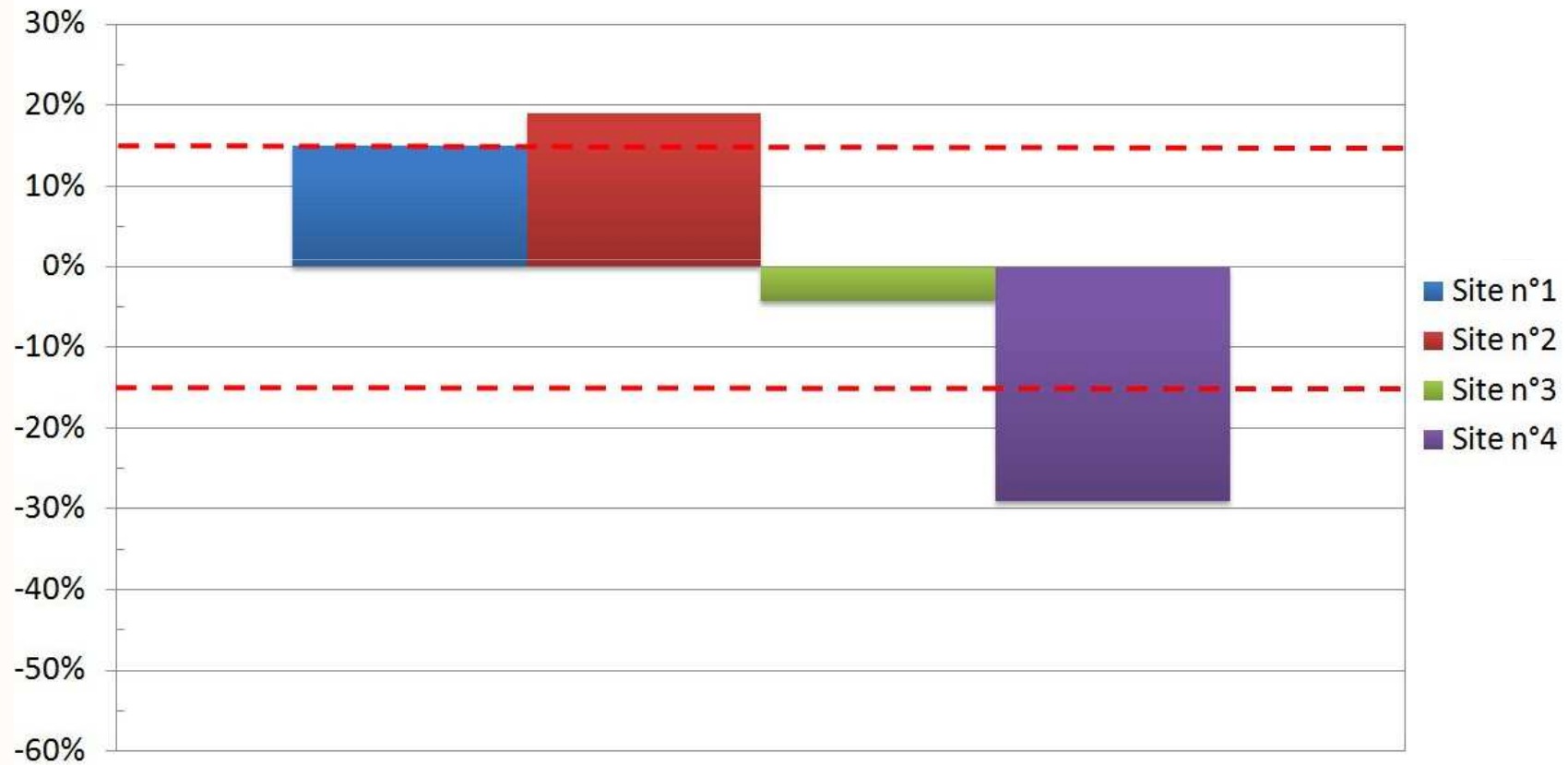
## Calculé/ Mesuré





# Niveau 3

## Calculé/ Mesuré

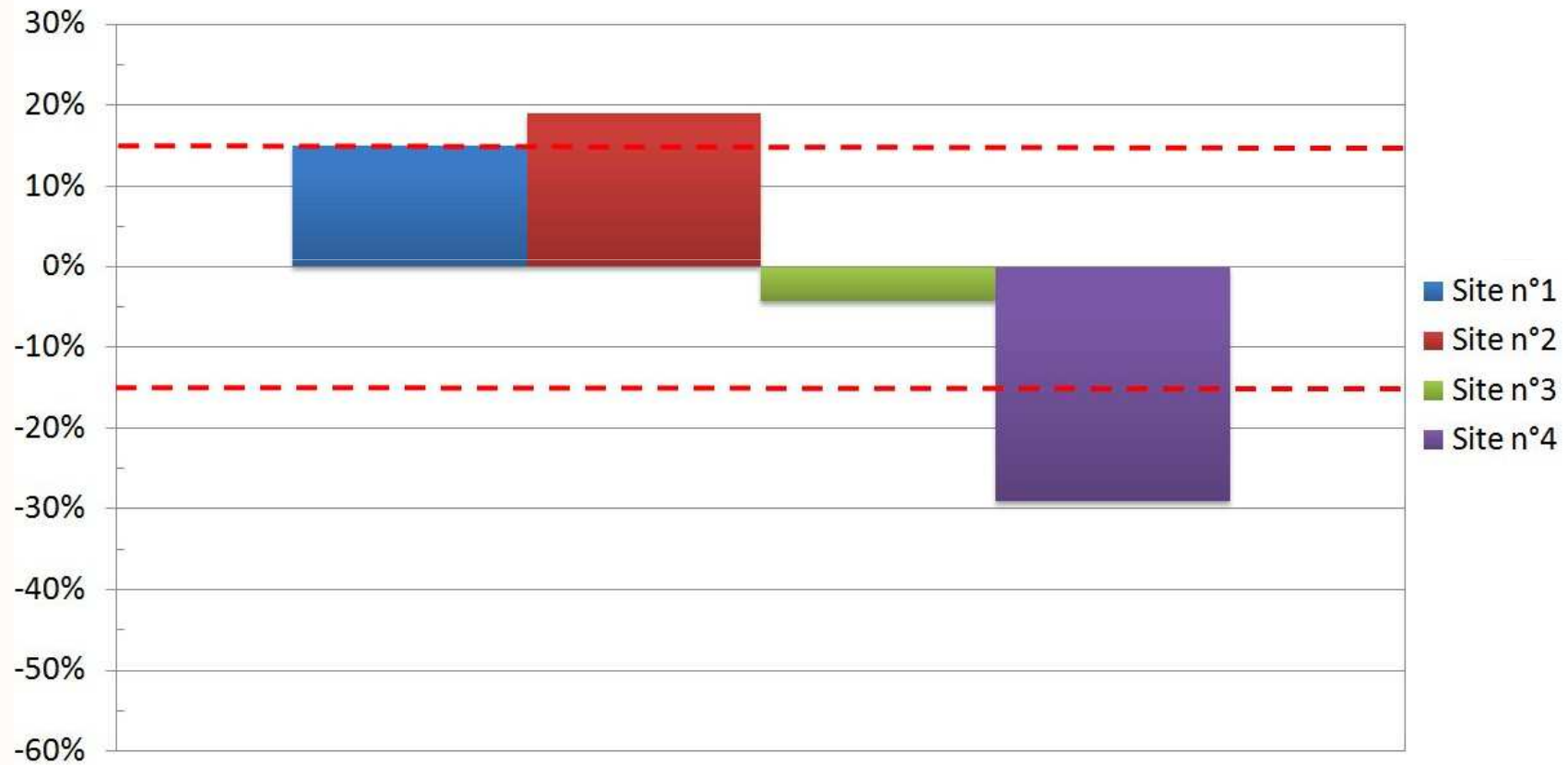


## Niveau 4

- Données nominales (COP et  $P_c$ ) : 4 points
- Part des accessoires :  $C_c = 90\%$
- Taux de charge mini : 40%
- Performance au taux de charge mini : 100%
- Loi d'eau : **Mesurée**
- Climat : Fichier moyen

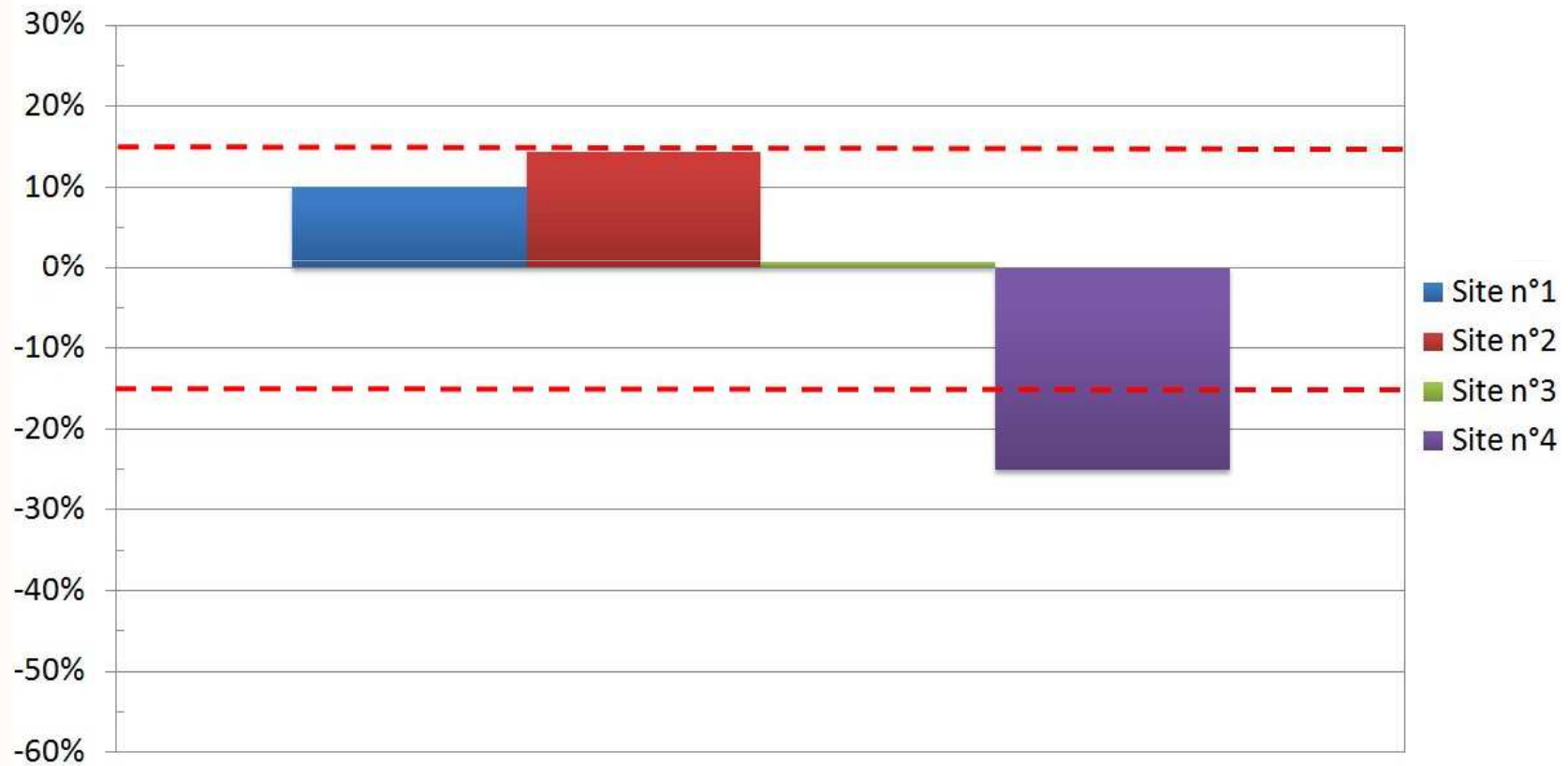
# Niveau 3

## Calculé/ Mesuré



# Niveau 4

Calculé/ Mesuré

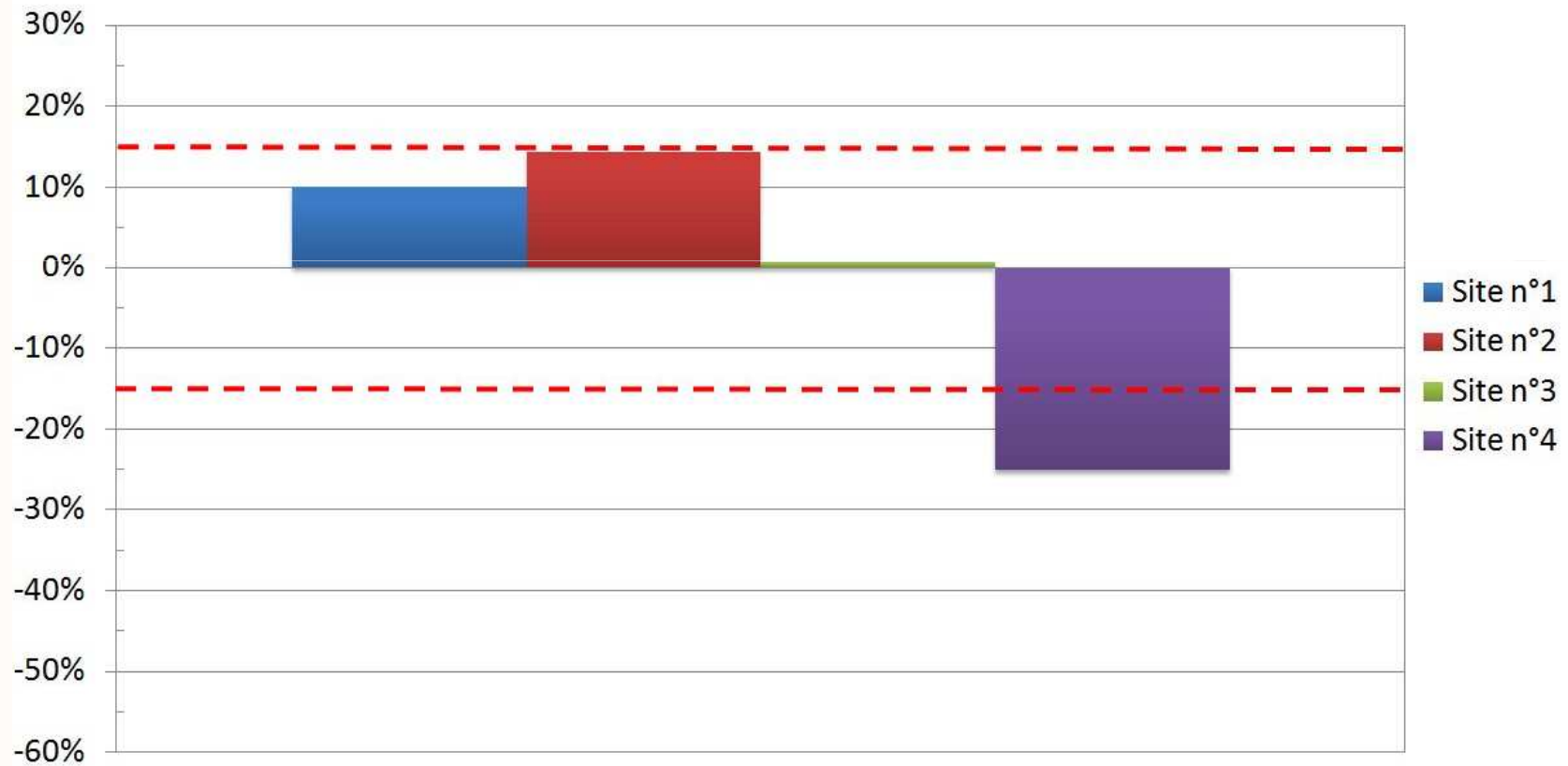


## Niveau 5

- Données nominales (COP et  $P_c$ ) : 4 points
- Part des accessoires :  $C_c = 90\%$
- Taux de charge mini : 40%
- Performance au taux de charge mini : 100%
- Loi d'eau : Mesurée
- Climat : Mesuré

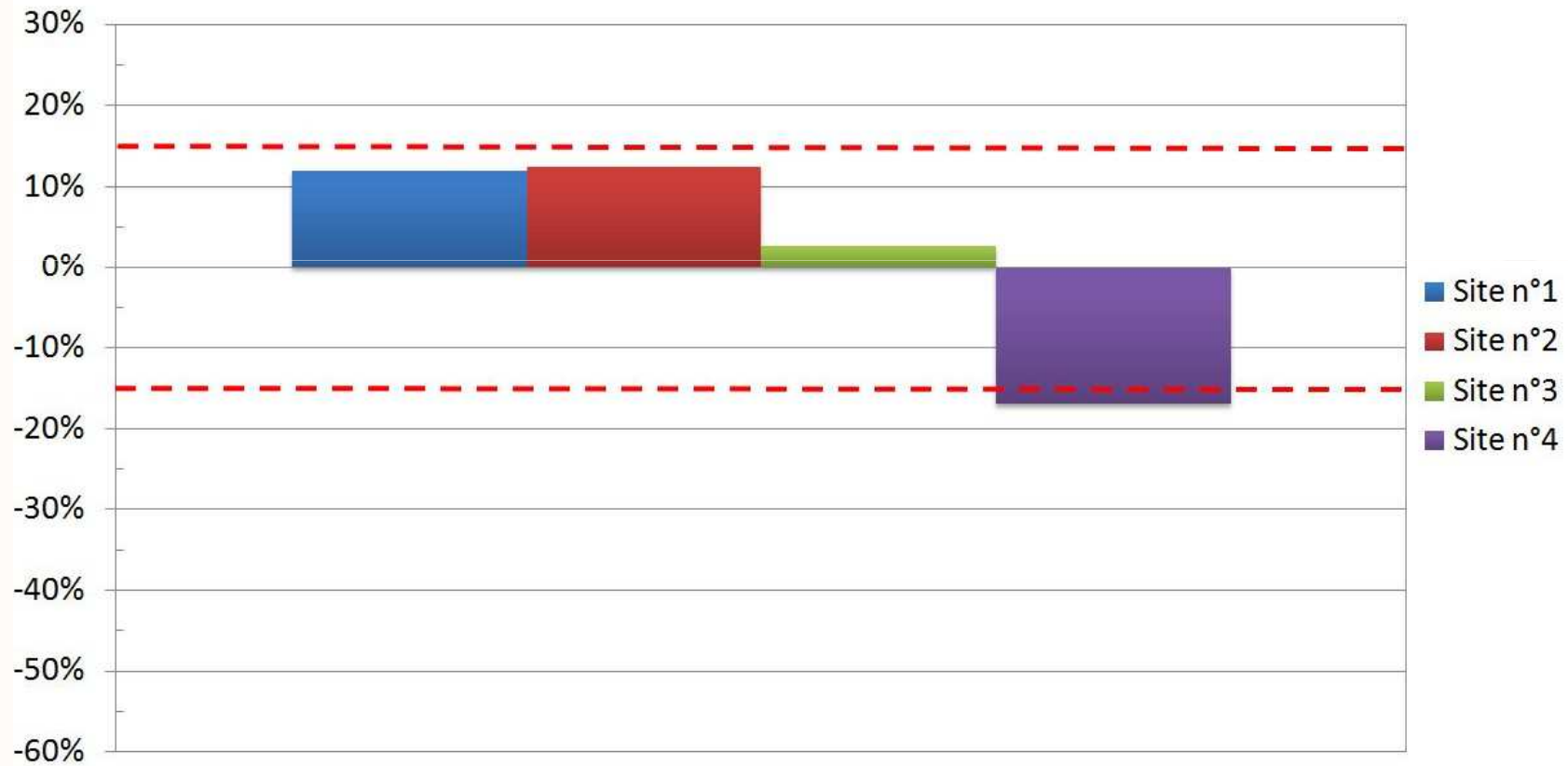
# Niveau 4

Calculé/ Mesuré



# Niveau 5

## Calculé/ Mesuré



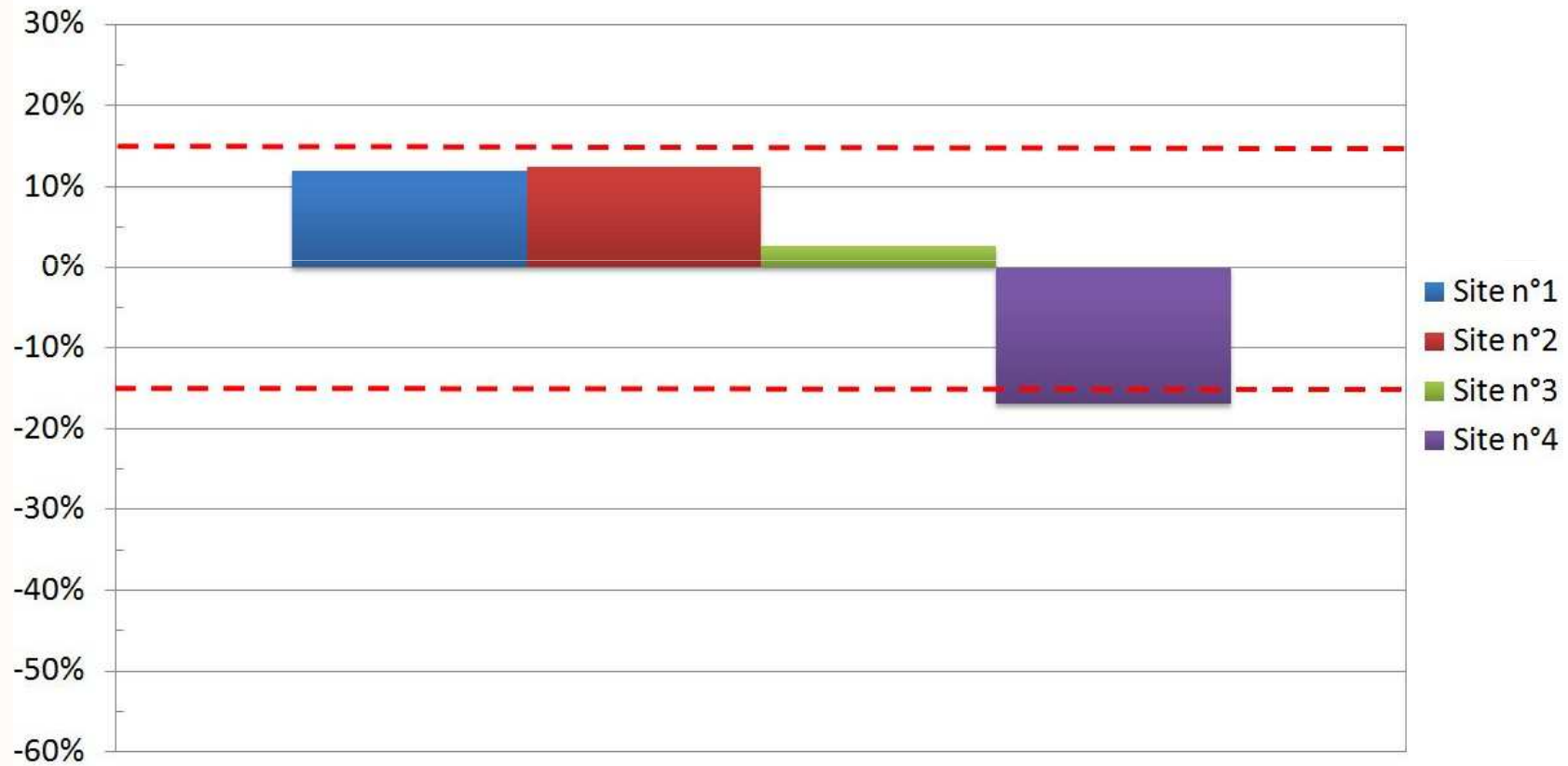
## Niveau 6

→ Données nominales (COP et $P_c$ ) :	4 points
→ Part des accessoires :	$C_c = 90\%$
→ Taux de charge mini :	Mesuré
→ Performance au taux de charge mini :	100%
→ Loi d'eau :	Mesurée
→ Climat :	Mesuré



# Niveau 5

## Calculé/ Mesuré



# Niveau 6

## Calculé/ Mesuré



# Synthèse

- ➔ Pour les sites 1 à 3 (TOR), estimation acceptable si :
  - Bonne évaluation du régime d'eau
  - Diagnostic thermique de l'enveloppe et des émetteurs
  
- ➔ Pour le site 4 (inverter), estimation acceptable si :
  - Taux de charge minimal de la machine connu

## Conclusion

- L'étude ne traitait pas : du calcul des besoins, ni de la partie ECS ; Approche à étendre avec d'autres sites
- Le modèle étudié permet une évaluation satisfaisante des consommations
- Evaluation plus complexe pour certaines configurations
- Utile pour : conception, mise au point, détection de dysfonctionnement, analyse des consommations

# Conclusions

➔ Pour plus d'informations :

➤ [www.costic.com](http://www.costic.com)

➤ [www.programmepacte.fr](http://www.programmepacte.fr)

Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Energétique





**Merci pour votre attention**