



**Cerema**

Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

# Quelle(s) mesure(s) pour la garantie de performance ?

**Plan de mesure et Incertitudes**

# Introduction

Evaluer la performance énergétique des bâtiments

La directive Européenne du 19 mai :

« La performance énergétique d'un bâtiment, est la **quantité d'énergie** calculée ou mesurée **nécessaire pour répondre aux besoins** énergétiques **liés à une utilisation normale du bâtiment, (...)** ».

Des mesures :

- De quantités d'énergie(s),
- De l'utilisation du bâtiment

Des modèles :

- Physiques (des phénomènes physiques)
- Numérique (description du bâtiment)

# Analyse d'incertitude

Deux familles de paramètres (incertains) d'entrée des modèles :

Paramètres statiques (modèle descriptif du bâti)

- Dimensions,
- Caractéristiques des matériaux, ( $\lambda$ , etc),
- Caractéristiques des matériels (rendements, etc.)
- perméabilité à l'air

Paramètres dynamiques (Usage du bâtiment)

- Données météorologiques
- Températures de consigne
- Apports internes
- Ventilation

# Analyse d'incertitude

Paramètres statiques (modèle descriptif du bâti)

- Quelle incertitude sur les données matériaux ?  
(en théorie pas moins performant que les avis techniques)
- Quelle influence de la mise en oeuvre ?

Paramètres dynamiques (Usage du bâtiment)

- Quelles mesures (en continue) pour quelle incertitude ?

**Peut on continuer à prendre des valeurs  
"à dire d'expert" ?**

Et des incertitudes de modélisation ...

# Méthode

## Paramètres d'usage (d'ajustement)

1. Identifier la grandeur physique à mesurer
  - Ex : Présence et nombre d'occupants ou apports internes ?
  - Température d'air ou température opérative
2. Identifier les moyens de comptage / mesure disponible
  - Détecteur de mouvement, CO<sub>2</sub>, sonomètre, caméra....
3. Caractériser leur incertitude en fonction du plan de mesure

# Exemple : la température

## Problématique :

De quoi s'agit il : que dit le modèle ?

- Méca flux : échange par convection = température à l'infini
- Modèle STAR (TRNsys) = 1 température unique pour toute une zone
- Température d'air (TRNsys)

## Application :

1 bâtiment = 1 zone,

On veut connaître l'incertitude (systématique) de la température moyenne du bâtiment

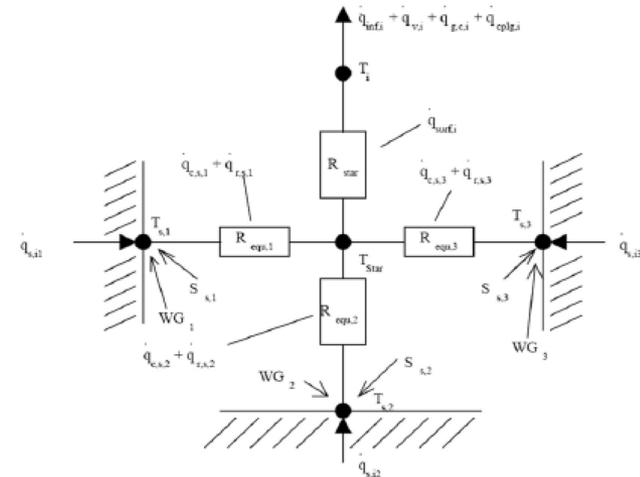


Figure 5.4.1-7: Star network for a zone with three surfaces.

# Définition

Température moyenne du bâtiment

$$T_{\text{bât}}(t) = \frac{\int T(t) dv}{V_{\text{bât}}}$$

On veut donc estimer la moyenne d'une population infinie (volumes élémentaires) en mesurant un échantillon de  $n$  températures  $T_i$  de cette population.

# Types d'échantillonnages

2 types d'échantillonnage possible :

Avec et sans stratification

*Le terme stratification est ici un terme statistique et non physique*

Avec stratification :

$$T_{\text{bât}}(t) = \frac{1}{n_{\text{strat}}} \sum \frac{V_{\text{strat}}}{V_{\text{bât}}} * T_{\text{strat}}$$

On définit souvent : une strate = 1 pièce

# Échantillonnage sans stratification

Soit 
$$T_{\text{bât-ech}}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i(t)}{n}$$

$n > 30$

On peut estimer  $T_{\text{bât}}$  par  $T_{\text{bat-ech}}$  avec une incertitude de  $\frac{\sigma_{ech}}{\sqrt{(n-1)}}$ , suivant une loi normale

$n < 30$

$T = \frac{T_{\text{bat-ech}} - T_{\text{bat}}}{\sigma_{ech} / \sqrt{(n-1)}}$  suit une loi de student à  $n-1$  degrés de liberté

# Échantillonnage avec stratification

$$n = N_{\text{bat}}$$

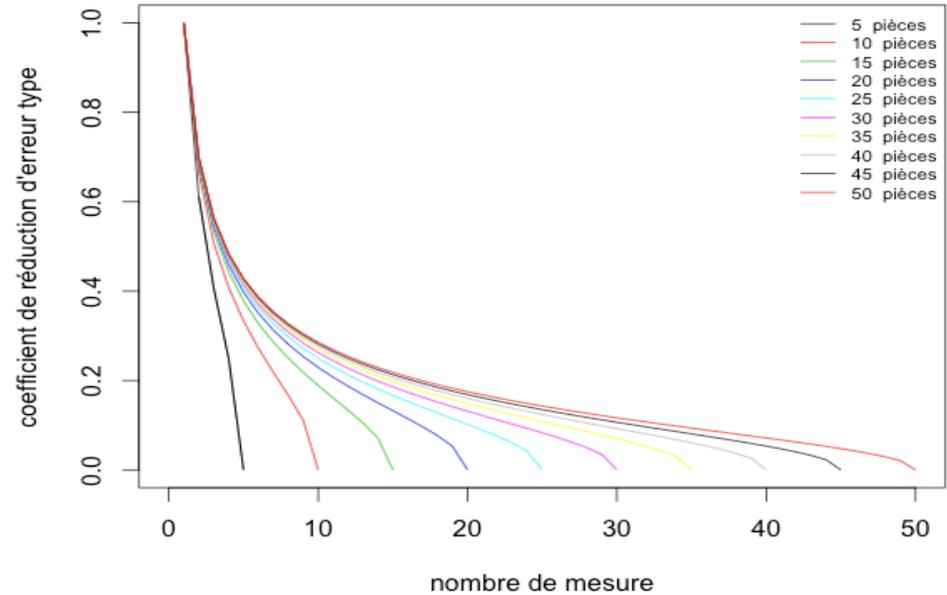
$$T_{\text{bât}} = T_{\text{bat-ech}}$$

$$\sigma = \sigma_{\text{empl-strat}}$$

$$n < N_{\text{bât}}$$

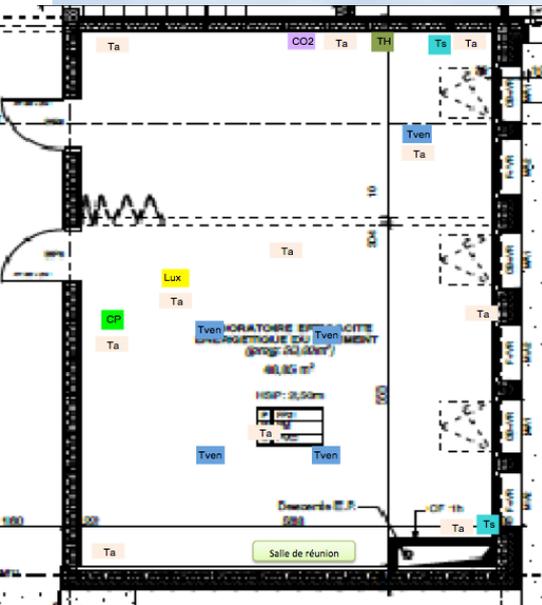
$$T_{\text{bât}} = T_{\text{bat-ech}}$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{n-1}{n-3}\right)^2 * \frac{N_{\text{bât}} - n}{n * (N_{\text{bât}} - 1)} * (\sigma_{\text{ech}}^2 - \sigma_{\text{emplacement}}^2) + \frac{\sigma_{\text{emplacement}}^2}{n}}$$



# Application

## Bâtiment démonstrateur de la plate forme du Cerema à Angers - salle de réunion



50 m<sup>2</sup> - Ventilation double flux (150 + 275\*2 m<sup>3</sup>/h)

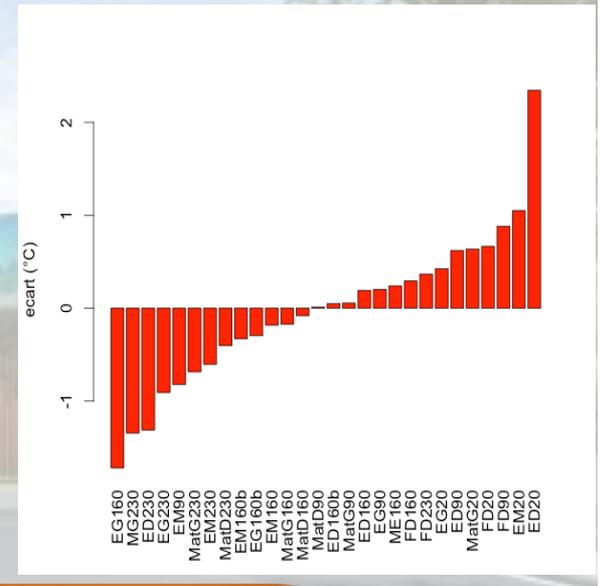
Stratification aéraulique importante

Ecart type tout emplacement

$$\sigma_{\text{empl-ech}} = 0,85$$

emplacements milieu de mur

$$\sigma_{\text{empl-ech}} = 0,65$$



# Application

$N_{\text{bat}}=26,$

Ex 1 :  $n=12$  (sans stratification)

$\sigma = 0,38 \text{ K}$

Ex 2 :  $n=26$  (sans stratification)

$\sigma = 0,24 \text{ K}$

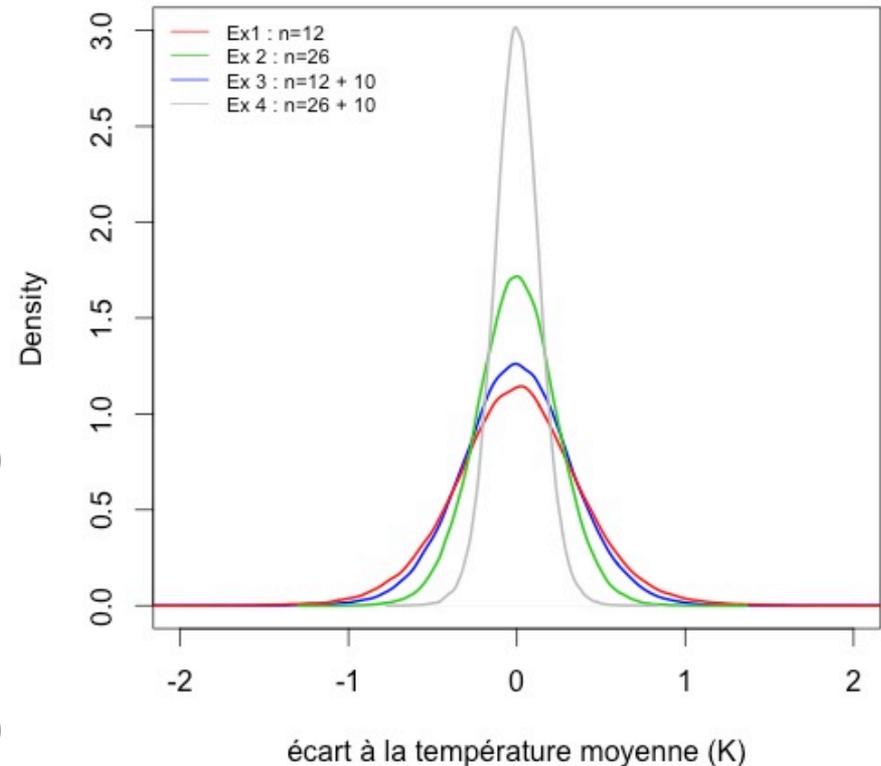
Ex 3 :  $n=12 + 10$  capteurs dans une pièce pendant 1 mois pour estimer  $\sigma_{\text{emplacement}}$  (stratification)

$\sigma = 0,33 \text{ K}$

Ex 4 :  $n=26 + 10$  capteurs dans une pièce pendant 1 mois pour estimer  $\sigma_{\text{emplacement}}$  (stratification)

$\sigma = 0,13 \text{ K}$

incertitude en fonction du plan de mesure



# Conclusion

L'incertitude :

- dépend du plan de mesure
- est maîtrisable

Travail en cours sur :

- Données météorologiques
- Données de présence

A venir sur :

- Consommations énergétiques (tous fluides)

# Perspectives

Problématique des incertitudes sur

- les paramètres statiques  
(et leur évolution dans le temps !!)
- Les défauts de mise en oeuvre

Avec quels moyens ?

- Vers un projet "INCERTI-BAT" ?