



JOURNÉES AUGC – IBPSA CHAMBÉRY 2012

Mesure et modélisation : une méthode innovante pour l'étude des algorithmes de gestion énergétique, appliquée au cas d'une maison passive

Projet HOMES



Julien EYNARD^(1,2)

Pierre BERNAUD⁽¹⁾

Dimitri YANCULOVICI⁽³⁾

Véronique BOUTIN⁽³⁾

¹CEA-INES, France

²PROMES-CNRS, France

³Schneider Electric, France

SOMMAIRE

- Présentation du projet HOMES
- Plateforme expérimentale CEA INES
 - Bâtiment
 - Systèmes
 - Instrumentation
- Modélisation
 - Méthode et généralités
 - Modèle thermique du bâtiment
 - Modèle thermique de la centrale double-flux
 - Modèle thermique du réseau de ventilation
 - Simulation globale du bâtiment
 - Modèle du système de chauffage hydraulique (en cours)
- Conclusion et perspectives

LE PROJET HOMES



PROJET HOMES : Habitat et bâtiment Optimisé pour la Maîtrise de l'Energie

- Contexte et leviers
 - Raréfaction des ressources naturelle
 - Réchauffement climatique
 - Contraintes de consommation énergétique (règlementations thermiques)
- Le projet
 - 4 ans : 2008-2012
 - Piloté par Schneider Electric avec le soutien d'OSEO
 - Les partenaires : CEA, CIAT, CSTB, EDF, Delta Dore, INPG, Philips Lighting, Radiall, Somfy, SEI, STMicroelectronics, Watteco, Wieland Electric
- Objectif des solutions développées
 - Optimiser l'utilisation de l'énergie dans l'habitat
 - Diversifier les sources d'énergie
 - Pérenniser la performance énergétique
 - Faciliter la mise en œuvre de la gestion énergétique dans le bâtiment (résidentiel, tertiaire, neuf et existant)
- Outils
 - Expérimentation et simulation
 - Plateformes de validation

PLATEFORME EXPÉRIMENTALE

BÂTIMENT, SYSTÈMES ET INSTRUMENTATION



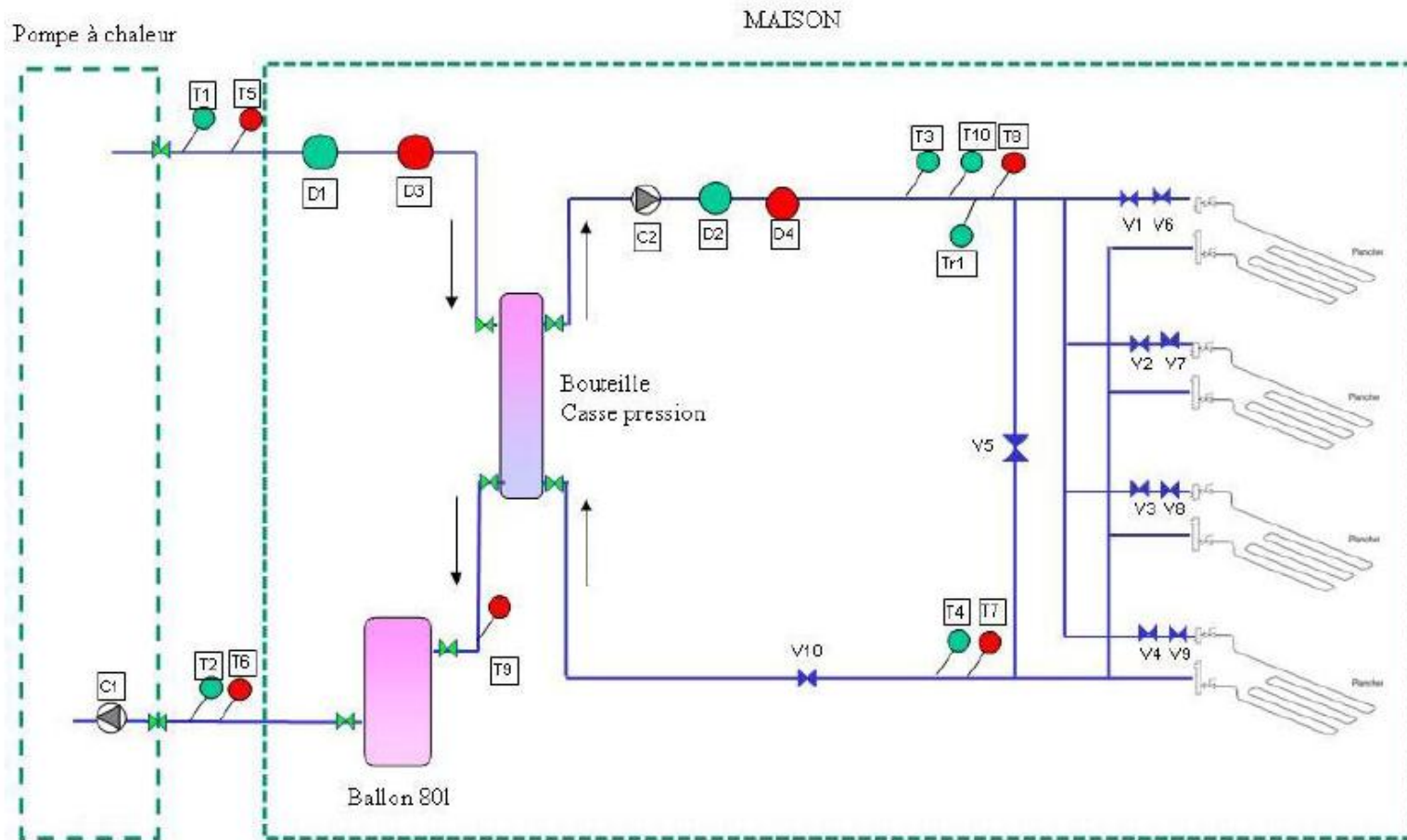
PLATEFORME EXPÉRIMENTALE CEA INES : bâtiment et systèmes

- Intérêt de l'outil expérimental
 - Validation de l'architecture HOMES
 - Alimentation des simulations en données expérimentales pour validation des modèles
- Plateforme : maison INCAS Double Mur (IDM)
 - Double mur béton avec 20 cm de laine de roche
 - 110 m² SHON sur 2 étages
 - Inertie importante et forte isolation
- Systèmes
 - Volets roulants (gestion des apports solaires)
 - VMC double flux avec récupération de chaleur
 - Pompe à chaleur air/eau de 3 kW
 - Plancher chauffant/rafraichissant alimenté par la PAC
 - Éclairage artificiel : ampoules basse consommation



PLATEFORME EXPÉRIMENTALE CEA INES : systèmes

- Architecture de l'installation hydraulique



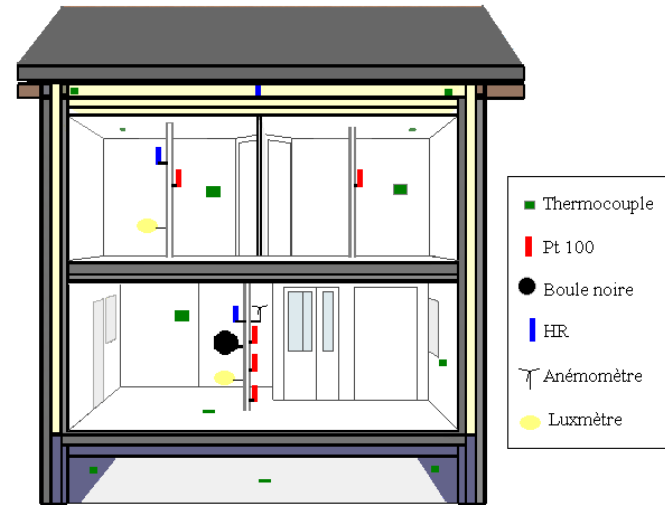
PLATEFORME EXPÉRIMENTALE CEA INES : instrumentation

- Architecture HOMES
 - MiniPC : HOMEBox
 - Passerelle SOMFY (interfaçage avec les volets roulants)
 - Contrôleurs TAC (interfaçage avec le système PAC/plancher + VMC DF)
 - Capteurs HOMES (autonomes, recharge via PV)



PLATEFORME EXPÉRIMENTALE CEA INES : instrumentation

- Instrumentation LEB en place
 - ≈ 200 capteurs (température, humidité, ensoleillement, système PAC + plancher)
 - Conditions extérieures (température, humidité, vent, ensoleillement)
 - Rapatriement régulier dans une base de données
 - Extraction depuis BDD pour comparaison expérimentation/simulation



MODÉLISATION D'UNE MAISON PASSIVE

MODÉLISATION, IDENTIFICATION ET RÉSULTATS

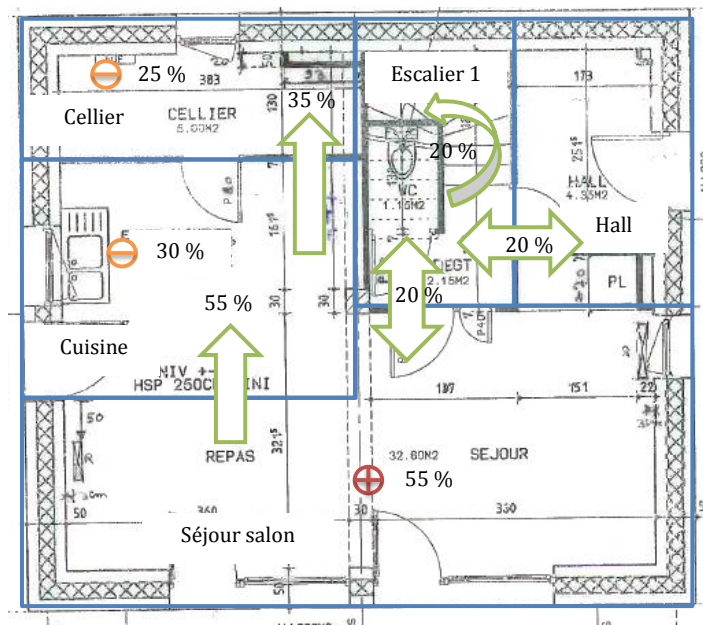


MODÉLISATION : méthodes et généralités

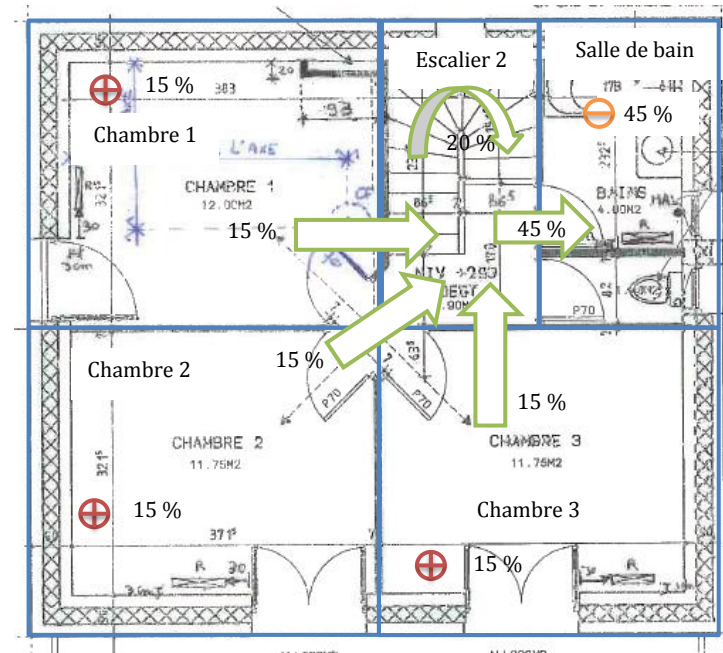
- Modélisation du bâtiment général par un simulateur dédié et une connaissance des caractéristiques géométriques, thermiques et structurelles du bâtiment
- Modélisation des sous-systèmes avec des modèles paramétriques nécessitant une identification à partir de mesures expérimentales
 - Modèles linéaires et non-linéaires de type boîtes grises ou boîtes noires
 - Utilisation d'algorithmes d'optimisation pour l'identification des paramètres
- Comparaison des résultats selon 3 critères (entre la valeur mesurée Y_{ref} et la valeur simulée Y_m) pour valider les modèles identifiés
 - Données expérimentales issues de campagnes de mesures (hiver 2011 sans le chauffage hydraulique : PAC + plancher chauffant)
 - FIT (coefficient de ressemblance) :
$$FIT = 100 \times \left(1 - \frac{\|Y_{ref} - Y_m\|_2}{\|Y_{ref} - \langle Y_{ref} \rangle\|_2} \right)$$
 - ERM (Erreur relative moyenne) :
$$ERM = 100 \times \frac{\langle |Y_{ref} - Y_m| \rangle}{\max(Y_{ref}) - \min(Y_{ref})}$$
 - EAM (Erreur absolue moyenne) :
$$EAM = \langle |Y_{ref} - Y_m| \rangle$$

MODÉLISATION : modèle thermique du bâtiment

- Modèle thermique du bâtiment (modèle de connaissance)
 - Utilisation de la toolbox Simbad 6.0 beta pour Matlab-Simulink (collaboration avec le CSTB)
 - 10 zones sur 2 niveaux + vide sanitaire et combles
 - Volume chauffé : $V_{chauffe} = 286 \text{ m}^3$
 - Infiltration globale mesurée : $I_{tot} = 0,04 \text{ vol/h}$
 - Modèle dynamique discret : échantillonnage avec $\Delta T_e = 60 \text{ s}$



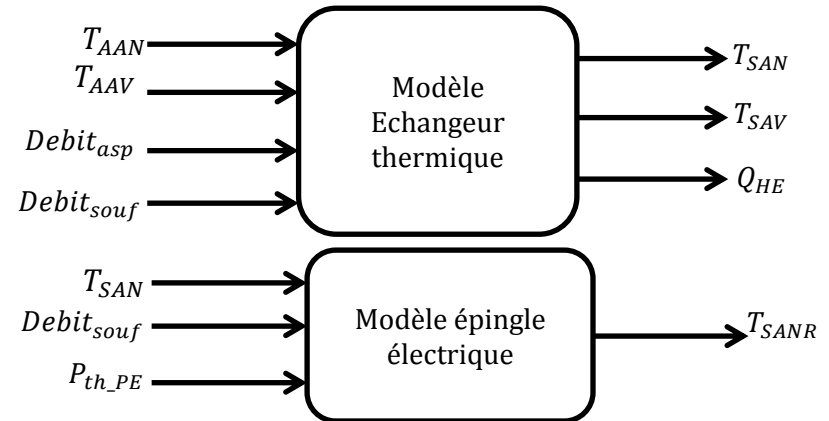
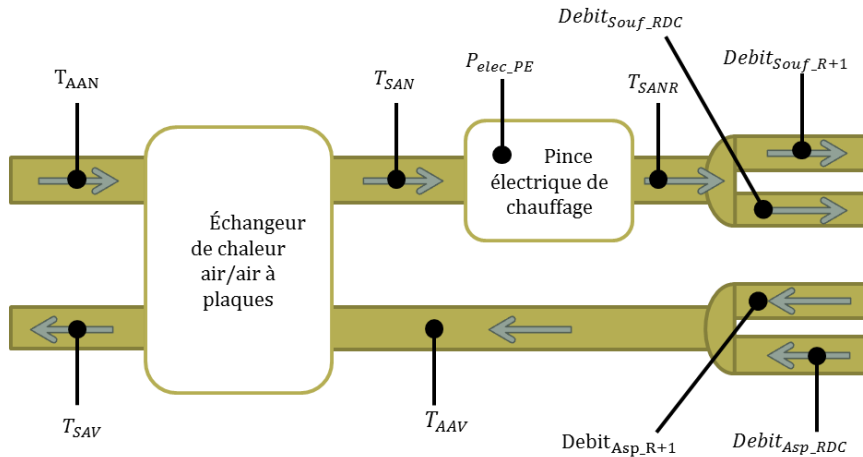
Rez-de-chaussée



1^{er} étage

MODÉLISATION : modèle thermique de la centrale double-flux

- Échangeur thermique et chauffage électrique
 - Modèle de connaissance avec identification paramétrique du coefficient d'échange



- Identification de paramètres selon le critère :

$$\min_{UA} \left(\sigma \|T_{SAN}^{sim} - T_{SAN}^{mes}\|_2^2 + \|T_{SAV}^{sim} - T_{SAV}^{mes}\|_2^2 \right)$$

avec $UA = B_{UA_{AN}} \times Debit_{Souf} + B_{UA_{AV}} \times Debit_{Asp}$

- Optimisation non-linéaire à recherche directe utilisant la méthode de Nelder-Mead (généralisation de la méthode du simplexe)

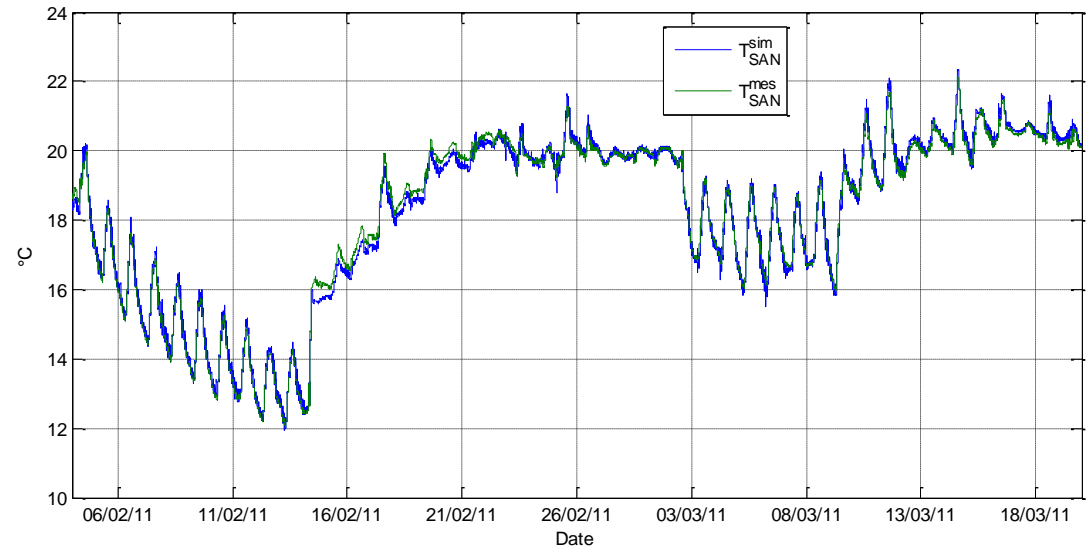
Résultats

Variable	FIT [%]	ERM [%]	EAM [°C]
Air neuf (T _{SAN})	92,7	1,35	0,137
Air vicié (T _{SAV})	96,1	0,561	0,0935
Sortie chauffage (T _{SANR})	73,3	3,06	1,17

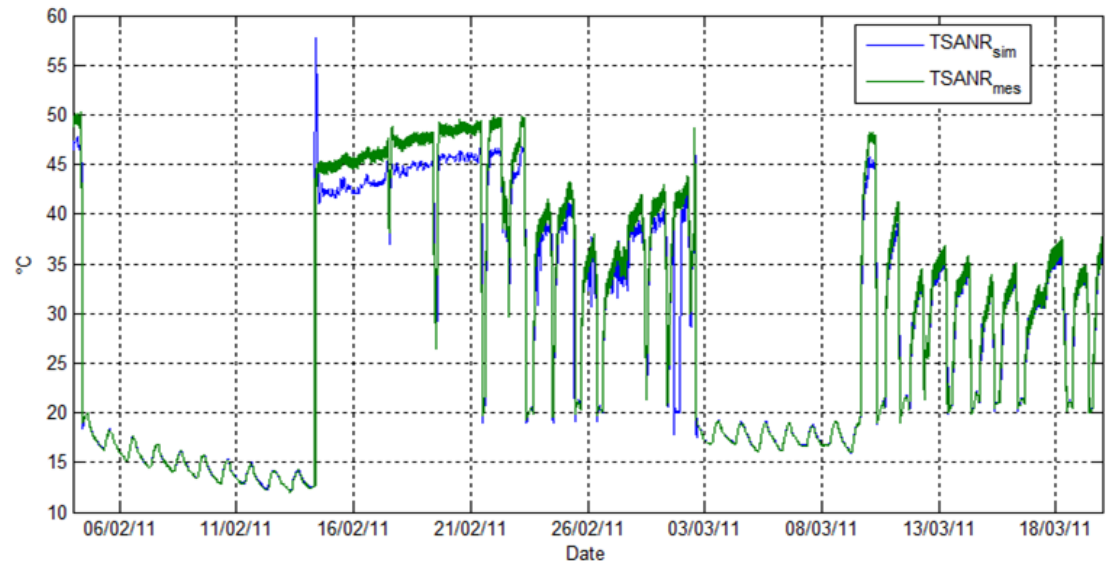
MODÉLISATION : modèle thermique de la centrale double-flux

- Échangeur thermique et chauffage électrique
 - Résultats de l'identification

Température air neuf sortie
échangeur thermique / entrée
épingle électrique



Température air neuf réchauffé
sortie épingle électrique

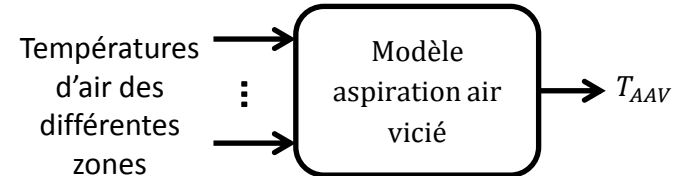


MODÉLISATION : modèle thermique du réseau de ventilation

- Réseau de ventilation

- Aspiration de l'air vicié : modèle linéaire paramétrique (représentation d'état)

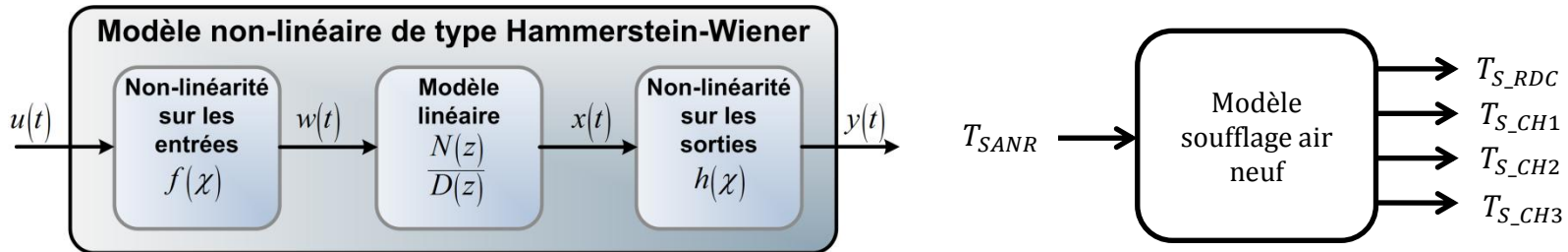
- $$\begin{cases} X(k+1) = A \cdot X(k) + B \cdot U(k) \\ Y(k) = C \cdot X(k) + D \cdot U(k) \end{cases}$$



- Identification par la méthode des sous-espaces pour l'estimation de modèles sous forme de représentation d'état

- Soufflage de l'air neuf : modèle non-linéaire de Hammerstein-Wiener

- Identification utilisant l'algorithme des moindres carrés non-linéaires par la méthode de la région de confiance de Newton



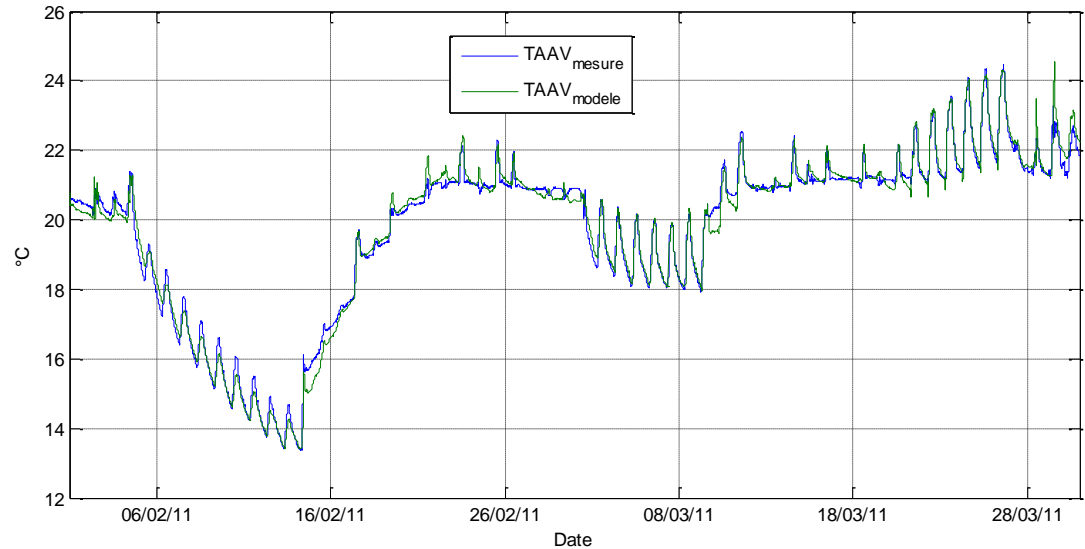
- Résultats de l'identification

Variable	FIT [%]	ERM [%]	EAM [°C]
Air vicié aspiré (T_{AAV})	87,3	2,16	0,382
Air soufflé rez-de-chaussée (T_{SRDC})	92,2	1,31	0,231
Air soufflé chambre 1 (T_{SCH1})	88,1	1,45	0,207
Air soufflé chambre 2 (T_{SCH2})	92,7	1,31	0,231
Air soufflé chambre 3 (T_{SCH3})	90,6	1,74	0,270

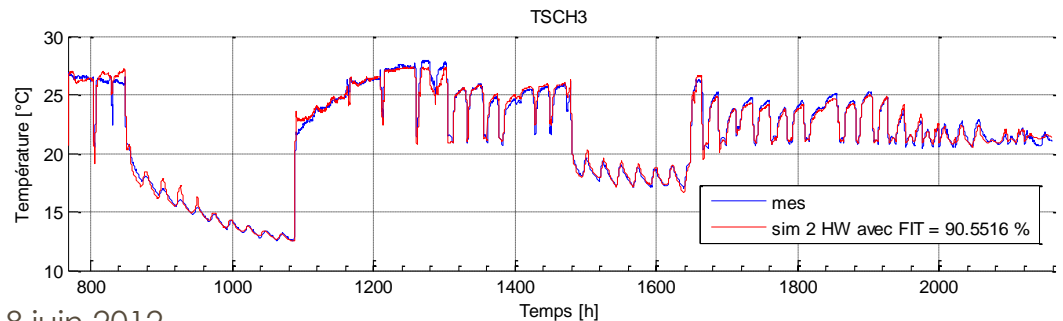
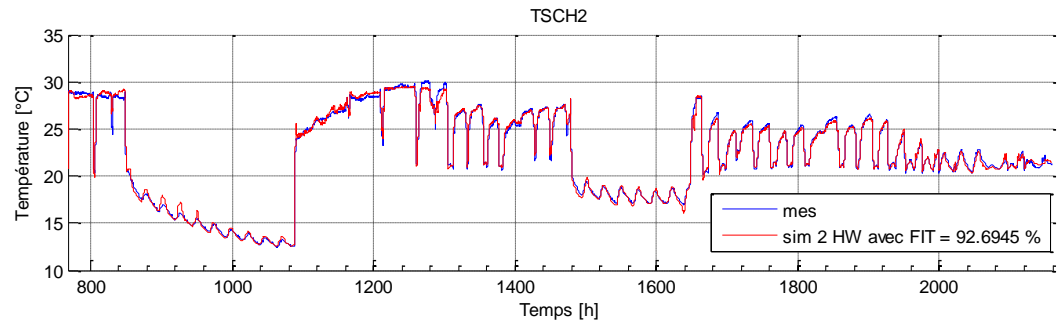
MODÉLISATION : modèle thermique du réseau de ventilation

- Réseau de ventilation
 - Résultats de l'identification

Température de l'air vicié aspiré

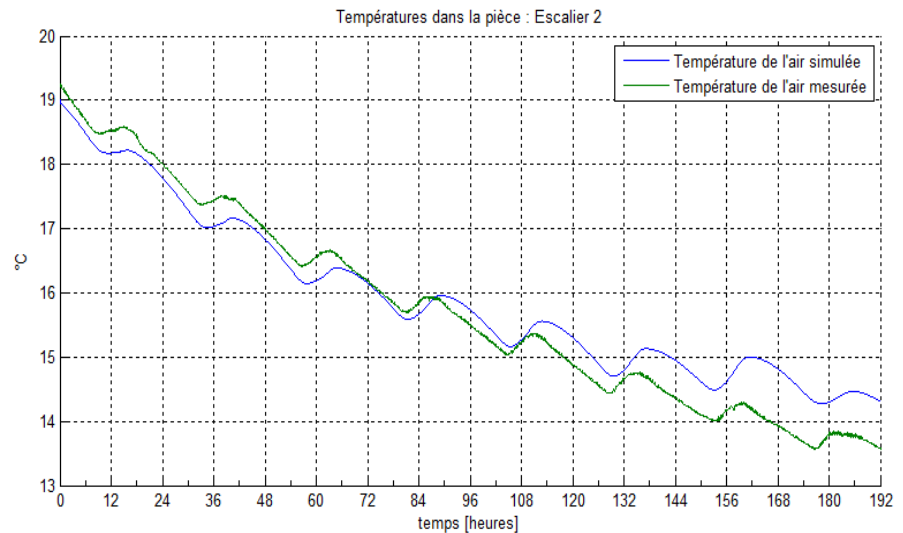
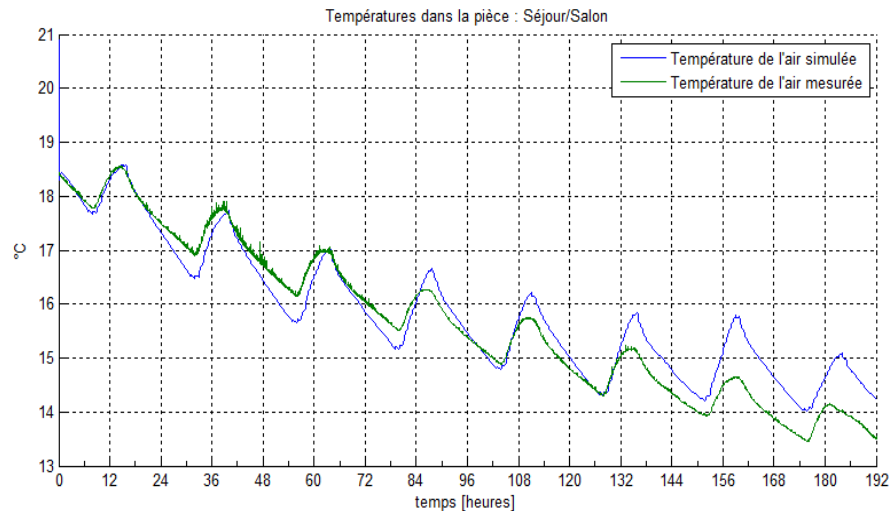


Température de l'air soufflé dans les chambres 2 et 3



MODÉLISATION : simulation globale du bâtiment

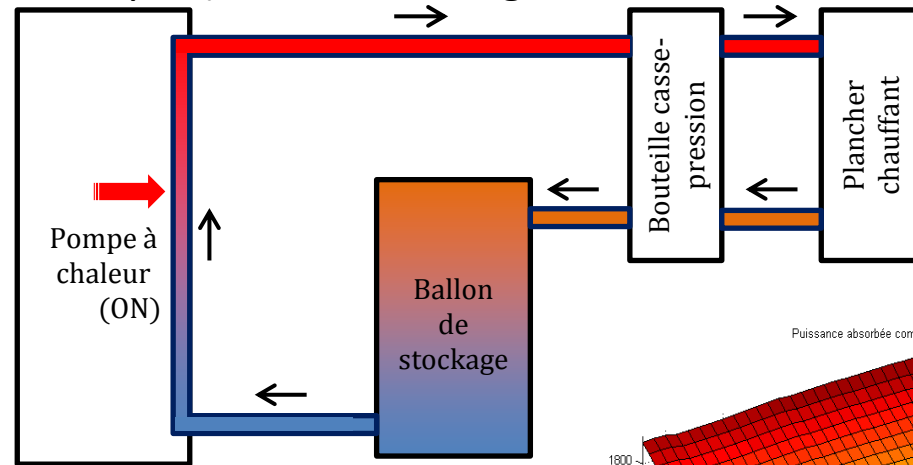
- Intégration des modèles des systèmes au modèle Simbad du bâtiment
- Test en simulation et comparaison de la température de l'air



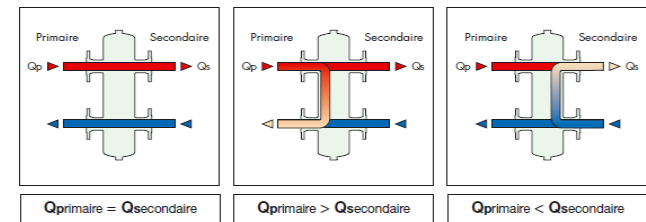
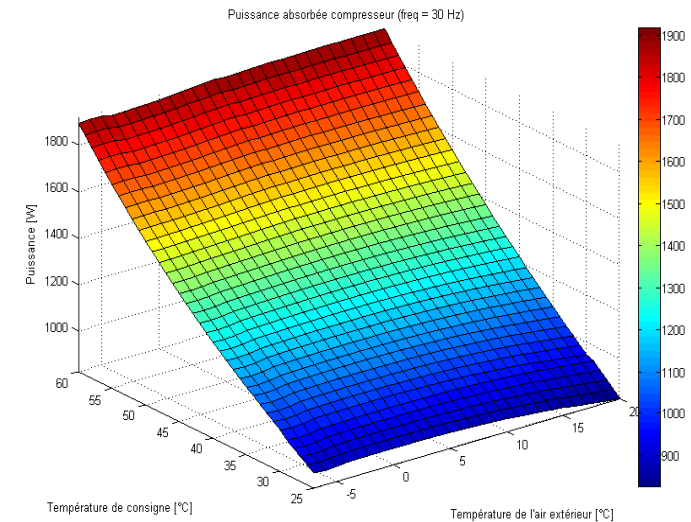
Zone	FIT [%]	ERM [%]	EAM [°C]
Cuisine	72.4	6.36	0.321
Séjour	69.6	6.62	0.338
Cellier	74	6.12	0.313
Escalier 1	72	7.24	0.347
Hall	71.8	6.87	0.332
Chambre 1	56.7	9.79	0.592
Chambre 2	47.9	12.3	0.753
Chambre 3	50.5	11.7	0.707
Escalier 2	73.5	6.17	0.349
Salle de bain	77.1	5.34	0.297

MODÉLISATION : modèle du système de chauffage hydraulique

- Système de chauffage hydraulique (modèles à intégrer à celui de la maison)



- Pompe à chaleur CIAT
 - Travail en collaboration avec le G2ELab
 - Modèle statique paramétrique identifié (forme polynomiale)
 - Nécessite une validation expérimentale (en cours)
- Bouteille casse-pression
 - Modèle statique classique
- Ballon de stockage thermique
 - Modélisation dynamique avec stratification verticale
 - Nécessite une validation expérimentale (en cours)
- Plancher chauffant
 - Modèle Simbad spécifique
 - Validation du modèle (en cours) à partir d'essais expérimentaux



CONCLUSION ET PERSPECTIVES



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

- Conclusion
 - Développement d'un modèle de simulation de la maison IDM de l'INES
 - Identification de modèles des systèmes aérauliques de la maison
 - Utilisation conjointe de techniques de modélisation de connaissance et de techniques d'identification type boîtes grises
 - Intégration et validation de ces modèles au modèle global du bâtiment
- Perspectives
 - Modélisation
 - Valider les modèles du réseau hydraulique du chauffage (PAC, ballon de stockage, plancher chauffant)
 - Implémenter les stratégies de contrôle utilisées pour le contrôle du chauffage hydraulique
 - Intégrer ces modèles au modèle global de la maison
 - Valider le comportement du modèle global de la maison avec le système hydraulique
 - Contrôle
 - Développer des stratégies de contrôle avancé pour la gestion des systèmes (commande prédictive...) en utilisant le simulateur développé et en identifiant des modèles de commande
 - Utiliser les stratégies de régulation développées dans les contrôleurs réels pour réaliser quelques essais pour valider le fonctionnement dans la maison

FIN

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

