



ANR-FIABILITE

Laurent Mora – I2M

Journée IBPSA France

16/05/2013

Fiche projet

- **Fiabilité des modèles et de la simulation des performances énergétiques des bâtiments**
- **10 Partenaires : I2M, CEA INES, Armines, G2ELAB, G-SCOP, EDF R&D, CSTB, LOCIE, PIMENT, CETHIL**

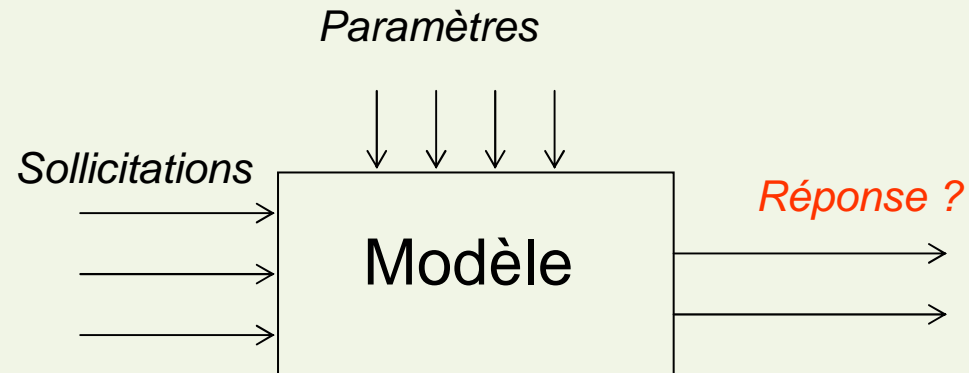
- Date de début du projet : 01/01/2011
- Durée : 3 ans



Contexte

- **Usage intensif de la simulation dynamique pour l'aide à la conception ou la rénovation énergétique des bâtiments à très basse consommation**
- **Comment qualifier la justesse et la fidélité des résultats ?**
- **2 questions abordées dans le projet :**
 - Les modèles représentent-ils de manière fidèle le comportement de bâtiments à basse consommation ?
 - Comment quantifier les incertitudes sur les résultats de simulation ?

Caractériser la fiabilité, c'est avant tout...



- **Valider les modèles au moyen de plateformes expérimentales**
- **Rendre compte des incertitudes liées aux entrées (paramètres/sollicitations) sur les prévisions**

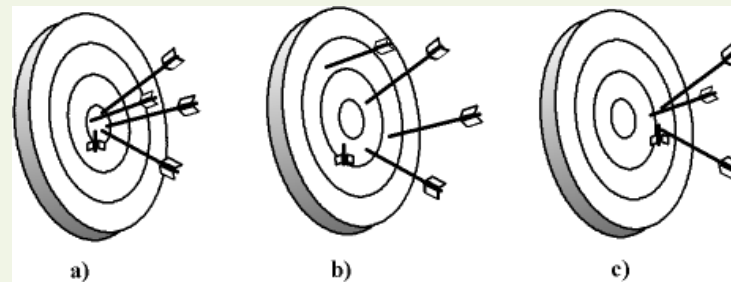
Les objectifs du projet

- **Identifier, classer et évaluer des sources de biais et d'incertitude dans les simulations**
 - Revisiter les hypothèses de modélisation communément admises dans le contexte des bâtiments à faibles consommations (cas tests numériques, expérimentation), caractérisation des incertitudes sur les données d'entrée
- **Quantifier les incertitudes sur la réponse simulée**
 - Explorer des méthodes de propagation d'incertitude et d'analyse de sensibilité
- **Valider les modèles au moyen de plateformes expérimentales**
 - Développer une méthodologie de comparaison entre prévisions et mesures
- **Valoriser et disséminer les résultats**
 - Rendre les méthodes développées dans le projet accessibles à des bureaux d'études

1. Identification, classement et évaluation des sources de biais et d'incertitude dans les simulations

■ Objectifs :

- Sources de biais (hypothèses de modélisations)
 - Présentation structurée des sources de biais dans les modèles
 - Les caractériser et les évaluer au moyens de cas tests numériques
- Incertitudes aléatoires et subjectives
 - Incertitudes sur les mesures (dispositifs expérimentaux)
 - Incertitudes sur les données de simulation



1. Un recueil de 20 fiches classées en 9 thèmes

■ **Les sources de biais ou d'incertitudes**

- Quelle est la nature de l'incertitude ?
- Pourquoi est-elle susceptible de provoquer un biais ou une incertitude ?
- Quel impact absolu/relatif présumé ?
- Quels résultats disponibles ?
- Lien avec une autre source
- Références bibliographiques

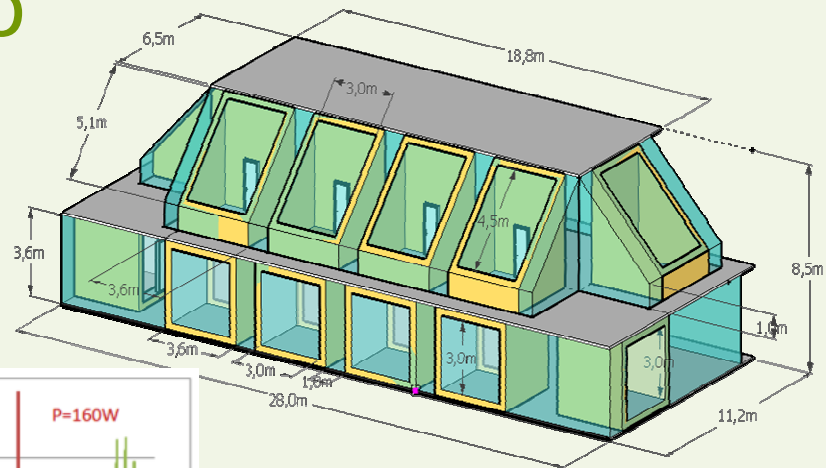
■ **Quantification des incertitudes sur les données de simulation / les mesures**

1. Les hypothèses revisitées

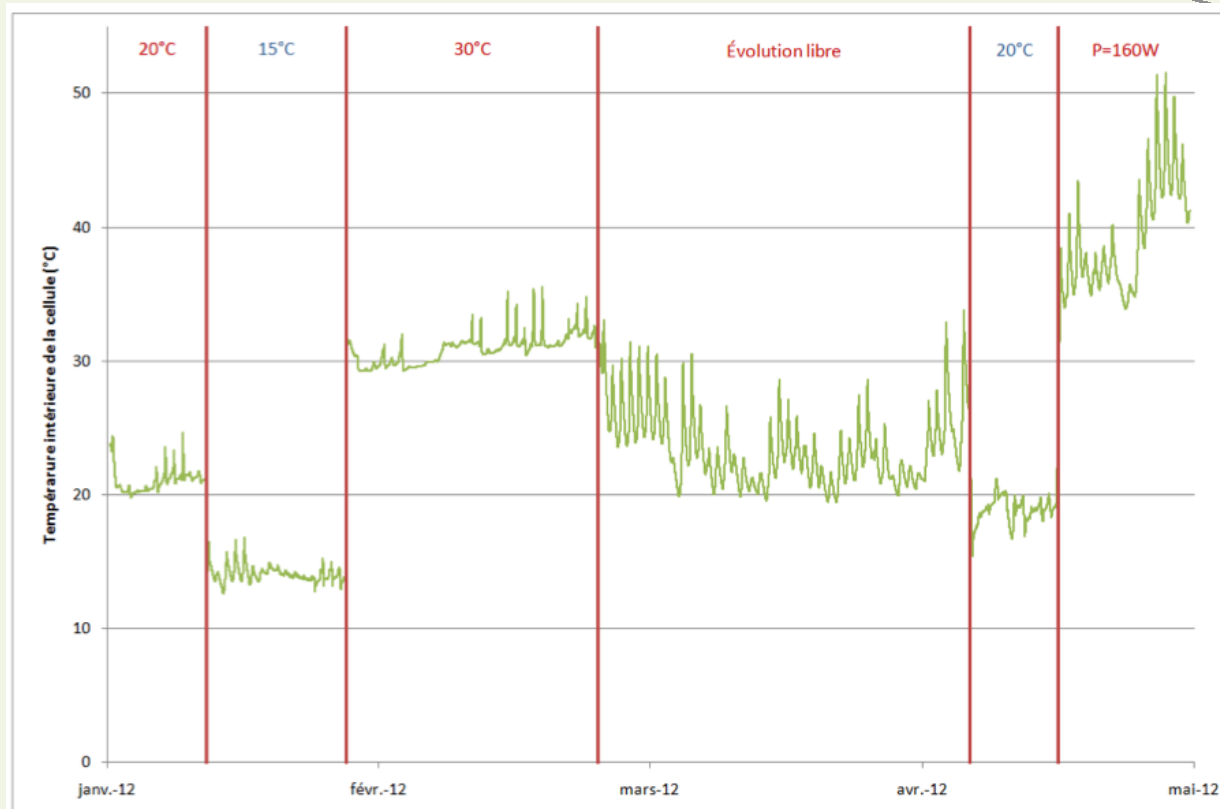
- Effets 2D/3D des transferts de chaleur
- Découpage en Zones thermiques
- Les échanges convectifs et radiatifs
- La présence d'humidité
- Dynamique des systèmes
- Fichier météo, impact du pas de temps

Exemple d'étude sur l'impact du pas de temps des données météo

- Cas étudié cellule Ouest de la plateforme BESTLAB (EDF)



Bestlab, EDF

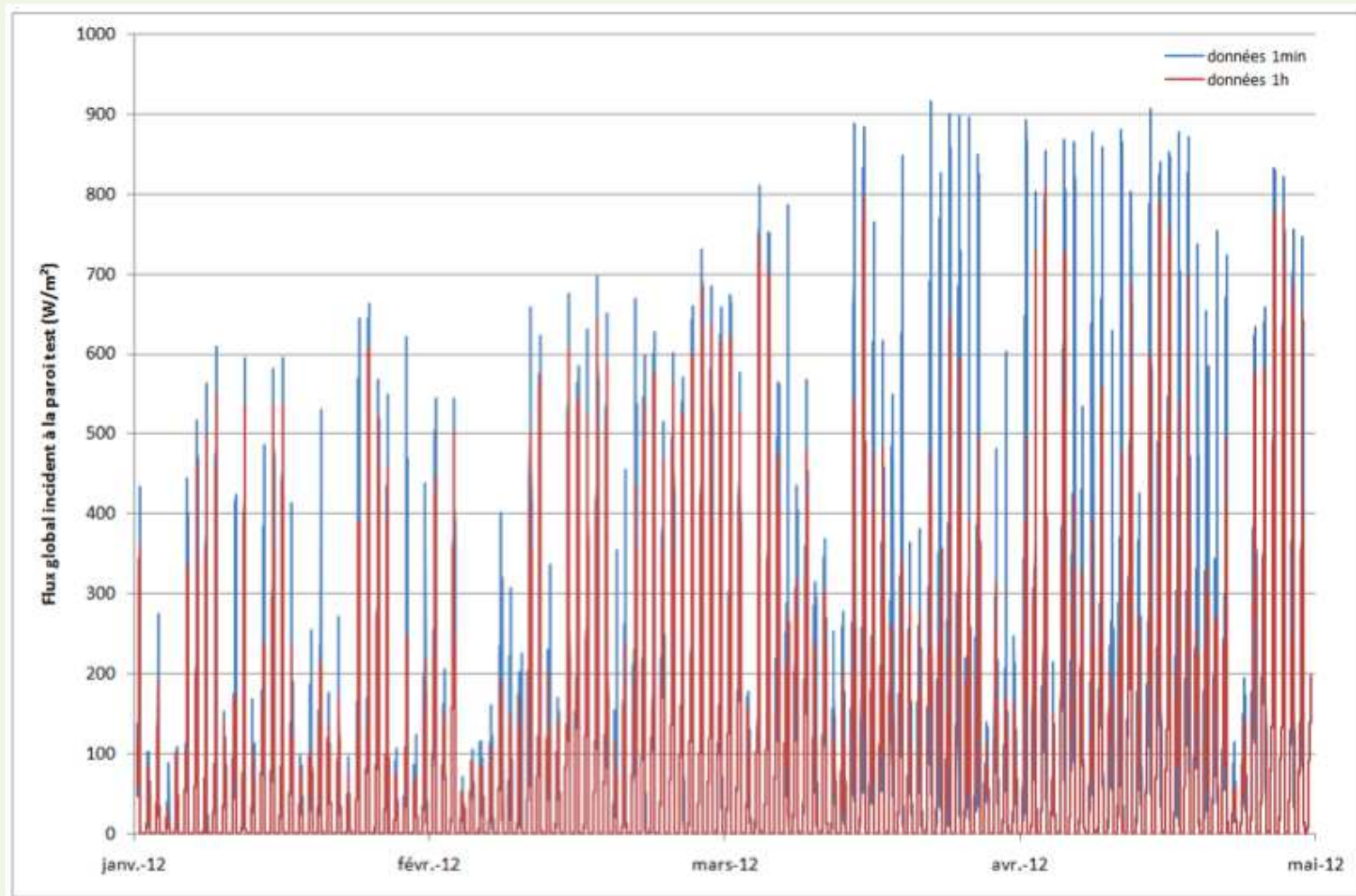


Séquence étudiée
(5 mois)

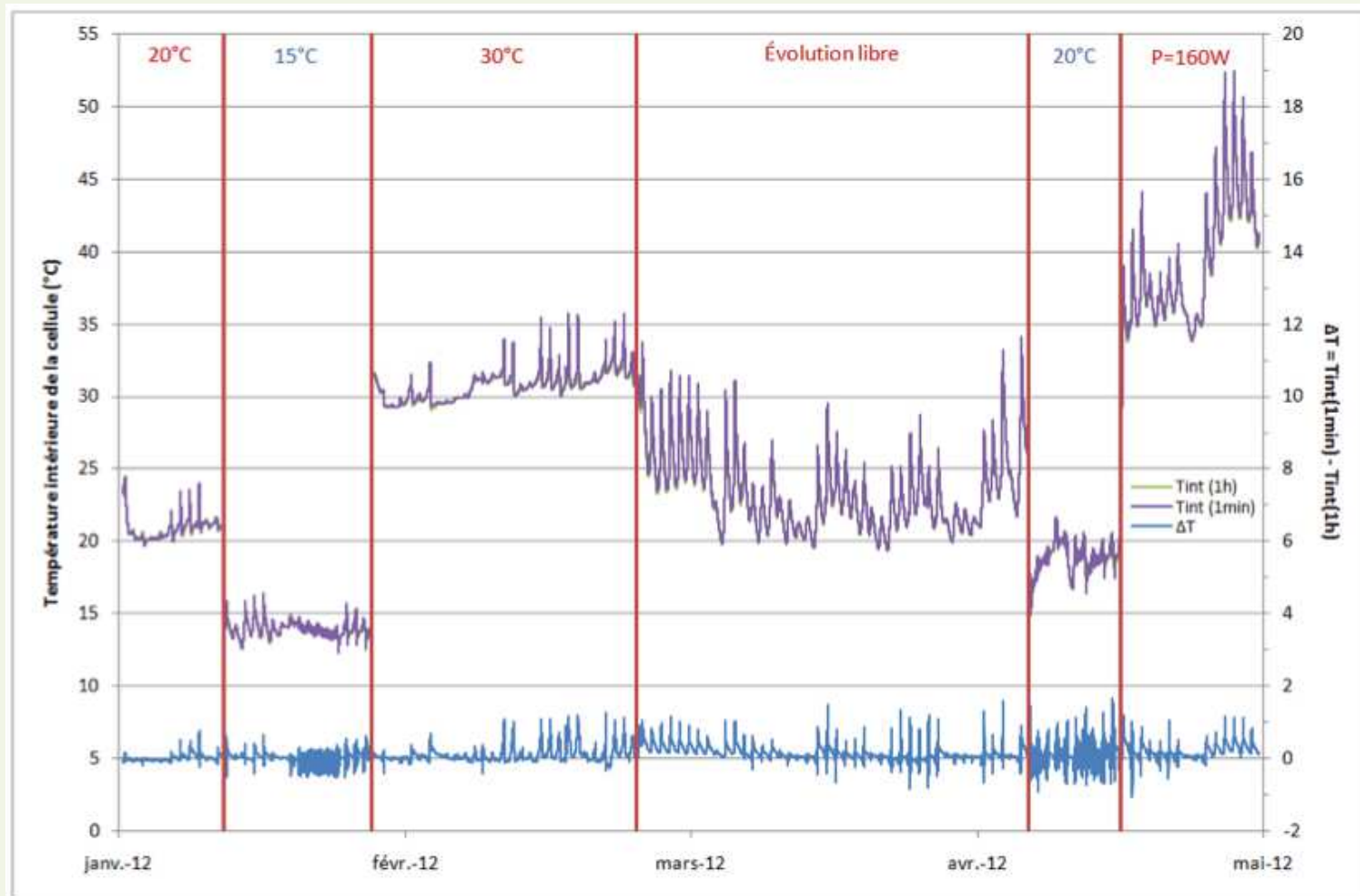
Démarche

- Les données utilisées pour réaliser les simulations (météo et conditions aux limites), sont restituées avec plusieurs pas de temps : 1 min, 10 min et 1 h. L'acquisition se faisant toutes les minutes.
- Habituellement, pas d'1 h nécessitant moins de temps de calcul.
- Comparaison des résultats de simulation à partir des données 1 min et des données 1 h pour voir les écarts existants.
- On s'intéresse particulièrement au flux solaire car son intensité peut varier rapidement dans le temps et a un grand impact sur la température intérieure.

Les données : flux global incident à la paroi

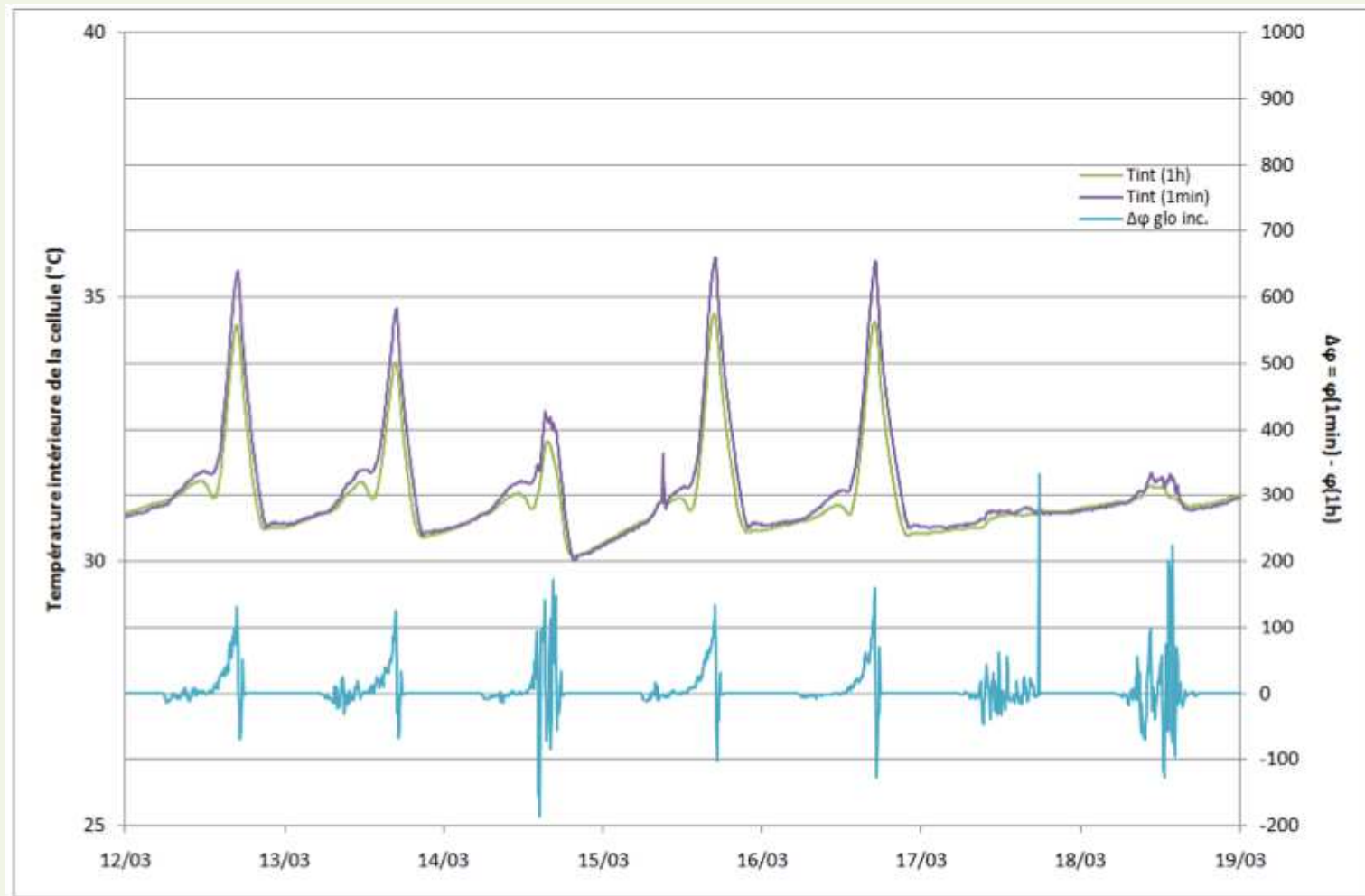


Prévisions de température sur la séquence



ΔT moyen de 0,12°C

Zoom sur une semaine



$\Delta T > 1^\circ\text{C}$ en évolution libre

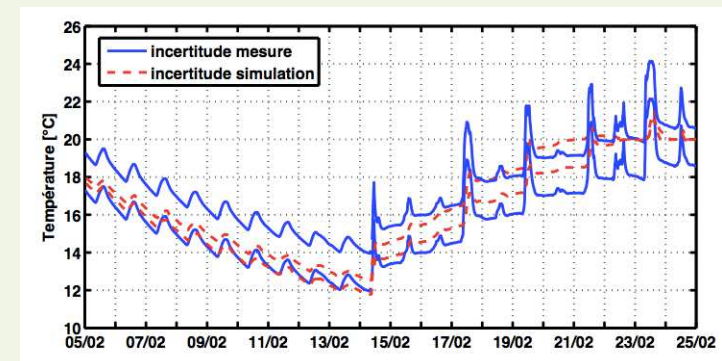
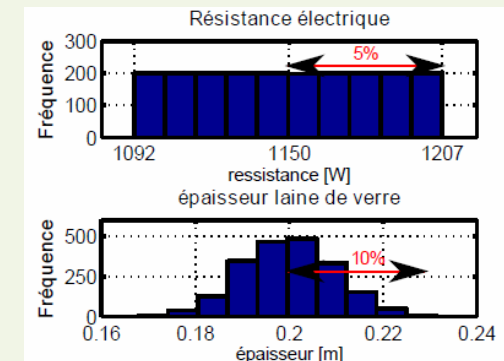
2. Incertitude sur la réponse simulée

■ Objectifs :

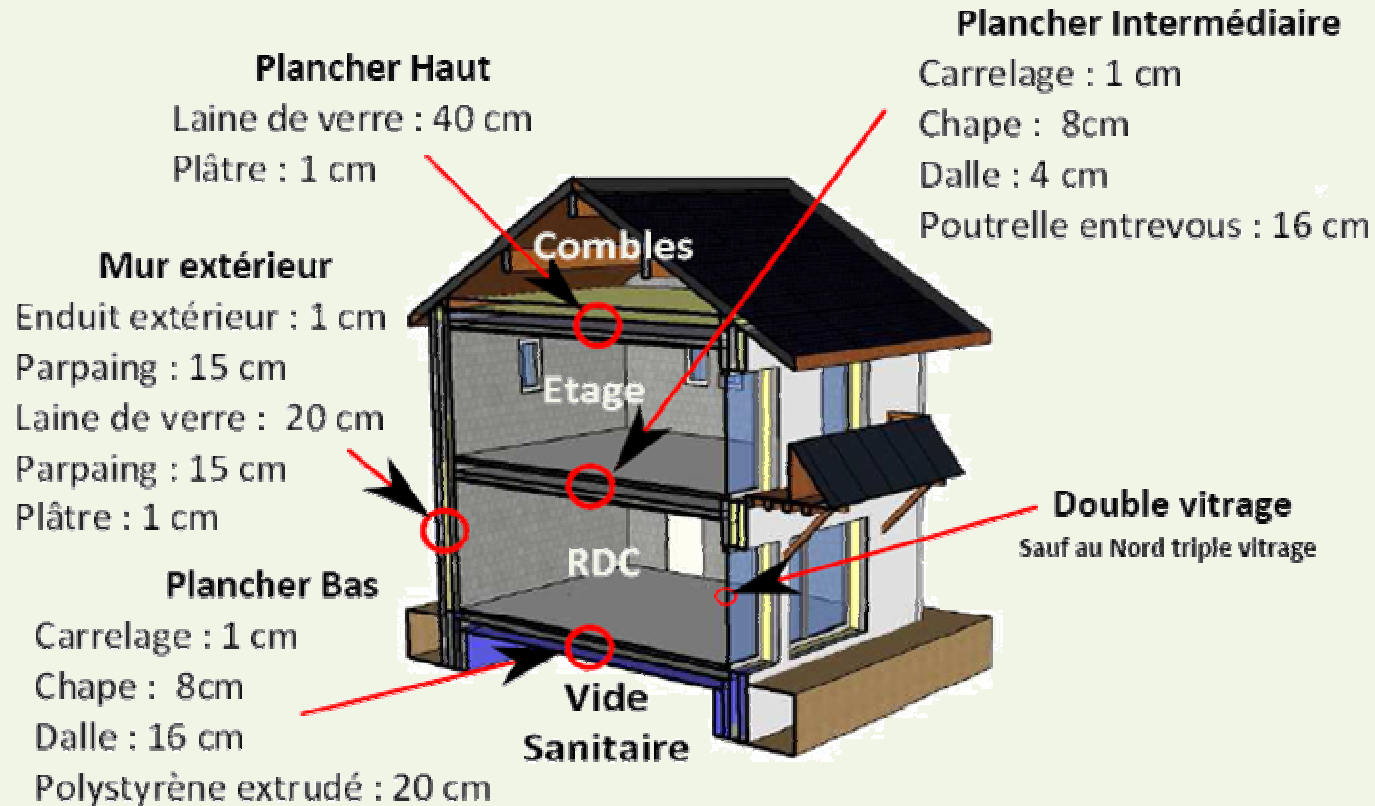
- Quantifier les incertitudes sur les résultats de simulation
- Identifier les paramètres/sollicitations les plus influents sur les résultats
- Caractériser le potentiel des méthodes en fonction de la nature du modèle, des incertitudes, etc.

■ Méthodes :

- Approche ensembliste : analyse par intervalles
- Approches probabilistes
- Optimisation multicritères
- ...



Présentation du cas test étudié



Scénario: Une famille de 4 personnes
ayant des appareils économes en énergie

Identification des paramètres incertains

■ 140 paramètres :

- La conductivité, l'épaisseur, la chaleur spécifique et la masse volumique des matériaux opaques
- L'absorptivité et l'émissivité pour les enduits intérieurs et extérieurs
- Les caractéristiques du vitrage pour les matériaux translucides
- Les caractéristiques des volets
- La résistance thermique de la porte d'entrée
- L'albédo
- Le débit de ventilation sa répartition entre les 2 zones (RDC et étage)
- Le débit d'infiltration
- Les coefficients de convection

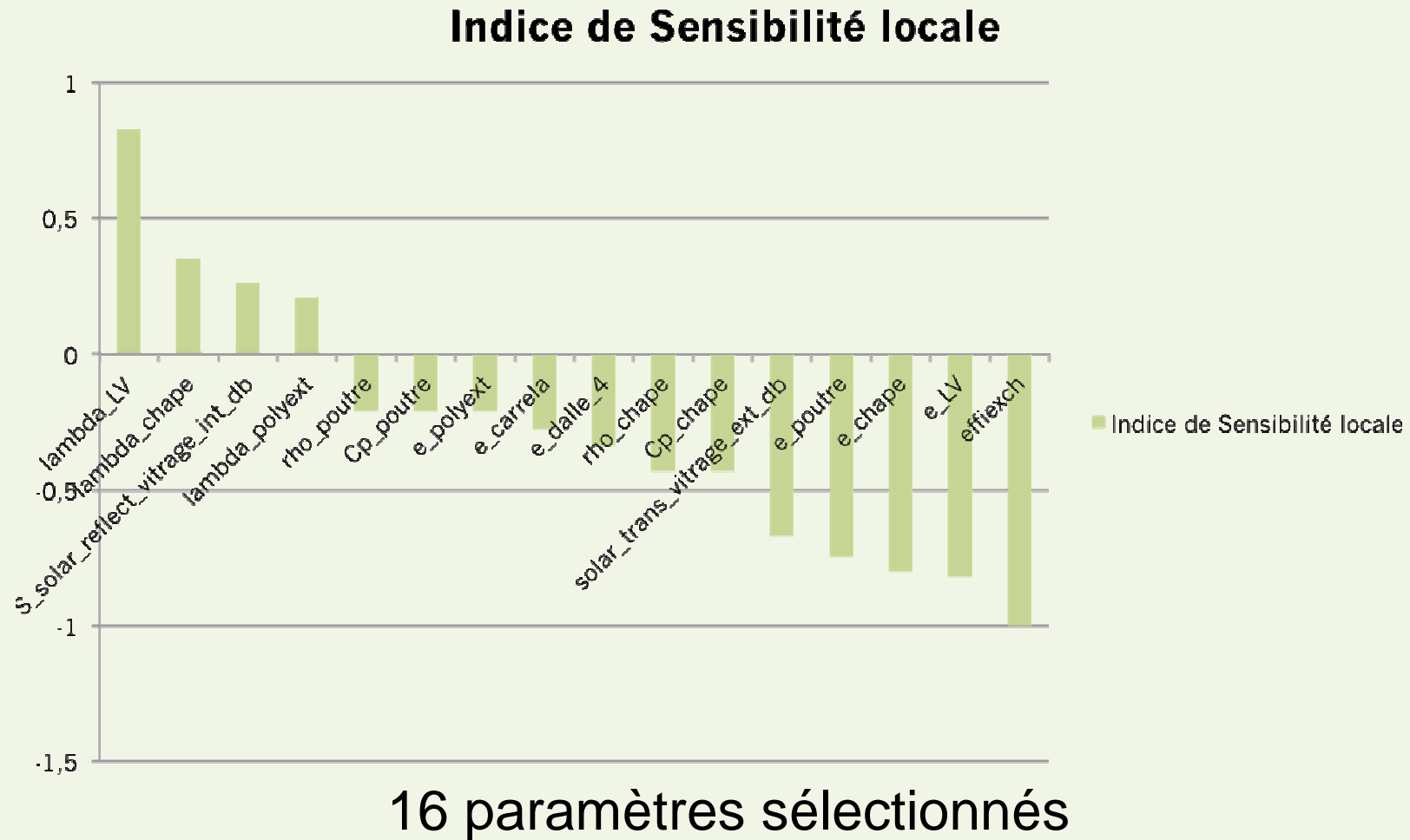
Etude de sensibilité locale

- **L'indice de sensibilité locale normalisé:**

$$S_i(t) = \frac{X_i \frac{\Delta y_k(t)}{\Delta X_i}}{S_{max}(t)}$$

- **L'indice de sensibilité locale pour 2 sorties:**
 - Les besoins en chauffage
 - L'inconfort d'été (le nombre d'heures où la température dépasse 27°C)

Analyse de sensibilité sur les besoins annuels de chauffage



Analyse de sensibilité sur l'inconfort d'été

Indice de Sensibilité locale



13 paramètres sélectionnés

Quantification incertitudes sur les paramètres sélectionnés

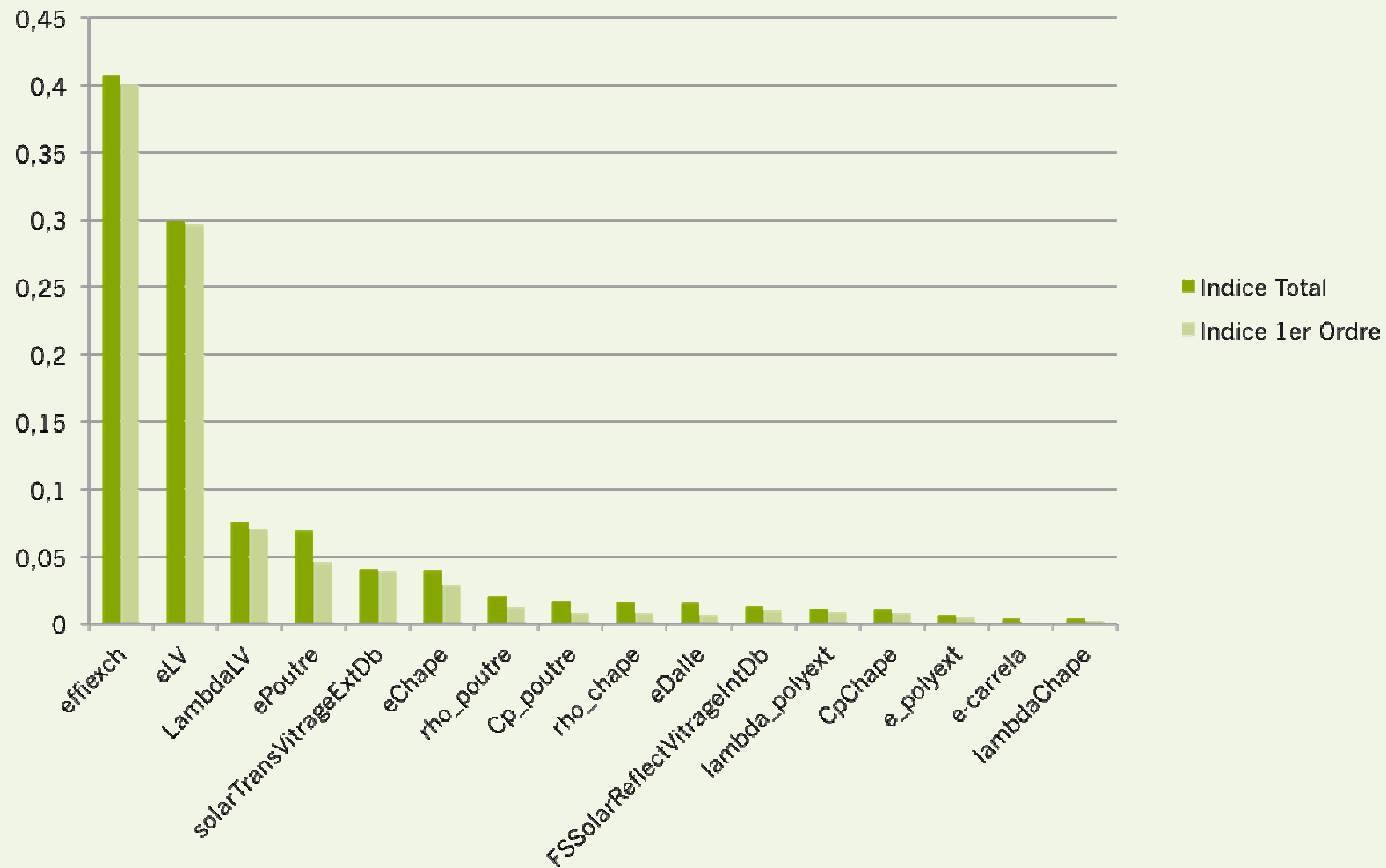
- **Conductivité : Loi normale, 5% d'incertitudes**
- **Épaisseur, chaleur spécifique, masse volumique: Loi normale, 10% d'incertitudes**
- **Caractéristiques des vitrages: Loi normale 5% d'incertitudes**
- **Efficacité échangeur: Loi uniforme 10% d'incertitudes**

Calcul des incertitudes et des indices de sensibilité globale

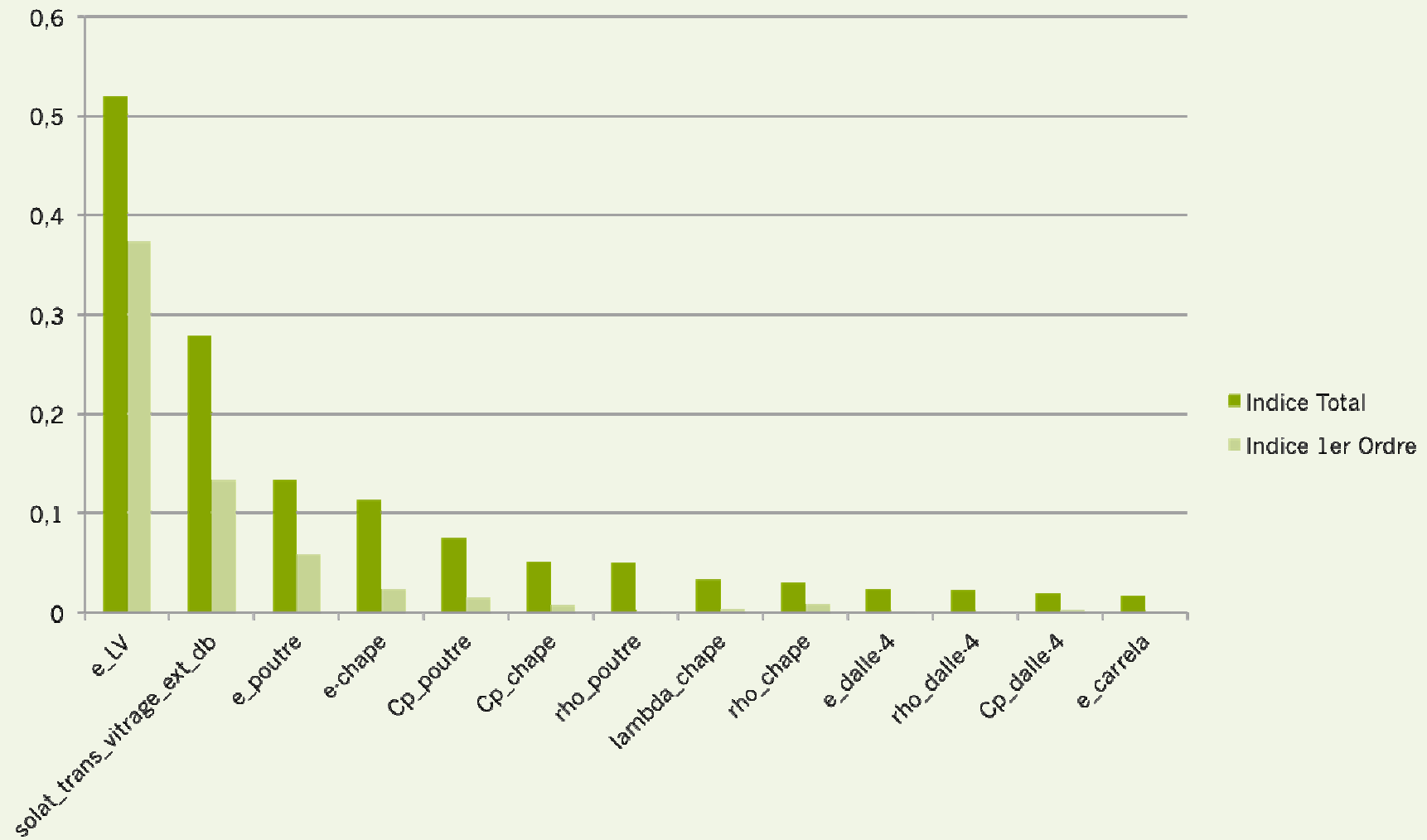
- Construction d'un méta-modèle à base de polynômes de chaos (OpenTURNS)
- Besoins en chauffage :
 - $10 \pm 20\%$ [KWh/(m².an)]
- Inconfort d'été (nb h > 27°C)
 - $290 \pm 15\%$ [h]



Indices de Sobol – Besoins en chauffage



Indices de Sobol – Inconfort d'été



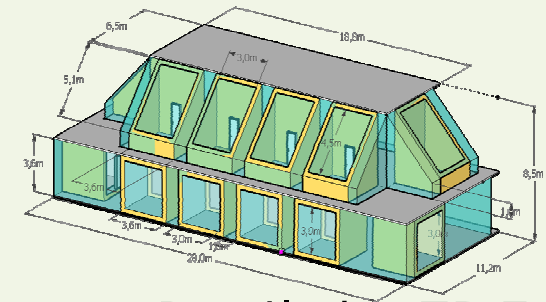
Travail en cours

- **Caractériser le potentiel des méthodes de propagation au regard de la nature :**
 - Des modèles (complexité, taille, disponibilité, ...)
 - Des incertitudes

- **Rendre ces méthodes accessibles aux bureaux d'études**

3. Validation expérimentale de modèles

- **Conception et réalisation des expériences**
 - Qualification des mesures au moyen du modèle
- **Analyse de la validité des modèles**
 - **Cohérence entre mesures et simulations**
 - Quantification des incertitudes
 - Analyse des écarts
 - **Diagnostic des modèles**


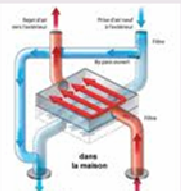


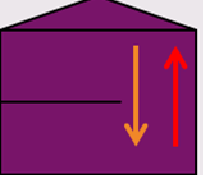

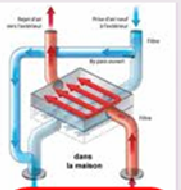


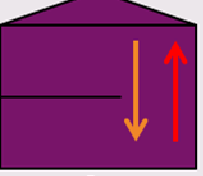

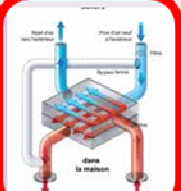


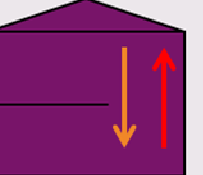

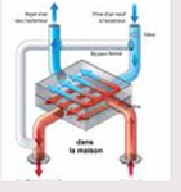


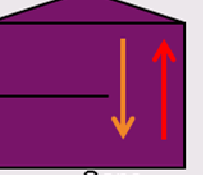

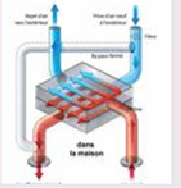


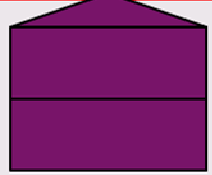


Bestlab, EDF


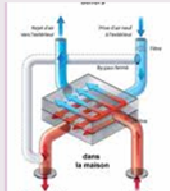


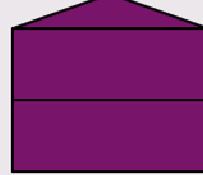

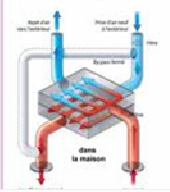
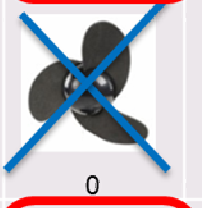

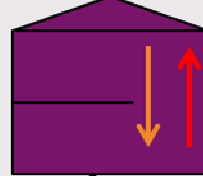

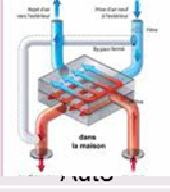


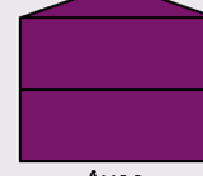

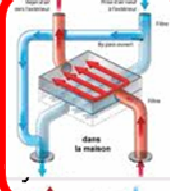


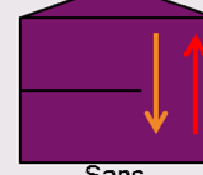

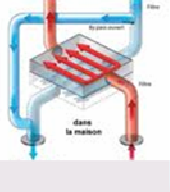

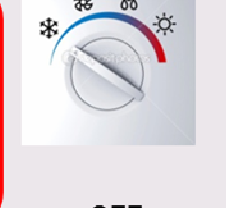
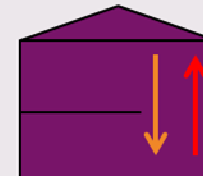
INCAS, CEA



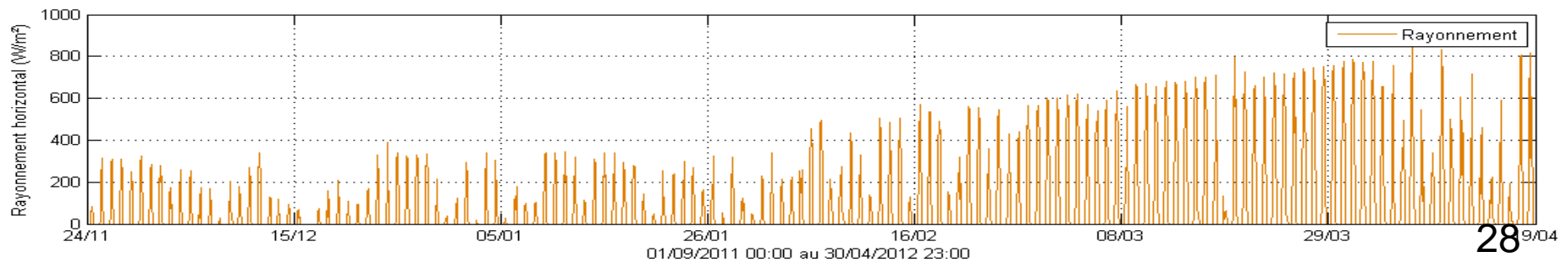
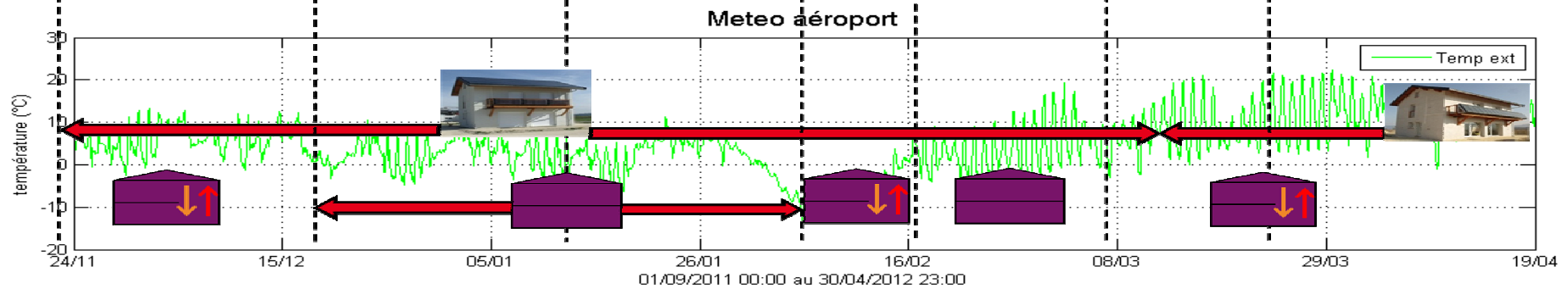
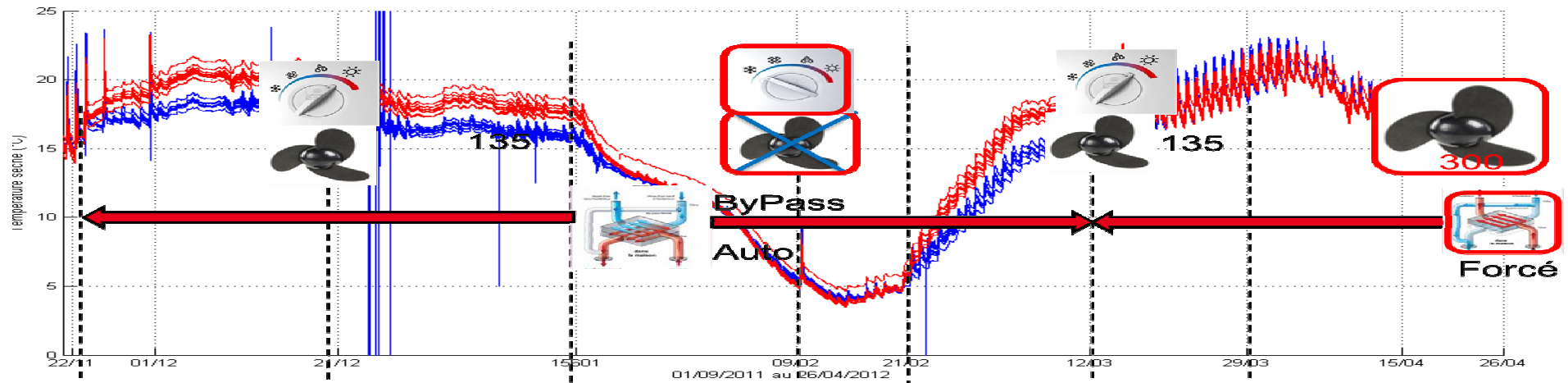
Scénarios réalisés

Nb jours	Début	Fin	Volets	Régime VMC	Débit VMC	Consigne chauffage	Séparation RDC-étage
21	13/09/2011	04/10/2011	 Fermés		 110	 OFF	 Sans
49	04/10/2011	22/11/2011	 Ouverts		 110	 OFF	 Sans
3	22/11/2011	30/11/2011	 Intermittents		 135	 22	 Sans
20	01/12/2011	21/12/2011	 Fermés		 135	 24	 Sans
25	21/12/2011	15/01/2012	 Fermés		 135	 24	 Avec

Scénarios réalisés

Nb jours	Début	Fin	Volets	Régime VMC	Débit VMC	Consigne chauffage	Séparation RDC-étage
24	16/01/2012	09/02/2012	 Fermés		 0	 OFF	 Avec
11	09/02/2012	20/02/2012	 Fermés		 0	 OFF	 Sans
19	21/02/2012	11/03/2012	 Fermés		 135	 24	 Avec
17	12/03/2012	29/03/2012	 Ouverts		 135	 OFF	 Sans
16	30/03/2012	15/04/2012	 Ouverts		 300	 OFF	 Sans

Mesures de novembre à avril



Cohérence prévisions / mesures

- Qualification des données expérimentales réalisées

- De nouvelles préparations

- Comparaison BESTLAB



t en

emple sur

Cellule BESTLAB

Echelon de puissance sur la cellule RDC S2 de BESTLab

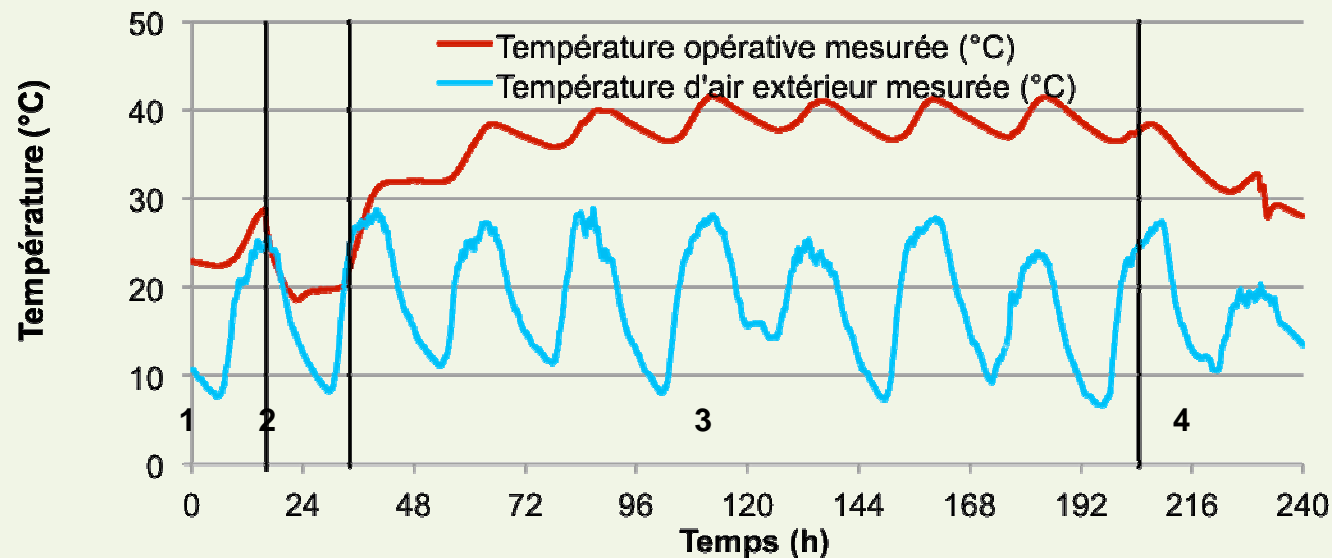
- Cellule vitrée
- Orientation : Sud
- Dimensions de la cellule :
 - ✓ Profondeur : 2,98 m
 - ✓ Largeur : 2,89 m
 - ✓ Hauteur : 2,84 m
- Zone de garde tout autour de la cellule



Les conditions d'expérience

Echelon de puissance sur la cellule RDC S2 de BESTLab

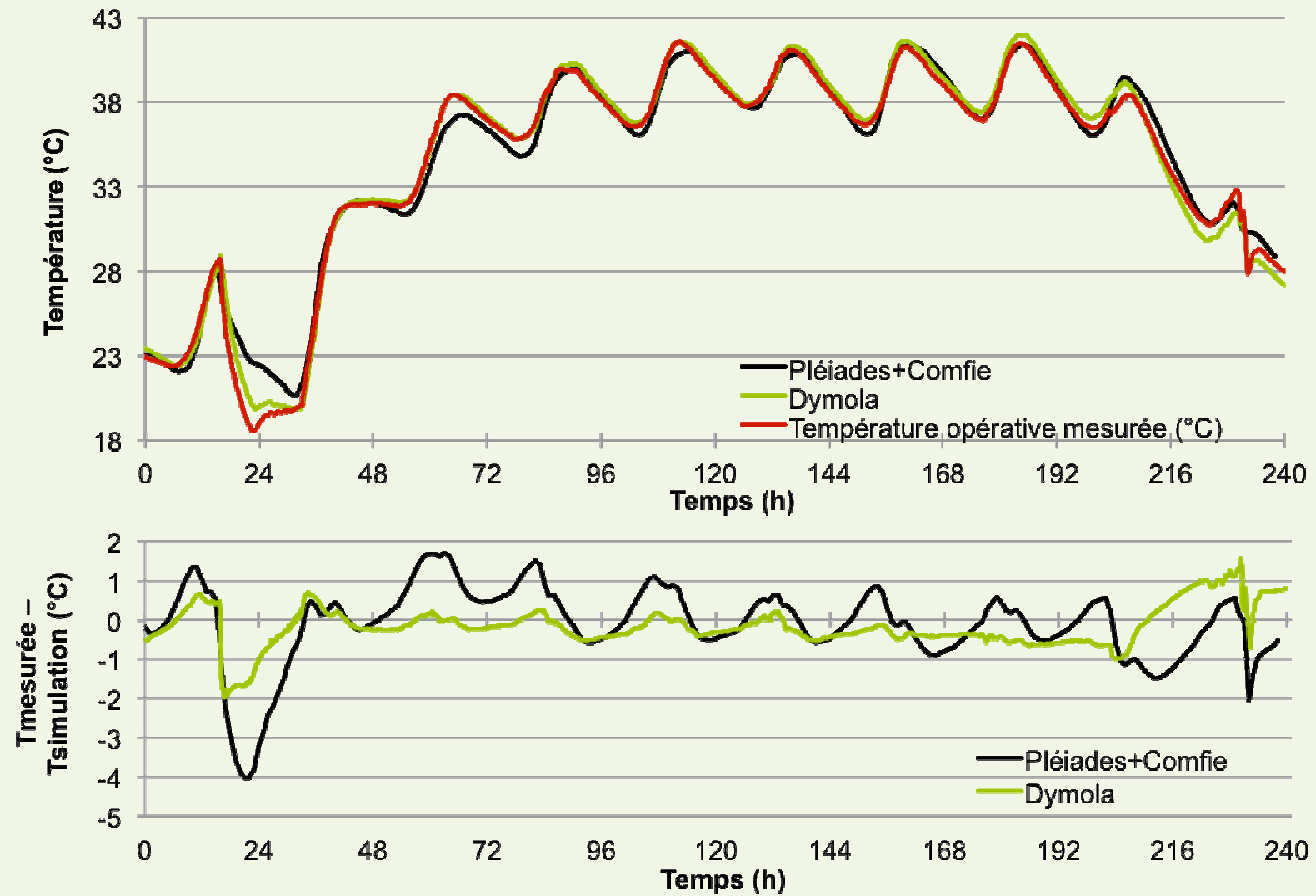
1. **Evolution libre** sur 17h avec une puissance de ventilation de 27 W
2. **Consigne de refroidissement** à 20°C sur 17h avec $P_{\text{vent}} = 27 \text{ W}$
3. **Echelon de puissance** sur 7 jours : $P = P_{\text{vent}} + P_{\text{chauffage}} = 171 \text{ W}$
4. **Evolution libre** avec $P_{\text{vent}} = 27 \text{ W}$



Hypothèses de modélisation

	Dymola	Pléiades+Comfie
Infiltrations	Négligées ($Q_{4PaSurf} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$)	
Renouvellement d'air	Considéré nul	
Ponts thermiques	Conductance unique entre le nœud d'air intérieur et la dalle de plancher	Données réglementaires (appui de fenêtre, porte du fond, liaisons façade extérieure/plancher bas et intermédiaire)
Centrale de Traitement d'Air (CTA)	Inertie mesurée de 50 000 J/K au centre de la cellule	CTA remplacée par du mobilier d'inertie 100 Wh/K
Pas de temps des données	5 minutes	1 heure
Zonage	1 zone thermique	1 zone thermique pour la cellule + 1 zone derrière chaque mur en contact avec la zone de garde
Initialisation	Régime permanent : utilisation de la première valeur de mesure pour les différentes entrées	Janvier à avril : première journée en termes de données météo avec une initialisation de la température intérieure à 23°C. Puis 3 périodes complètes identiques avec exploitation de la dernière.

Comparaison Mesures/Simulations



Travail en cours

- **Exploiter les séquences expérimentales**
- **Elaborer une méthodologie de comparaison prévisions/mesures tenant compte des incertitudes**
- **Qualifier les modèles et hypothèses revisités**

4. Valorisation et dissémination des résultats

- **Valorisation des résultats à destination de la communauté scientifique**
- **Valorisation des résultats à destination des utilisateurs finaux (BET)**
 - Calcul d'incertitudes avec Comfie/Pleiades (composant logiciel dédié)
 - Processus de décision : implication de BET (STD) et CSTB (COMETH - RT2012)

Merci pour votre attention et bon appétit !

■ **Contact**

Laurent Mora

laurent.mora@u-bordeaux1.fr

<http://i2m.u-bordeaux.fr>

