

Les économies d'énergie dans les complexes scolaires: suivi et interprétations

15-04-2026

G. Masy
ATIC member

Le projet REPEAT

Reliable Energy Performance and Environmental Analysis Tools

Modélisation mathématique d'un bâtiment pour :

- Vérifier le fonctionnement correct de son installation
- Améliorer les stratégies de régulation



Remerciements

SPW for the financial support to the REPEAT project

ECMWF for the provision of meteorological data:

« This document has been produced in the context of the Copernicus Climate Change Service (C3S). The activities leading to these results have been contracted by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, operator of C3S on behalf of the European Union (Delegation Agreement signed on 11/11/2014 and Contribution Agreement signed on 22/07/2021). All information in this document is provided "as is" and no guarantee or warranty is given that the information is fit for any particular purpose. The users thereof use the information at their sole risk and liability. For the avoidance of all doubt, the European Commission and the European Centre for Medium - Range Weather Forecasts have no liability in respect of this document, which is merely representing the author's view. »

ELIC department of UCLouvain for the export processing of meteorological data

CISM computing center of UCLouvain for the provision of storage space:

« Les ressources informatiques ont été fournies par les installations de calcul intensif de l'Université catholique de Louvain (CISM/UCL) et du Consortium des Équipements de Calcul Intensif en Fédération Wallonie Bruxelles (CÉCI) financé par le Fond de la Recherche Scientifique de Belgique (F.R.S.-FNRS) au titre de la convention 2.5020.11 et par la Région wallonne.

Plan

- Données
- Cas tests : complexes scolaires
- Approche méthodologique
- Décomposition des consommations de gaz
- Modélisation
- Identification
- Validation
- Confort
- Conclusion

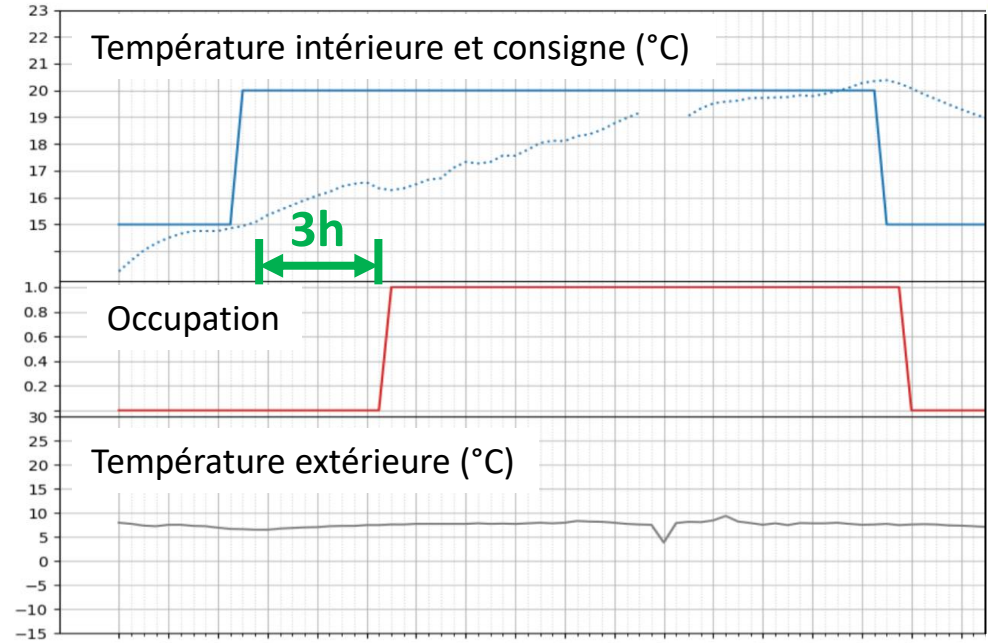
Données

Data measured on site (incomplete)

t_e	External Temperature °C	
t_i	Internal Temperature °C	
t_{set}	Temperature set point °C	
f_{occ}	Occupancy	0/1
V_g	Gaz consumption	m^3
<i>leave</i>	Leave days	0/1

Mesures sur site

09/01/2023 - 10/01/2023



Données

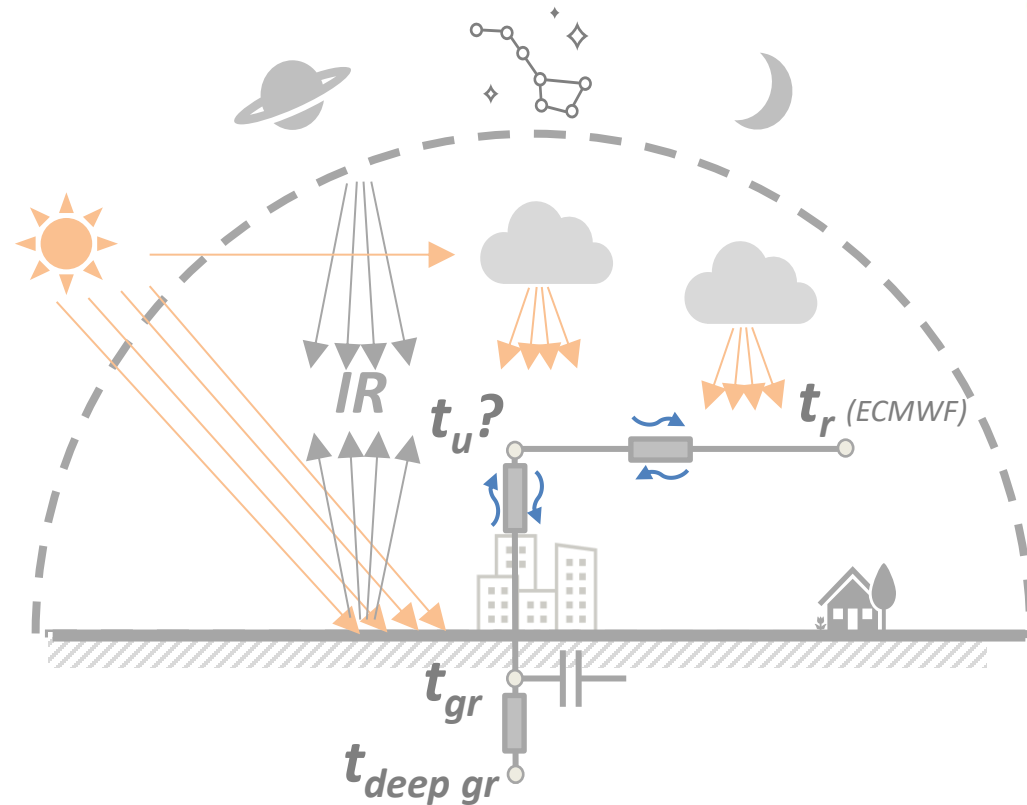
Météo

Data measured on site (incomplete)

t_e	External Temperature	°C
t_i	Internal Temperature	°C
t_{set}	Temperature set point	°C
f_{occ}	Occupancy	0/1
V_g	Gaz consumption	m ³
$leave$	Leave days	0/1

Weather Data (complete)

$t_{e,we}$	External Temperature	°C
I_{th}	Total solar intensity	W/m ²
I_{bh}	Direct solar intensity	W/m ²



Données

Data measured on site (incomplete)

t_e	External Temperature °C	
t_i	Internal Temperature °C	
t_{set}	Temperature set point °C	
f_{occ}	Occupancy	0/1
V_g	Gaz consumption	m ³
$leave$	Leave days	0/1

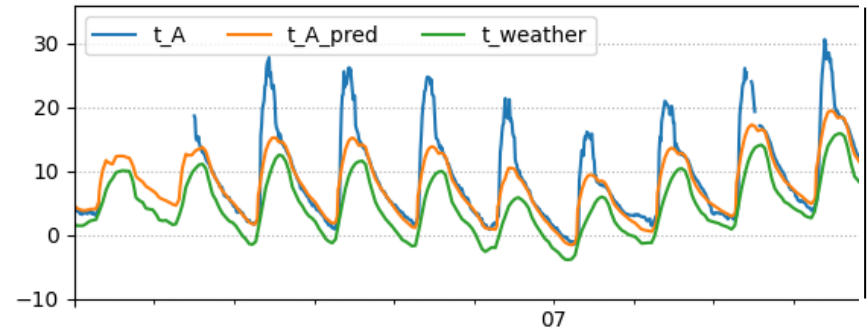
Weather Data (complete)

$t_{e,we}$	External Temperature °C	
I_{th}	Total solar intensity	W/m ²
I_{bh}	Direct solar intensity	W/m ²

Computed Data (complete)

$t_{e,air}$	External Temperature °C	
$t_{set,def}$	Set point based on occupancy °C	
$f_{occ,pred}$	Occupancy	0/1
hhv	Gas HHV	kWh/m ³
$leave_{fwb}$	Official holidays	0/1

Calculées



Mar
2022

Température de la sonde extérieure
exposée au soleil

Température extérieure des données météo

Température extérieure calculée

Valeurs moyennes Jan 2022 - Juin 2024:

Sonde : 15.5 °C

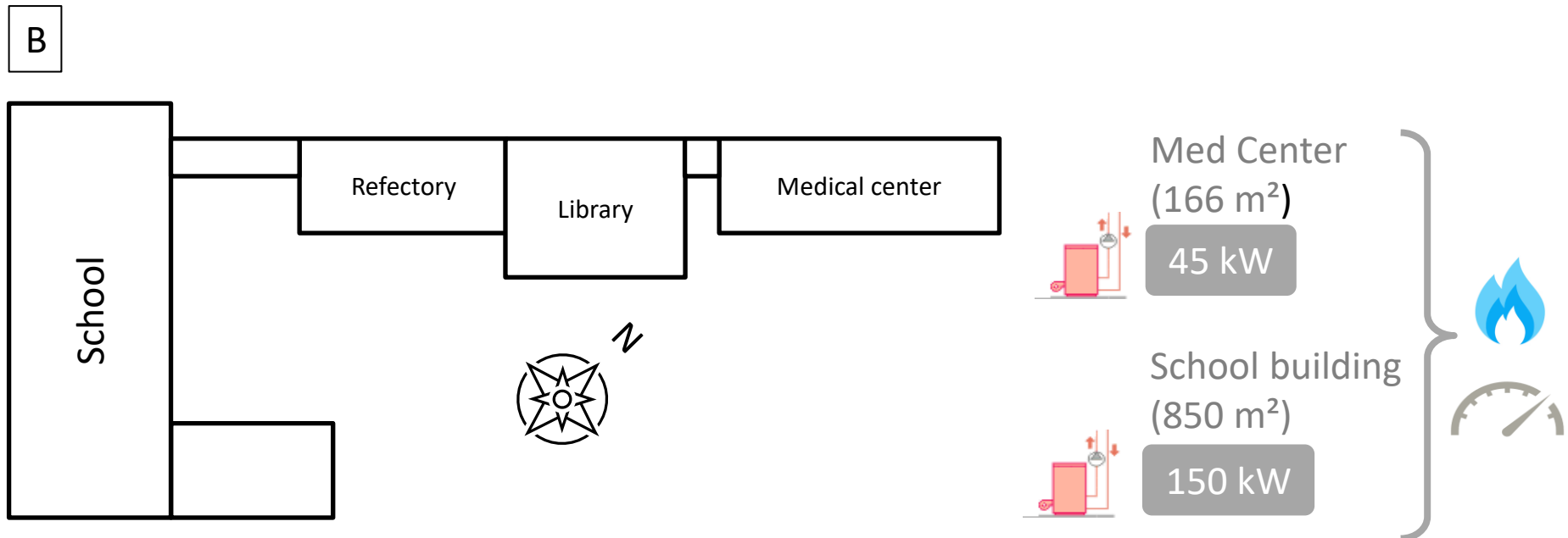
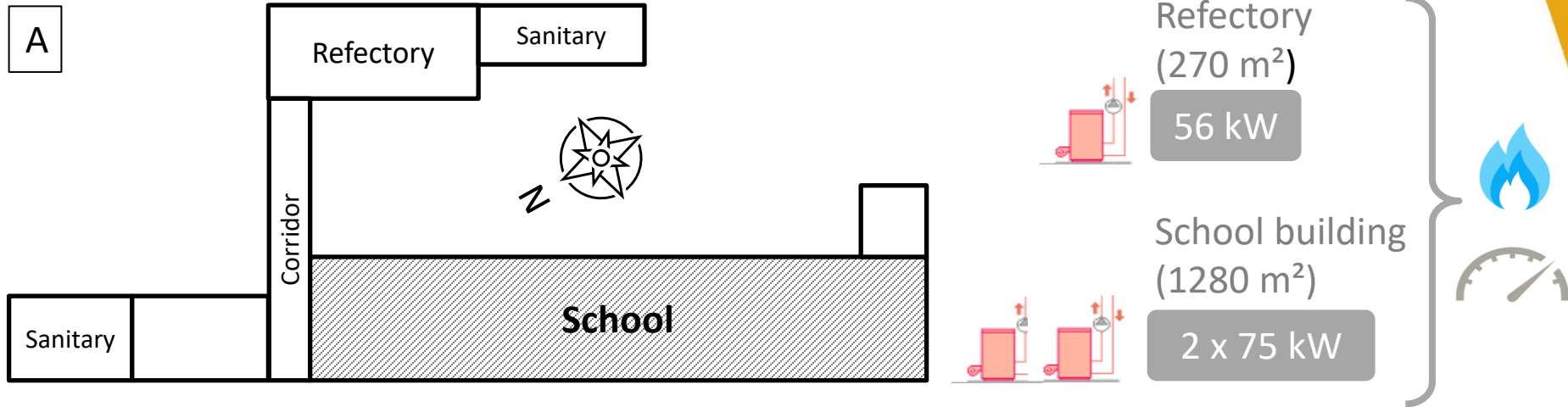
Données climatiques (ECMWF) : 11.4 °C

Plan

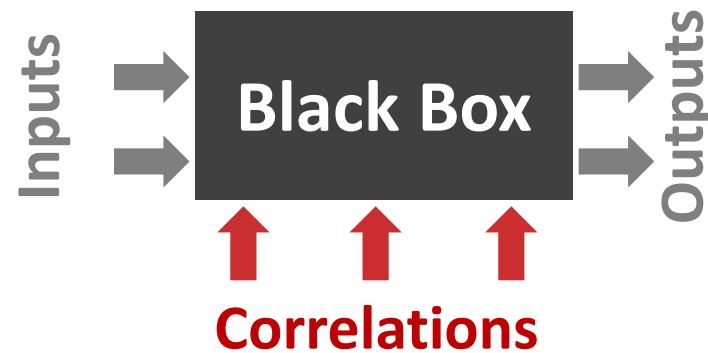
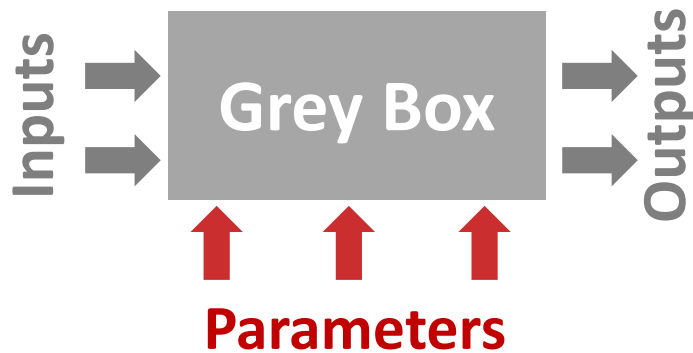
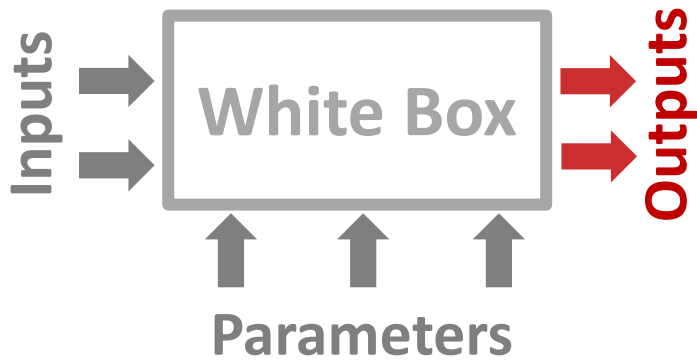
- ✓ Données
- Cas tests : complexes scolaires
- Approche méthodologique
- Décomposition des consommations de gaz
- Modélisation
- Identification
- Validation
- Confort
- Conclusion

Cas tests

Complexes scolaires



Approche méthodologique



Approche multizone :

Décomposition de la consommation de gaz: Réseau neuronal

Identification du modèle de chaque zone: Modèle RC

Black Box

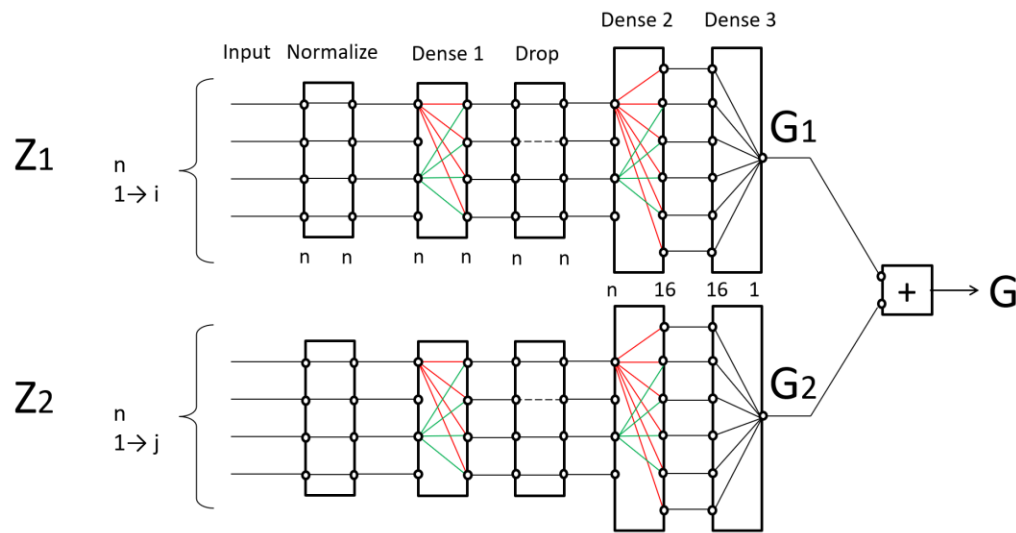
Grey Box

Plan

- ✓ Données
- ✓ Cas tests : complexes scolaires
- ✓ Approche méthodologique
 - Décomposition des consommations de gaz
 - Modélisation
 - Identification
 - Validation
 - Confort
 - Conclusion

Décomposition

Réseaux neuronaux



$$s_i = \varphi \left(\sum w_{ij} e_j + b_i \right)$$

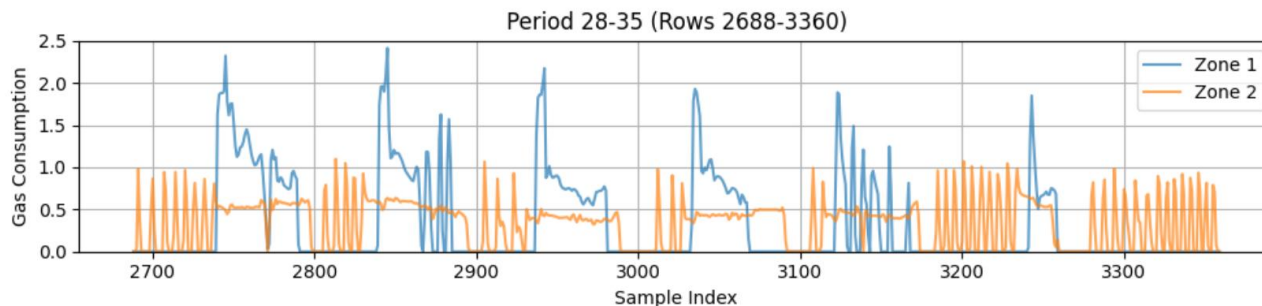
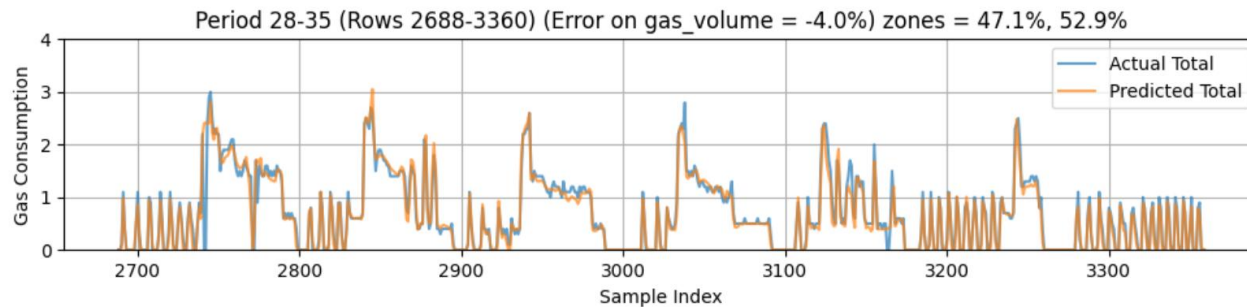
s_i : sortie

φ : fonction d'activation (relu)

w_{ij} : poids

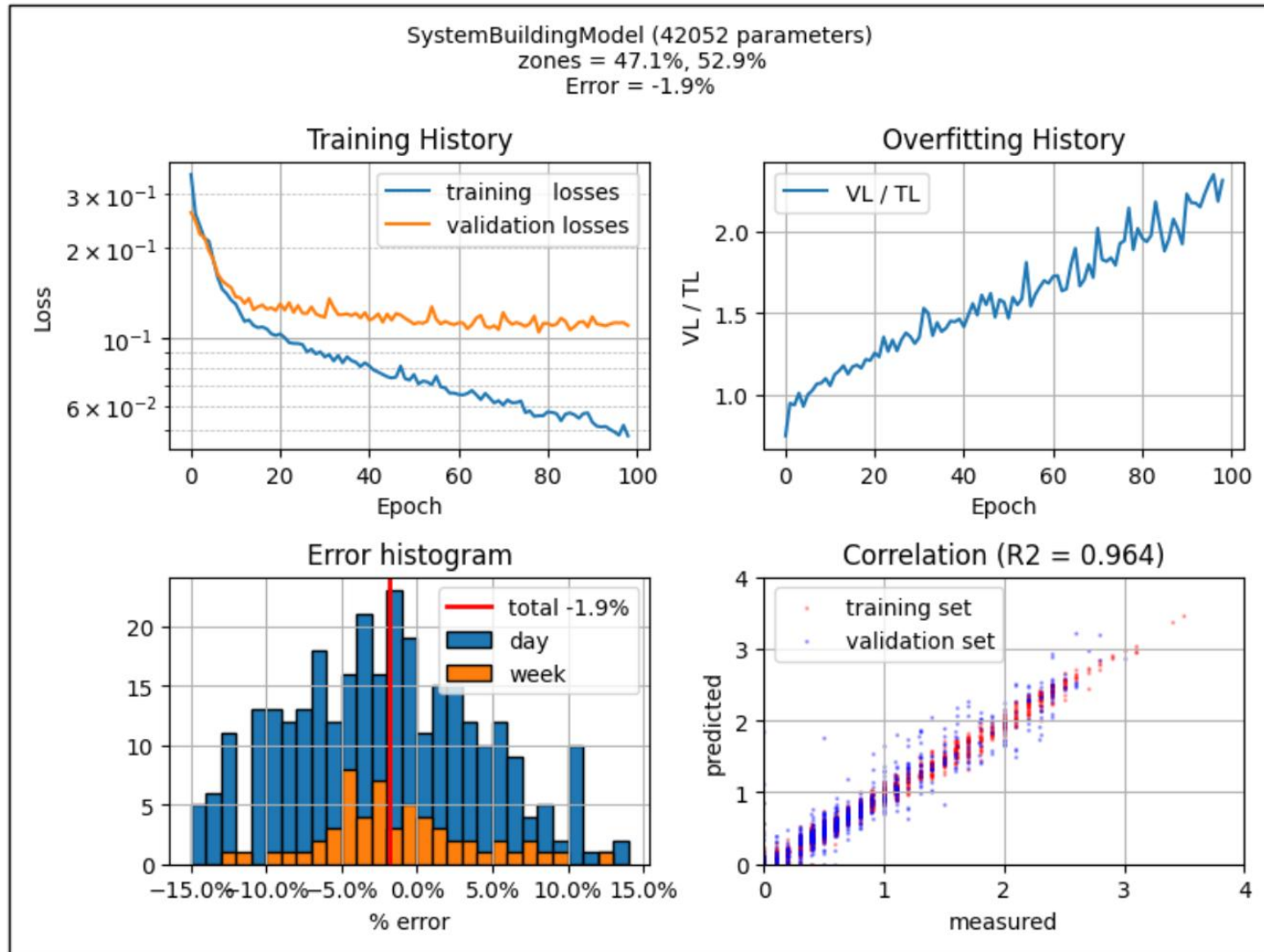
e_j : entrées

b_i : biais (Cste)



Décomposition

Validation

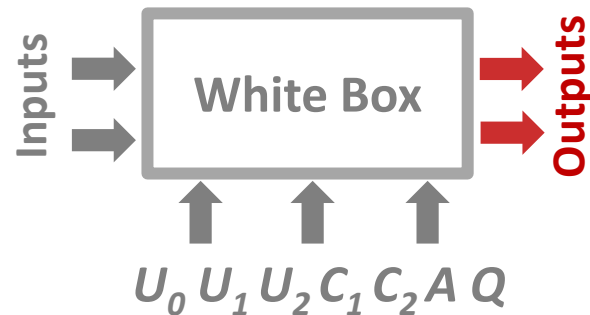
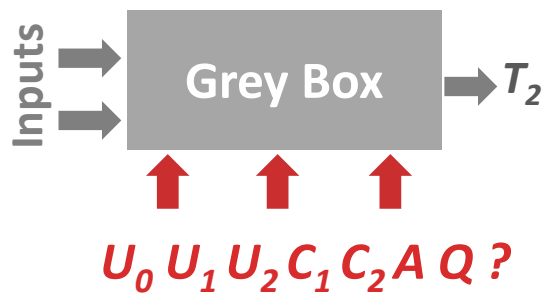
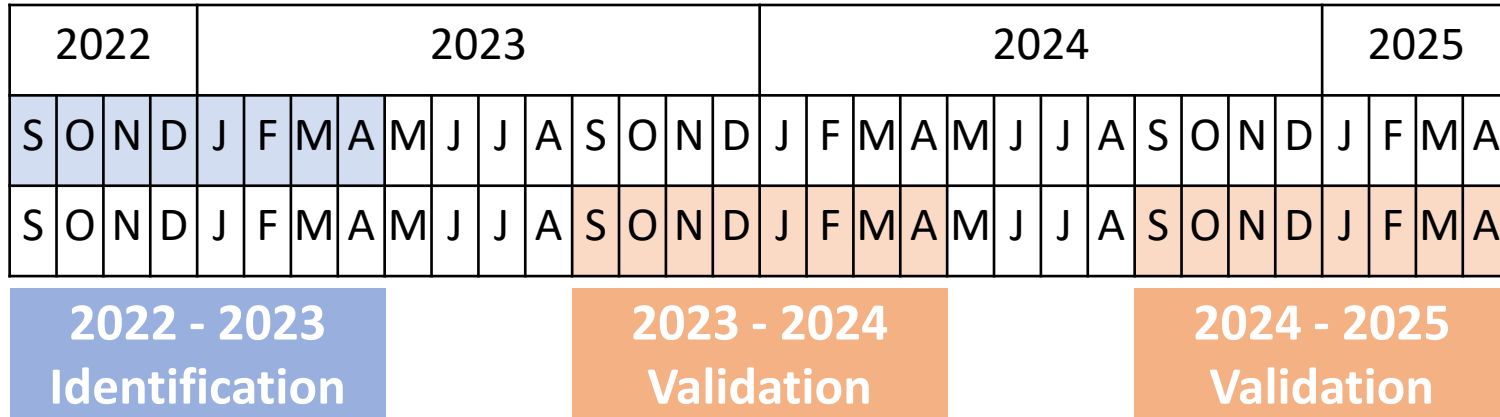


Plan

- ✓ Données
- ✓ Cas tests : complexes scolaires
- ✓ Approche méthodologique
- ✓ Décomposition des consommations de gaz
 - Modélisation
 - Identification
 - Validation
 - Confort
 - Conclusion

Modélisation

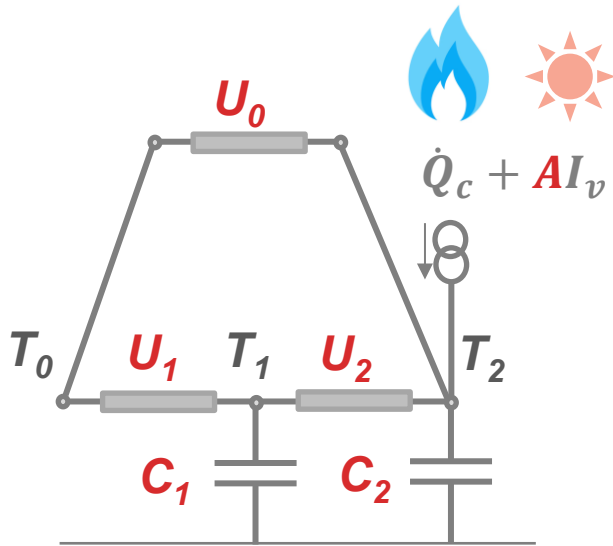
Identification & validation



Outputs	Precision
Internal temperature	$\leq 1^\circ\text{C}$
Daily consumption	$\pm 20\%$
Annual consumption	$\pm 3\%$

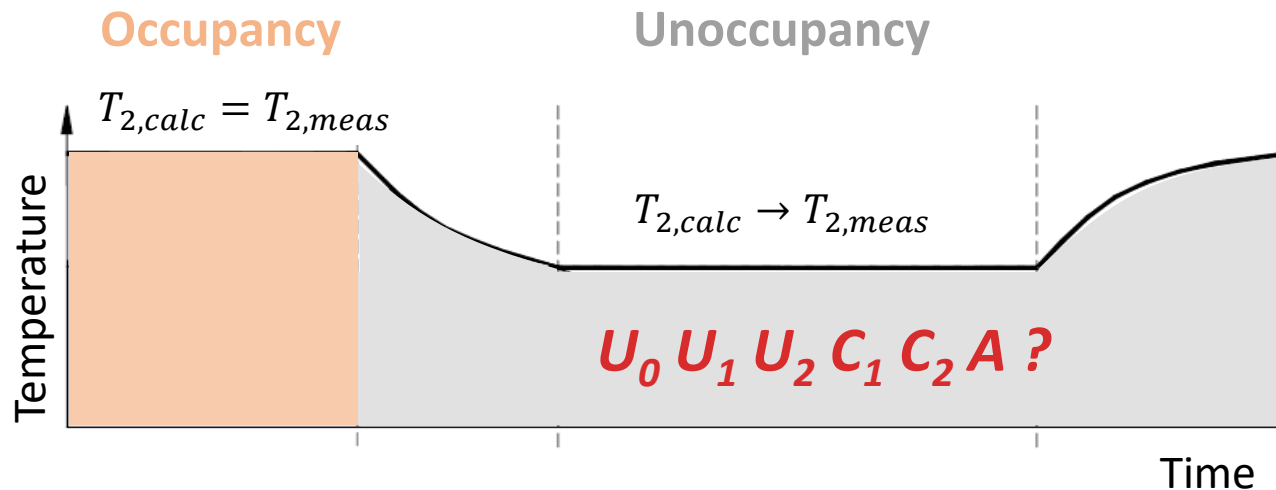
Modélisation

Paramètres



Périodes d'inoccupation

- T_0 Température extérieure °C
- T_2 Température intérieure °C
- \dot{Q}_c Puissance de chauffage W
- AI_v Gains solaires W



Plan

- ✓ Données
- ✓ Cas tests : complexes scolaires
- ✓ Approche méthodologique
- ✓ Décomposition des consommations de gaz
- ✓ Modélisation
 - Identification
 - Validation
 - Confort
 - Conclusion

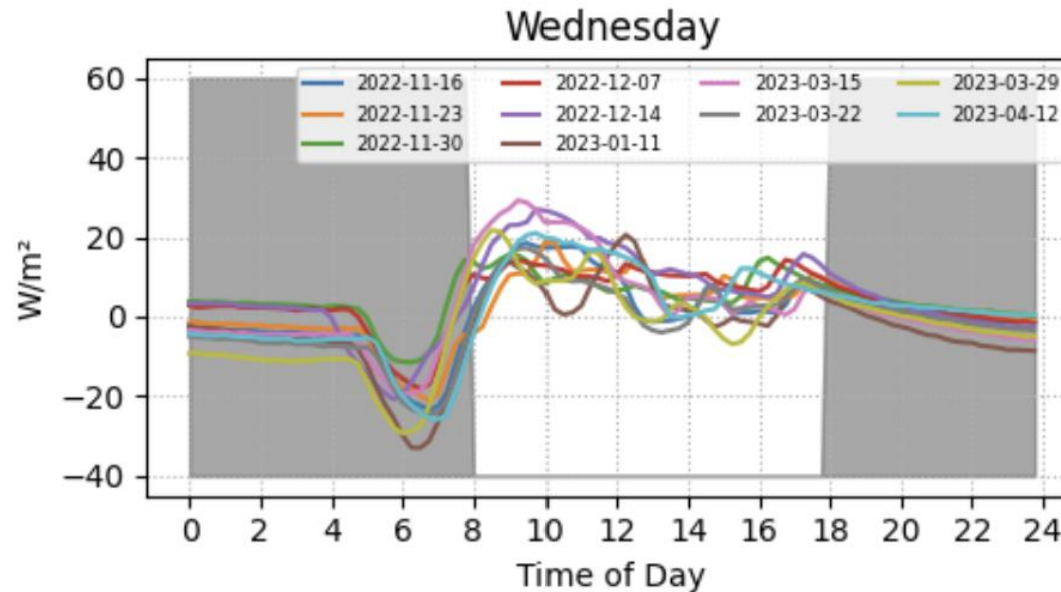
Identification

Paramètres

Paramètres

Test case	U0 (W/K)	U1 (W/K)	U2 (W/K)	HTC (W/K)	tau1 (h)	tau2 (min)	Asol (m ²)
A School	65	1037	21352	1054	167	45	10
B School	1125	338	4530	1440	284	239	26

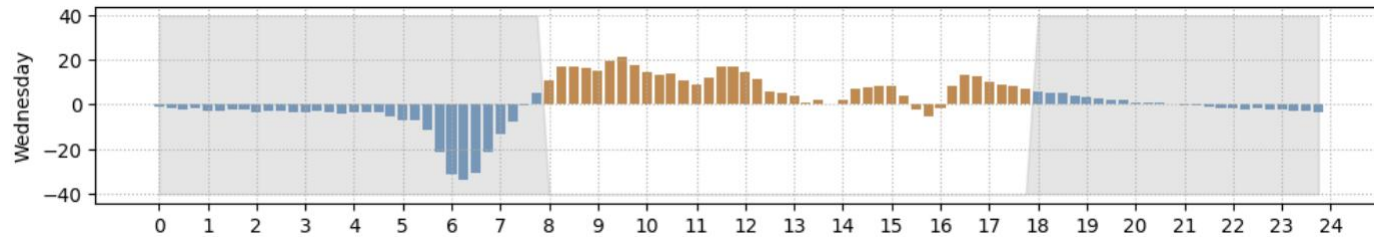
Flux d'équilibrage thermique (W/m²)



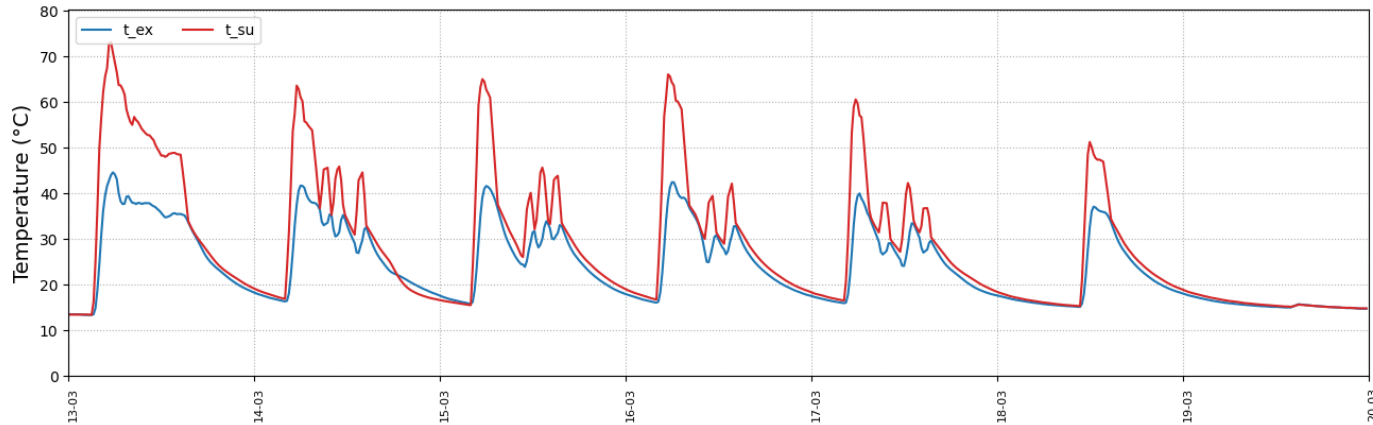
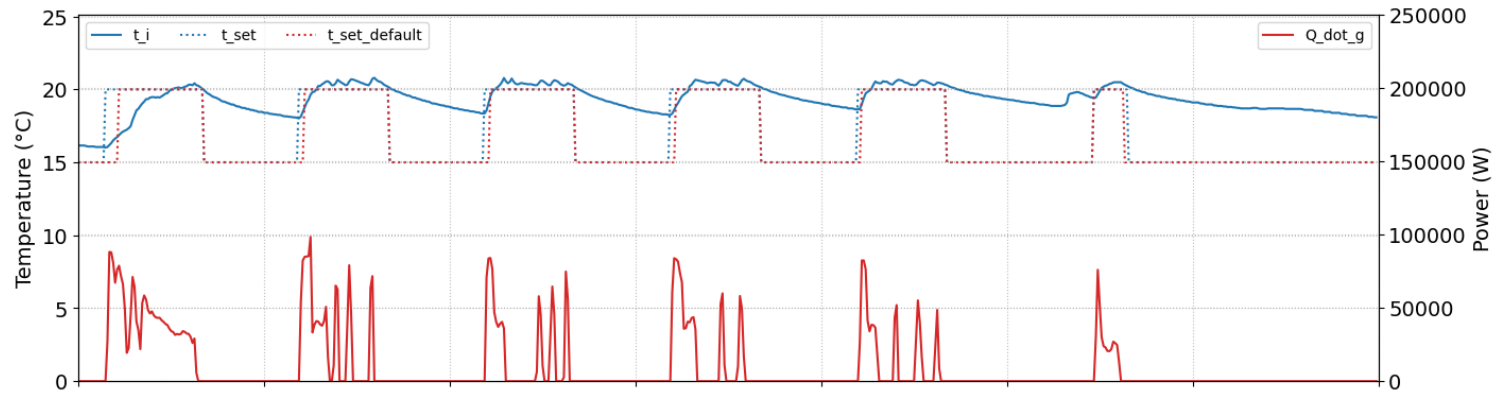
Identification

Flux d'équilibrage

Flux d'équilibrage thermique (W/m²)

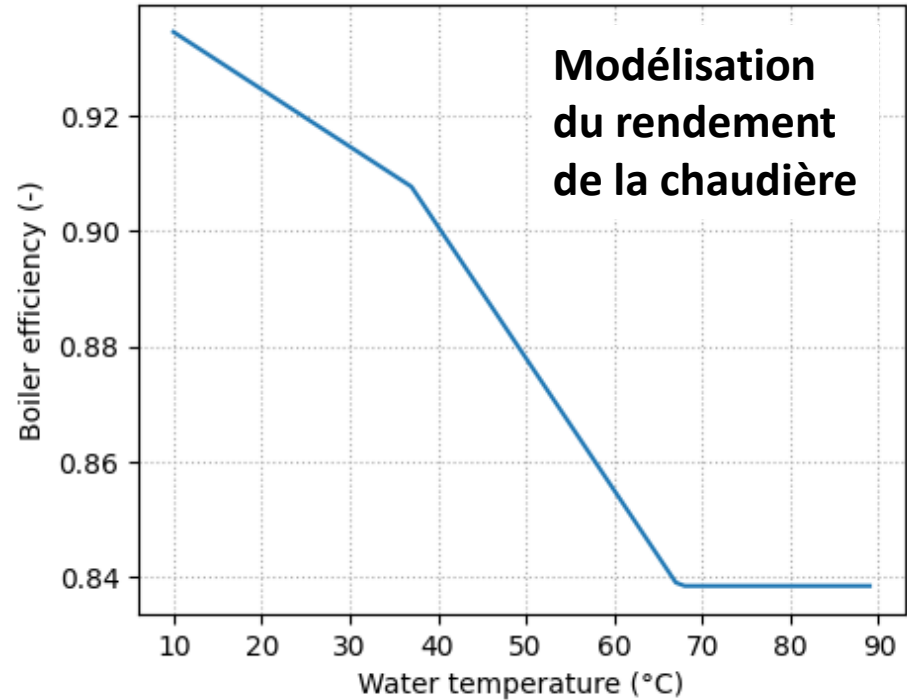
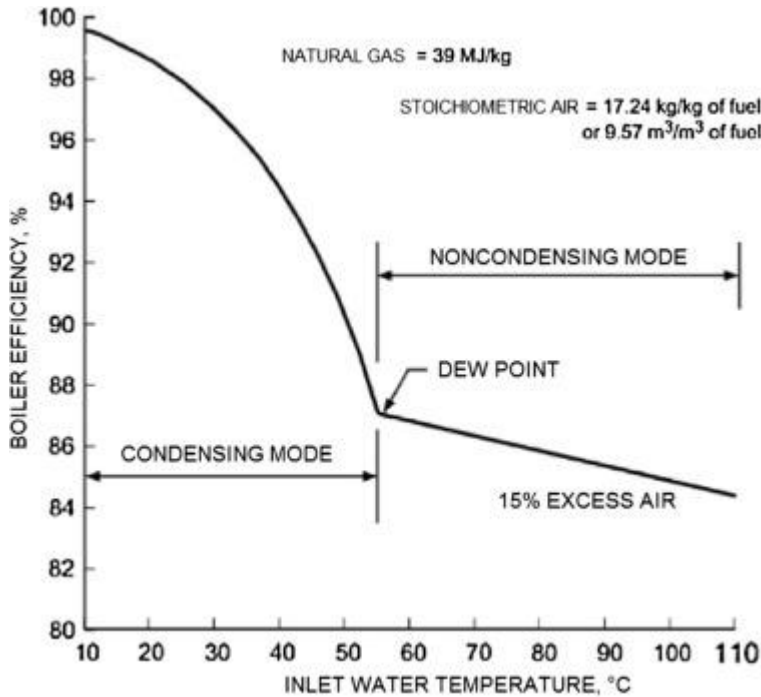


A : 13-03-2023 / 20-03-2023

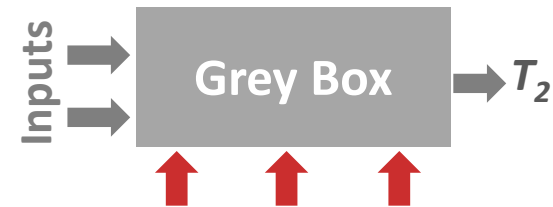


Identification

Unités de production



Source : S. Baldi



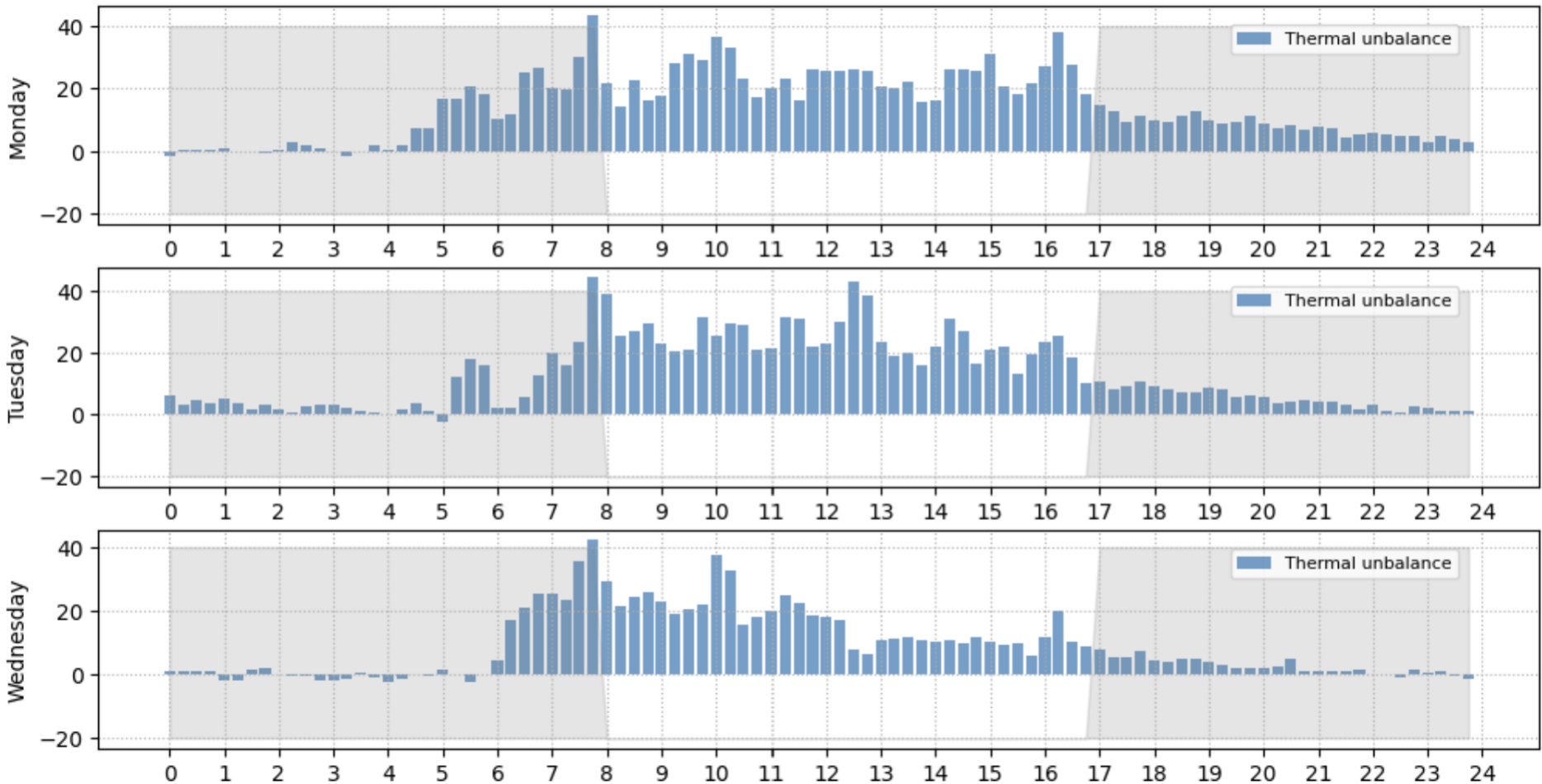
$U_0 U_1 U_2 C_1 C_2 A Q$
 $t_{w1} t_{w2} \eta_0 \eta_1 \eta_2 ?$

Ajout de paramètres au modèle dynamique →

Identification

Gains d'occupation

A1 - Quantile 0.805 thermal unbalance [W/m²]



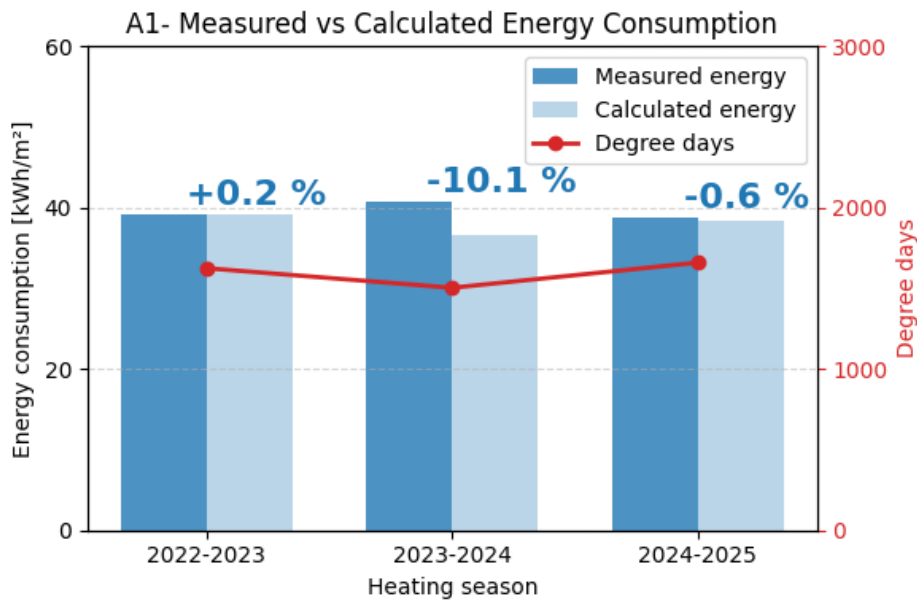
Plan

- ✓ Données
- ✓ Cas tests : complexes scolaires
- ✓ Approche méthodologique
- ✓ Décomposition des consommations de gaz
- ✓ Modélisation
- ✓ Identification
 - Validation
 - Confort
 - Conclusion

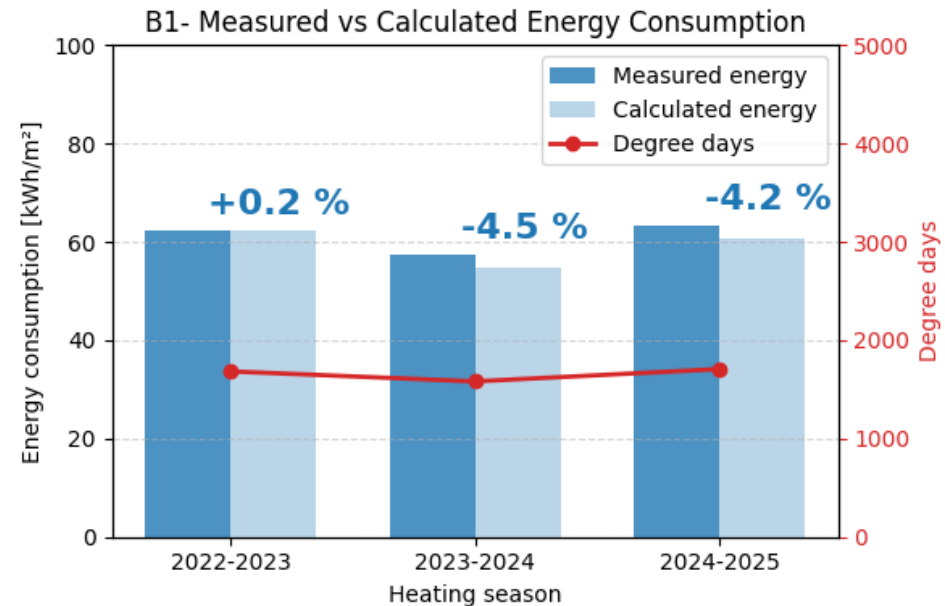
Validation *Consommation annuelle*

Outputs	Precision
Annual consumption	$\pm 3 \%$

A



B

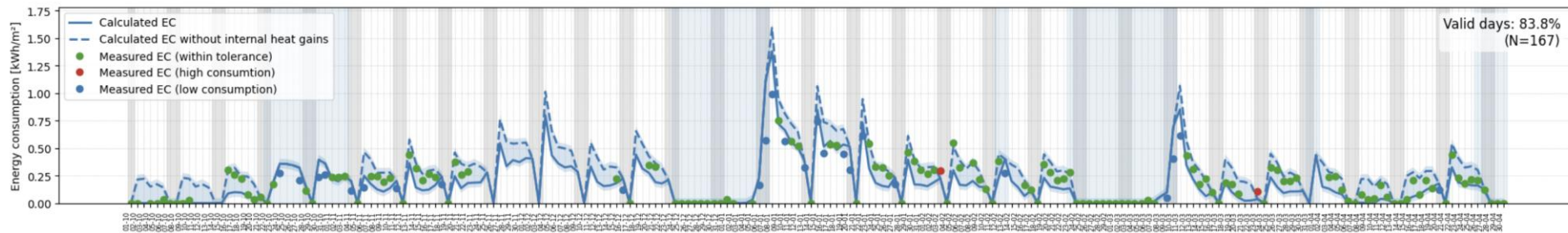


Validation *Consommation journalière*

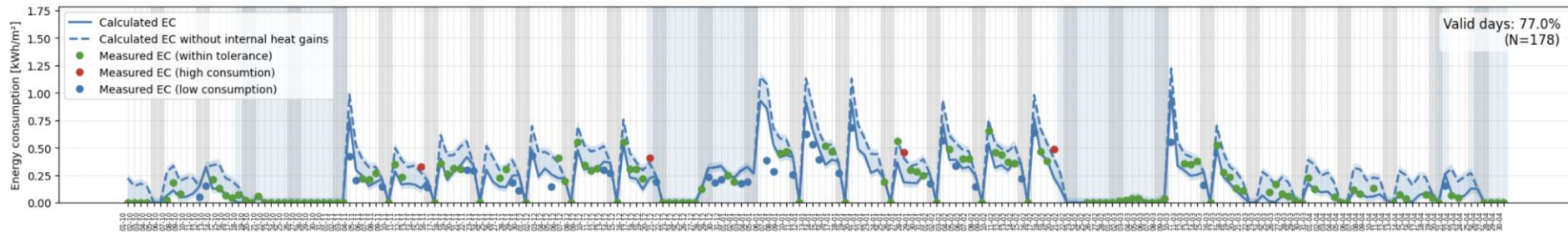
Outputs	Precision
Daily consumption	$\pm 20\%$

A

A1 - Zone - Energy Consumption by day (Oct 2023 - Apr 2024)



A1 - Zone - Energy Consumption by day (Oct 2024 - Apr 2025)

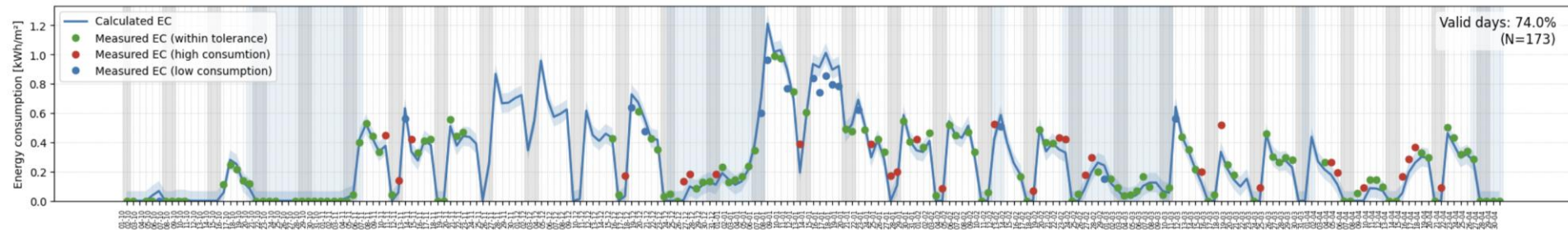


Validation *Consommation journalière*

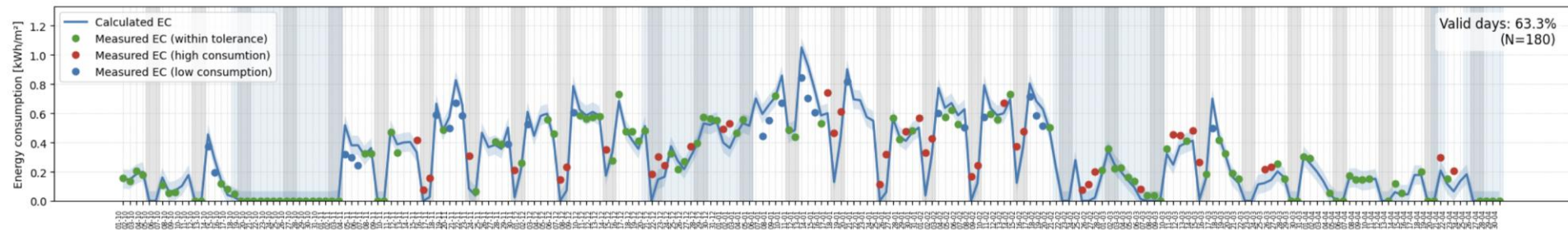
Outputs	Precision
Daily consumption	$\pm 20\%$

B

B1 - Zone - Energy Consumption by day (Oct 2023 - Apr 2024)



B1 - Zone - Energy Consumption by day (Oct 2024 - Apr 2025)



Validation

Température intérieure calculée

Outputs

Precision

Internal temperature

$\leq 1^\circ\text{C}$

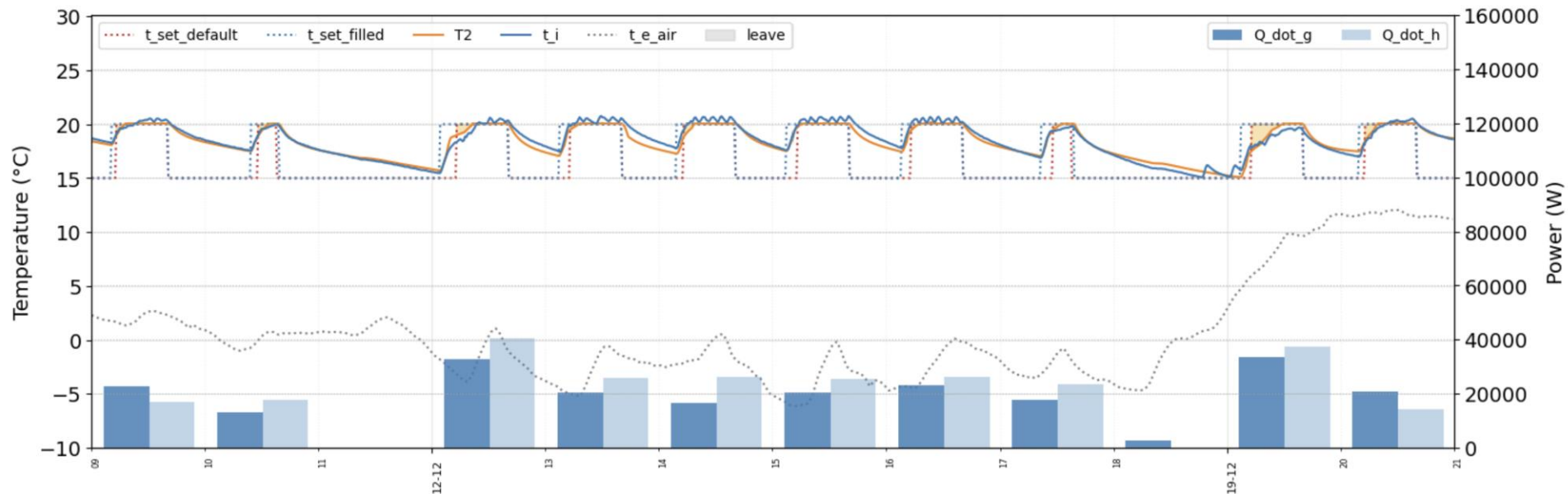
A

RMS 0.57 °C

B

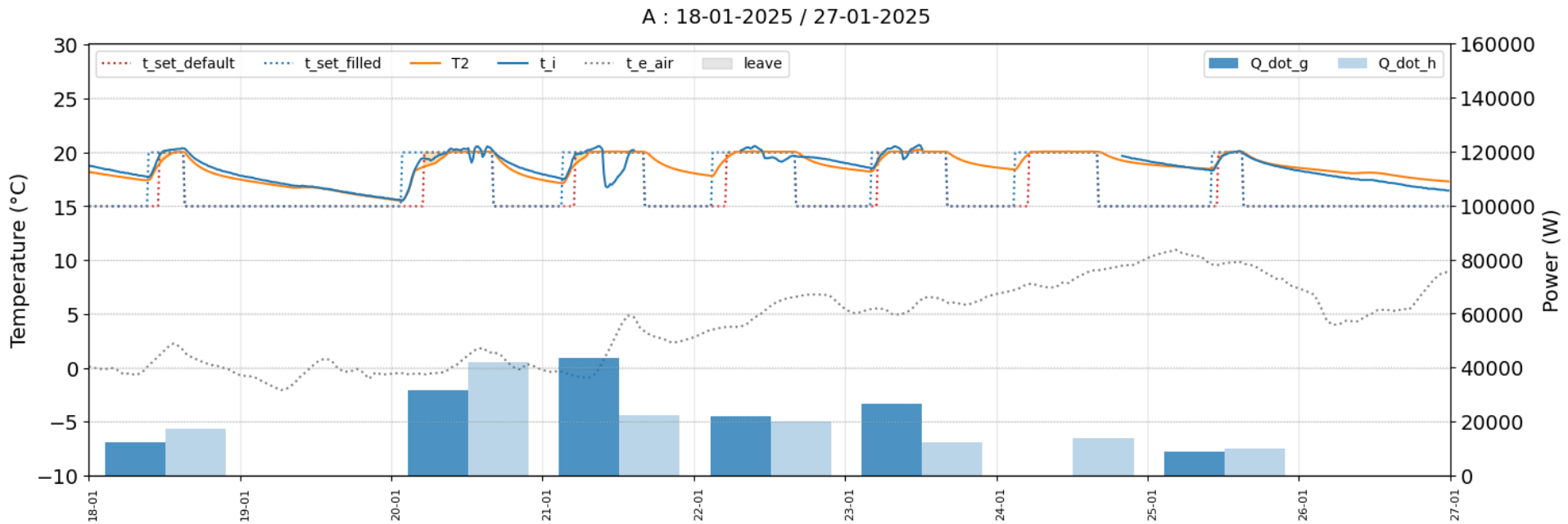
RMS 0.78 °C

A : 09-12-2022 / 21-12-2022



Validation

Comparaison des consommations



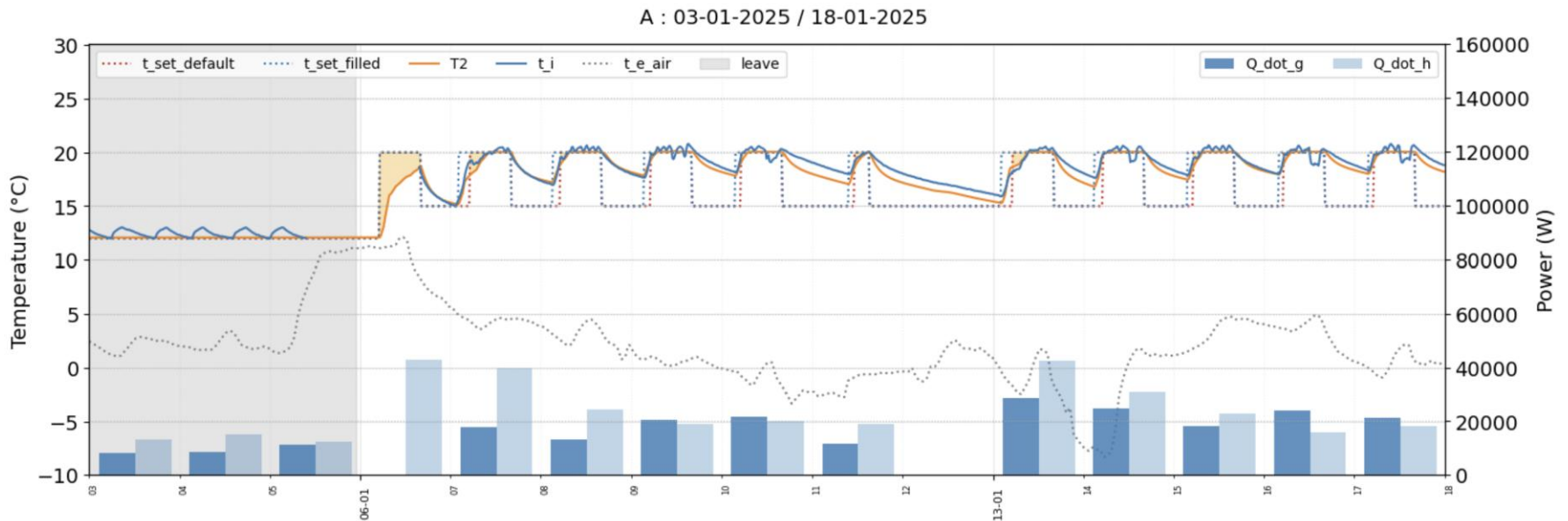
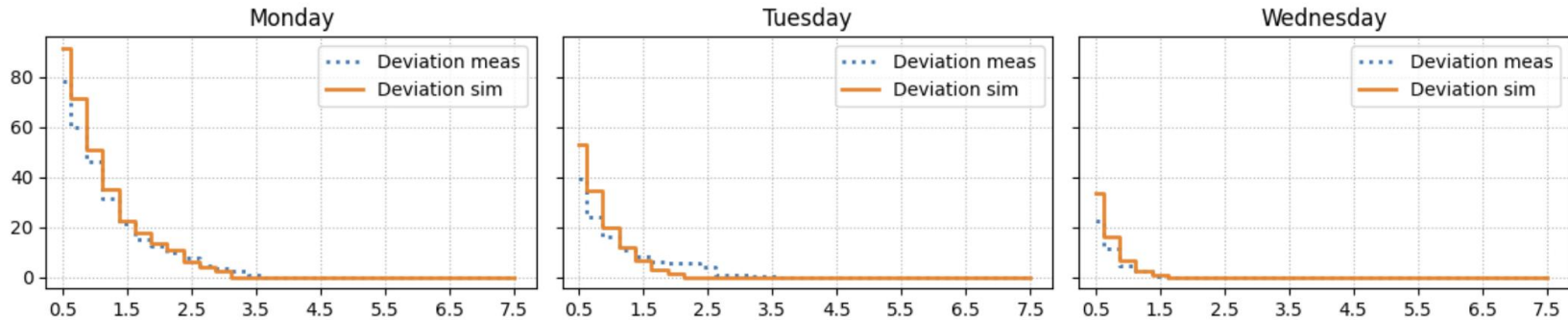
Plan

- ✓ Données
- ✓ Cas tests : complexes scolaires
- ✓ Approche méthodologique
- ✓ Décomposition des consommations de gaz
- ✓ Modélisation
- ✓ Identification
- ✓ Validation
 - Confort
 - Conclusion

Confort

Ecart par rapport à la consigne

A

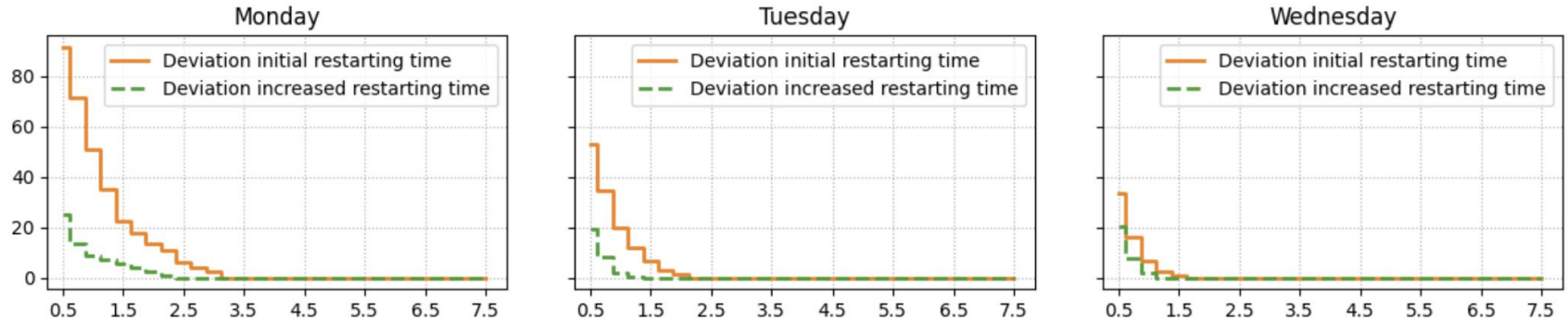


Confort

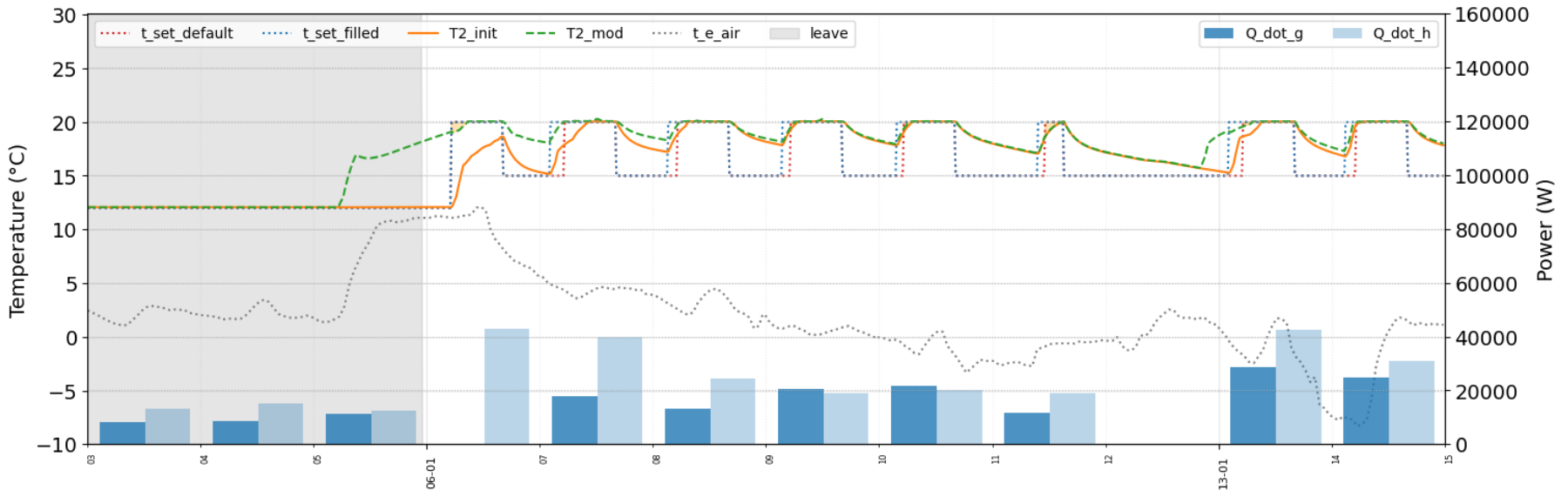
Durée de relance du chauffage

A

Augmentation de la consommation +3%



A : 03-01-2025 / 15-01-2025



Plan

- ✓ Données
- ✓ Cas tests : complexes scolaires
- ✓ Approche méthodologique
- ✓ Décomposition des consommations de gaz
- ✓ Modélisation
- ✓ Identification
- ✓ Validation
- ✓ Confort
- Conclusion

Conclusion

Données :

Données climatiques historiques versus prédites

Nettoyage et complétion des données

Observation des données

Processus d'identification du modèle :

Schéma hydraulique des l'installation de chauffage avec emplacement des sondes

Fiches techniques des équipements de chauffage

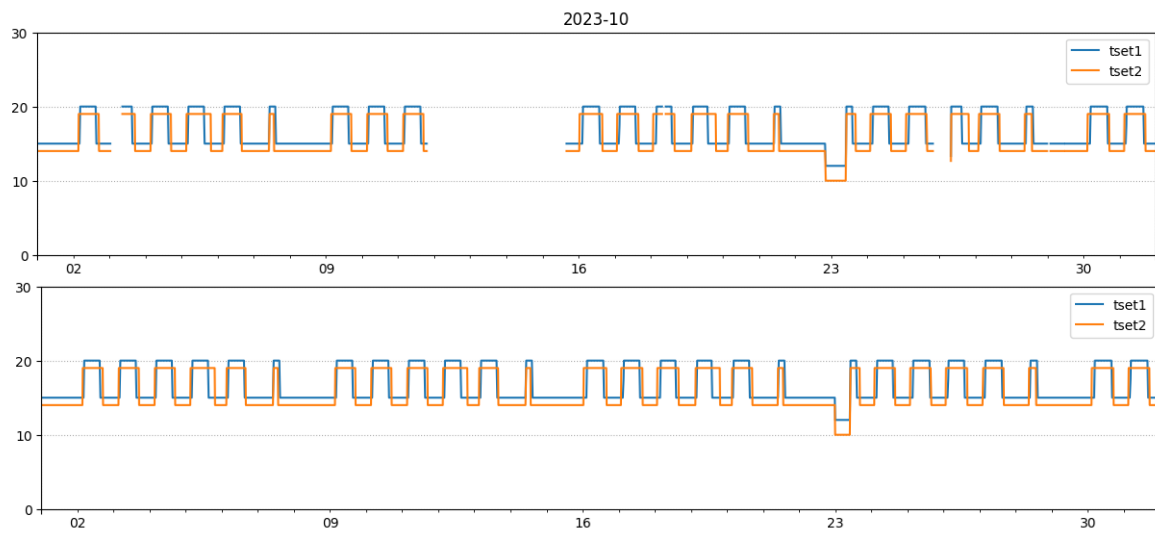
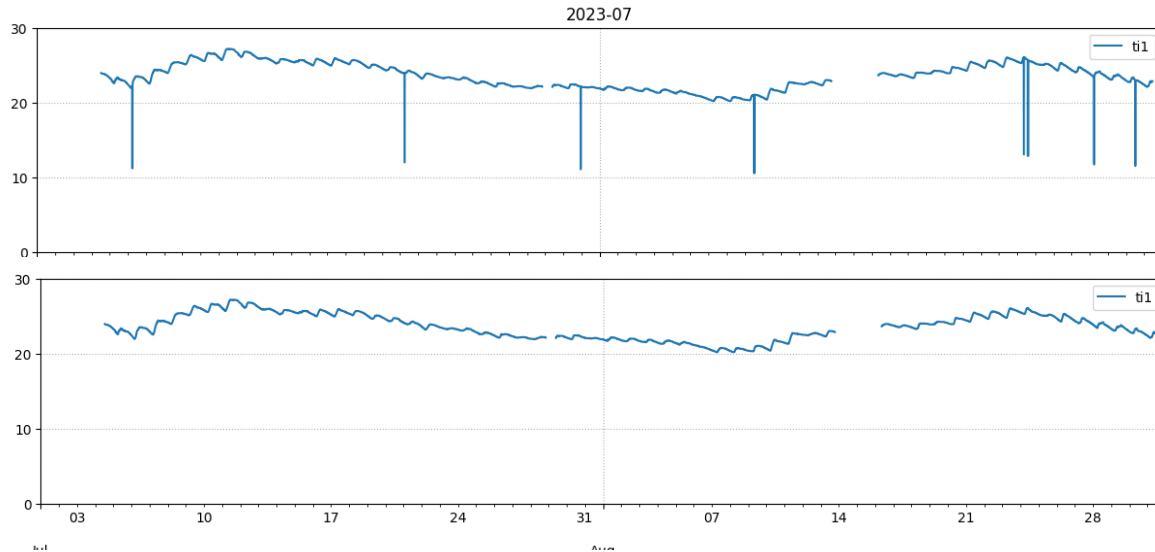
Lois de régulation du système de chauffage

Positionnement des sondes :

Placement des sondes de température intérieure et extérieure à l'ombre

A

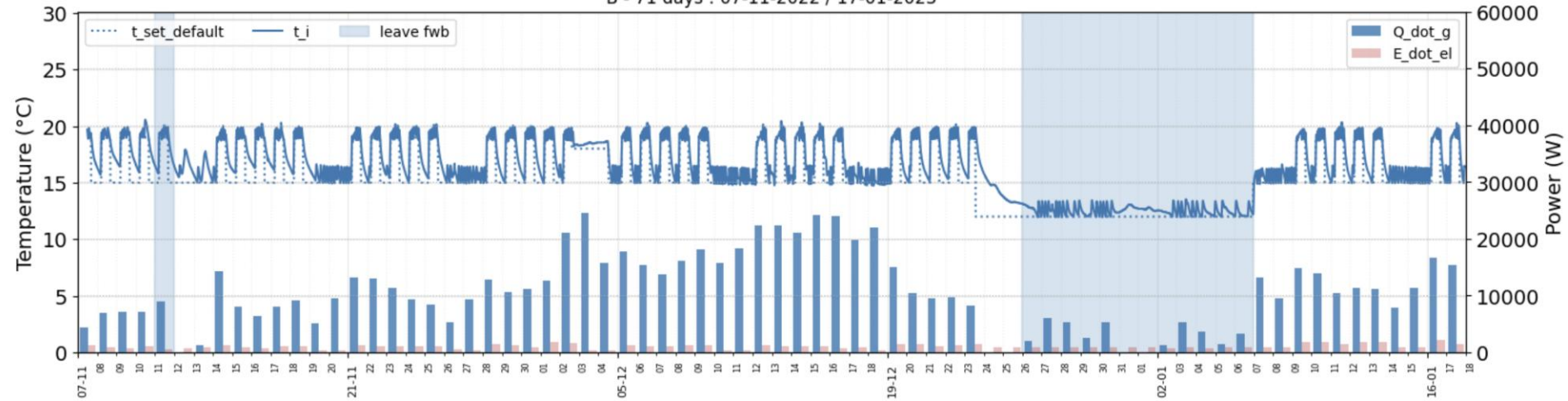
Nettoyage et complétion des données



B

Observation des données

B - 71 days : 07-11-2022 / 17-01-2023

**B**

Placement des sondes de température intérieure

B - 56 days : 09-09-2022 / 05-11-2022

