

THERMIQUE DU BÂTIMENT SUR LE SITE DE NANTES

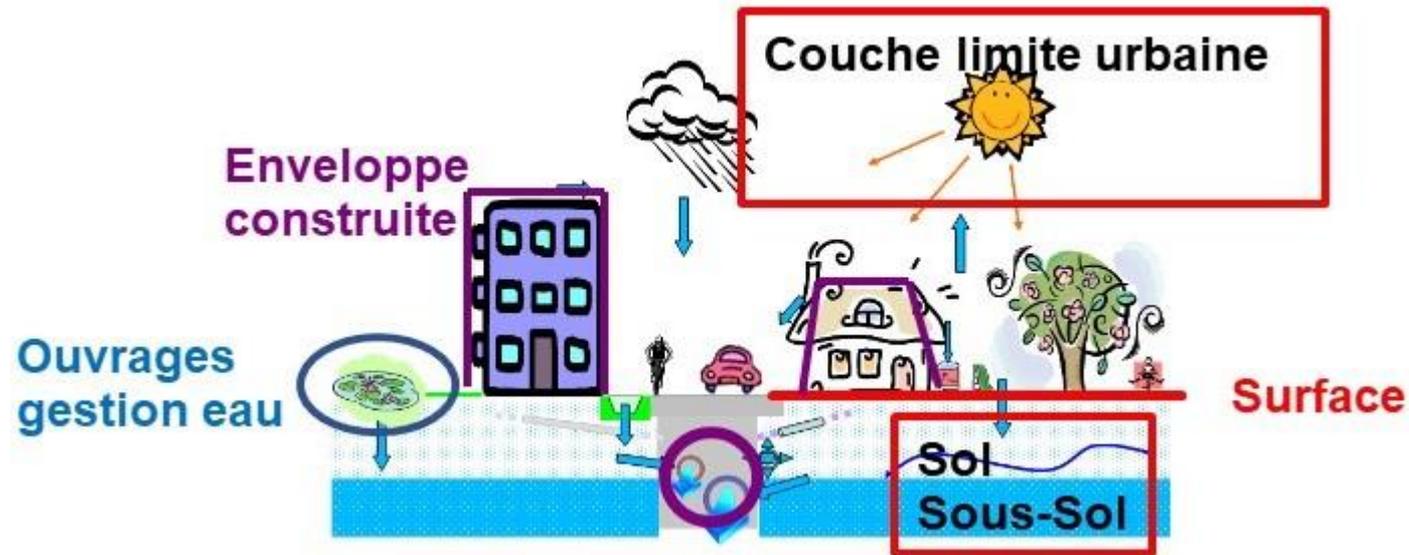
Sihem Guernouti, Auline Rodler, Marjorie Musy,

SOMMAIRE

- Objectifs
 - Instrumentation en place
 - Quelques résultats
 - Perspectives - projet CREATIV
-

OBJECTIFS

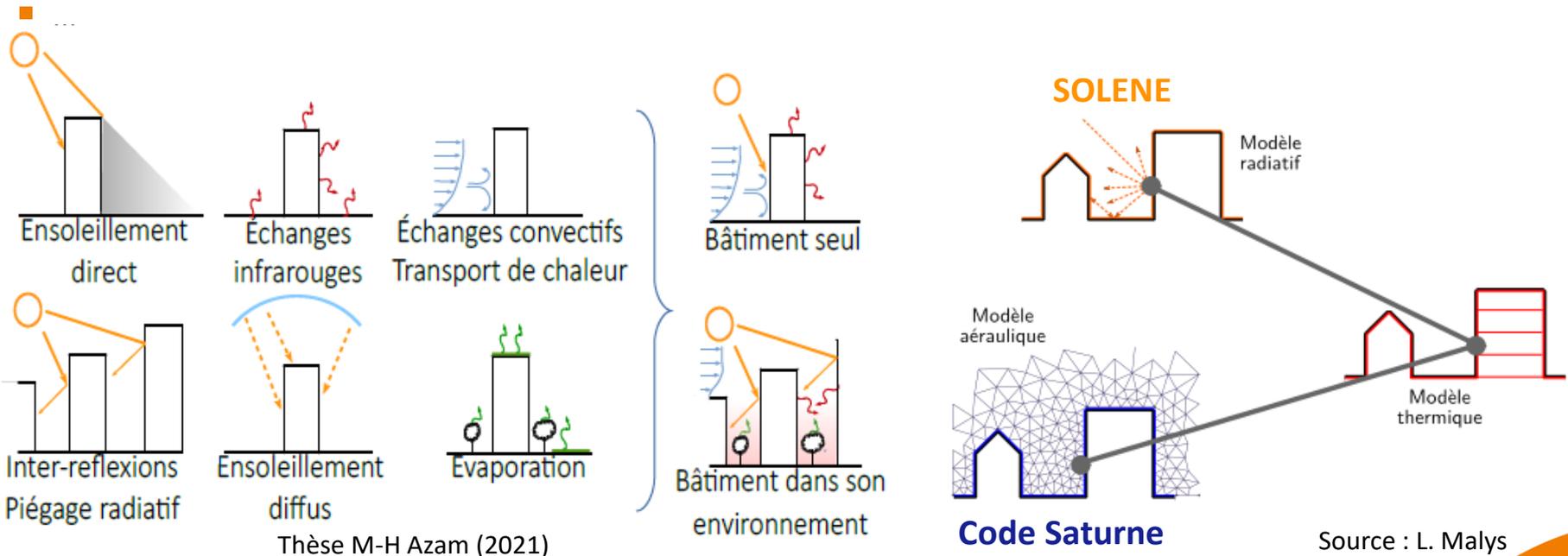
- **ONEVU - SNO OBSERVIL (depuis 2020)**: élargir l'observation du système urbain à la **thermique du bâtiment**, en lien avec le **microclimat urbain**.



Processus de la zone critique urbaine

OBJECTIFS

- **Quantifier les besoins thermiques d'un parc de bâtiment** dans son environnement.
- Analyser l'influence de **l'environnement et du climat** sur le bâtiment et inversement.
- Évaluer les présences ou non de **défauts** au sein du bâtiment grâce aux caméras thermiques
- **Valider nos modèles**: référence pour la validation de modèles (SOLENE-Microclimat), modèle thermique bâtiment, etc.



INSTRUMENTATION EN PLACE

Façade Est du bâtiment 4



Façade Nord et Ouest du bâtiment 1



Vue sur le bâtiment 3, façades Est et Nord



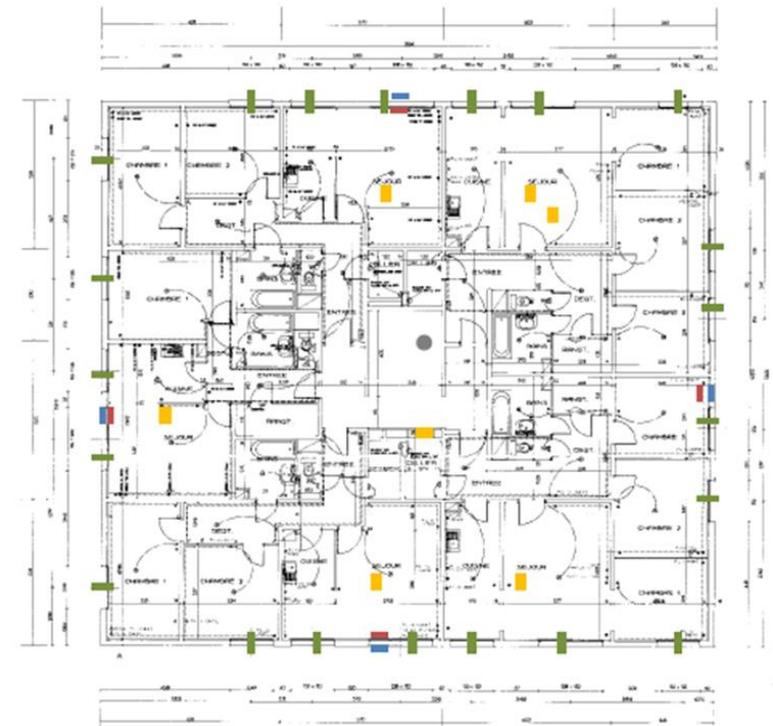
RAPPEL: INSTRUMENTATION LOURDE: BÂT3

- Instrumentation dernier étage et sous-sol
- Instrumentation intérieure et extérieure.



Annexe IV : Plan du dernier étage des bâtiments 430.03

| Mesures | Quantité |
|---|----------|
| Température d'air au sous sol | 1 |
| Température d'air enregistreurs autonomes sans fil au dernier étage | 7 |
| Sonde de température de surface intérieure | 5 |
| Sonde de température associée au débitmètre (aller-retour) | 2 |
| Sonde de température de surface extérieure et toit | 9 |
| Capteur d'ouverture de fenêtre | 21 |
| Débitmètres (mesure Étage et du bâtiment) | 2 |
| Fluxmètre (ponctuellement) | 2 |



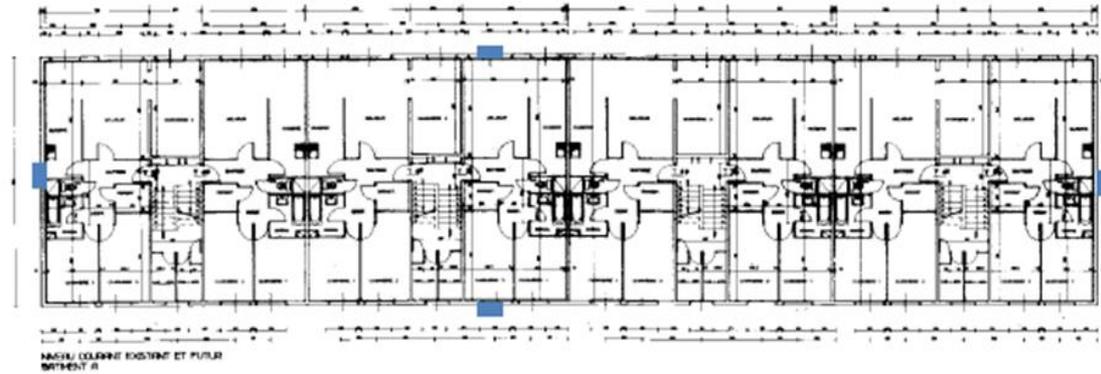
MISE AU COURANT DATUM B.O.C.E.
PLAN S.C.C. 03/04

- Sonde de température d'air
- Sonde de température de surface intérieur
- Sonde de température de surface extérieur
- Ouverture de fenêtre
- Mesure de consommation de chauffage

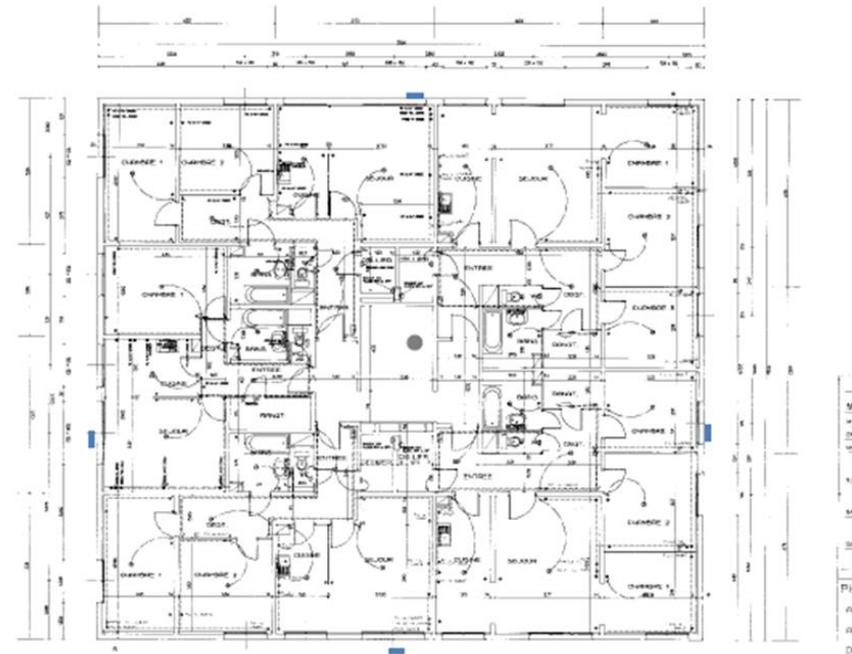
RAPPEL: INSTRUMENTATION LÉGÈRE: BÂT 1, 2, 4, 5, 6, 7



Annexe II : Plan du dernier étage du bâtiment 430.01 instrumenté



Annexe IV : Plan du dernier étage des bâtiments 430.02 – 430.07 (sauf bâtiment 430.03)

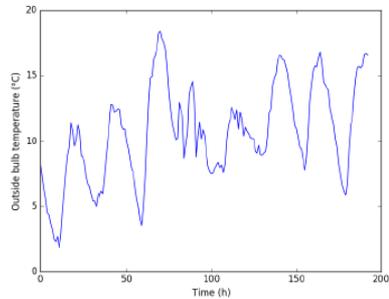


- Sonde de température d'air
- Sonde de température de surface intérieur
- Sonde de température de surface extérieur
- Ouverture de fenêtre
- Mesure de consommation de chauffage

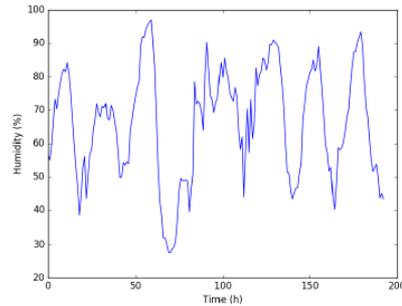
| Mesures | Qtés |
|--|------|
| Sonde de température associée au débitmètre (chaufferie) | 2 |
| Sonde de température de surface extérieure et toit | 54 |
| Débitmètre autonome chaufferie | 1 |

RAPPEL: STATION MÉTÉOROLOGIQUE (BÂT3)

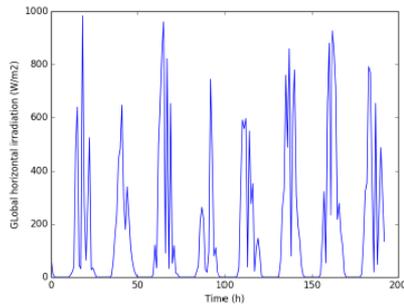
Outside bulb temperature



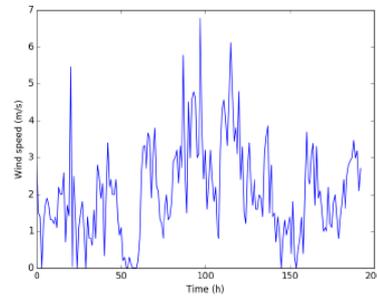
Humidity



Global radiation



Wind speed



Technical specifications of the weather station sensors.

| Type of measure | Technical specifications |
|---|--|
| Anemometer (WSS420) | Accuracy: $\pm 4\%$ Working range: 0–50 m/s |
| Pyranometer (Vantage Pro2™) | Accuracy: $\pm 5\%$ of full scale and drift of up to $\pm 2\%$ per year Working range: 0 to 1800 W/m ² |
| Temperature and humidity (Vaisala INTERCAP HMP60) | Accuracy: $\pm 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ Working range: 0 ... 100%RH; $-40 \dots +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ |

RAPPEL: PÉRIODES D'OBSERVATION INTENSIVE

Fluxmètres: Identification des propriétés thermique des parois



Caméra IR : cartographie des températures extérieures: défauts



Mesure de débit d'air



Prévues en 2018 mais non réalisées:

- Mesure d'albédo / d'émissivité
- Mesure de l'étanchéité à l'air

EXEMPLES D'EMPLACEMENT DES CAPTEURS

Toiture bâtiment 3



| | |
|---------------|-----------------------------|
| Yellow square | Air temperature |
| Red square | Inside surface temperature |
| Blue square | Outside surface temperature |
| Green square | Window opening |
| Grey circle | Heating zone core |



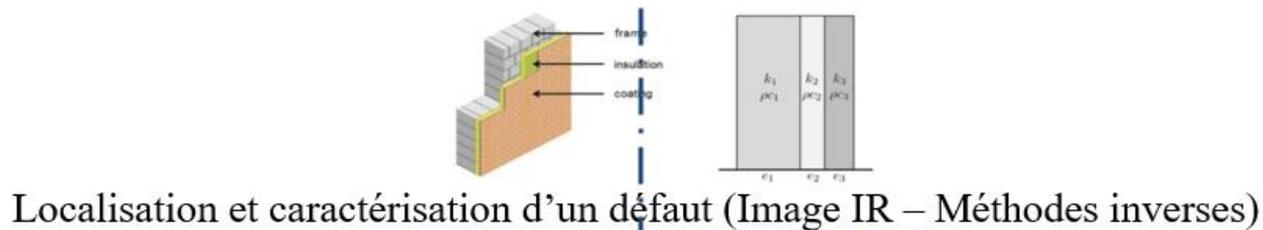
Vide sanitaire



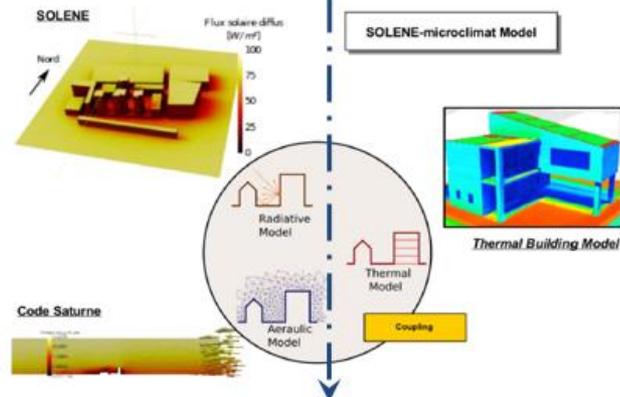
Chaufferie

QUELQUES RÉSULTATS

Thermique du bâtiment : Impact de défauts au sein de l'enveloppe à l'échelle d'un bâtiment dans son environnement urbain (Projet H2020 B2S).



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



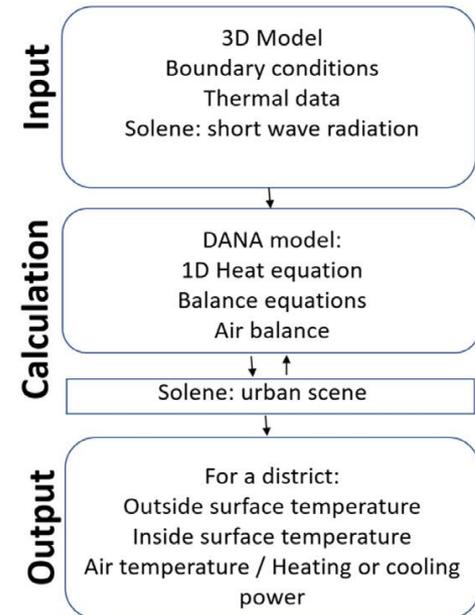
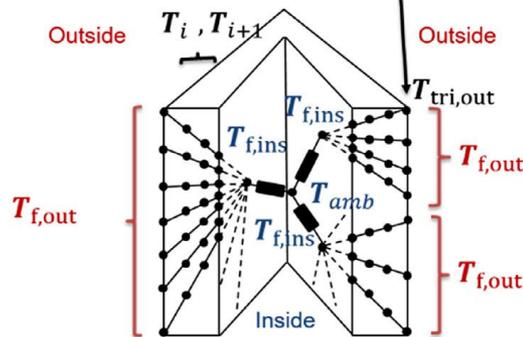
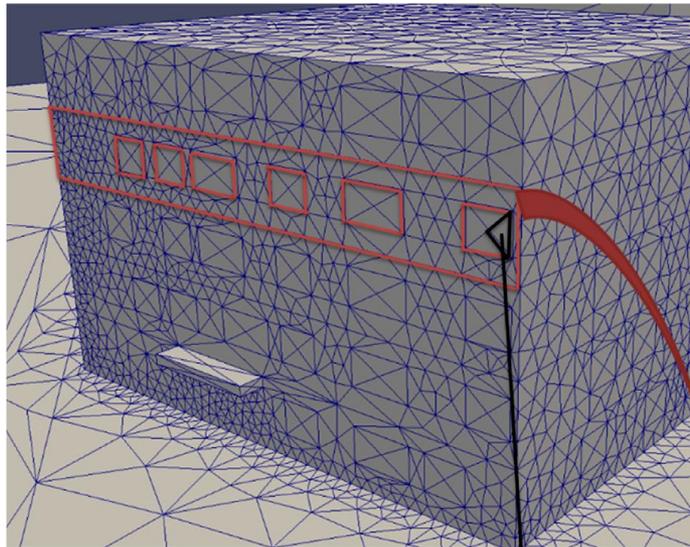
Impact des défauts sur la thermique du bâtiment dans son environnement

QUELQUES RÉSULTATS

New model adapted to the integration of envelope defects

Enveloppe model in a realistic urban environment

Defects integrated to the geometry of the model using refined meshing



Outputs of the first model [6]

- For one level
- 1 indoor air and radiant temperature
- 1 floor temperature
- 1 ceiling temperature
- Heating or cooling load
- 1 inside surface temperature for all the envelope walls

N Outside surface temperatures, where N is the number of mesh elements on the building envelope

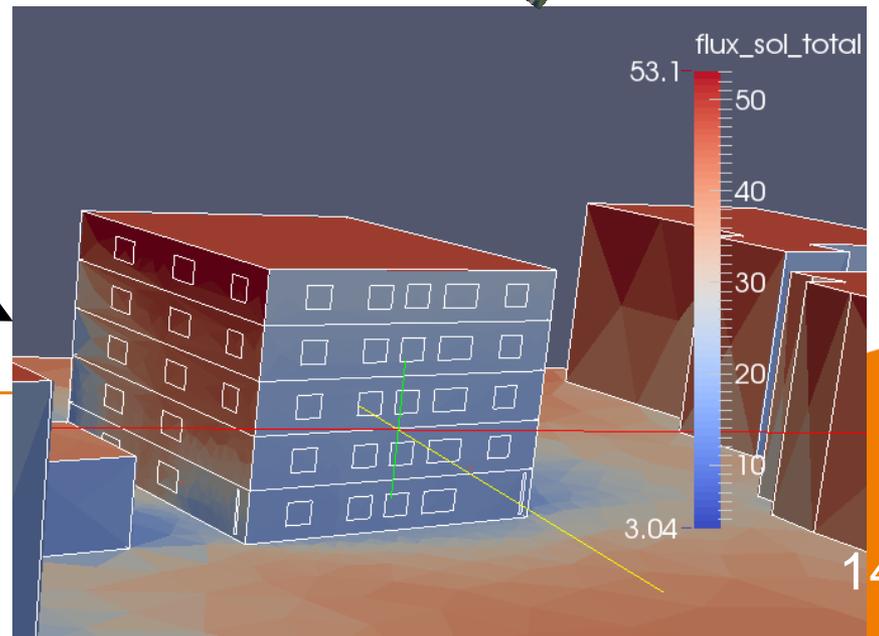
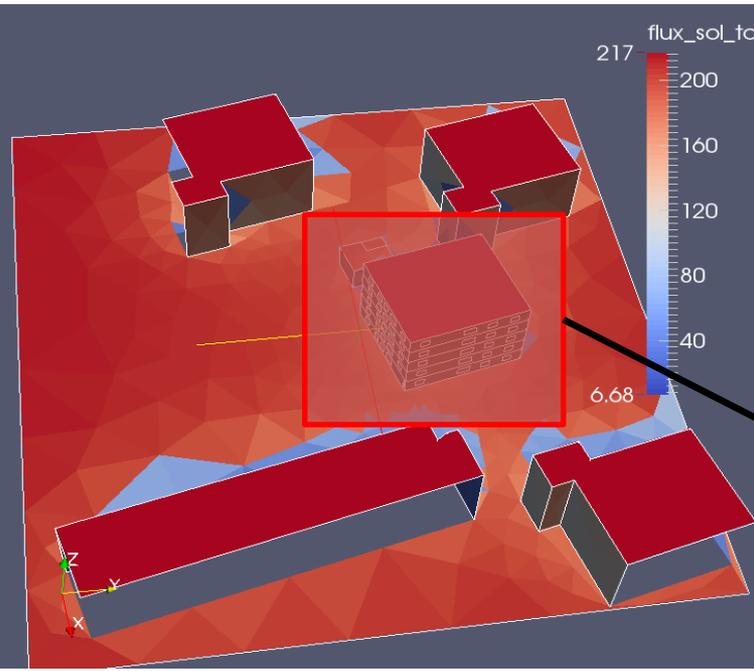
Outputs of DANA model

- For one level
- Nw or more inside surface temperatures, where Nw is the number of walls

1. Rodler A, Guernouti S, Musy M, Bouyer J. Thermal behaviour of a building in its environment: Modelling, experimentation, and comparison. Energy and Buildings. juin 2018;168:19-34.

APPLICATIONS – COMPARASION À LA MESURE

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



APPLICATIONS – COMPARAISON À LA MESURE

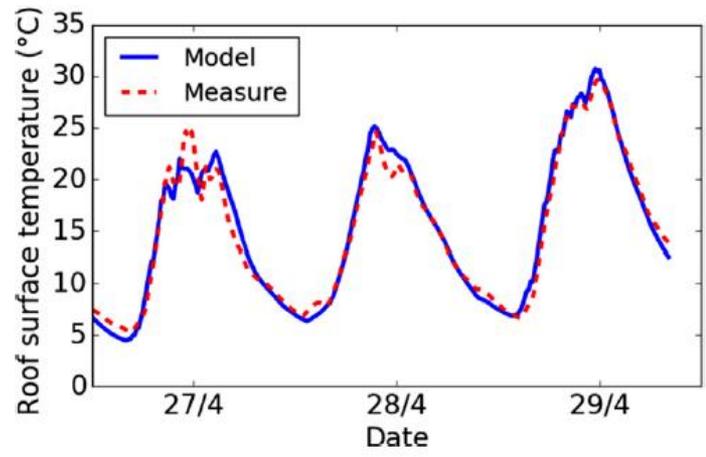


Fig. 17. Roof surface temperature.

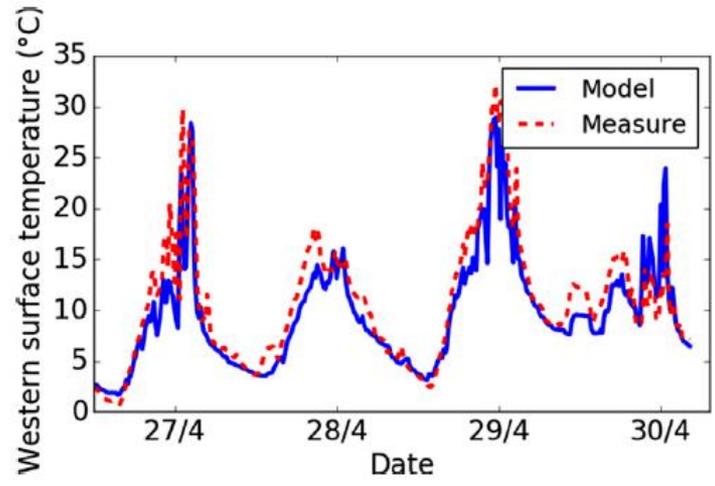


Fig. 20. Western upper surface temperature.

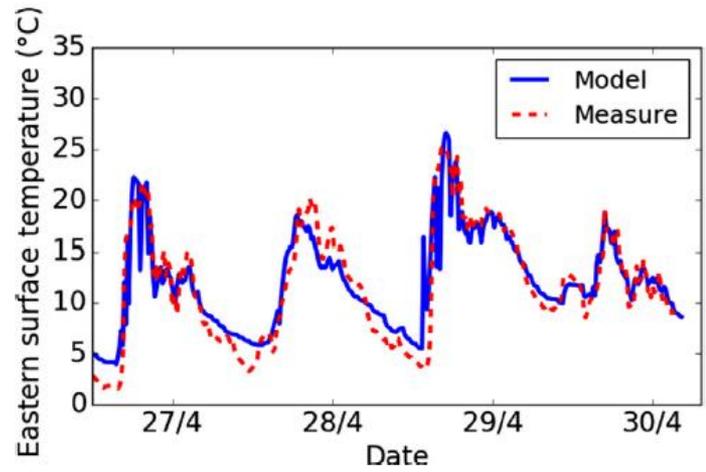


Fig. 18. Eastern upper surface temperature.

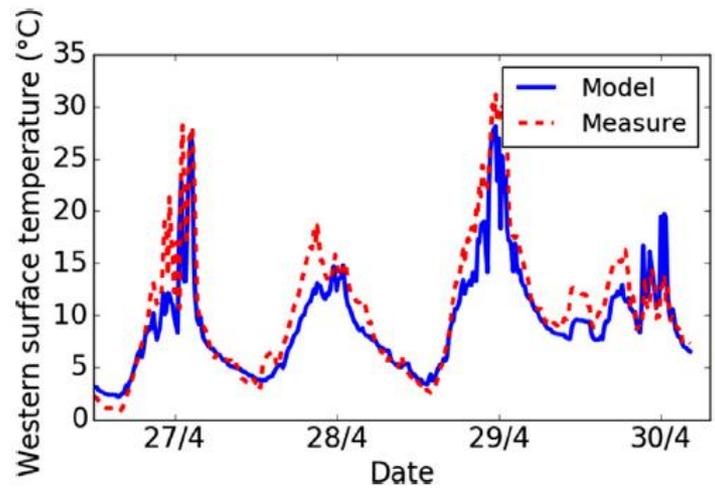
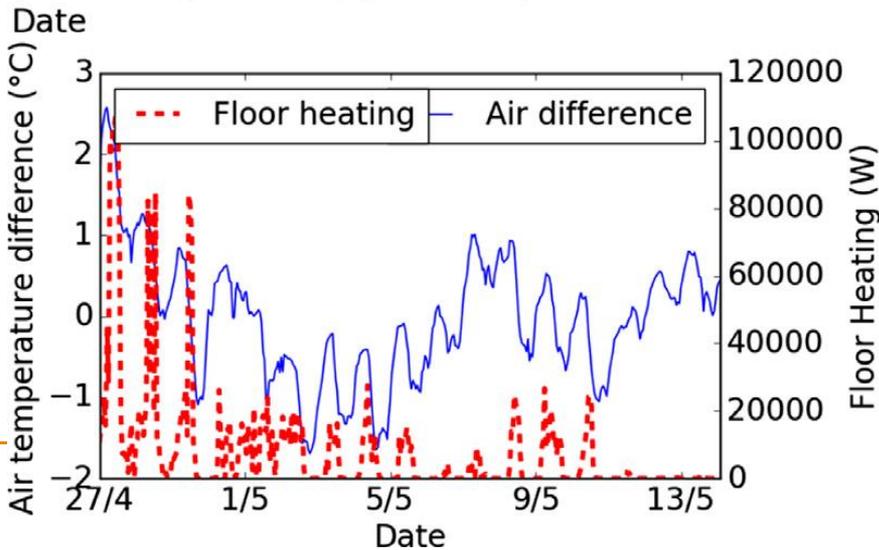
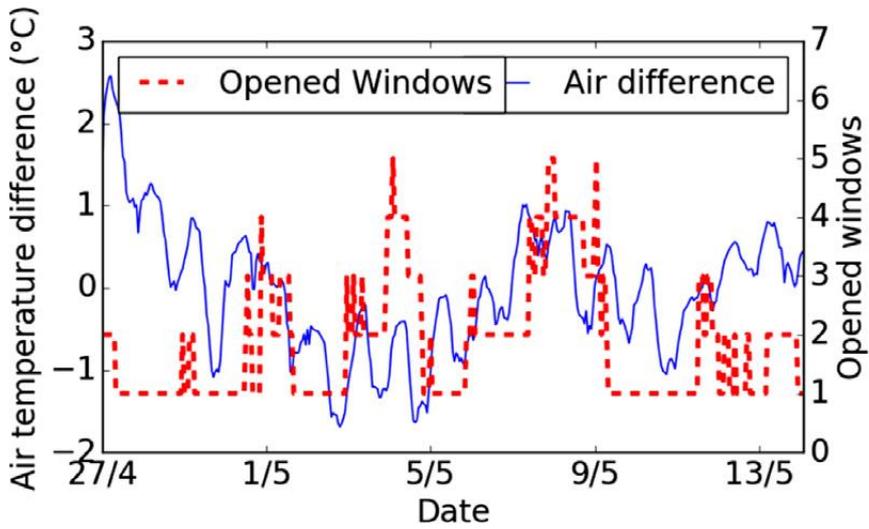
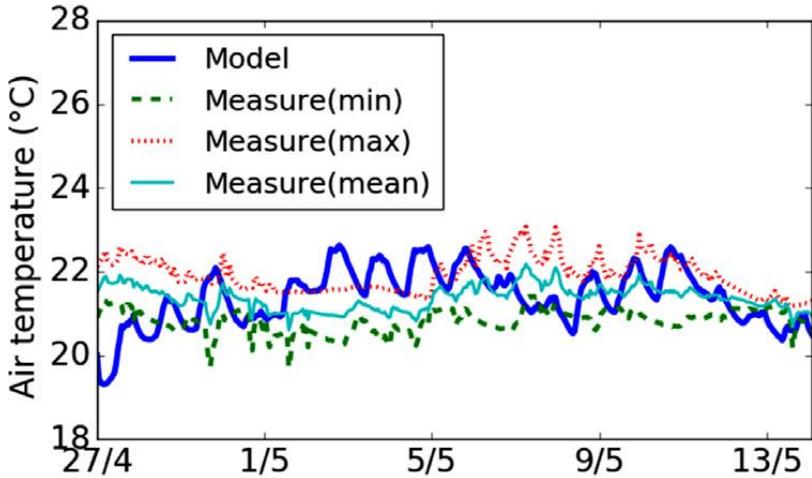


Fig. 21. Western lower surface temperature.

1. Rodler A, Guernouti S, Musy M, Bouyer J. Thermal behaviour of a building in its environment: Modelling, experimentation, and comparison. Energy and Buildings. juin 2018;168:19-34.

APPLICATIONS – COMPARAISON À LA MESURE



1. Rodler A, Guernouti S, Musy M, Bouyer J. Thermal behaviour of a building in its environment: Modelling, experimentation, and comparison. Energy and Buildings. juin 2018;168:19-34.

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 :

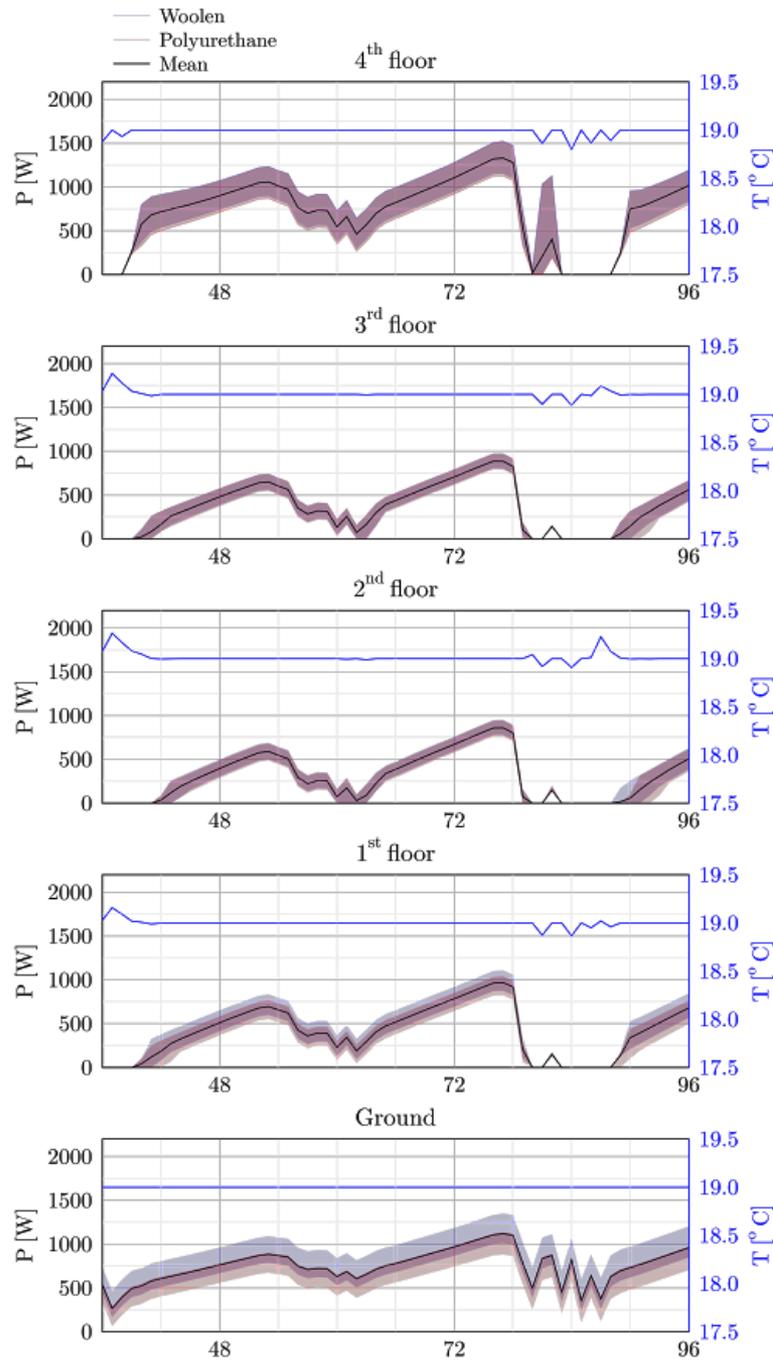
| | Coating 1cm | Insulation 10 – 18cm | Concrete 25cm | Plaster 1.3cm |
|------------------------------|----------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Conductivity (W/mK) | 0.75 | 0.032±0.012 | 1.33 | 0.42 |
| Density (kg/m ³) | 1450 | 30 | 2300 | 1200 |
| Heat capacity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

| Simulation | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ | S ₇ | S ₈ | S ₉ | S ₁₀ |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 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 _{rdcextREC} [W/K] | 15.3 | 14.2 | 17.5 | 16.4 | 18.3 | 17.3 | 15.1 | 13.3 | 17.4 | 15.7 |
| U _{etageext} [W/K] | 28.9 | 25.3 | 35.1 | 31.1 | 37.8 | 33.7 | 30.9 | 24.2 | 37.8 | 30.3 |
| U _{plfext} [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 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^{ème}.
- 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 :

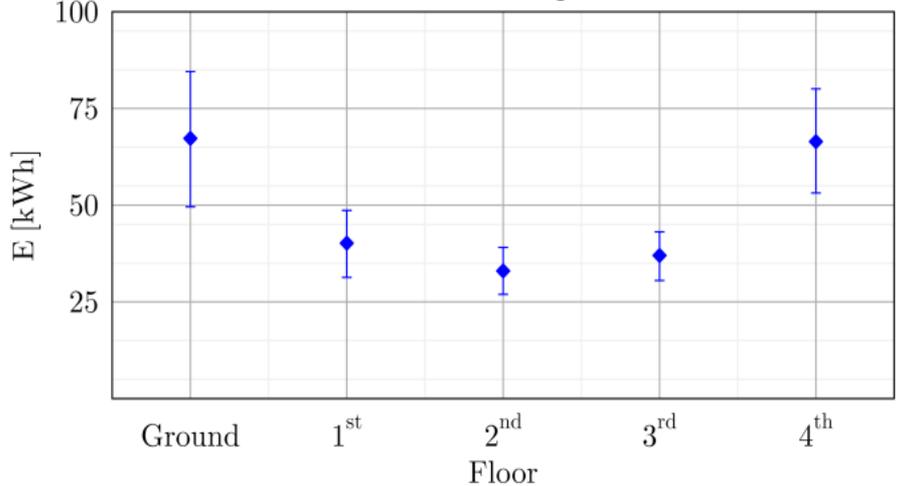
→ Conditions thermiques particulières liées à la dalle du plancher (+ béton, - isolant)

Quantification (Puissance) :

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

| Etage | RdC | 1er | 2 nd | 3 ^{eme} | 4 ^{eme} |
|----------------|---------|---------|-----------------|------------------|------------------|
| 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 nd | 3 ^{eme} | 4 ^{eme} |
|---------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 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 ($\lambda = 0.03$)

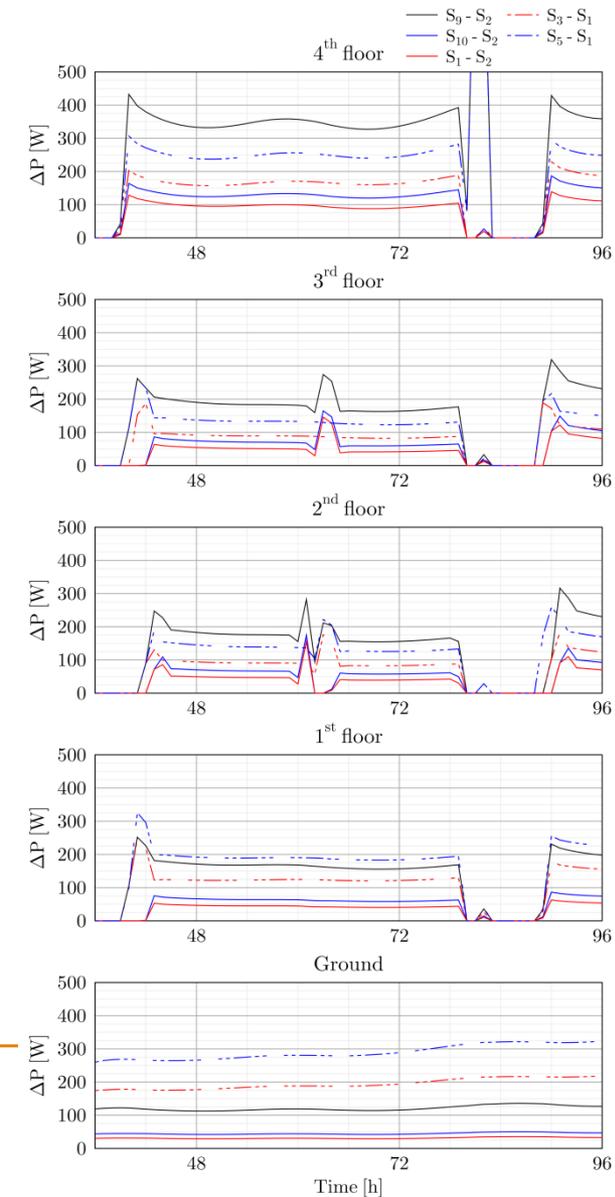
S1 – S2 : 15 - 18 cm ($\lambda = 0.03$)

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

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

Pour le RDC:

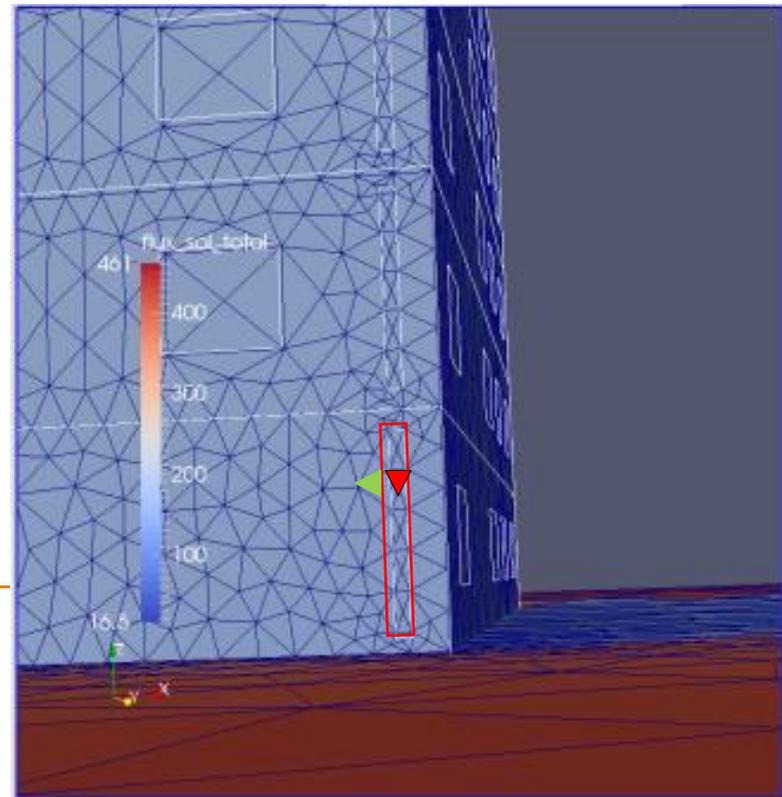
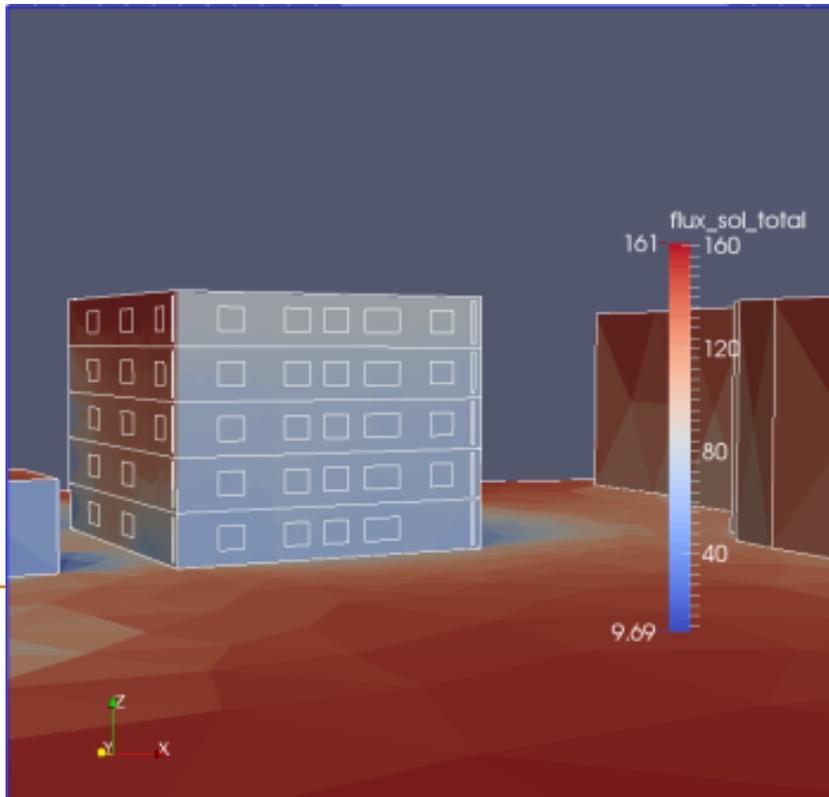
- A épaisseur constante : écart en énergie de **27%** pour la laine de roche ($\lambda = 0.03 – 0.045$)
- A épaisseur constante : écart en énergie de **20%** pour le polyurethane ($\lambda = 0.022 – 0.03$)
- A conductivité identique: écart en énergie de **10%** pour une laine de roche entre 15 -18 cm.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



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

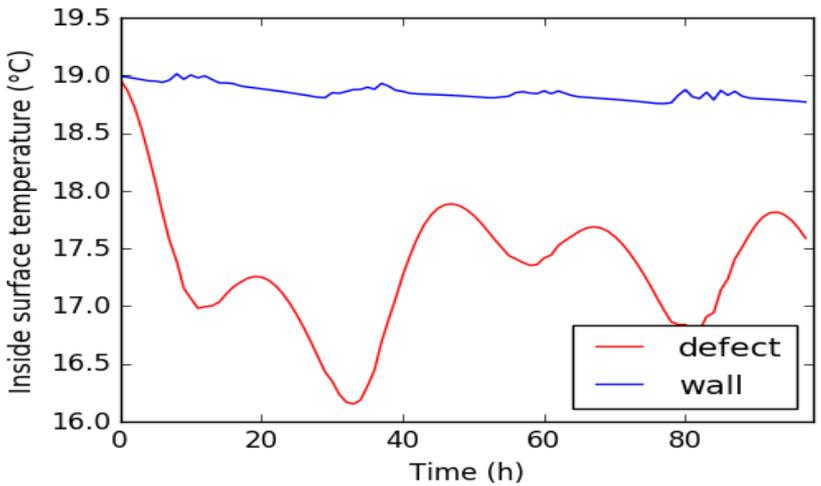
→ Etude de l'impact d'un manque d'isolant sur une surface localisée

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

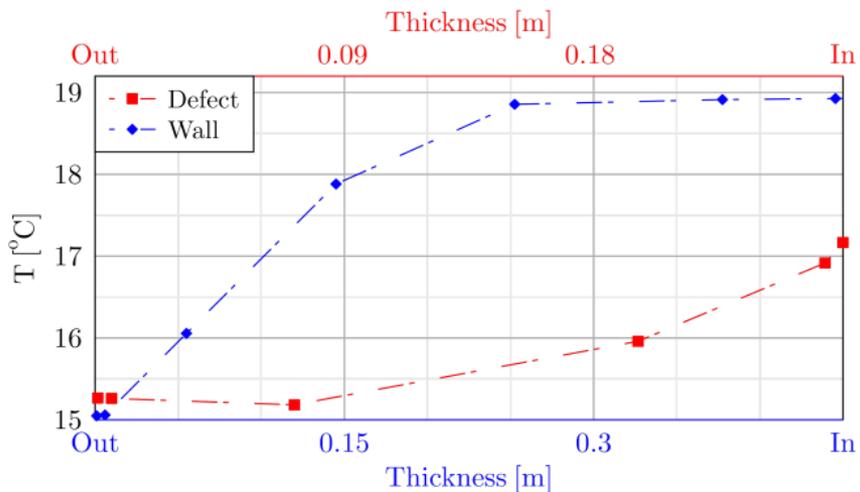
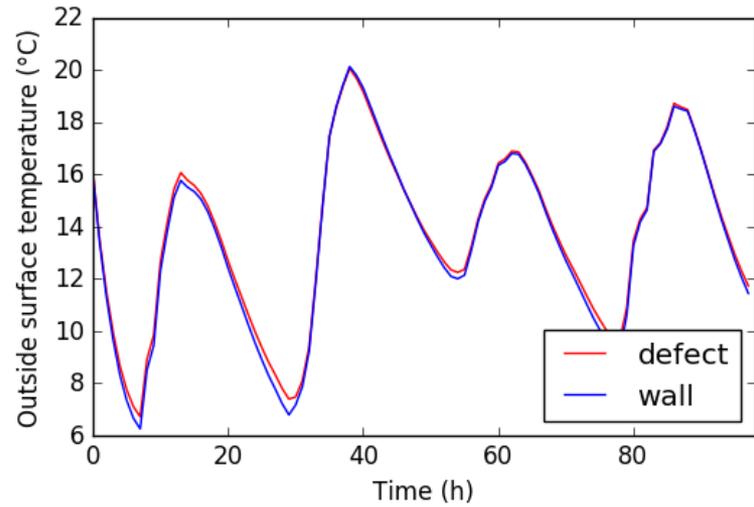


APPLICATIONS – IMPACT D'UN DÉFAUT LOCAL DE L'ISOLANT

Températures de surface intérieure



Températures de surface Extérieure



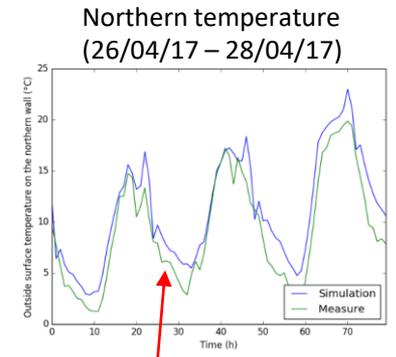
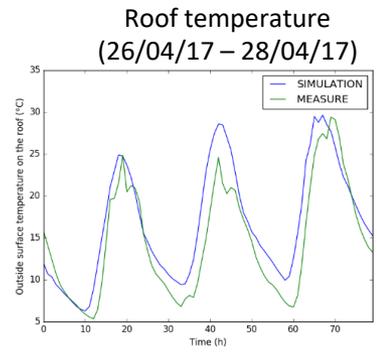
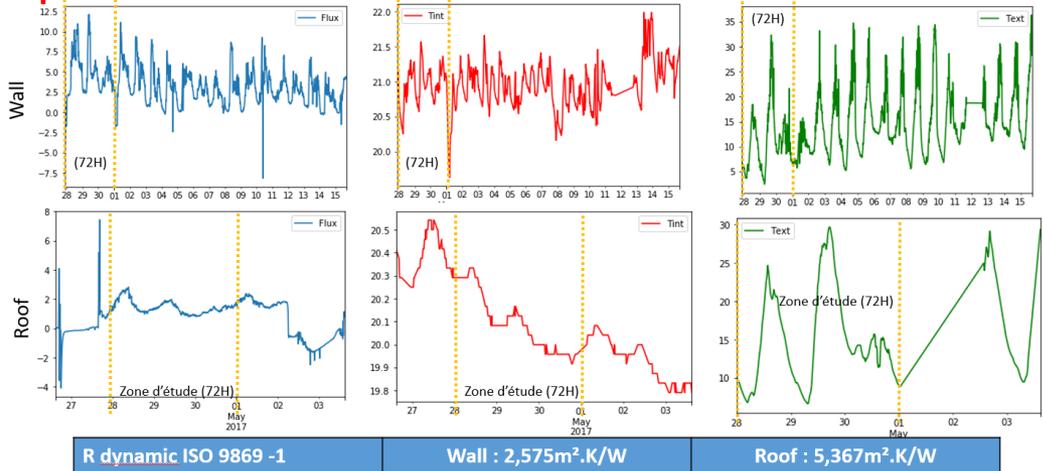
Quantification :

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

APPLICATIONS – IDENTIFICATION DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DE LA PAROI

Case study – the housing area in Nantes, France – surface temperature and U-value

- Comparison modelling/measurements
- Test of different experimental protocols to obtain on site U-value



Northern wall

APPLICATIONS – IDENTIFICATION DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DE LA PAROI

| Localisation | Site du PERRAY : Mur | Site du PERRAY : Toiture terrasse | Île de Nantes : Allège de fenêtre |
|---------------------------------------|---|---|---|
| R attendue | $2\text{m}^2.\text{K/W} < R < 3\text{m}^2.\text{K/W}$ | $4,5\text{m}^2.\text{K/W} < R < 5,5\text{m}^2.\text{K/W}$ | $0,1\text{ m}^2.\text{K/W} < R < 0,5\text{ m}^2.\text{K/W}$ |
| R méthode ISO 9869-1 (moyenne) | $1,910\text{m}^2.\text{K/W}$ | $3,630\text{m}^2.\text{K/W}$ | / |
| R méthode ISO 9869-1 (dynamique) | $2,575\text{m}^2.\text{K/W}$ | $5,367\text{m}^2.\text{K/W}$ | / |
| R méthode ISO 9869-2 (modifiée) | / | $2,5\text{m}^2.\text{K/W} < R < 3,5\text{m}^2.\text{K/W}$ | $2\text{m}^2.\text{K/W} < R < 43\text{m}^2.\text{K/W}$ |
| R méthode SEID ($\varepsilon=1$) | / | / | $0,667\text{m}^2.\text{K/W}$ |
| R méthode SEID ($\varepsilon=0,96$) | / | / | $0,379\text{ m}^2.\text{K/W}$ |
| R modèle de paroi | / | $2,6\text{m}^2.\text{K/W} < R < 3,2\text{m}^2.\text{K/W}$ | / |

- L'instrumentation du Perray sera entièrement renouvelée en 2022
 - ... et complétée avec des mesures de qualité d'air dans le cadre du projet CREATIV
-



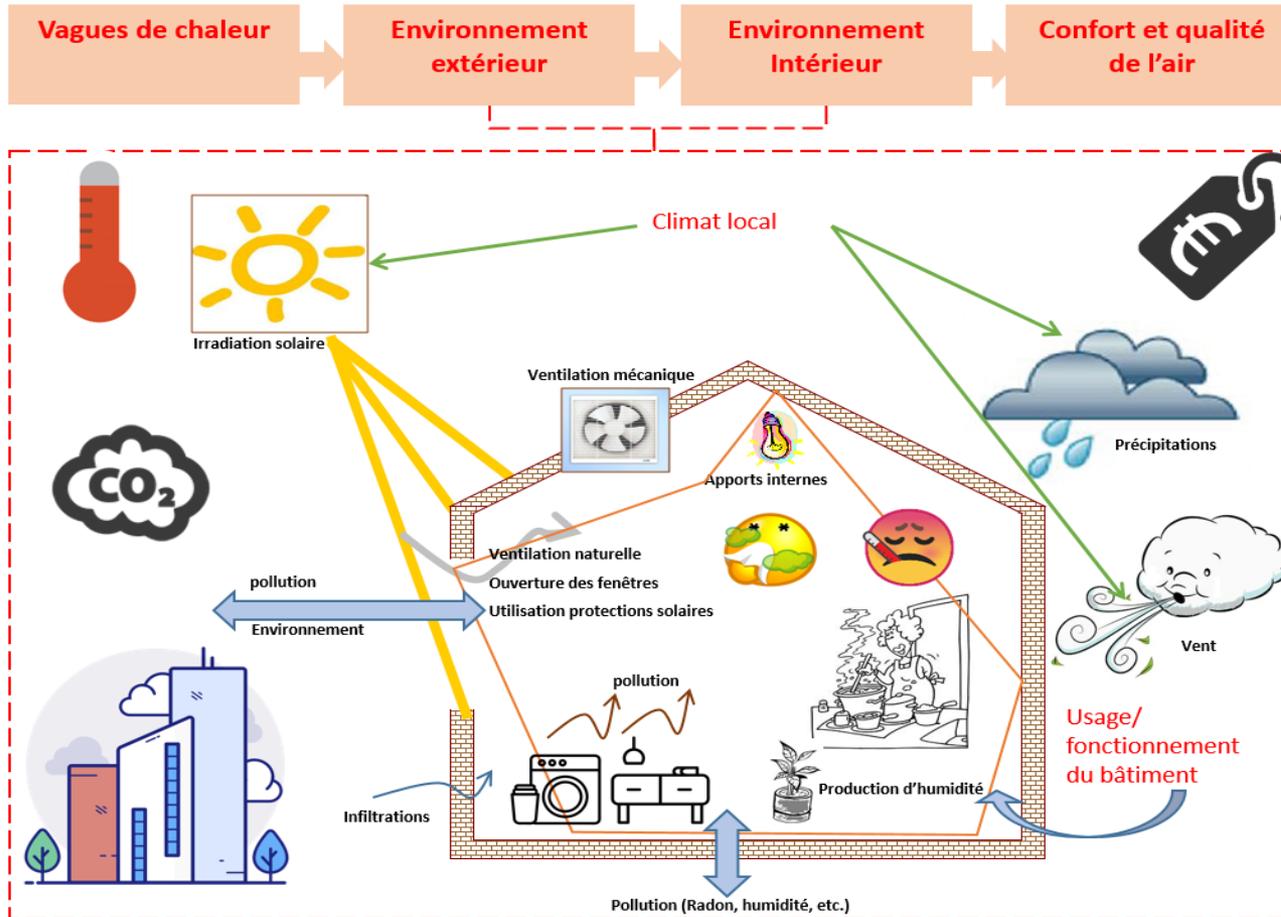
CONFORT THERMIQUE - QUALITÉ DE L'AIR & VAGUE DE CHALEUR

(2021-2023)

ADEME APR - BÂTIMENT 2019



PROBLÉMATIQUE



OBJECTIFS



Scientifiques

- Produire des connaissances sur le comportement des occupants en période de vague de chaleur,
- Analyser l'impact des actions des occupants sur la QAI et sur le confort intérieur,
- Classer les bâtiments par rapport à leur sensibilité aux vagues de chaleur,
- Mettre en place un modèle global (micro-climatologie, thermo-aéraulique, actions des occupants),
- Evaluer les enjeux économiques liés aux comportements des occupants relativement à la QAI ou au confort.

Opérationnels

- Indicateurs pertinents pour l'analyse de la sensibilité des bâtiments aux vagues de chaleur et à la pollution extérieure, non seulement utiles pour la conception mais aussi pour l'analyse d'un parc bâti,
- Recommandations sur les priorités de réhabilitation selon le type des bâtiments et leur environnement proche,
- Recommandations destinées aux occupants, pour réduire leur exposition à la chaleur et à la pollution de l'air, ciblées selon le type de bâtiments et d'environnement qu'ils occupent.

PROTOCOLE DE MESURE



▪ Objectifs

- Caler et valider la modélisation physique à partir de la mesure (tâche6)
- Observation du comportement des occupants (tâche5)

▪ Durée de la campagne pour CREATIV

- A minima la saison chaude 2022 :
 - de juin à septembre 2022
 - Mise en place des capteurs en mai 2022 si possible pour anticiper les éventuelles difficultés techniques
 - Possibilité de prolonger jusqu'en octobre 2022 selon les conditions météo
- Une deuxième saison chaude en 2023 est envisagée après une campagne de sensibilisation des occupants sur les conditions de confort et de QAI

▪ Locaux à instrumenter

- Privilégier les **logements du dernier étage** déjà pré-instrumentés :
 - exposition la plus **défavorable pour le confort d'été**
- En complément (selon coût), un logement d'un niveau intermédiaire exposé sud à instrumenter

▪ Etanchéité à l'air de l'enveloppe

- Mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe par la méthode de la porte soufflante des logements instrumentés

▪ VMC

- Prévoir une visite de vérification des composants installés et du fonctionnement de l'installation de ventilation (selon le protocole PROMEVENT)

PROTOCOLE DE MESURE



- **Instrumentation de l'environnement intérieur**
 - **Pièces principales** : a minima le salon et la chambre principale
 - Paramètres hygrothermiques : T, HR (Continue)
 - Paramètres QAI : CO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, COVt
(Continue pour CO₂ et COVt + NEMO QAI / Campagne CREATIV)
 - **Fenêtres** :
 - Capteurs d'ouverture/fermeture de toutes les fenêtres extérieures (Continue)
 - **Portes intérieures** :
 - Capteurs d'ouverture/fermeture des portes du salon et de la chambre principale a minima (Continue)
 -
 - **Protection solaire** :
 - Des capteurs de luminosité sont envisagés (selon coût) pour détecter l'ouverture et la fermeture des protections solaires (en complément des questionnaires)
 - **Comportement des occupants** :
 - Par questionnaire (mutualisation des questionnaires avec université d'Angers)
 - Prévoir éventuellement un carnet de bord à remplir par les occupants avec un entretien en fin de la campagne de mesure
 - Le carnet de bord pertinent sur des périodes limitées à une ou deux semaines, sinon fastidieux à remplir par les occupants
 - Possibilité de le remplir sur une période ciblée en fonction des conditions météo (période de forte chaleur) et la disponibilité des occupants

PROTOCOLE DE MESURE



- Instrumentation de l'environnement extérieur
 - paramètres hygrothermiques : T et HR (continue)
 - Vent : vitesse et direction du vent mesurées sur place (continue)
 - Polluants : CO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, COVI (continue pour le CO₂)
 - Utiliser les balises Nemo extérieur (Campagne CREATIV, possibilité mesure en continue)
- Températures de surface :
 - Mesure continue pour le site de Nantes grâce à l'instrumentation ONEVU (ne fonctionnent plus) (à installer en continue)
 - Mesure ponctuelle par caméra IR envisagée pendant la campagne CREATIV (si Ts pas encore installés)

