

La vérification de la performance énergétique des bâtiments



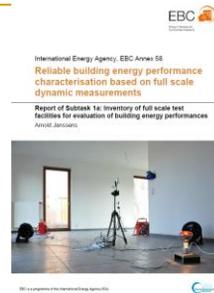
Philippe ANDRE
Université de Liège – Arlon Campus Environnement
BEMS

avec des contributions de Jean LEBRUN et de Gabrielle MASY

Contexte de la recherche

■ Deux projets de l'IEA-ECB:

- IEA Annex 58 (2011-2015):
Reliable Building Energy Performance Characterisation Based On Full Scale Dynamic Measurements
- IEA Annex 71 (2016-2020):
Building energy performance assessment based on in-situ measurements



Motivation de la vérification de performance

- **Exigences** (croissantes) de performance énergétique des bâtiments
- **Ecart** fréquent entre les performances calculées a priori et celles observées sur le terrain
- Impact des facteurs liés à l'**occupation** du bâtiment sur cet écart de performance

La vérification de la performance énergétique

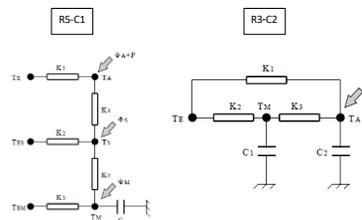
- Que vérifier?

Des indicateurs de performance facilement interprétables et présentant un intérêt pratique pour le gestionnaire du bâtiment ou son occupant

- Energie:
 - Consommations
 - Demandes
 - Bilan énergétique: désagrégation des flux énergétiques
- Confort
 - Surchauffe
- Caractéristiques intrinsèques du bâtiment
 - Isolation
 - Etanchéité
 - Ventilation
- Caractéristiques du système HVAC
 - Rendement
 - Efficacité

La vérification de la performance énergétique

- Comment vérifier?
 - (Tests en laboratoire)
 - Suivi (monitoring)
 - Tests in situ
 - Simulation
- Ressources pour la vérification
 - Capteurs de mesure
 - Modèles de simulation



Ressources pour la vérification de performance

- Capteurs de mesure
 - Température (d'ambiance, résultante, de fluide)
 - Débit (d'air ou d'eau)
 - Puissance ou énergie électrique
 - Humidité relative ou absolue
 - Pressions (dans les conduits de ventilation)
 - Rayonnement (surtout solaire)
 - Concentration en polluants (CO₂, CO, ...)
 - Vitesse d'air et direction du flux d'air
 - Consommations de combustible ou d'électricité
 - ...

Ressources pour la vérification de performance

- Modèles de simulation
 - Modèles « Physiques » (boite blanche)
 - Modèles « Statistiques » (boîte noire)
 - Modèles « Intermédiaires » (boite grise)

Ce sont ces derniers qui s'avèrent les plus pertinents pour l'objectif de vérification de performance (« Grey-Box » modelling)

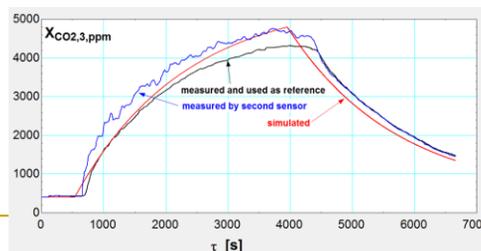
Méthodes de vérification développées

- Identification du débit de renouvellement d'air par gaz traceur
- Vérification du coefficient de déperdition global (transmission + ventilation) en régime stationnaire
- Vérification de la performance énergétique des bâtiments en régime transitoire
- Combinaison entre essai au gaz traceur et co-heating dynamique par combustion de gaz butane
- Estimation du coefficient de déperditions global en régime d'été
- Estimation de la constante de temps d'une zone particulière ou du bâtiment global
- Evaluation du risque de surchauffe dans une zone particulière du bâtiment
- Reconstitution du bilan énergétique global.

Identification du débit de renouvellement d'air par gaz traceur

- Utilisation du CO₂ comme traceur (plutôt que le SF₆)
- Procédure particulière:
 - Mesure initiale du CO₂ et prise en compte de l'occupation réelle
 - Injection intense de CO₂ (-> 5000 ppm)
 - Arrêt de l'injection et suivi de la concentration
 - Exploitation des données par un modèle

Identification du débit de renouvellement d'air par gaz traceur



Vérification du coefficient de déperdition global (transmission + ventilation) en régime stationnaire

- Test du « co-chauffage » : le bâtiment (local) est chauffé avec une puissance connue et l'écart de température est mesuré.
- Ce test impose le régime stationnaire!



Modèle d'exploitation du test:

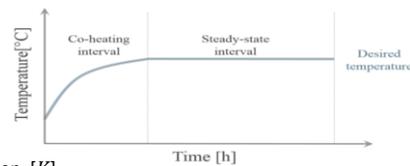
$$Q_h = U_g \times \Delta T \quad (1)$$

Où:

Q_h puissance électrique de chauffage en [W]

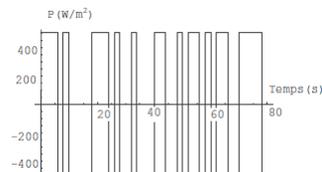
U_g coefficient de transfert thermique global en [W/K]

ΔT différence de température entre intérieur et extérieur en [K]



Vérification de la performance énergétique des bâtiments en régime transitoire

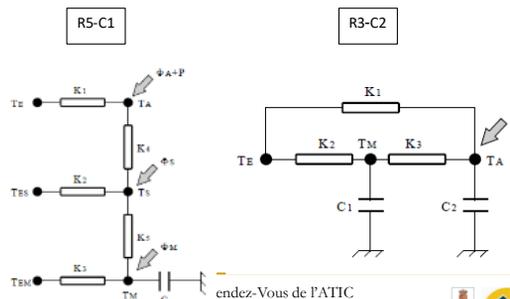
- Co-chauffage dynamique: pas nécessaire d'atteindre ou d'attendre le régime stationnaire
- Sollicitation (chauffage) selon un régime variable



- Exploitation par un modèle dynamique

Exemple de modèle dynamique utilisé

- Modèle de type « Boite grise », constitué d'un réseau de résistances et capacités: on en **identifie** les paramètres et, de là, les caractéristiques du bâtiment ou du local



Combinaison entre essai au gaz traceur et co-heating dynamique par combustion de gaz butane

- L'objectif de la méthode est de déterminer au cours d'un seul essai :
 - Les principales **caractéristiques thermiques** de l'enveloppe du bâtiment
 - Le **taux de renouvellement d'air** réel du bâtiment
- Cet objectif peut être atteint en brûlant du **butane** à l'intérieur du volume à tester. Cette combustion génère en effet :
 - du **CO2** et de la **vapeur d'eau** qui peuvent être utilisés comme gaz traceurs afin de déterminer le taux de renouvellement d'air réel du bâtiment.
 - une augmentation de la **température** du local. Ce signal thermique peut être exploité pour déterminer les caractéristiques thermiques de l'enveloppe.

Heat balance

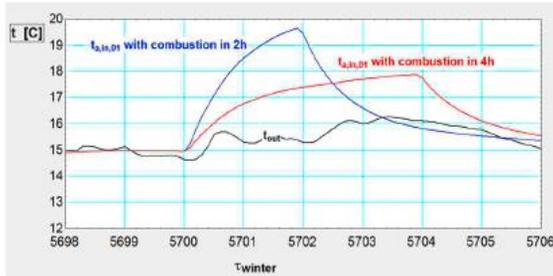


Figure 1: Living room and outdoor temperatures

$$K_{01,out} = \frac{Q_{burner}}{\Delta t_{01,out,mean} \cdot (\tau_2 - \tau_1)}$$

With

$$Q_{burner} = 8.615 \times 10^6 \text{ [J]}$$

and

$$\Delta t_{01,out} = t_{a,in,01} - t_{out}$$

$$\Delta t_{01,out,mean} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} (\Delta t_{01,out}) d\tau}{\tau_2 - \tau_1}$$

$$K = 61.01 \text{ W/K} \quad (2 \text{ hours})$$

$$K = 60.75 \text{ W/K} \quad (4 \text{ hours})$$

CO2 balance

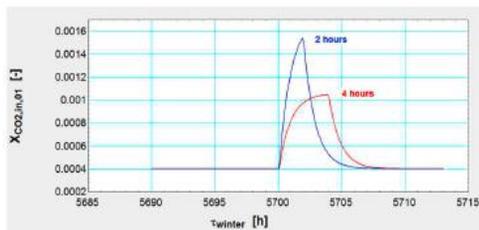


Figure 2: Simulation of the CO2 contamination in zone 1

$$M_{01,out} = \frac{M_{CO2,burner}}{\Delta X_{CO2,01,out,mean} \cdot (\tau_2 - \tau_1)} \cdot \frac{MM_{CO2}}{MM_{dryair}}$$

with

$$M_{CO2,burner} = 0.5766 \text{ [kg]}$$

and

$$\Delta X_{CO2,01,out} = X_{CO2,in,01} - X_{CO2,out}$$

$$\Delta X_{CO2,01,out,mean} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} (\Delta X_{CO2,01,out}) d\tau}{\tau_2 - \tau_1}$$

$$M_{01,out} = 14.07 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2 \text{ hours})$$

$$M_{01,out} = 14.02 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4 \text{ hours})$$

Comparaison des méthodes en chambre climatique



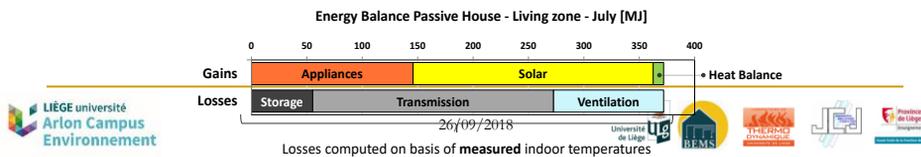
Méthode	Coefficient de déperditions (W/K)	Variation $J.$ calcul théorique (%)
Calcul théorique	40.42	-
Régime stationnaire	40.89	+1.2 %
Régime dynamique sans perturbations	41.92	+3.7 %
Régime dynamique avec perturbations	40.53	+0.3 %
Combustion de butane	43.99	+8.8 %

Estimation du coefficient de déperditions global en régime d'été

- Principe:
 - Mesurer les **températures** et certains flux énergétiques dans un bâtiment (local) non occupé (par exemple en période de vacances)
 - A partir de là, reconstituer le **bilan énergétique**

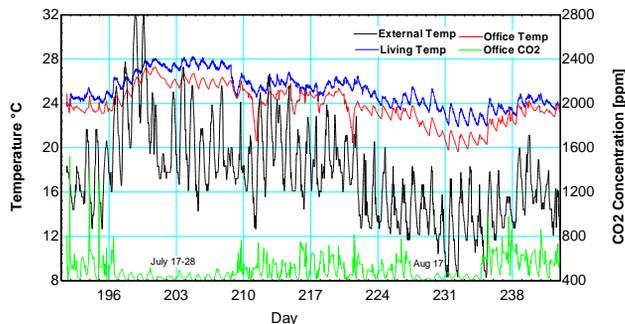
Composantes du bilan énergétique

- Déperditions par transmission et renouvellement d'air, *sur base des températures intérieures mesurées pendant la période expérimentale de 7 jours*
- Déperditions et apports par stockage et déstockage de chaleur au niveau des masses thermiques, *sur base des températures intérieures mesurées pendant la période de 5 jours d'observation préalable, et pendant la période expérimentale de 7 jours*
- Apports solaires au travers des vitrages et des parois opaques, sur base d'un métré des fenêtres, châssis, embrasures et écrans, sur base du facteur solaire relatif aux vitrages et sur base des intensités solaires mesurées.
- Apports calorifiques dus aux appareils électriques.

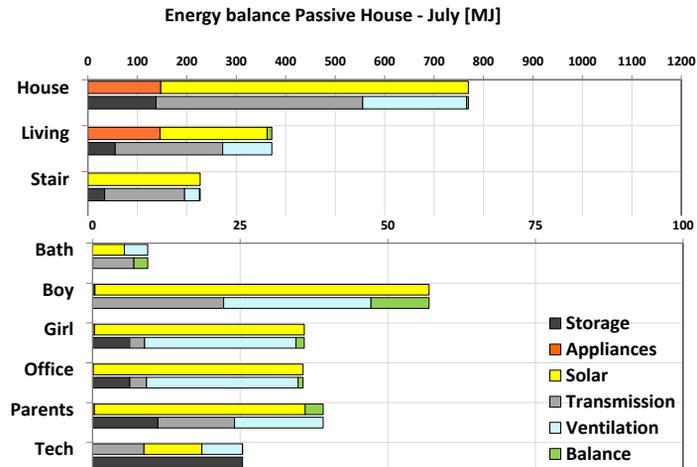


Exemple d'application à une maison

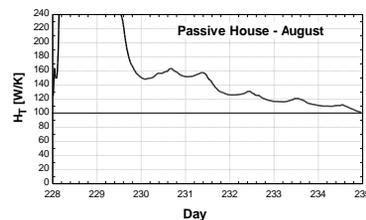
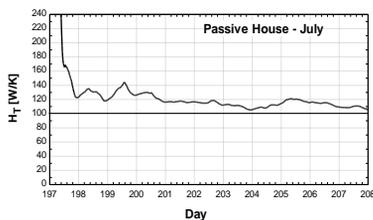
- Mesures réalisées



Reconstitution du bilan énergétique



Exemple de détermination (itérative) du coefficient de déperdition



Reconstitution du bilan énergétique global d'un bâtiment

- Objectif:

Améliorer les procédures d'audit ou de certification énergétique d'un bâtiment

- On veut répondre à la question simple:

A quoi sert l'énergie qui entre dans un bâtiment ? Où va-t-elle?

=> Démarche d'audit énergétique assisté par la simulation

- Elle comporte trois principales étapes :

- La **collecte de données et d'information** : informations générales sur le site et le climat, données sur le bâtiment, données sur les techniques (ventilation, chauffage, ECS, etc.), questionnaires sur les habitudes des occupants.
- **L'encodage des données** dans le logiciel de simulation dynamique, analyse de régression, interprétation de résultats, prédiction de la demande d'énergie.
- **L'établissement du bilan énergétique**, conclusions et recommandations.

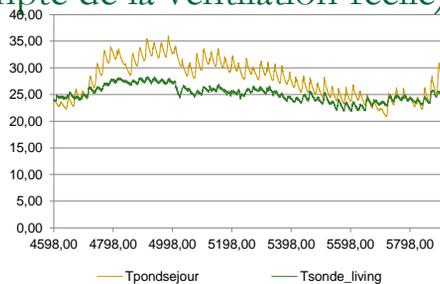
Etablissement du bilan énergétique

- Certains termes en sont directement mesurés (lorsque c'est possible):
 - Consommations électriques
 - Consommations de combustible
- D'autres termes sont évalués par une simulation **calibrée** du bâtiment
- Le bilan est équilibré sur une longue période (par exemple une année)

Calibration de modèle

(Ici prise en compte de la ventilation réelle)

- Avant



- Après

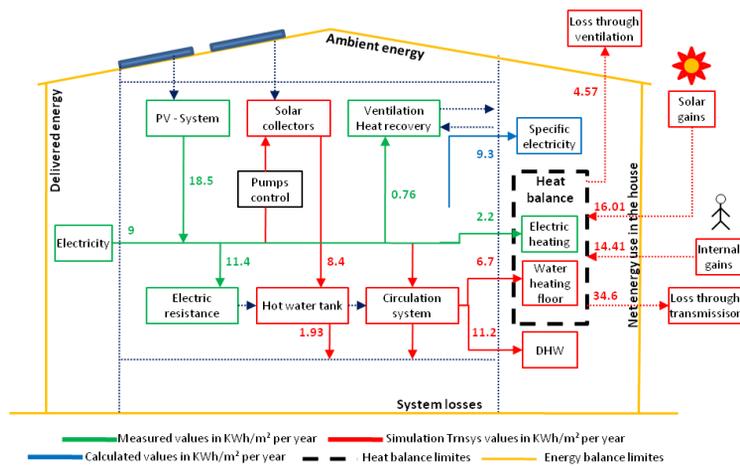


Exemple d'application à une maison

Bilan énergétique global de la maison							
Paramètres du bilan	Consommation globale électrique (-)	Production du photovoltaïque	Consommation chauffage électrique (+)	Résistance électrique pour ballon d'eau chaude (+)	Electricité spécifique (+)	Consommation électrique de la ventilation (+)	Pompe de circulation (déductible) (+)
Valeur mesurée en (KWh par an)	6270,3	4207,5	468,3	2593,0			
Valeur mesurée en (KWh/m² par an)	27,5	18,5	2,1	11,4			
Valeur simulée en (KWh par an)		3872,3	507,0	2575,7	2121,0		914,9834705
Valeur simulée en (KWh/m² par an)		17,0	2,2	11,3	9,3		4,013085397



Reconstitution du bilan énergétique pour cette maison



Conclusions

- Plusieurs méthodes ont été mises au point
 - Pragmatiques
 - Courte durée
 - Nécessitant une instrumentation réduite

- La simulation, en tant qu'outil d'exploitation des données récoltées, constitue une réelle valeur ajoutée

- La prise en compte correcte de l'impact des occupants reste une question très ouverte