

### III. ANNEXES

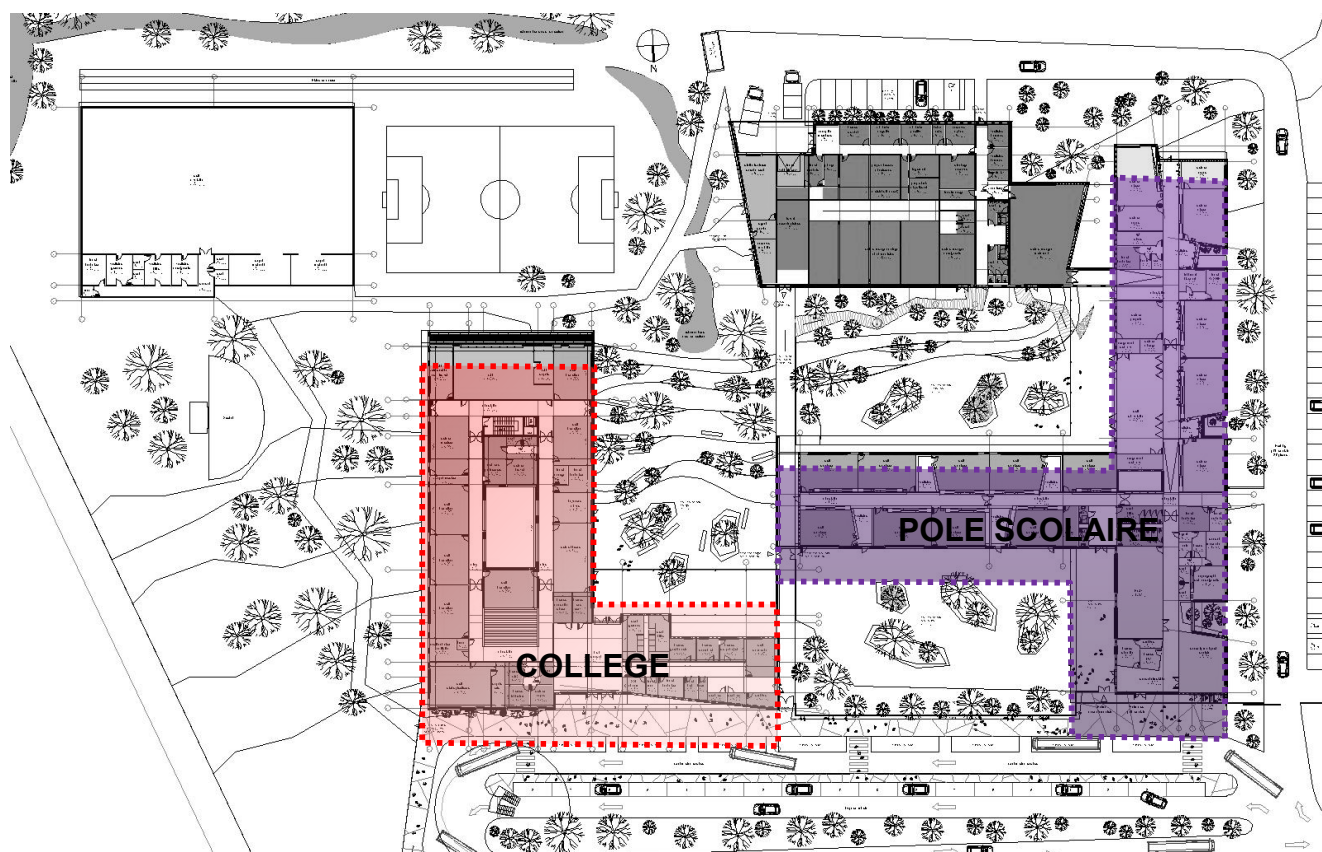
#### ANNEXE 1 – Simulation thermique dynamique du projet

##### Introduction

L'objectif de cette étude est de modéliser le projet de construction du site scolaire d'Attigny en vue d'analyser les besoins de chauffage et le confort d'été. Pour cela, nous utiliserons la modélisation thermique dynamique des bâtiments, ici avec le logiciel DesignBuilder/EnergyPlus. Il est important de noter que les simulations présentées ici ne se substituent pas au calcul réglementaire des consommations.

La méthode de calcul utilisée est un calcul dynamique sur une année type avec une enveloppe de bâtiment modélisée de façon précise ; les hypothèses d'occupation ne correspondent pas aux hypothèses conventionnelles mais essaient de coller au mieux à la réalité.

Lors de cette étude nous présenterons les hypothèses utilisées pour modéliser de façon réaliste l'architecture proposée par l'équipe de maîtrise d'œuvre, le climat et les paramètres d'utilisation du bâtiment. Nous étudierons ensuite la thermique d'hiver puis celle d'été avant de conclure.



## Hypothèses des simulations

### Données météo

Nous nous référons aux données météo de la ville de Metz qui est la ville la plus proche disponible dans la base de données du logiciel Design Builder.

### Informations générales sur le bâtiment

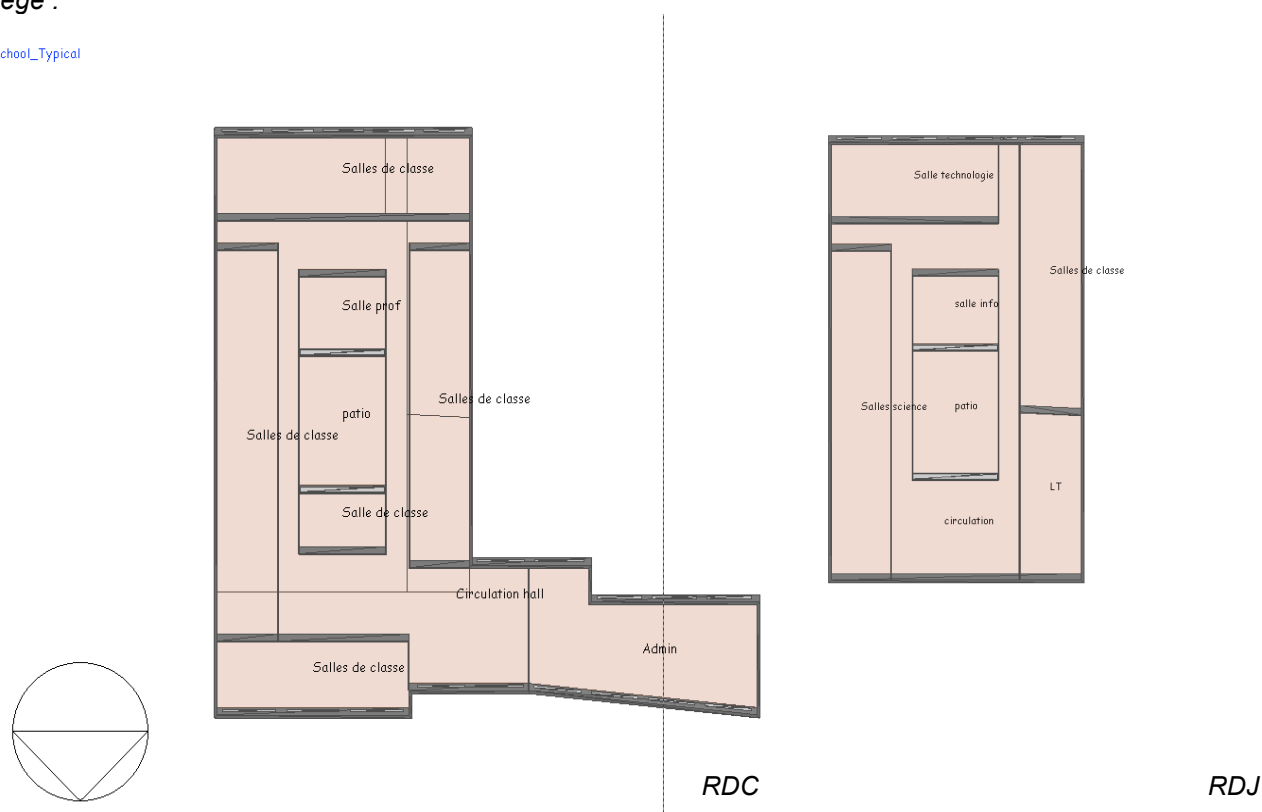
<b>Pôle scolaire : élémentaire et maternelle</b>	Bâtiment RDC Surface SU : 2 268 m <sup>2</sup> Hauteur totale du bâtiment : 4m90 Orientation entrée : Nord Entrée protégée par un préau Orientation façades principales : Nord/Sud et Est/Ouest
<b>Collège</b>	Bâtiment RDJ + RDC Surface SU : 2 727 m <sup>2</sup> Hauteur totale du bâtiment : 9m30 Orientation entrée : Nord Entrée protégée par auvent Orientation façades principales : Est/Ouest

### Zonage thermique pris en compte

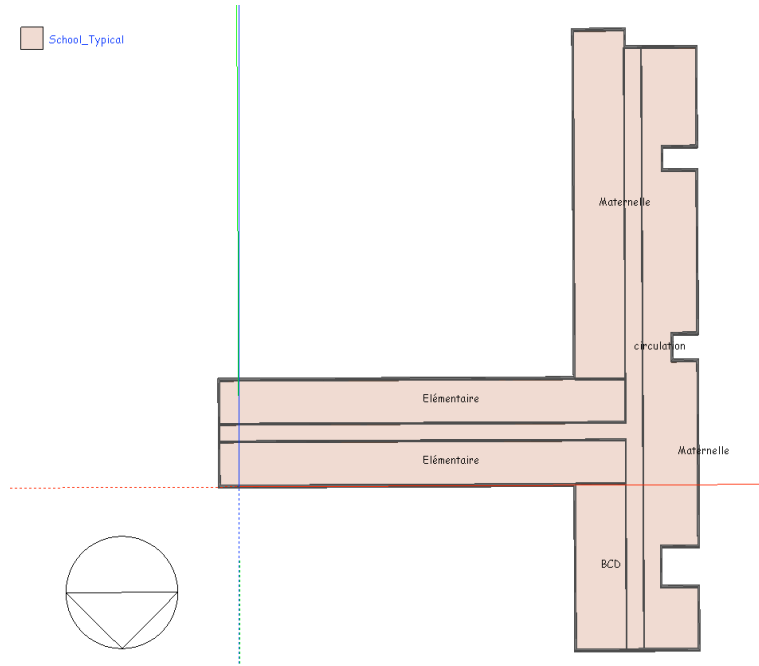
Le zonage thermique est effectué selon l'orientation des locaux et le type d'occupation.

### Collège :

 School\_Typical



Pôle scolaire - école élémentaire/maternelle :



Activité et équipements dans le bâtiment (apports internes et programmes d'occupation)

Type d'activité	Les bâtiments abritent principalement les types d'activités suivantes : enseignement, bureaux
-----------------	---

Local	Hypothèses d'occupation (Métabolisme enfant: 0.75)			Débits de ventilation
	Nombre personnes	Coefficient de foisonnement	Apports internes	
Bureaux (18 m²)	2 personnes	100%	0,1 personnes/m²	18 m³/h/pers
Classes collège (50 m²)	30 personnes	70%	0,4 personnes/m²	15 m³/h/pers
Classes maternelle (75 m²)	30 personnes	70%	0,28 personne/m²	30 m³/h/pers
Classes élémentaire (65 m²)	30 personnes	70%	0,32 personne/m²	30 m³/h/pers
Salle informatique collège (70 m²)	30 personnes	30%	0,12 personne/m²	18 m³/h/pers
Salles de sciences collège (65 ou 80 m²)	30 personnes	30%	0,14 - 0,3 personne/m²	18 m³/h/pers
Salle technologie collège (90 m²)	30 personnes	30%	0,1 personne/m²	18 m³/h/pers
Salle des professeurs collège (30 m²)	30 personnes	10%	0,1 personne/m²	18 m³/h/pers
BCD pôle scolaire (110 m²)	30 personnes	30%	0,1 personne/m²	18 m³/h/pers

<b>Programme d'occupation</b>	De 8h à 18h du lundi au vendredi - De 8h à 13h le mercredi Locaux inoccupés pendant les weekends et les vacances scolaires
<b>Equipements de bureautique</b>	Salle informatique : 15 ordinateurs BCD : 15 ordinateurs Administration : 1 ordinateur par bureau
<b>Eclairage</b>	Puissance installée d'éclairage : 8W/m <sup>2</sup> Planning de fonctionnement : selon le planning d'occupation des locaux avec un contrôle par capteur de luminosité

### Caractéristiques thermiques de la construction

<b>Murs extérieurs</b>	Les parois extérieures sont composées, de l'intérieur vers l'extérieur, de: -panneaux KLH (bois massif) 6cm -isolation en fibre de bois 20cm -lame d'air 3cm -bardage 2cm U = 0.14 w/m <sup>2</sup> .K Les parois extérieures du RDJ du collège sont composées, de l'intérieur vers l'extérieur, de: -voile béton 18cm -isolation en fibre minérale 20 cm -lame d'air 3cm -bardage 2cm U = 0.15 w/m <sup>2</sup> .K
<b>Toiture terrasse</b>	La toiture est composée de l'intérieur vers l'extérieur, de : -couverture en zinc : 5 cm -lame d'air 8cm -isolant en fibre minérale 33 cm -panneaux KLH 6cm U= 0.083 w/m <sup>2</sup> .K
<b>Planchers intermédiaires</b>	Plancher intermédiaire dans le collège : dalle en béton armée 20cm à 23cm
<b>Planchers bas</b>	Plancher bas est composé, de l'intérieur vers l'extérieur, de : -dalle en béton 20cm -isolant U=0.34 w/m <sup>2</sup> .K
<b>Cloisons</b>	Les cloisons intérieures des zones sont composées : -plaque de plâtre -lame d'air -plaque de plâtre
<b>Taux d'infiltration</b>	0,1 vol/h

### Ouvertures

<b>Vitrages extérieurs</b>	Doubles vitrages faiblement émissifs avec menuiseries mixte bois/alu
<b>Type de protection solaire pour vitrages</b>	Protections solaires extérieures à lames horizontales orientables. Planning : <ul style="list-style-type: none"> <li>selon l'éblouissement pendant l'hiver</li> <li>selon l'ensoleillement pendant l'été</li> </ul>

### Chauffage, rafraîchissement et ventilation

Type de combustible chauffage	bois
Description du système de chauffage	Chaufferie bois avec un rendement de 0,85 Plancher chauffant uniquement dans la partie école maternelle, et radiateur dans tout le reste des bâtiments.
Température de consigne d'hiver	19°C
Type de combustible rafraîchissement (gaz naturel, électricité, autre)	Pas de système de rafraîchissement, un système de ventilation naturelle nocturne sera mis en place avec 6vol/h de 18h à 8h pendant la saison chaude
Objectif confort d'été	Température résultante dans les espaces à occupation prolongée ne dépassant pas 27°C plus de 35 h dans l'année.
Ventilation	Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur 90%

### Résultats des simulations thermiques dynamiques

#### COLLEGE

##### Etude thermique d'hiver

La figure ci-dessous illustre le bilan thermique du bâtiment : Design Buidier (EnergyPlus) calcule le bilan thermique du bâtiment en décomposant les pertes de chacun des postes ; la modélisation des bâtiments sous Design Builder permet donc d'identifier les postes fortement déperditifs. Les valeurs correspondantes sont exprimées en kWh/m<sup>2</sup>.

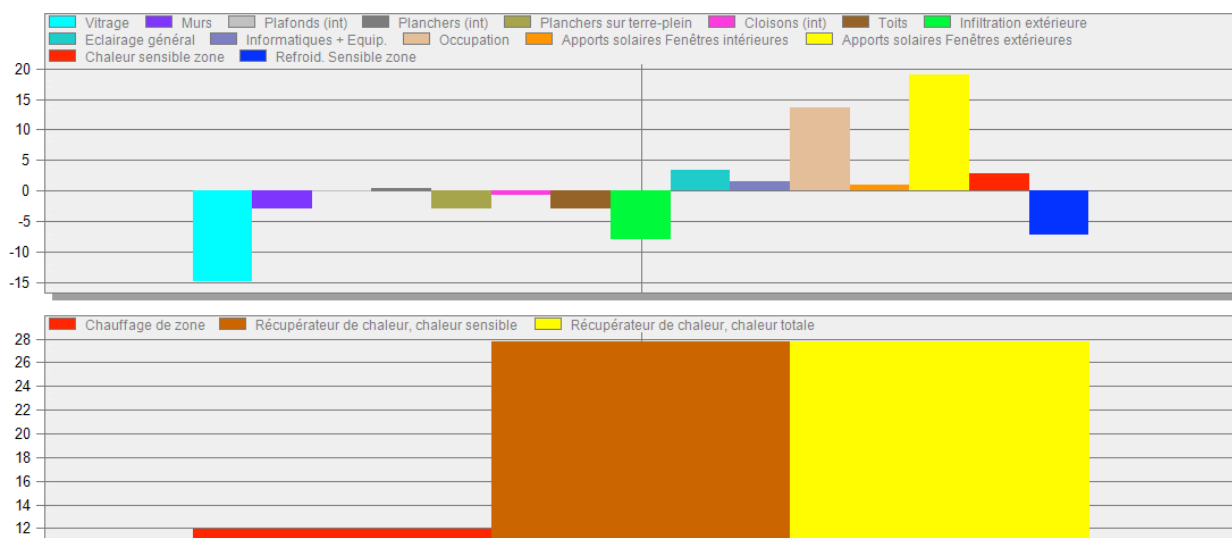


Figure 1 : Bilan thermique du bâtiment du collège - kWh/m<sup>2</sup> (15 Octobre – 15 Mai)

De cette étude, il ressort clairement que les plus grandes pertes proviennent des vitrages. Les principaux apports sont dus à l'occupation et aux apports solaires des fenêtres : ces apports permettent de diminuer de façon significative les consommations de chauffage. En effet la consommation de chauffage du collège est estimée à 12 kWh/m<sup>2</sup>.an en énergie finale.

## Etude confort d'été

L'objectif est de ne pas dépasser 50h durant lesquelles la température intérieure est supérieure à 27°C pendant les périodes d'occupation. Nous allons analyser les locaux les plus défavorables du collège afin d'étudier le confort d'été :

- Salle informatique RDJ
- Classe ouest RDC

Les figures ci-dessous représentent l'évolution de la température et le bilan thermique de la salle informatique et d'une salle de classe exposée à l'ouest au RDC du collège au cours de la semaine la plus chaude (hors période de vacances) avec la mise en place des protections solaires.

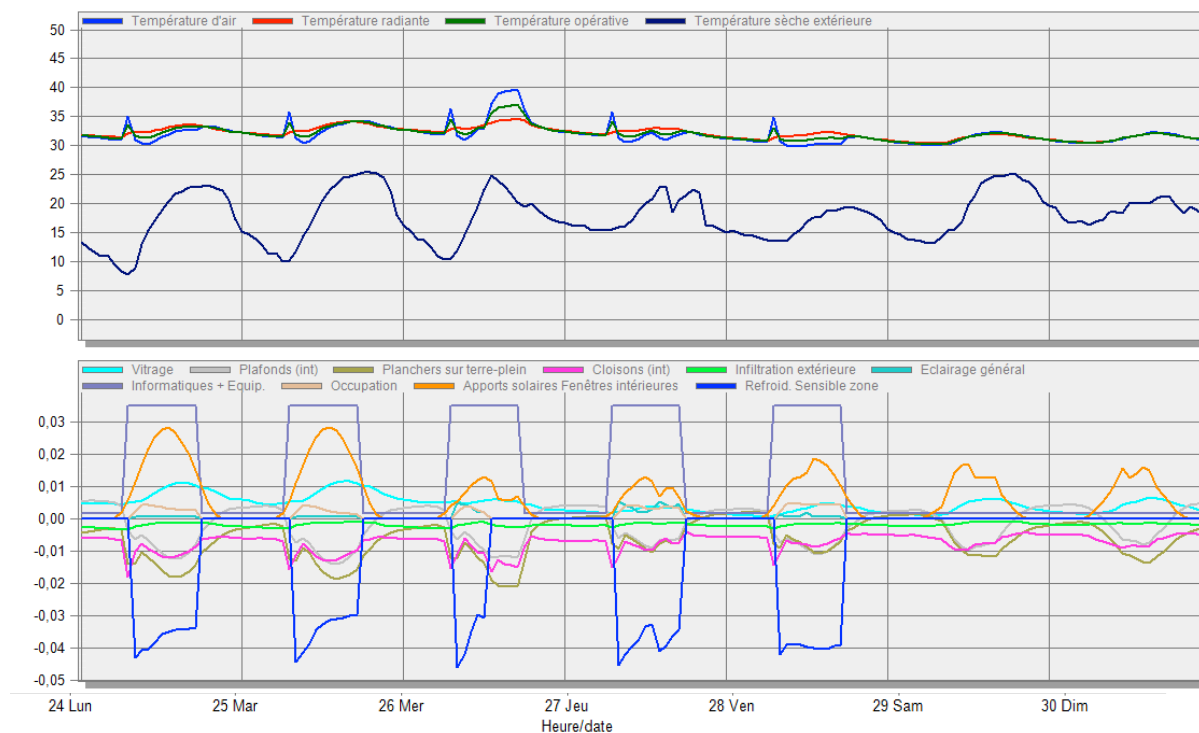


Figure 2 : Température et bilan thermique avec protections solaires – salle informatique collège - 24 au 30 juin

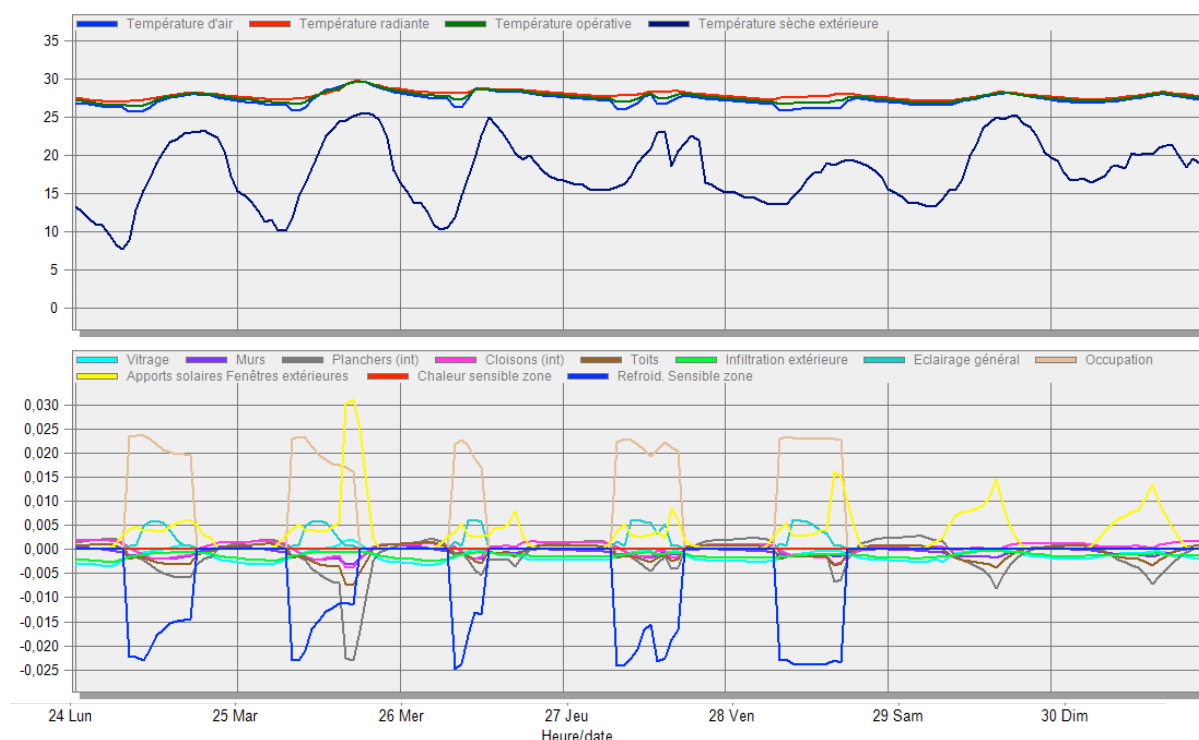


Figure 3 : Température et bilan thermique avec protections solaires – salle de classe RDC ouest collège - 24 au 30 juin

Comme on peut le voir sur les graphiques ci-dessus, pour la semaine d'été la plus chaude, dans la salle informatique les apports dus aux équipements bureautiques (30 ordinateurs) sont la première cause de surchauffe du local ; la courbe des températures (sur le 1er graphe, la courbe verte représente la température ressentie) montre un réel inconfort dans les locaux : la température atteint ainsi 37°C en fin d'après-midi. Dans les salles de classe à l'ouest, les apports dus aux occupants et les apports solaires sont la première cause de surchauffe dans le local ; la température peut atteindre 30°C en fin d'après-midi.

Le tableau suivant montre le nombre d'heures d'inconfort dans les locaux étudiés. Le nombre d'heures d'inconfort correspond au nombre d'heures pendant l'occupation (du 15 mai au 15 octobre hors période de vacances) où la température opérative est supérieure à 27°C.

Localisation	Heures d'inconfort
Salle informatique	424
Salle de classe à l'ouest	54

Nous avons donc, étudié la mise en place d'une ventilation naturelle nocturne par ouverture des fenêtres. La ventilation naturelle nocturne permette de baisser la température du bâtiment pendant la nuit et profiter de l'inertie du bâtiment pour réduire la température pendant la journée. On considère la mise en place de systèmes anti-pluie et anti-intrusion sur les façades sur cour permettant cette ventilation nocturne.

Les graphiques suivants montrent l'évolution de la température dans la salle informatique et dans une salle ouest du collège pendant la semaine la plus chaude (24 au 30 juin) avec une ventilation naturelle de nuit de 6vol/h de 18h à 8h:

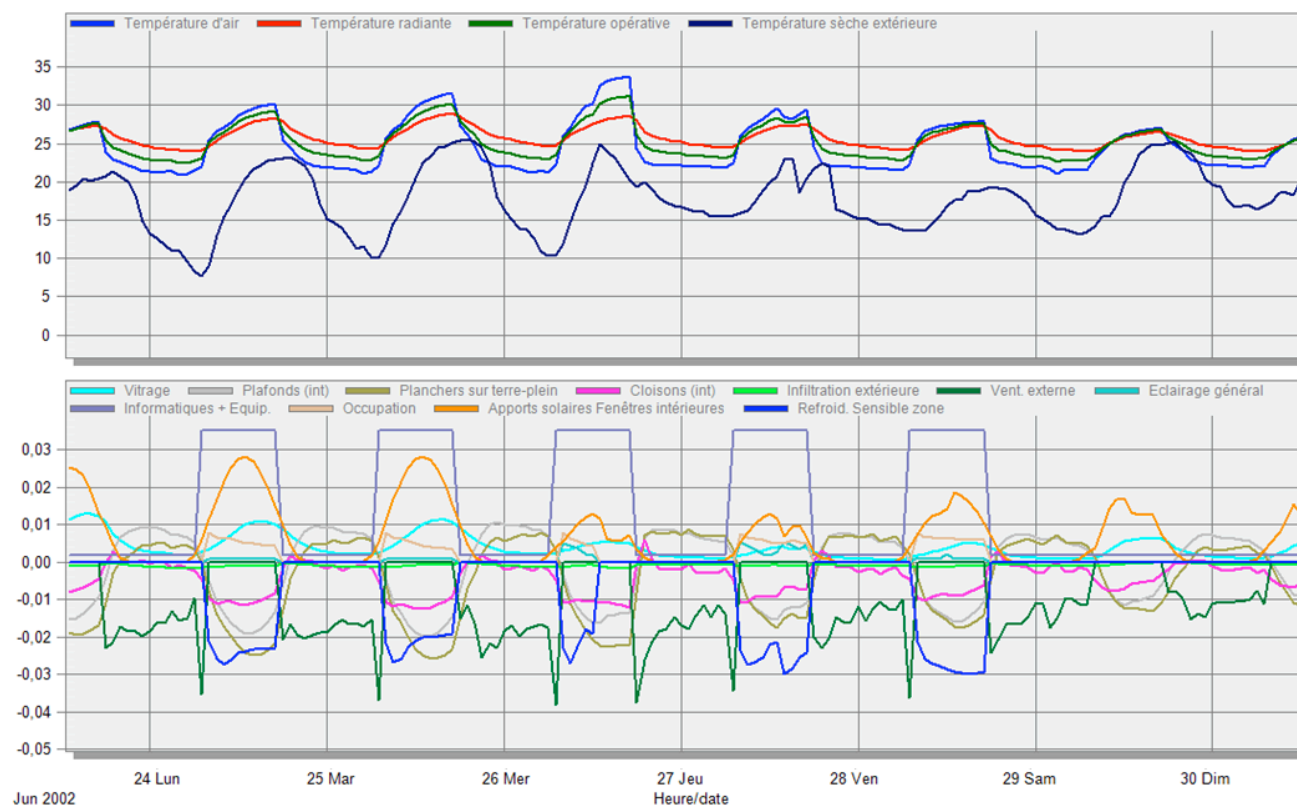


Figure 4: Température et bilan thermique avec ventilation naturelle – salle informatique collège - 24 au 30 juin



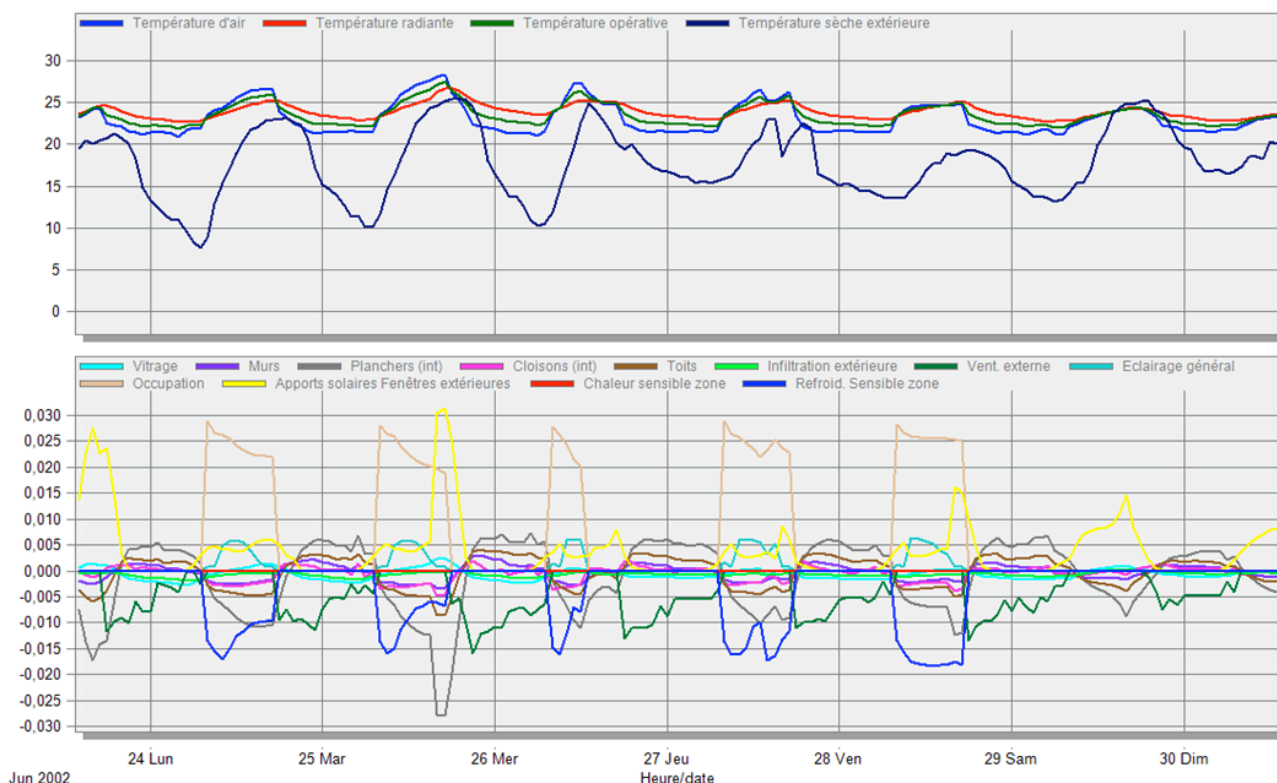


Figure 5 : Température et bilan thermique avec ventilation naturelle – salle de classe OUEST collège - 24 au 30 juin

Dans la salle informatique, grâce à la ventilation naturelle nocturne mise en place, la température maximale a baissé de près de 6°C par rapport au cas de référence. Toutefois, le confort n'est toujours pas atteint avec une température ressentie maximale de 31°C. Dans la salle de classe à l'ouest la température maximale atteinte est 27,5°C.

Le tableau suivant montre le nombre d'heures d'inconfort dans les locaux étudiés :

Localisation	Heures d'inconfort
Salle informatique	173
Salle de classe à l'ouest	8

Les mesures mises en place pour améliorer le confort d'été dans le bâtiment permettent de répondre aux objectifs et de ne pas dépasser 35 d'heures d'inconfort pour les salles de classe situées à l'ouest, alors que pour la salle informatique l'objectif de confort n'est pas respecté. Pour ce local, nous avons étudié la mise en place d'une ventilation nocturne de 8 vol/h : le nombre d'heures d'inconfort est réduit à 72h mais il n'est toujours pas conforme aux exigences.



## POLE SCOLAIRE - ELEMENTAIRE/MATERNELLE

### Etude thermique d'hiver

La figure ci-dessous illustre le bilan thermique du pôle scolaire qui permet d'identifier les postes fortement déperditifs et les apports dans le bâtiment. Les valeurs correspondant sont exprimées en kWh/m².

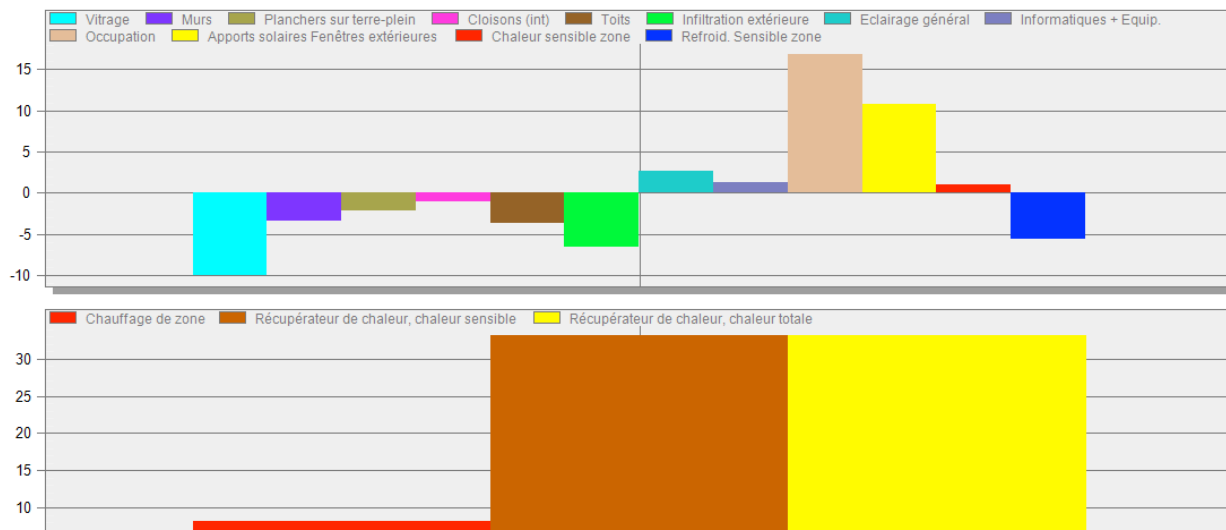


Figure 6 : Bilan thermique pôle scolaire kWh/m² (15 Octobre – 15 Mai)

Les plus grandes pertes proviennent des surfaces vitrées comme pour le collège. Les apports internes générés par les occupants et les apports solaires représentent la plus grande part d'apports de chaleur.

La consommation de chauffage du bâtiment qui abrite le pôle scolaire est estimée à 8 kWh/m².an en énergie finale. On peut en déduire que l'enveloppe du bâtiment est très performante et que le système de récupération de chaleur sur l'air vicié par la double flux permet de réduire considérablement les pertes de chaleurs.

### Etude confort d'été

Nous avons analysé les locaux les plus défavorables du pôle scolaire afin d'étudier le confort d'été :

- BCD
- Salle maternelle à l'ouest

Les figures ci-dessous représentent l'évolution de la température et le bilan thermique des salles étudiées au cours de la semaine la plus chaude (hors période de vacances) avec la mise en place des protections solaires.

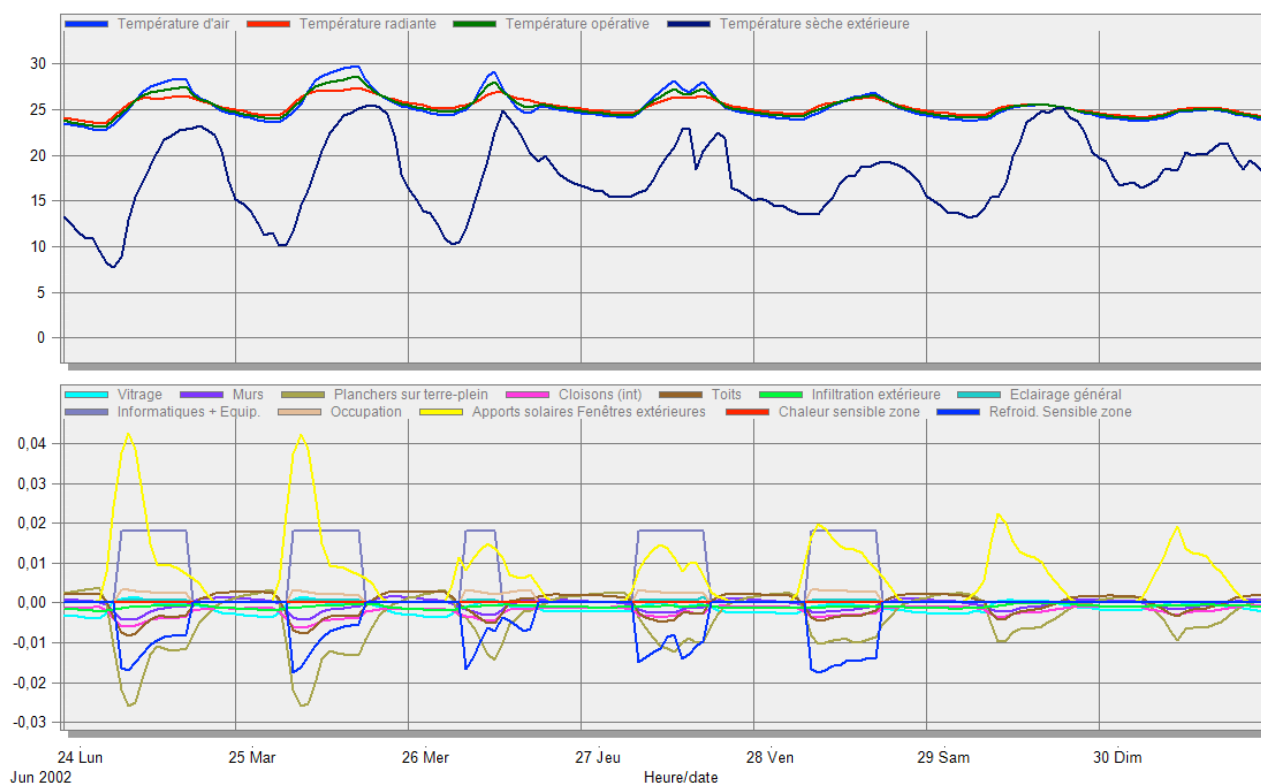


Figure 7 : Température et bilan thermique avec protections solaires – BCD - 24 au 30 juin

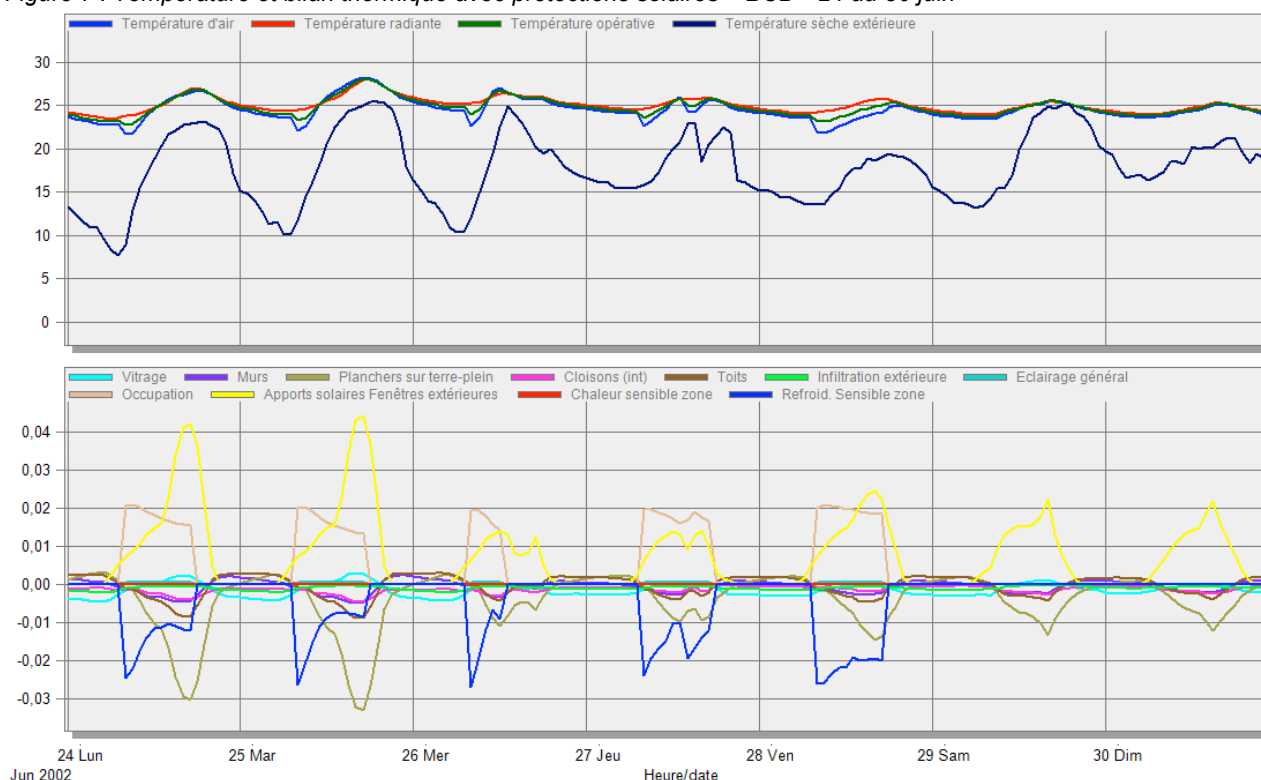


Figure 8 : Température et bilan thermique avec protections solaires – salle maternelle ouest - 24 au 30 juin

Comme on peut le voir sur les graphiques ci-dessus, dans le BCD les apports dus aux équipements bureautiques et les apports solaires sont la première cause de surchauffe du local ; la température atteint ainsi 29°C en fin d'après-midi. Le nombre d'heures d'inconfort où la température opérative est supérieure à 27°C dans ce local est égal à 30h.

Dans les salles de classe de la maternelle à l'ouest la mise en place des protections solaires est suffisante à garantir le confort: la température maximale atteint 28°C en fin d'après-midi et le nombre d'heures d'inconfort est égal à 8h.

Localisation	Heures d'inconfort
BCD	30
Salle maternelle à l'ouest	8

Pour baisser la température du bâtiment pendant la nuit, notamment dans le BCD, et profiter de l'inertie pour réduire la température pendant la journée, nous avons étudié la mise en place d'une ventilation naturelle nocturne par ouverture des fenêtres

Les graphiques suivants montrent l'évolution de la température dans les salles étudiées pendant la semaine la plus chaude (24 au 30 juin) avec une ventilation naturelle de nuit de 6vol/h de 18h à 8h:

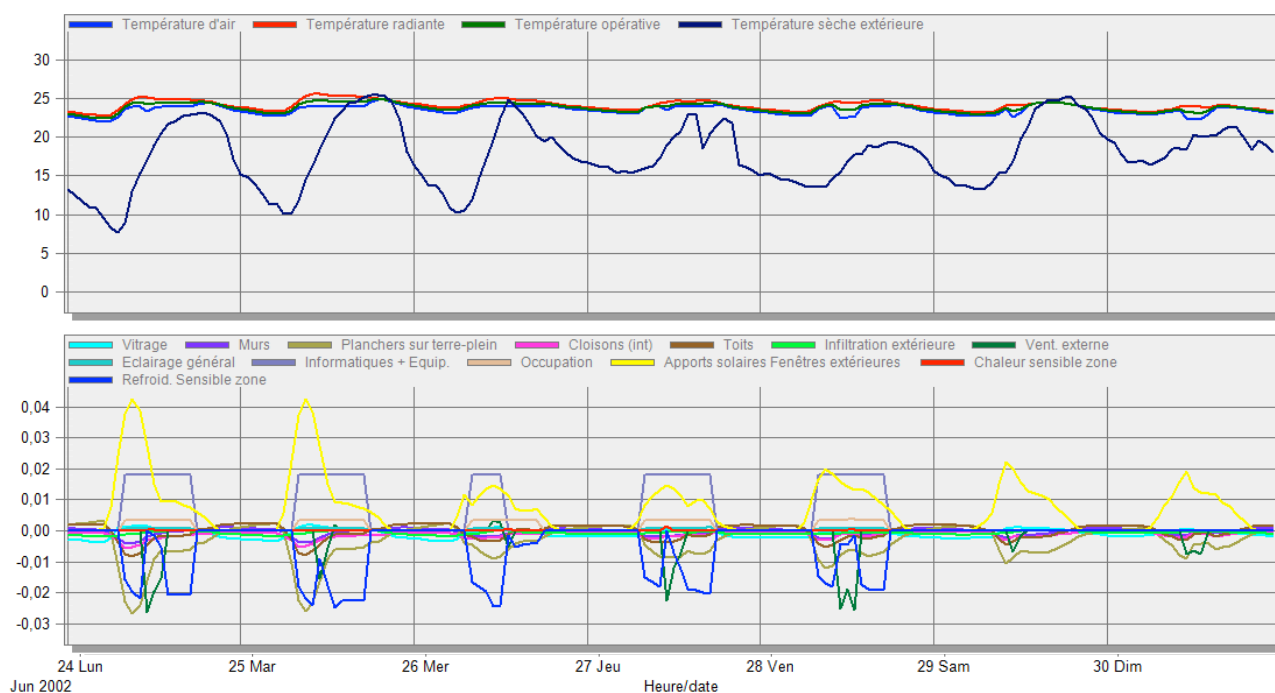


Figure 9 : Température et bilan thermique avec ventilation naturelle – BCD - 24 au 30 juin

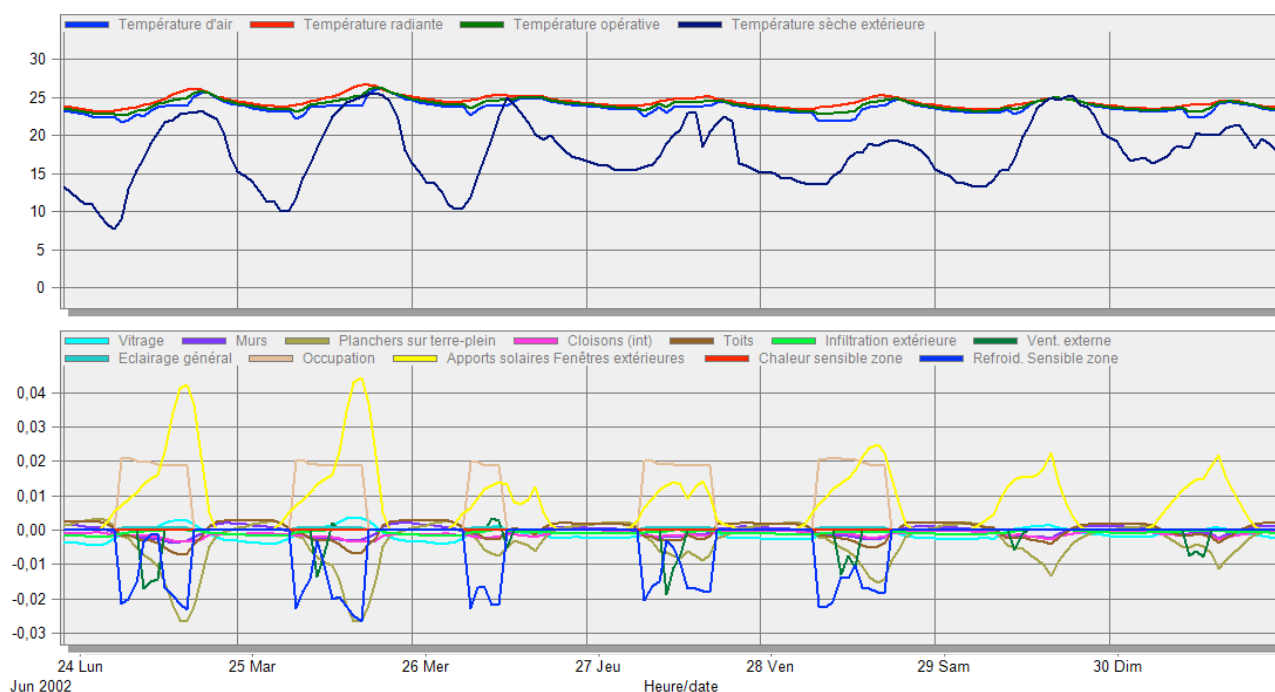


Figure 10 : Température et bilan thermique avec ventilation naturelle – salle maternelle ouest - 24 au 30 juin

Grâce à la ventilation naturelle nocturne mise en place, la température maximale dans le BCD a baissé de près de 2°C par rapport au cas de référence. Le nombre d'heures d'inconfort est réduit à 4h.

Le tableau suivant montre le nombre d'heures d'inconfort dans les locaux étudiés :

Localisation	Heures d'inconfort
Salle informatique	4
Salle maternelle à l'ouest	5

## Conclusions

### Thermique d'hiver

L'enveloppe du bâtiment est très performante et le système de récupération de chaleur sur l'air vicié par la double flux permet de réduire considérablement les pertes de chaleurs. Les consommations de chauffage sont donc très réduites : la consommation de chauffage du pôle scolaire est estimée à 8 kWh/m<sup>2</sup>.an et celle du collège à 12 kWh/m<sup>2</sup>.an.

### Confort d'été

Le tableau suivant compare le nombre d'heures d'inconfort du 15 mai au 15 octobre (hors période de vacances) sans la ventilation naturelle et en prenant en compte une ventilation naturelle de nuit de 6vol/h. Le nombre d'heures d'inconfort correspond au nombre d'heures pendant l'occupation où la température opérative est supérieure à 27°C.

Localisation	Protections solaires	Protections solaires + ventilation nocturne 6vol/h
Salle informatique	424	173 (72h avec 8vol/h)
Salle de classe à l'ouest	54	8
BCD	30	4
Salle maternelle à l'ouest	8	5

L'étude du confort d'été est particulièrement importante pour le bâtiment du collège qui présente plusieurs locaux à risque de surchauffe. La mise en place de la ventilation naturelle est donc fondamentale pour garantir le confort dans les salles de classe, alors que pour la salle informatique la ventilation naturelle ne suffit pas. Nous étudierons en phase APD des améliorations du confort d'été ; si ce système passif démontre une insuffisance quant aux exigences à atteindre en termes de température, un système actif sera envisagé pour cette salle.

Les résultats montrent que la ventilation nocturne a un grand impact sur le niveau de confort thermique de la salle BCD, alors que dans les salles de classe à l'ouest le confort d'été est garanti même sans ventilation naturelle.