

# MODÈLE THERMIQUE DE BÂTIMENT COUPLÉ À SOLENE- MICROCLIMAT : PRISE EN COMPTE DES HÉTÉROGÉNÉITÉS THERMIQUES

**AULINE RODLER**

Institut de Recherche en Science et Technique de la Ville (IRSTV) – Ecole Centrale de Nantes, CNRS : UMR2488 – 1, rue de la Noe 44300 Nantes, France

Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités (CRENAU) – UMR Ambiances Architectures Urbanités (UMR AAU) - CNRS (UMR1563), École Centrale de Nantes – ENSA Grenoble - ENSA Nantes - 6 quai François Mitterrand - BP16202 - 44262 Nantes Cedex 2, France

# CONTEXTE ET OBJECTIFS

## Projet H2020 Built2spec :

1. Développer/adapter des outils pour l'aide au diagnostic de performances de bâtiments récents ou anciens
2. Mieux comprendre les sources d'écarts entre modélisation et mesure

—————> **Thermique du bâtiment : Impact de défauts au sein de l'enveloppe à l'échelle d'un bâtiment dans son environnement urbain.**

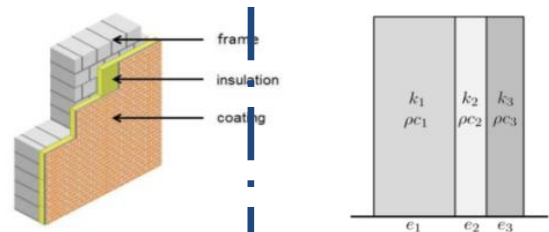
### Défauts

- Manque d'isolant / Changement d'épaisseur
- Matériaux différents de ceux initialement prévus
- Propriétés différentes de celles prévues

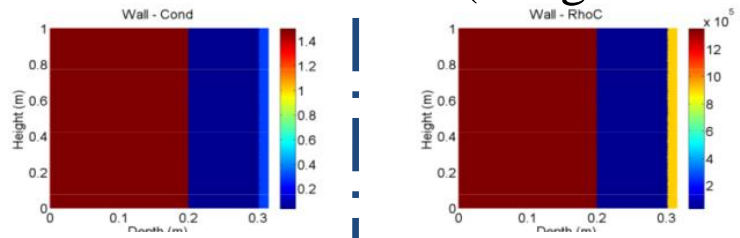


Propriétés thermiques différentes et hétérogènes sur et dans l'enveloppe

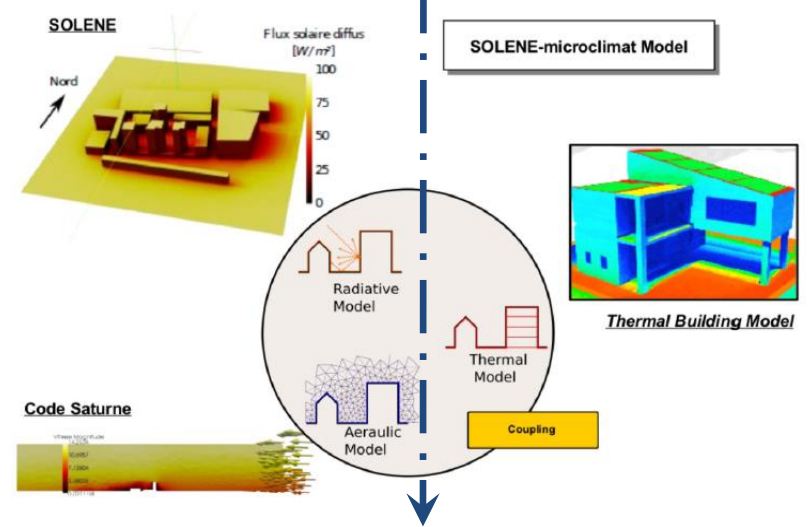
# MÉTHODOLOGIE



Localisation et caractérisation d'un défaut (Image IR – Méthodes inverses)



Modélisation du bâtiment dans son environnement urbain  
(Solene MicroClimat + Modèle thermique d'enveloppe de bâtiment)



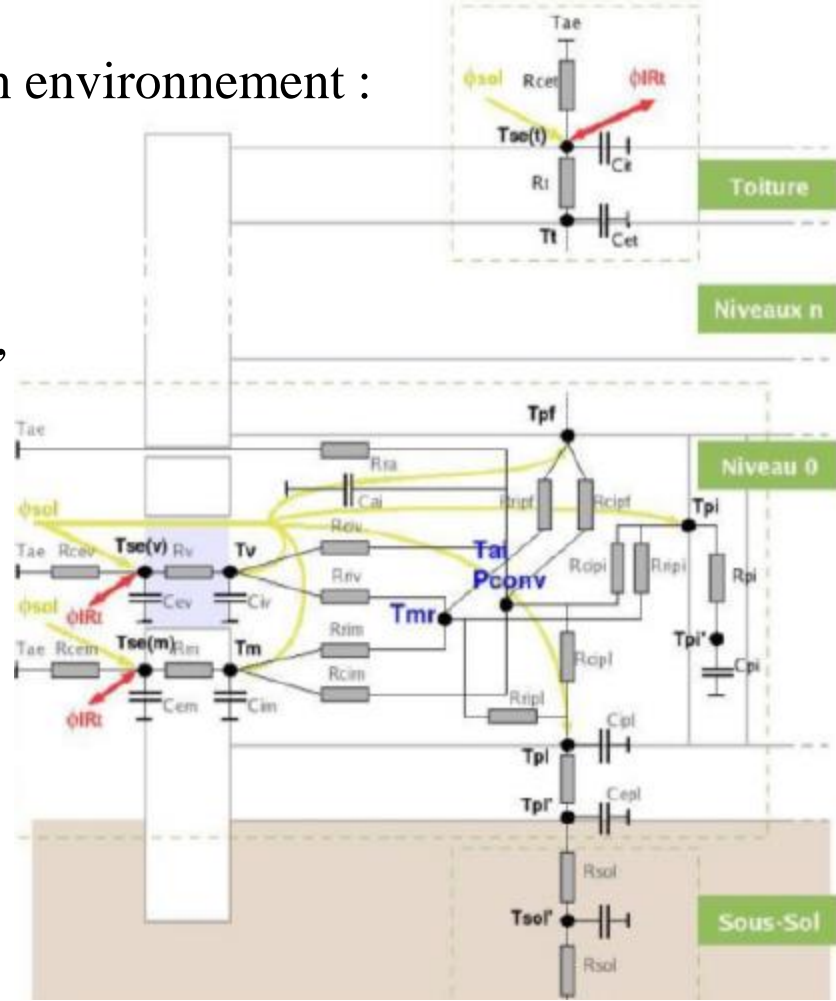
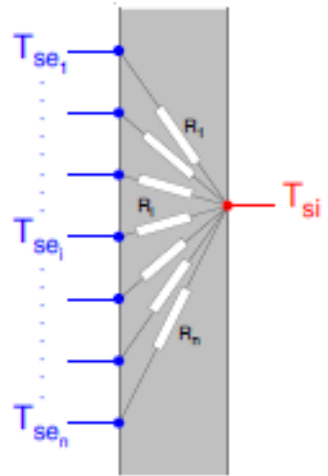
Impact des défauts sur la thermique du bâtiment dans son environnement

# MODÈLE – PARTIE THÉORIQUE

Modèle de Bouyer et al.(2009)

Comportement thermique d'un bâtiment dans son environnement :

- Evolution libre ou forcé
- Multizone (zone / étage)
- Modèle de paroi : 1R2C
- Par étage : 1 température de surface intérieure, 1 température d'air et radiante, 1 température de plancher, de plafond, vitrage et mur, besoin en chauffage, températures de surfaces extérieures

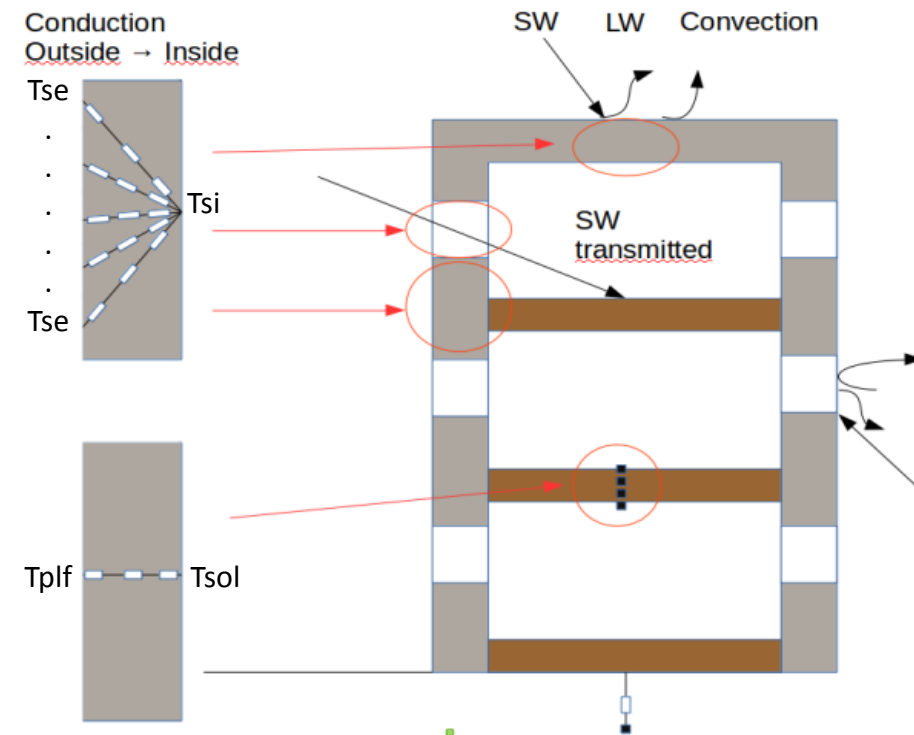


# MODÈLE – PARTIE THÉORIQUE

Nouveau modèle :

Comportement thermique d'un bâtiment dans son environnement :

- **Modèle éléments finis**
- **Maillage adaptatif : optimiser**
- **Méthode de résolution stable et robuste**
- **Impact de l'orientation des faces : 1 température de surface intérieure **par face****
- **Profils de température dans les parois**



# MODÈLE – PARTIE THÉORIQUE

## Input

- ✓ **3D Model** of the urban scene
- ✓ **Boundary conditions** (Radiation, Outside temperature, Wind, sky temperature or Downward flow )
- ✓ For the building and the surrounding :  
**Thermal data** of the wall layers and windows  
**Optical characteristics**
- ✓ **SOLENE** : short wave radiation after interreflections for the simulation period

## Calculation

**1D Heat equation** in finite differences  $n.R(n+1).C$   
**Balance equations** at the surfaces :  $\varphi_{cond} + \varphi_{conv} + \varphi_{rad} = 0$   
**Air balance equation**

**SOLENE** : balance equation of the scene's triangles

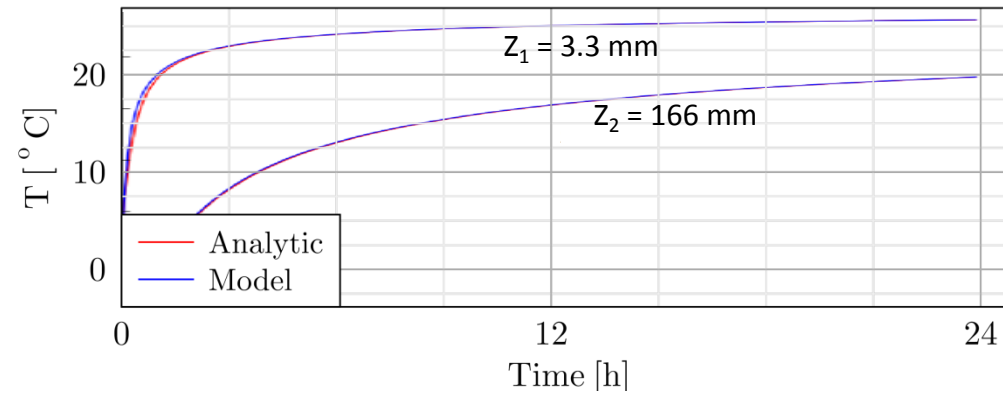
## Outputs

- ✓ **Outside surface temperature / heat flow cartography** for the triangles of the entire 3D model
- ✓ **Inside surface temperatures** or heat flows for each wall and per floor
- ✓ **Air temperature/ energy or power need**



# VALIDATION – COMPARAISON

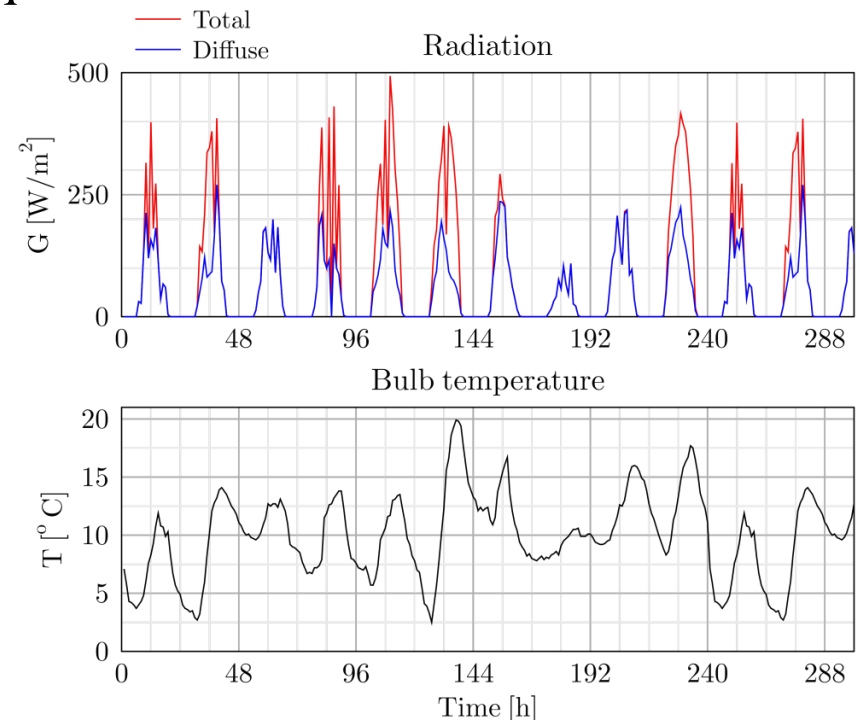
## 1. Solution analytique (Profil de température en conditions adiabatiques)



# VALIDATION – COMPARAISON

## 2. Comparaison avec TrnSys

- Bâtiment R+2
- Conditions météorologique de mi-saison
- Mêmes coefficients d'échanges convectifs
- Pas d'échanges GLO scène – bâtiment
- Caractéristiques thermiques identiques
- Propriétés de vitrage identiques

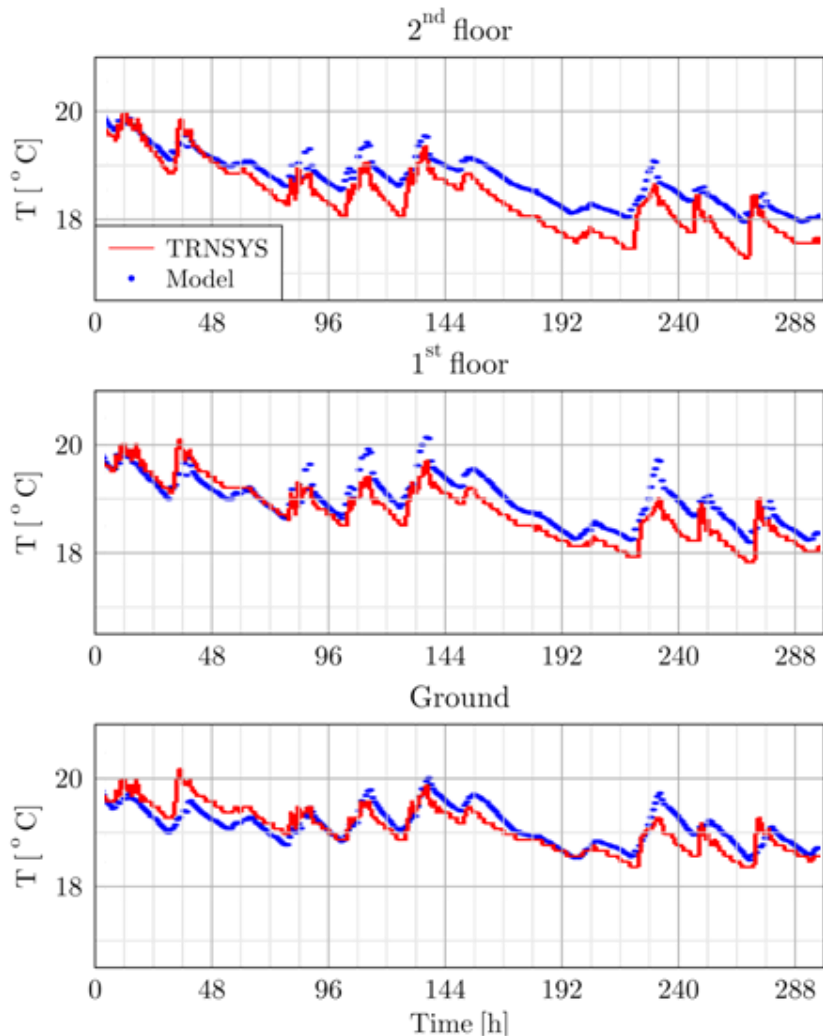




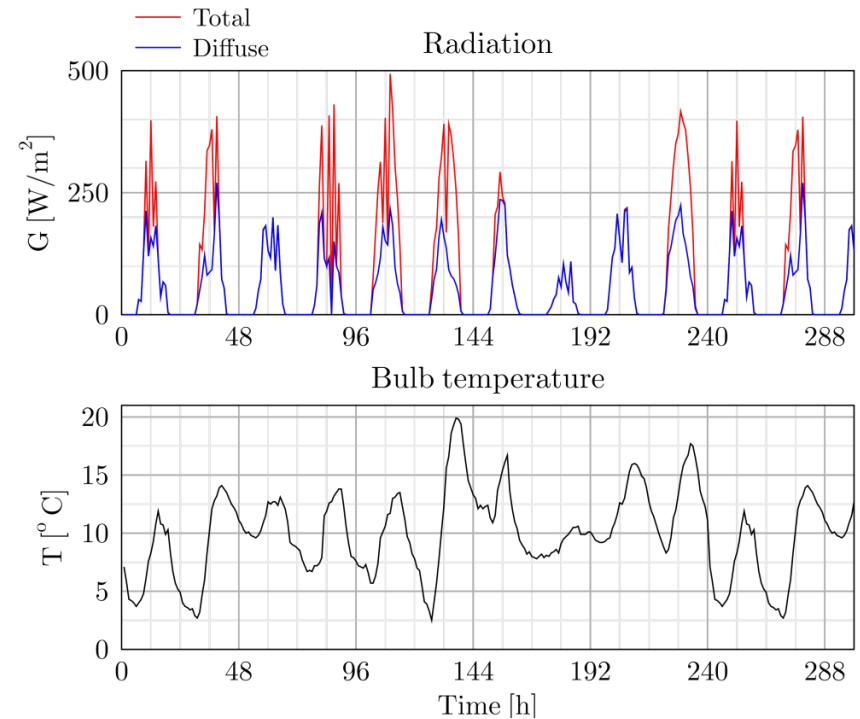
# VALIDATION – COMPARAISON

## 2. Comparaison avec TrnSys

- Bâtiment R+2



- Evolution libre:  $\pm 0,5$   $^{\circ}\text{C}$  d'écart
- Régime forcé (Consigne : 19  $^{\circ}\text{C}$ )
  - 4 % sur RdC et 1<sup>er</sup> étage



# APPLICATIONS – IMPACT DE LA CONDUCTIVITÉ ET DE L'ÉPAISSEUR DE L'ISOLANT (À L'ÉCHELLE GLOBALE DU BÂTIMENT)

→ Etude des écarts de consommations de chauffage pour des variations de la conductivité et de l'épaisseur de l'isolant (isolation par l'extérieur)

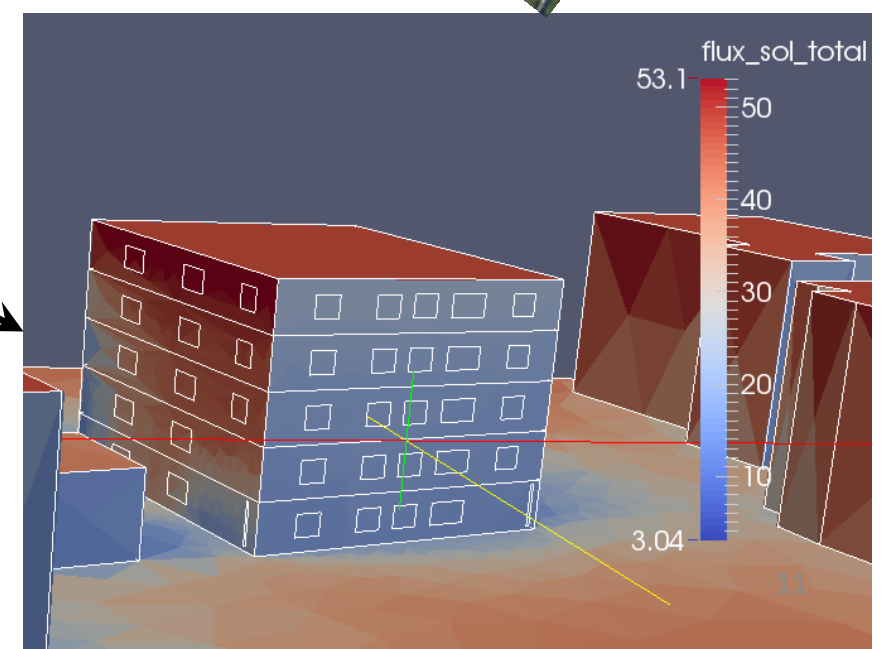
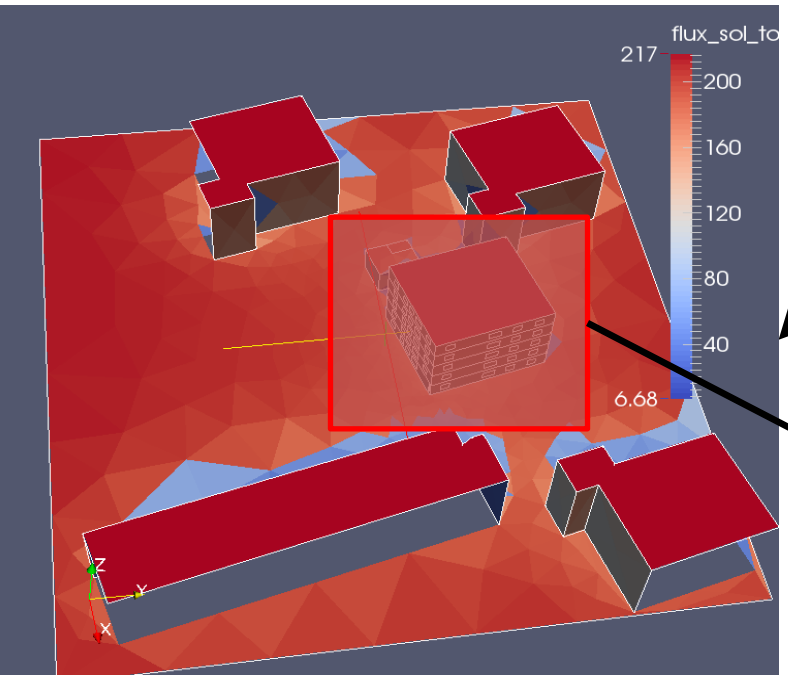
## Hypothèses :

	Coating 1cm	Insulation 10 – 18cm	Concrete 25cm	Plaster 1.3cm
Conductivity (W/mK)	0.75	0.032±0.012	1.33	0.42
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1450	30	2300	1200
Heat capacity (J/kgK)	1000	1000	880	850

Simulation	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>
Thickness [cm]	15	18	15	18	15	18	10	14	10	14
Conductivity [W/mK]	0.03	0.03	0.04	0.04	0.045	0.045	0.022	0.022	0.03	0.03
U <sub>rdcextREC</sub> [W/K]	15.3	14.2	17.5	16.4	18.3	17.3	15.1	13.3	17.4	15.7
U <sub>etageext</sub> [W/K]	28.9	25.3	35.1	31.1	37.8	33.7	30.9	24.2	37.8	30.3
U <sub>plfext</sub> [W/K]	14.5	13.5	16.9	15.9	17.9	16.9	13.8	12.3	16.4	14.8
Insulation	Woolen						Polyurethane			

# APPLICATIONS – IMPACT DE LA CONDUCTIVITÉ ET DE L'ÉPAISSEUR DE L'ISOLANT (À L'ÉCHELLE GLOBALE DU BÂTIMENT)

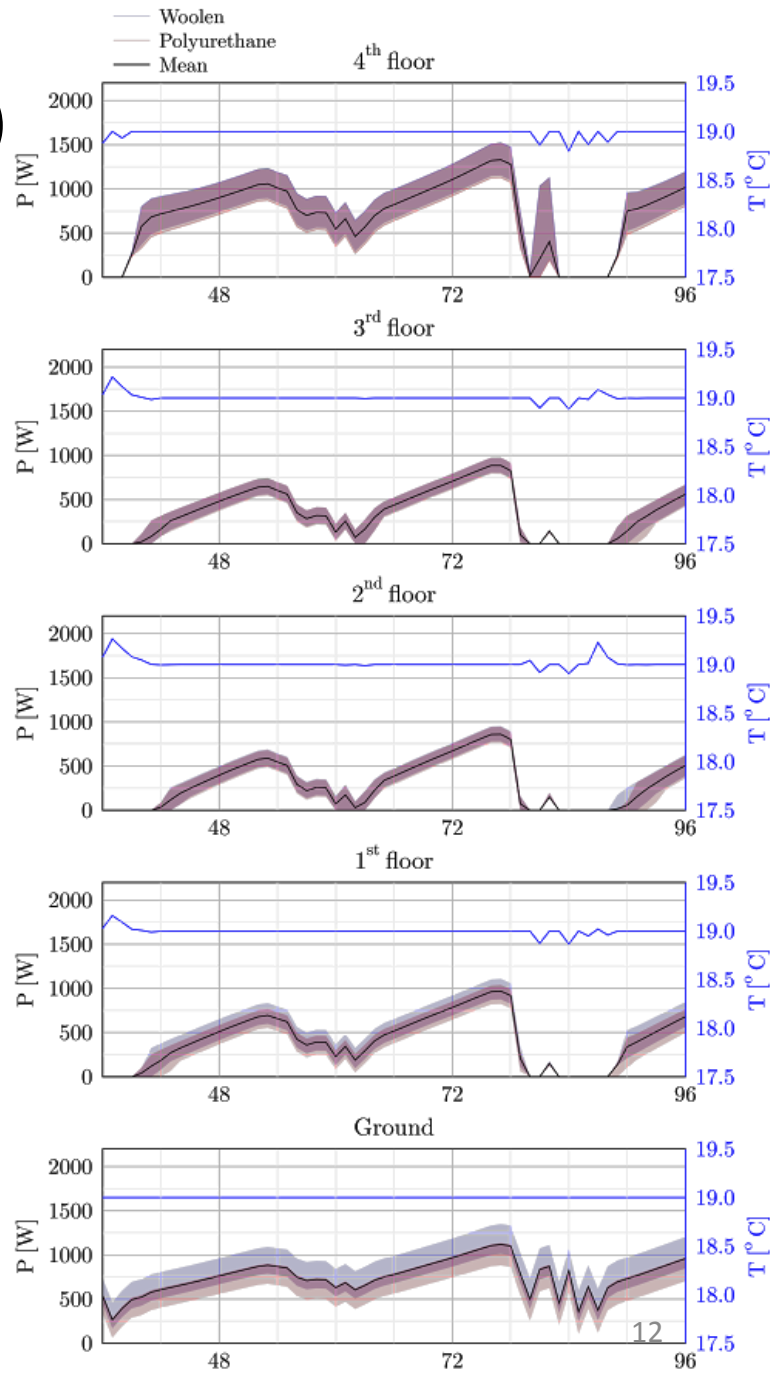
Quartier / Lotissement : Le Perray à Nantes  
Bâtiment central : R+4



# APPLICATIONS – IMPACT DE LA CONDUCTIVITÉ L'ISOLANT (À L'ÉCHELLE GLOBALE DU BÂTIMENT)

## 1. Intérêt du modèle

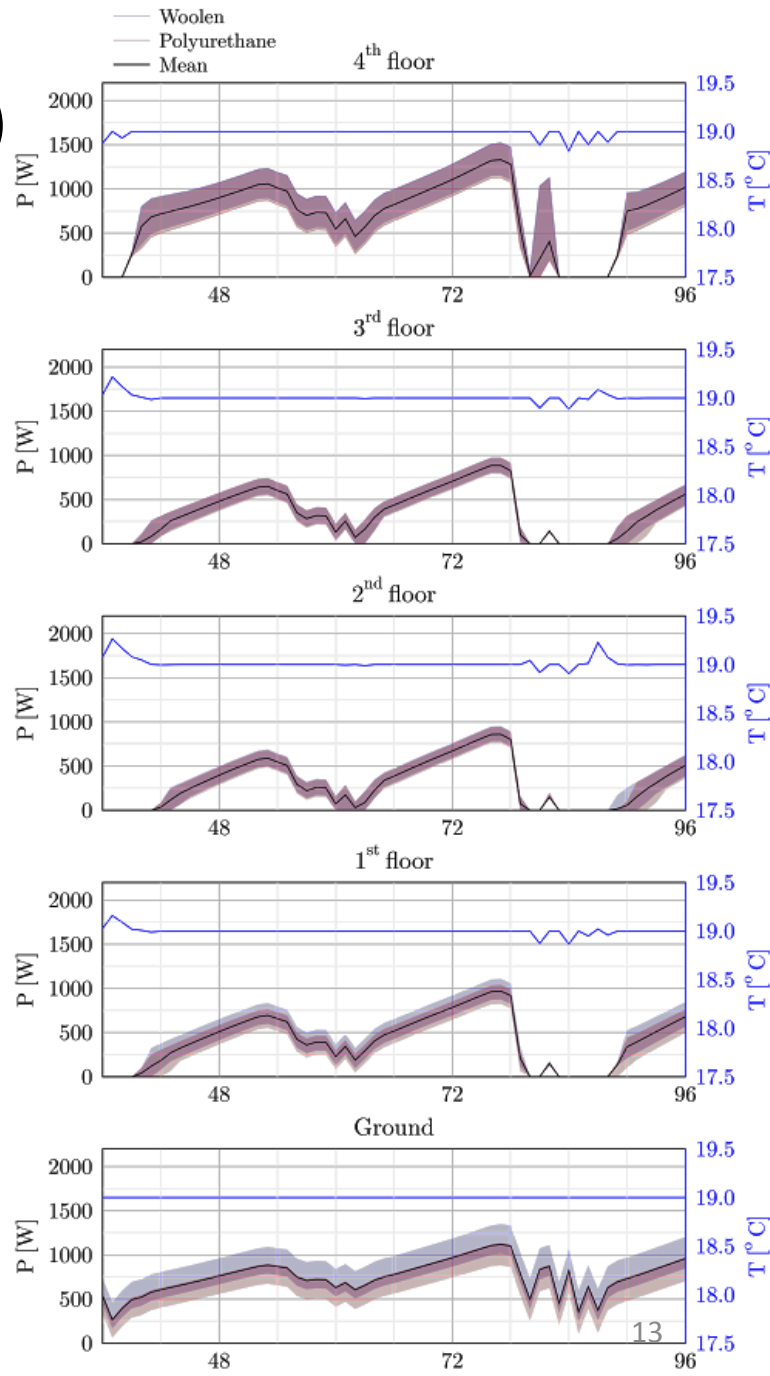
- Différences de puissances entre étages : plus de besoin de chaleur au RdC et 4<sup>ème</sup>.
- Plus de contact avec l'environnement extérieur
- Impact du couplage inter-étage sur les étages intermédiaires
- Dépassement de la consigne au niveau des étages mais pas au RdC :
- Apports solaires différents entre étages : INTERÊT DU COUPLAGE AVEC SOLENE - MICROCLIMAT



# APPLICATIONS – IMPACT DE LA CONDUCTIVITÉ L'ISOLANT (À L'ÉCHELLE GLOBALE DU BÂTIMENT)

- 2. Impact de la conductivité et de l'épaisseur :
  - Ecart plus importants au rez-de-chaussée et au dernier étage :
    - Différences de transfert de chaleur amplifiés par un contact plus important avec l'extérieur
  - Impact identiques selon les isolants pour tous les étages sauf RdC :
    - Conditions thermiques particulières liées à la dalle du plancher (+ béton, - isolant)

Mauvaise connaissance des caractéristiques de l'isolant → Introduction de barres d'erreurs



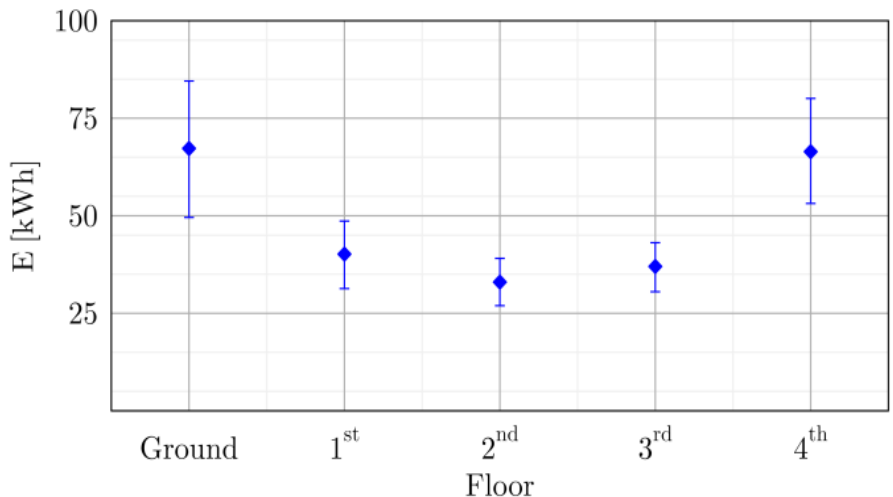
# APPLICATIONS – IMPACT DE LA CONDUCTIVITÉ ET DE L'ÉPAISSEUR DE L'ISOLANT (À L'ÉCHELLE GLOBALE DU BÂTIMENT)

Quantification (Puissance) :

$$\text{Ecart} = (P_{\max} - P_{\min}) / P_{\text{moy}}$$

Etage	RdC	1er	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>eme</sup>	4 <sup>eme</sup>
Laine de roche	61.70 %	35.88 %	28.33 %	29.49 %	58.45 %
Polyuréthane	46.78 %	33.86 %	28.48 %	31.68 %	62.49 %

Quantification (Energie) :



Etage	RdC	1er	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>eme</sup>	4 <sup>eme</sup>
Energie [kWh]	67 +25 % -26 %	40 +21 % -22 %	33 ±18 %	37 +16.5 % -17.5 %	66.5 +20.5 % -20 %

# APPLICATIONS – IMPACT DE LA CONDUCTIVITÉ ET DE L'ÉPAISSEUR DE L'ISOLANT (À L'ÉCHELLE GLOBALE DU BÂTIMENT)

- Impact séparément de la conductivité et de l'épaisseur

S9 – S2 : 10 - 18 cm ( $\lambda = 0.03$ )

S10 – S2 : 14 – 18cm ( $\lambda = 0.03$ )

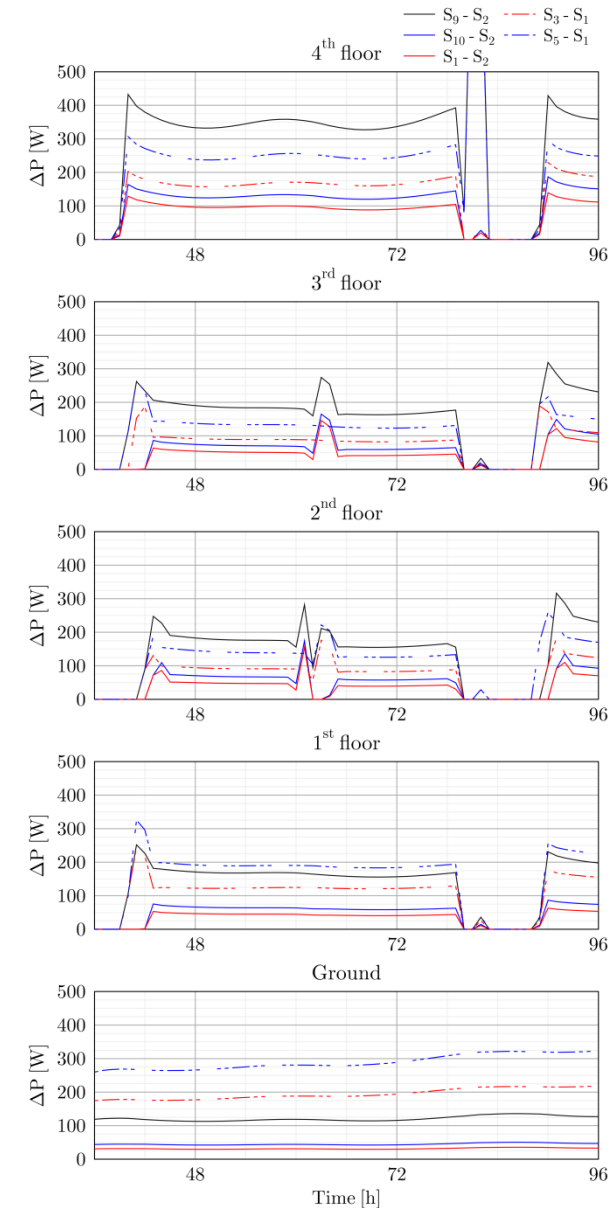
S1 – S2 : 15 - 18 cm ( $\lambda = 0.03$ )

S3 – S1 :  $\lambda = 0.03 – 0.04$  (15cm)

S5 – S1 :  $\lambda = 0.03 – 0.045$  (15cm)

Pour le RDC:

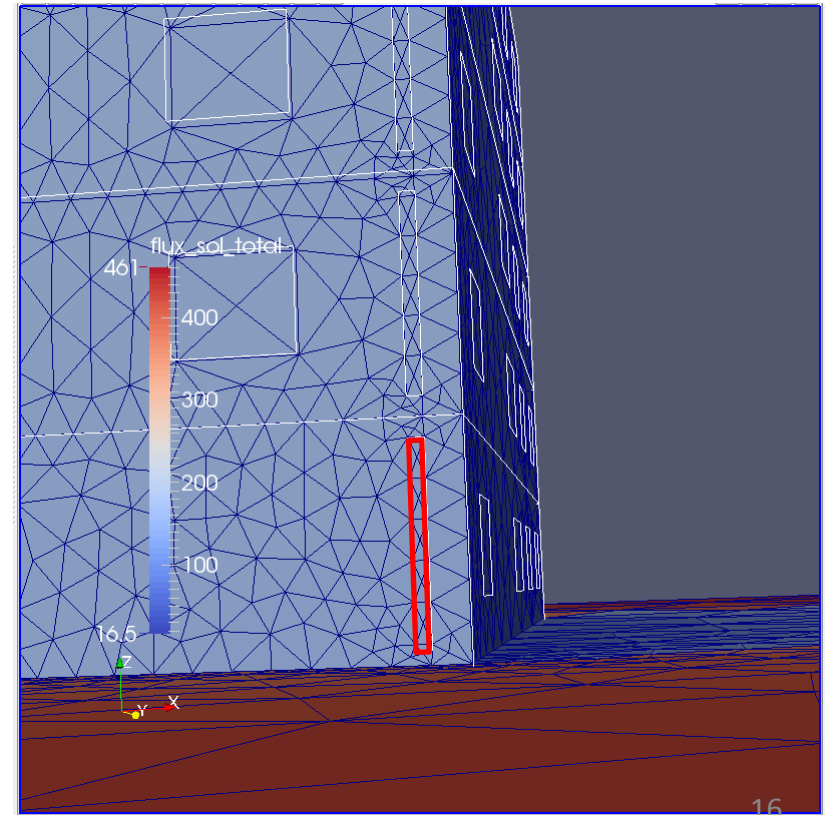
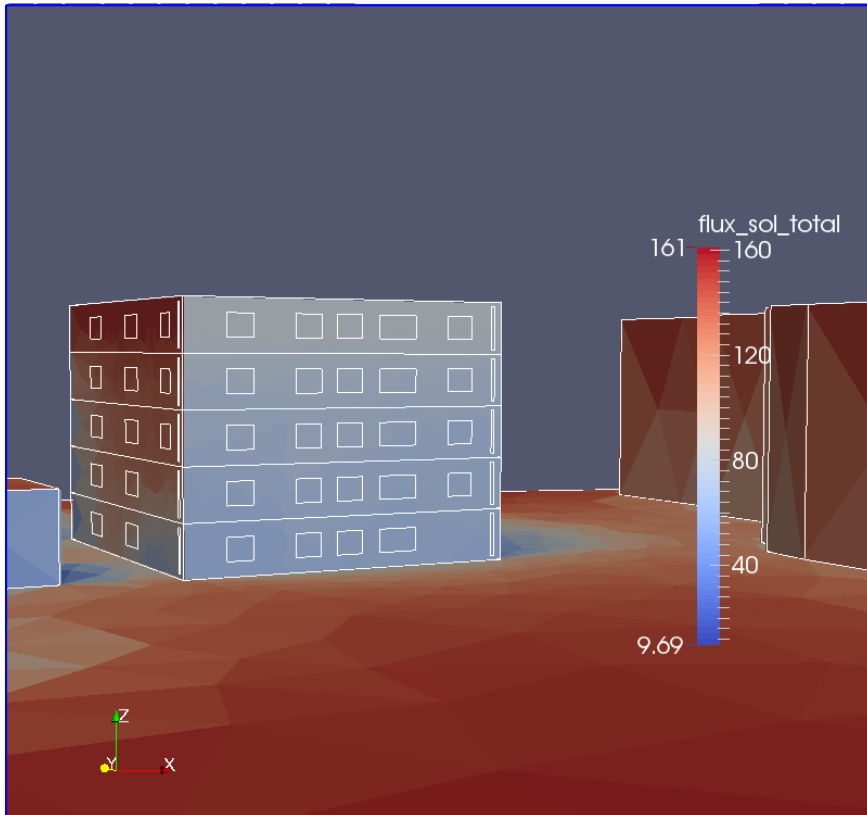
- A épaisseur constante : écart en énergie de **27%** pour la laine de roche ( $\lambda = 0.03 – 0.045$ )
- A épaisseur constante : écart en énergie de **20%** pour le polyurethane ( $\lambda = 0.022 – 0.03$ )
- A conductivité identique: écart en énergie de **10%** pour une laine de roche entre 15 -18 cm.
- A conductivité identique: écart en énergie de **8%** pour du polyuréthane entre 10 -14 cm.



# APPLICATIONS – IMPACT D'UN DÉFAUT LOCAL DE L'ISOLANT

→ Etude de l'impact d'un manque d'isolant sur une surface localisée

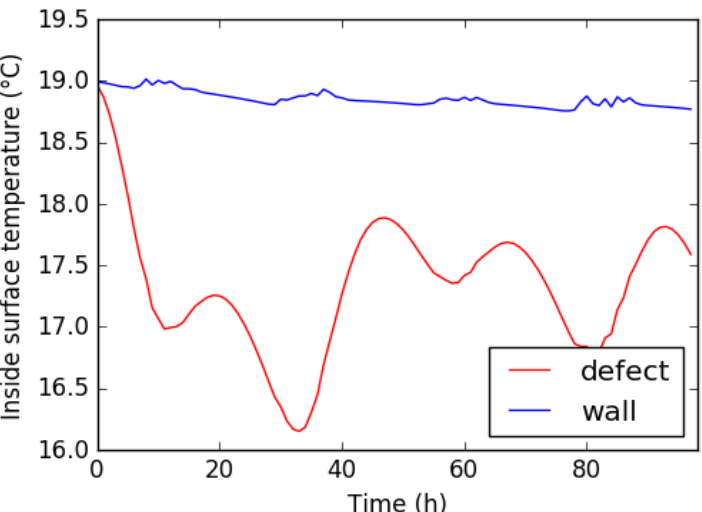
- Régime forcé
- Isolation par l'extérieur
- Surface du défaut de  $0.4 \text{ m}^2$  (0.48% de la surface de l'enveloppe de l'étage)



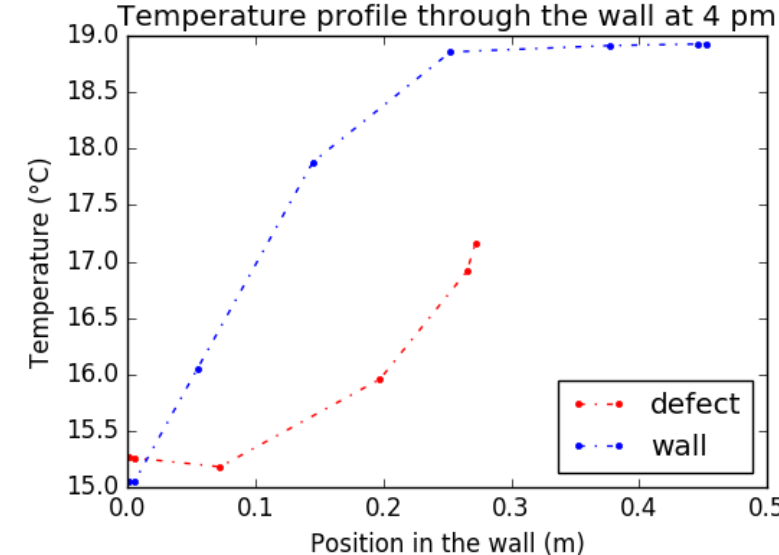
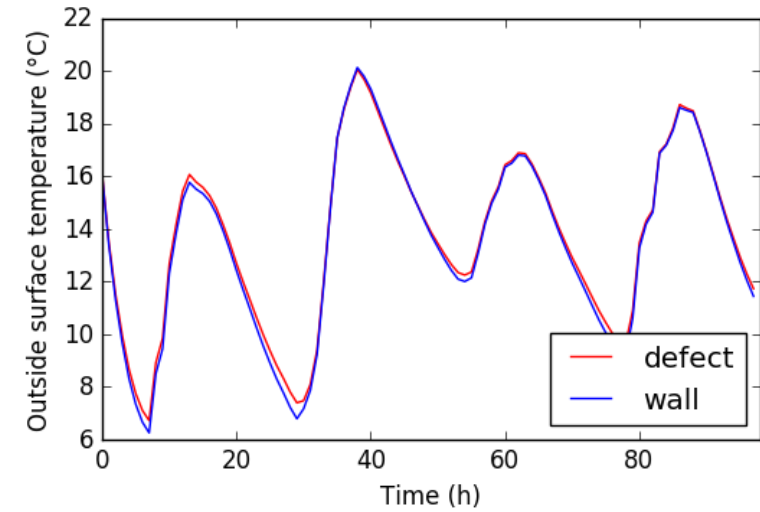


# APPLICATIONS – IMPACT LOCAL DE L'ISOLANT

## Températures de surface intérieure



## Températures de surface Extérieure



Quantification :

- Energie : 2.8 % sur le RdC
- Puissances : 30 W sur le RdC

# CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Adaptation du modèle : possibilité de la prise en compte de caractéristiques hétérogènes
- Influence de la conductivité et de l'épaisseur sur les consommations très élevée
- Influence d'un défaut local
- Perspectives:
  - Influence de la surface du défaut,
  - Etude pour différentes période de l'année et climats différents,
  - Impact sur le confort à l'intérieur