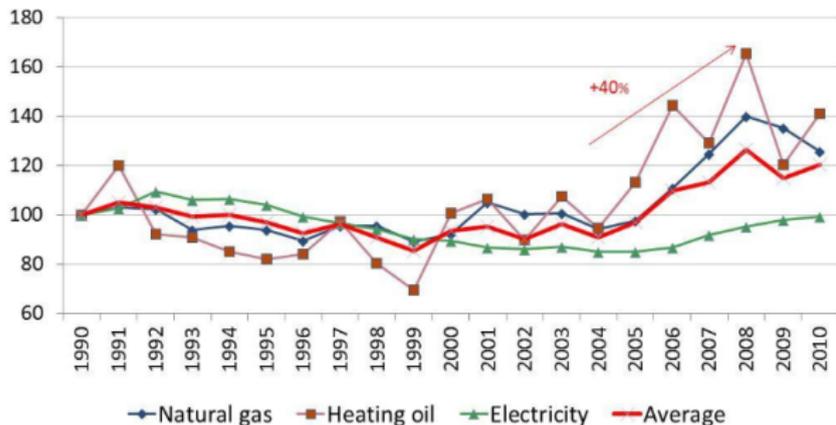
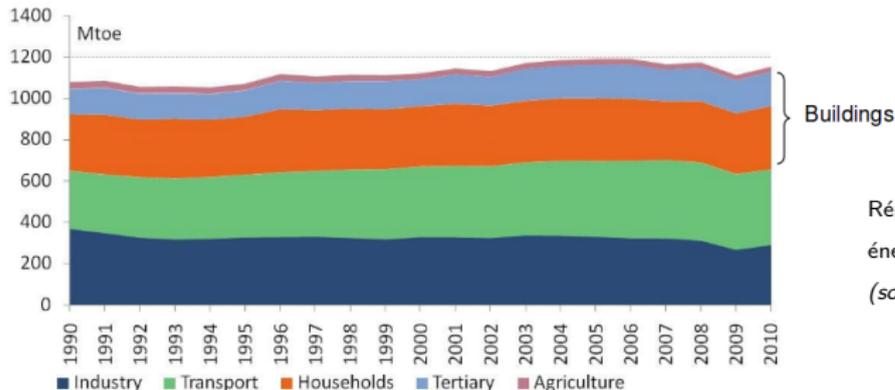


Croissance de la demande énergétique et du coût de l'énergie



Evolution du prix de l'énergie pour les ménages (source: ODYSSEE)



Répartition de la demande énergétique par secteur en Europe (source Eurostat)

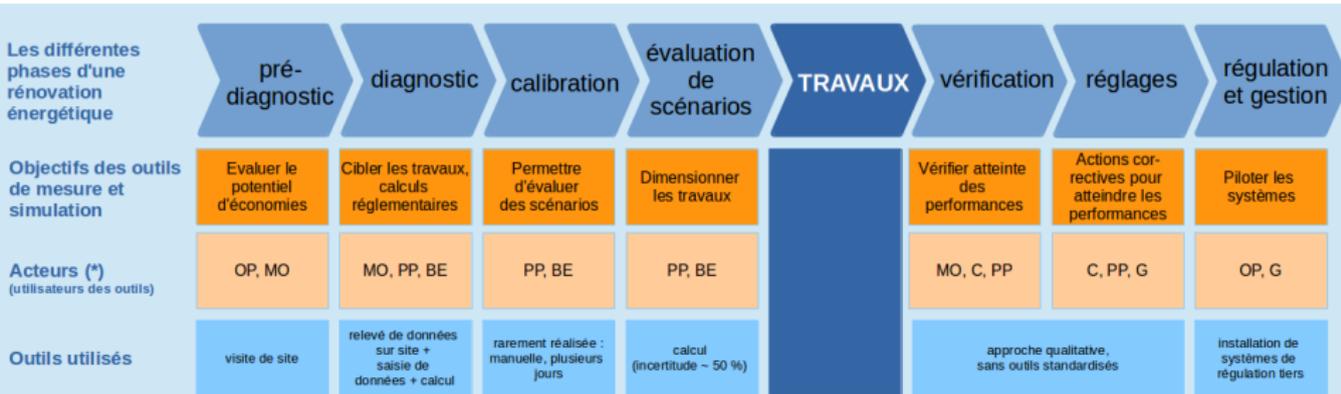
La rénovation du parc bâti

- Plan de rénovation massive de bâtiments : 500 000 logements par an
- La construction évolue vers des pratiques fondées sur l'obligation de résultats (garantie de performances, ...)

⇒ **BESOIN d'outils pour :**

- mesurer et analyser la performance énergétique
- prévoir précisément l'efficacité des travaux
- vérifier les performances avant et après rénovation

Processus de rénovation et outils de mesure/calcul :



(*) OP = Occupant et/ou propriétaire ; MO = maître d'ouvrage ; PP = pilote de la performance ; BE = bureau d'étude ; C = constructeur ; G = gestionnaire

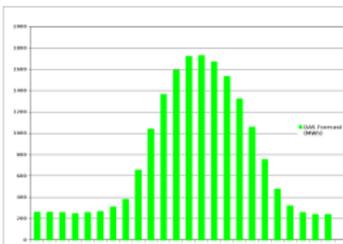
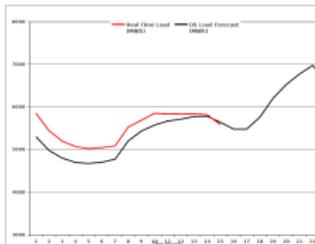
De plus en plus de capteurs dans les bâtiments



Systèmes domotiques de mesure de consommations



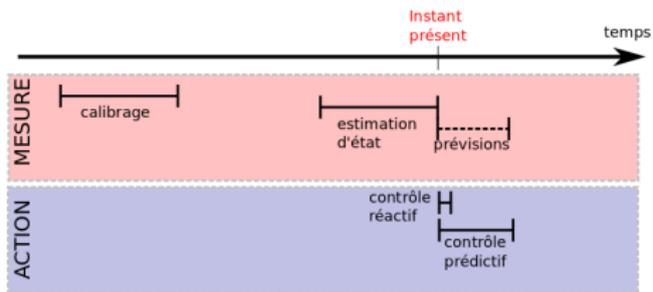
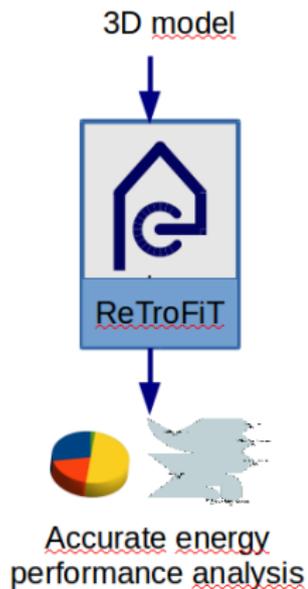
Compteur électrique intelligent Linky



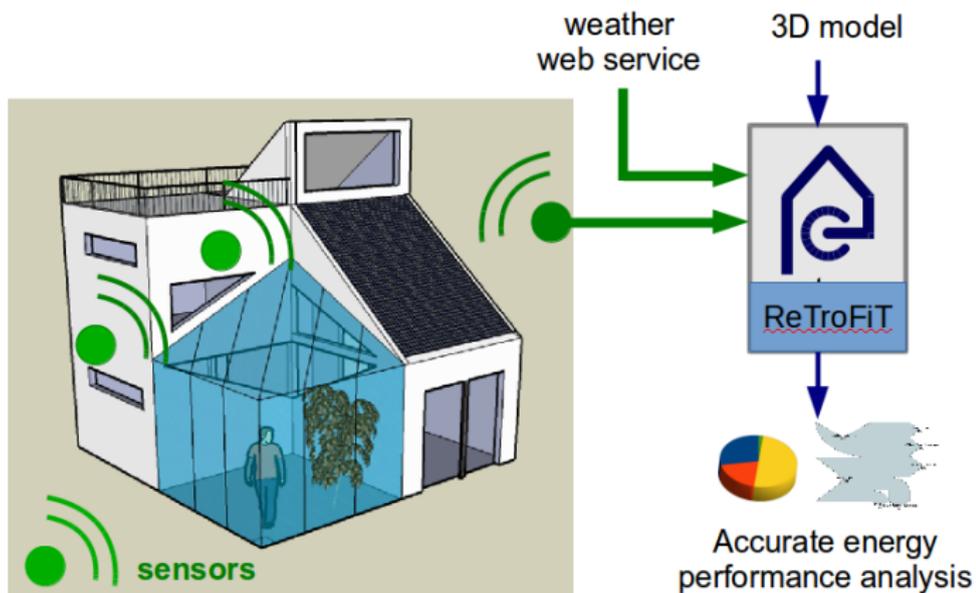
Prévision de la demande d'électricité pour le 23/03/2015 en Grèce

(données web, sys SCADARES)

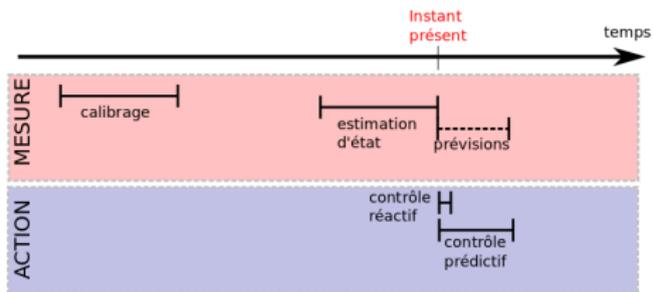
Combinaison de modèles numériques et de mesures



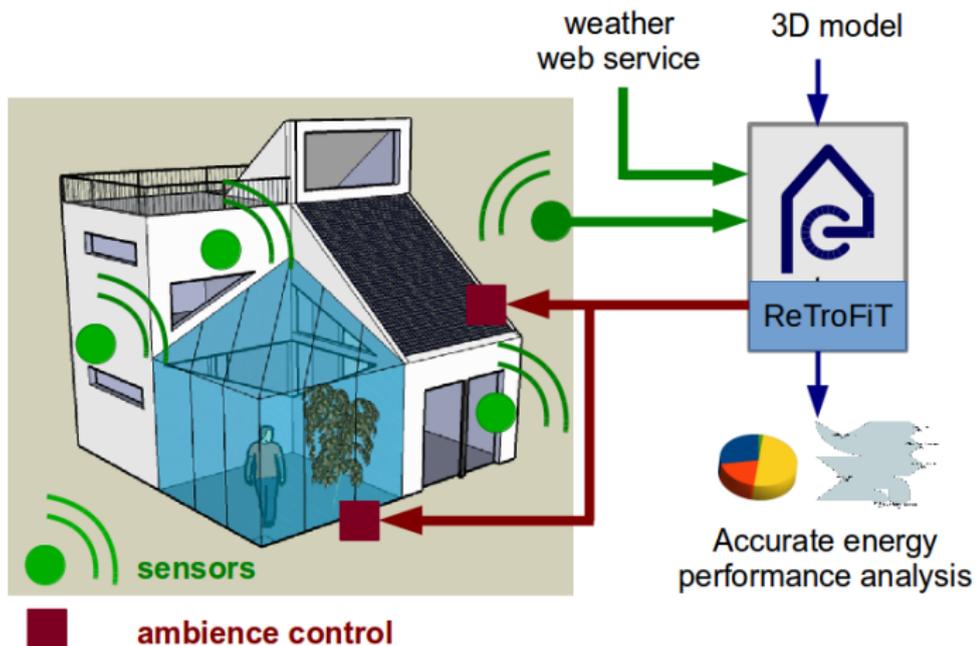
Combinaison de modèles numériques et de mesures



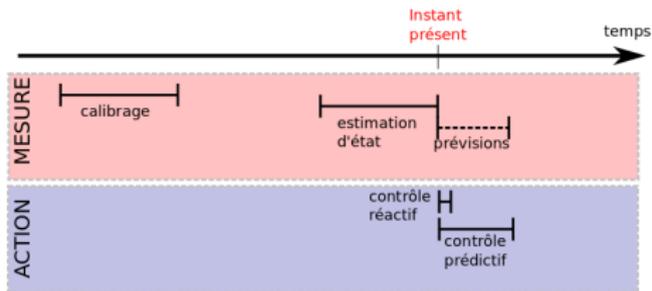
Simulation calibrée



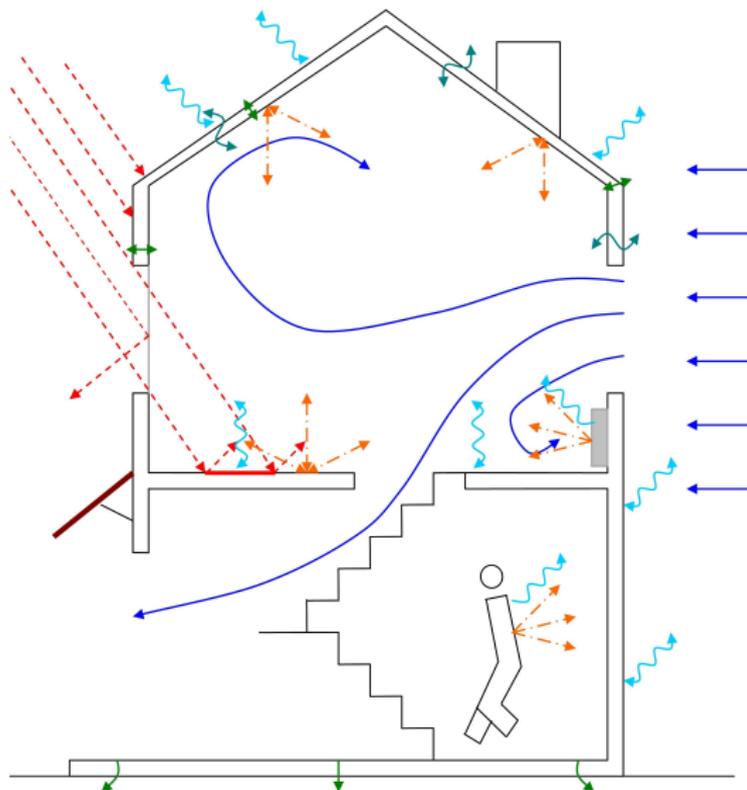
Combinaison de modèles numériques et de mesures



Régulation optimale



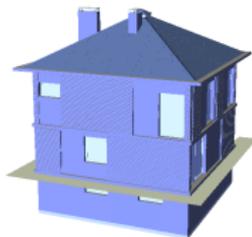
- Shortwave radiation
- Longwave radiation
- Conduction through walls
- Natural convection (airmass exchange)
- Convection on walls surfaces



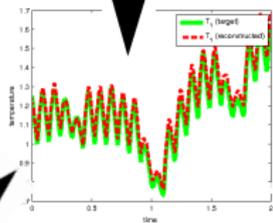
Modélisation numérique du comportement thermique



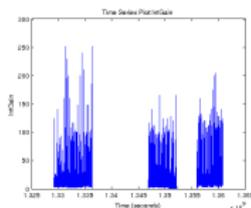
Real building



CAD 3D model



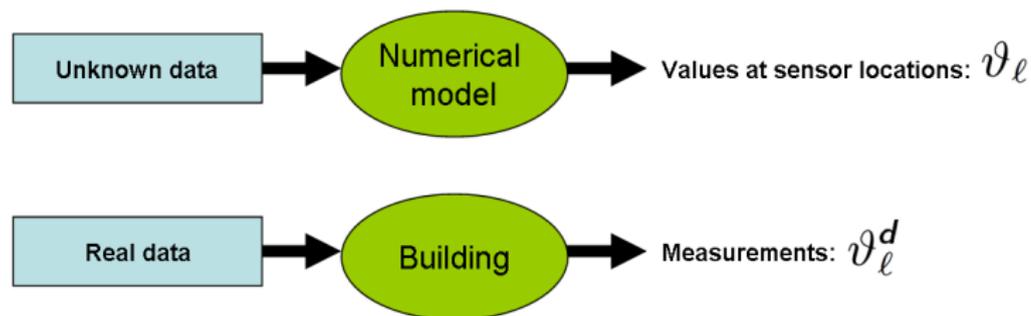
System of equations
numerical simulation

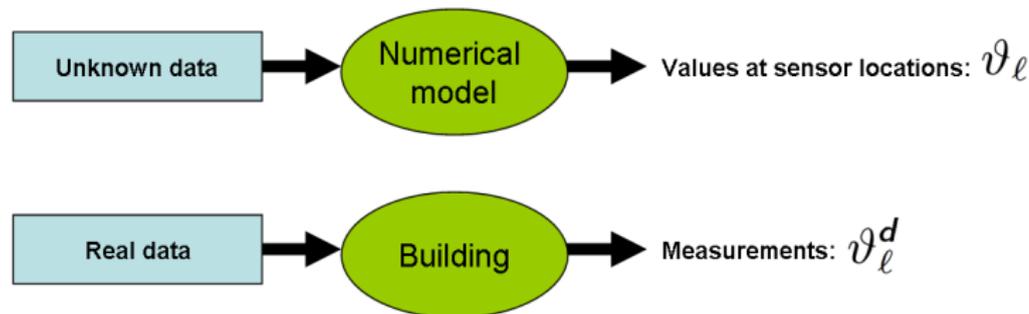


+ use conditions



+ weather conditions





Inconnues: $u = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$

On se donne un critère :

$J(u) = \text{écart calcul mesure} + \text{critère de confort} + \text{consommation} + \dots$

Problème d'optimisation:

Trouver $u \in \mathcal{V}$ tel que

$$J(u) = \inf_{\tilde{u} \in \mathcal{V}} J(\tilde{u})$$

Problème de minimisation :

$$\text{Find } u \in \mathcal{V} \text{ such that} \\ J(u) = \inf_{\tilde{u} \in \mathcal{V}} J(\tilde{u})$$

avec

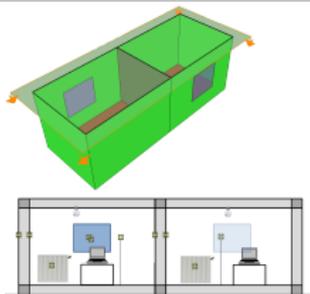
$$J(u) = \frac{\alpha_1}{2} \|Tu - y\|_{\mathcal{M}}^2 + \frac{\alpha_2}{2} \|u - u_0\|_{\mathcal{U}}^2 + \frac{\alpha_3}{2} \|\phi(u)\|^2 \quad (1)$$

Algorithmes de descente \rightarrow nécessitent de calculer le gradient ∇J de J .

$$J(u + \delta u) - J(u) = (\nabla J, \delta u)_{\mathcal{V}} + \mathcal{O}\|\delta u\|_{\mathcal{V}}^2 \quad \forall \delta u \in \mathcal{V}$$

Utilisation du modèle adjoint :

- rapidité d'exécution
- précision
- possibilité de traiter tous types d'inconnues (scalaires, fonctions du temps, de l'espace, ...)

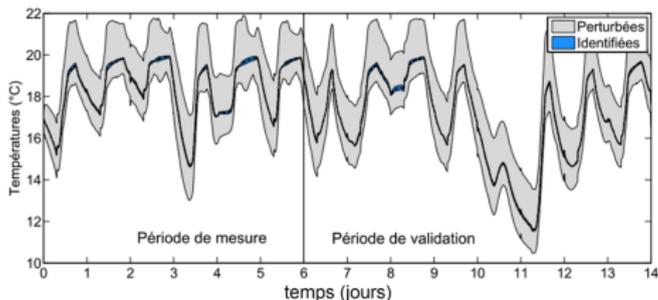
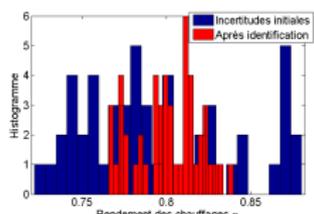
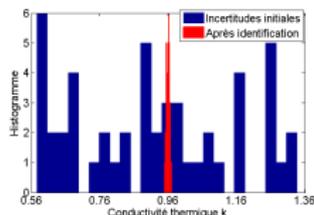


$$\begin{cases} C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{v=1}^{N_z} \mathcal{A}_{v,z} + \bar{\mathcal{A}}_z + \sum_{s=1}^{N_s} S_s (C_{s,z}^0 + C_{s,z}^L) \\ T_z(t=0) = T_z^0 \\ S_s \rho c_s \frac{\partial \theta_s}{\partial t} - S_s \frac{\partial}{\partial x} \left(k_s \frac{\partial \theta_s}{\partial x} \right) = 0, \\ -k_s \frac{\partial \theta_s}{\partial x}(0; t) = \sum_{p=1}^{N_s} \left(\mathcal{R}_{sp}^{0,0} + \mathcal{R}_{sp}^{0,L} \right) + \mathcal{R}_s^{0,\infty} \\ k_s \frac{\partial \theta_s}{\partial x}(L_{s,1}; t) = \sum_{p=1}^{N_s} \left(\mathcal{R}_{sp}^{L,0} + \mathcal{R}_{sp}^{L,L} \right) + \mathcal{R}_s^{L,\infty} \\ \theta_s(x, t=0) = \theta_s^0(x) \end{cases}$$

$$\begin{cases} u = \arg \min_{v \in \mathcal{U}} J(v) \\ J(u) = \frac{1}{2} \|\hat{f}(u) - m\|_{\mathcal{M}}^2 + \frac{\epsilon}{2} \|u - u^0\|_{\mathcal{U}}^2 \end{cases}$$

**problème inverse
d'identification de
paramètres intrinsèques du
modèle**

- Capteurs de température ambiante : 1 par zone thermique
- Capteurs de température de surface des parois : une mesure intérieure/extérieure par type de paroi à caractériser
- Puissance de chauffage totale du système de production de chaleur
- Météo : température extérieure, rayonnement solaire global
- Gains internes maîtrisés

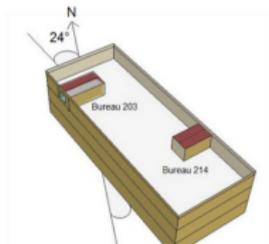


Modèles prédictifs de consommation pour les *smart grids*

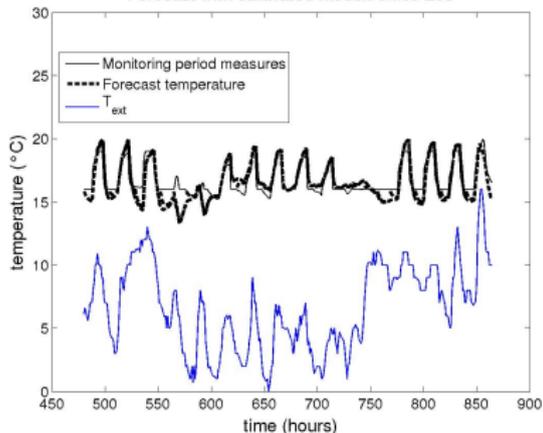


Available sensors:

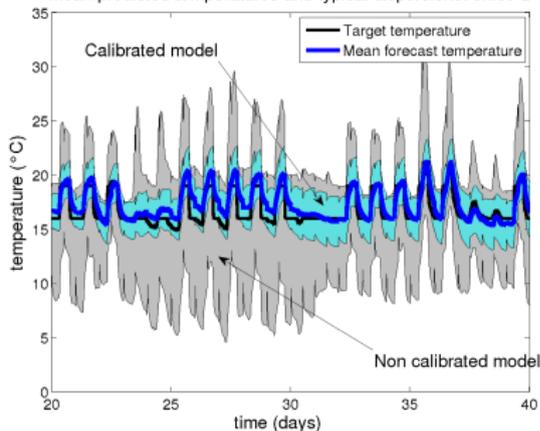
- Local (*on site*) :
 - one temperature measurement T per thermal zone
 - one consumption measurement \mathcal{W} per thermal zone
- Global (national weather institute data) :
 - ambient temperature T_e
 - total solar radiation Φ

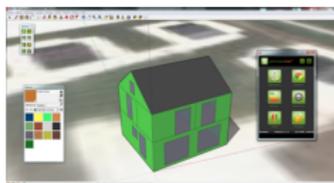


Forecast with calibrated model: office 203



Mean predicted temperatures and typical dispersions: office B

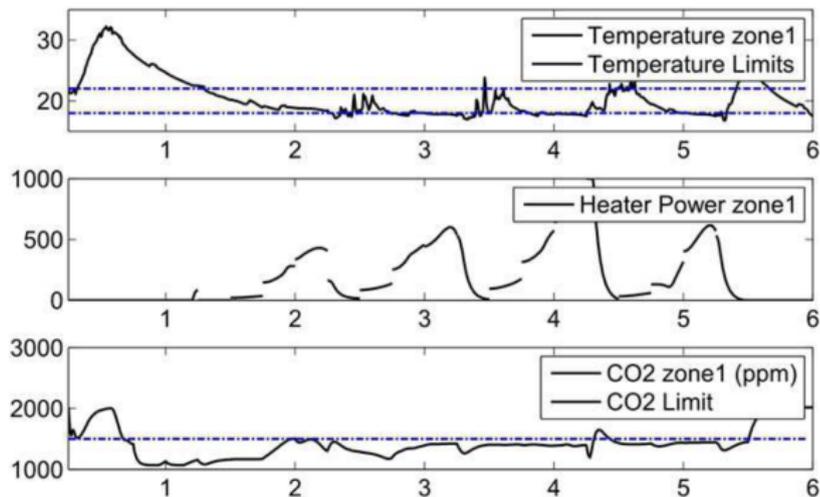
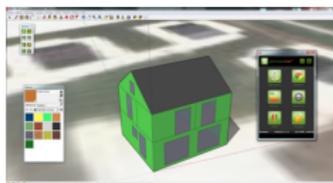




Démarche MPC ('Model Predictive Control'):
on résout un problème d'optimisation sur une fenêtre temporelle future, en utilisant comme données des prévisions météo et d'usage

$$\left\{ \begin{array}{l} J(u) = \\ J = \end{array} \right. \begin{array}{l} \inf_{u=(P_1, P_2) \in U} J(u) \\ \frac{1}{2} \sum_{z=1}^{N_z} \int_0^{t_a} a_z(t) P_z^2 dt \\ + \frac{1}{2} \sum_{z=1}^{N_z} \int_0^{t_a} b_z(t) (T_{opz}(u) - T_{opz}^c)^2 dt \end{array} \quad (2)$$

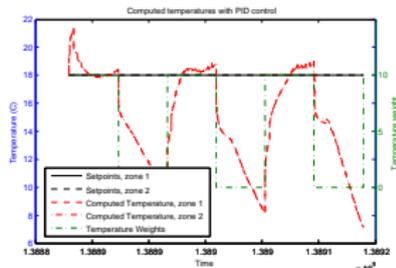
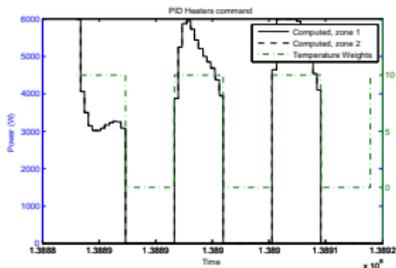
⇒ augmentation du confort et réduction des consommations (jusqu'à 30% d'économies d'énergie)



Pilotage MPC de la maison expérimentale INCAS à Chambéry (INES)

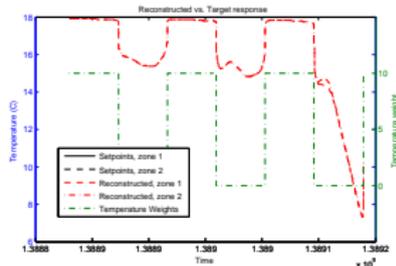
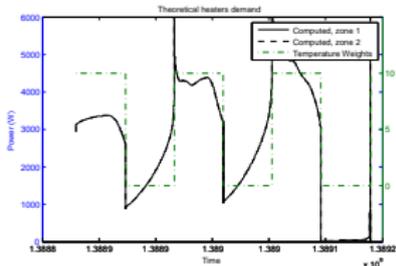
Proje ANR PRECISION
www.preccision.org

Contrôle standard par PID :



Indice de confort : $11 \cdot 10^3$, Consommation = 379,8 kWh

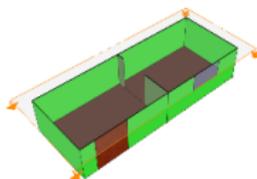
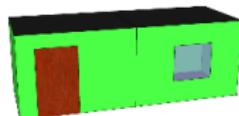
Approche MPC : augmentation du confort, réduction des consommations



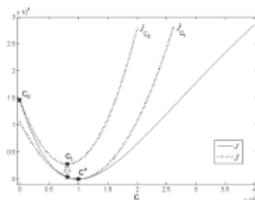
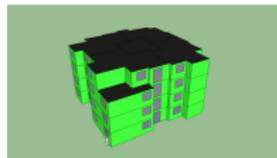
Indice de confort : $6,51 \cdot 10^5$, Consommation = 333,45 kWh

- 1 Mesure des performances énergétiques des bâtiments
- 2 Instrumentation, modélisation
- 3 Exemples d'applications
- 4 Conclusions**

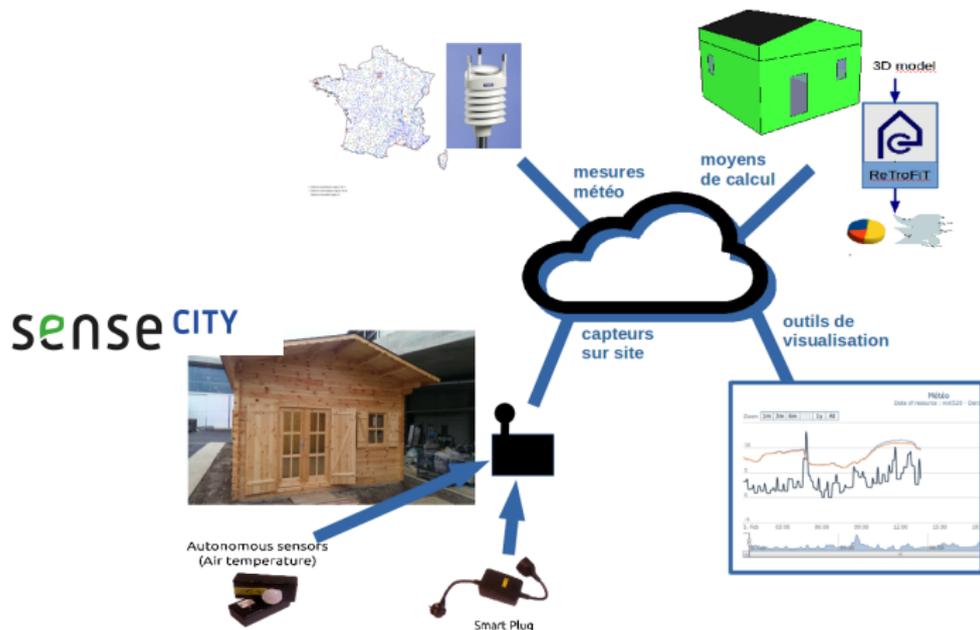
REal Time eneRgy simulation and Optimization software Toolbox



- Logiciel de simulation thermique dynamique
 - Principes de modélisation en pointe par rapport à l'état de l'art (modélisation fine multizone)
 - Formalisme continu en temps et en espace fondé sur des équations différentielles partielles pour traiter une grande variété de problèmes
 - intéropérabilité avec les outils de CAO les plus répandus grâce à la compatibilité avec le format gbXML
- Conçu pour la résolution rapide de problèmes d'optimisation
 - Tous les outils (notamment le modèle adjoint) intégrés de manière native
 - Inclut une variété d'algorithmes pour la résolution de problèmes linéaires ou non-linéaires, avec ou sans contraintes
 - Permet de traiter de nombreux problèmes d'optimisation : problèmes inverses d'identification, control optimal, conception optimale, ...
- Architecture modulaire et extensible
 - Version 1.0 codée sous Matlab
 - Export possible sous forme de .dll ou exécutable



Le démonstrateur présenté dans Sense-City



Le démonstrateur présenté dans Sense-City utilise des capteurs sans fil et utilise le réseau pour un déploiement *cloud* : **facilité d'installation, de maintenance et d'utilisation.**

