

Proposition d'expérimentations Enveloppe et Qualité d'Air Intérieur

Auteur : F. Chaumeix
Modification : 29 octobre 2010



Figure 1 : Maquette pédagogique d'une construction bioclimatique

Sommaire

1	PREAMBULE	2
2	REALISATION D'UNE MAQUETTE PEDAGOGIQUE	3
2.1	PHASE DE CONCEPTION	3
2.2	PHASE DE REALISATION	4
3	CAMPAGNE DE MESURES	7
3.1	INFLUENCE DE L'INERTIE	7
3.2	INFLUENCE DE L'ISOLATION THERMIQUE	10
3.3	RECUPERATION DES APPORTS SOLAIRES	11
4	CONSTRUCTION PASSIVE « PASS-I*LAB »	13
4.1	PRESENTATION DU PROJET	13
4.2	ETUDES DU COMPORTEMENT THERMIQUE DES PAROIS VERTICALES.....	14
4.3	VISUALISATION DES DEPERDITIONS THERMIQUES.....	15

1 PREAMBULE

Fondé sur une approche concrète du réel, sur l'observation, l'analyse, la création et la communication, l'enseignement de la technologie participe à la structuration des connaissances, capacités et aptitudes enseignées au collège. Le programme de technologie est articulé autour de six approches traitées de manière progressive à tous les niveaux du collège :

1. L'analyse et la conception de l'objet technique
2. Les matériaux utilisés
3. Les énergies mises en œuvre
4. L'évolution de l'objet technique
5. La communication et la gestion de l'information
6. Les processus de réalisation de l'objet technique

L'année scolaire est partagée selon des centres d'intérêt qui favorisent l'interdépendance entre les six approches du programme et évite d'aborder celui-ci de manière seulement linéaire. Chaque équipe de professeurs façonnera sa propre organisation en fonction du contexte et de ses contraintes spécifiques. Le regroupement des connaissances et des capacités s'effectuera en centre d'intérêt autour de situation problème.

Les activités proposées, dans la partie exploitation pédagogique, découlent logiquement du texte général rédigé par le groupe d'experts, pour répondre à la problématique suivante : « **Comment assurer le confort thermique, n'avoir ni chaud, ni froid tout en consommant le moins d'énergie possible ?** » Les activités proposées s'effectueront dans le cadre du cours de technologie, mais certaines séquences pourraient être traitées de manière pluridisciplinaire.

Dans le cadre d'une séquence pédagogique en classe de technologie, il peut être envisagé de demander aux élèves de concevoir et de fabriquer une maquette. La maquette pédagogique d'une construction bioclimatique permettra de mener des expérimentations destinées à mettre en évidence les phénomènes caractérisant le comportement thermique des bâtiments et, en particulier, l'influence de l'isolation thermique et de l'inertie sur le confort thermique. La deuxième partie présente un exemple de réalisation d'un support pédagogique effectué par les enseignants d'un lycée technologique. L'objectif visé était de réaliser un prototype permettant d'effectuer une série d'expérimentations afin de valider que le comportement thermique d'une maquette était comparable à celui d'une construction. Cette maquette a été conçue, pour proposer des activités et apporter une aide et des idées d'expérimentations à des professeurs de technologie.

La dernière partie est une étude de cas d'un bâtiment à basse consommation d'énergie, construit selon les principes de l'architecture bioclimatique. Ce bâtiment, implanté sur le site du lycée Gaudier Brzeska à Saint Jean de Braye, est un prototype destiné à la formation des élèves, des étudiants et des professionnels du secteur. Au cours de la construction, de nombreux capteurs (températures, humidités, compteurs d'énergie ...) ont été mis en place afin de pouvoir étudier le comportement réel de ce type de construction. Les solutions retenues pour l'isolation, l'étanchéité à l'air et les équipements techniques constituent des supports pédagogiques innovants, exploitables dans le cadre du nouveau programme de technologie au collège.

2 REALISATION D'UNE MAQUETTE PEDAGOGIQUE

2.1 Phase de conception

Lors de la construction d'un bâtiment, l'architecte commence par une étude d'esquisse, c'est-à-dire la proposition d'une ou plusieurs solutions traduisant les éléments majeurs du programme de construction et permettant de vérifier la faisabilité de l'opération. La phase qui suit, appelée étude d'avant projet sommaire (APS), permet de préciser la composition générale en plan et en volume, de proposer un calendrier de réalisation et une estimation des coûts prévisionnels des travaux. Cette phase est suivie d'une phase d'avant projet détaillé (APD) permettant de déterminer des surfaces détaillées, d'établir les plans, les coupes, les façades en définissant les principes de construction et les matériaux utilisés. Les études d'APD vont permettre de lancer une phase de consultation des entreprises pour la réalisation du projet. Nous allons nous inspirer de cette démarche pour la réalisation d'une maquette de construction bioclimatique.

A partir du texte général, rédigé par le groupe de travail sur « le confort thermique dans les lieux de vie », nous allons extraire certaines problématiques :

- ✓ Comment construire une enveloppe bioclimatique ?
- ✓ Comment montrer l'influence de l'inertie thermique ?
- ✓ Comment montrer l'influence d'un isolant thermique ?
- ✓ Comment capter les apports solaires ?

Ces questions peuvent trouver des réponses au travers d'une recherche documentaire, d'une recherche sur Internet, ou par la réalisation d'une maquette permettant la réalisation d'expérimentations. Afin de garder un lien avec le comportement thermique des bâtiments, la maquette proposée devra avoir un aspect visuel qui correspond à une construction. Nous proposons de réaliser une maquette à l'image du Pass-I*Lab, bâtiment de formation bioclimatique et passif situé à Saint-Jean-de-Braye, sur le site du lycée Gaudier Brzeska.

La conception d'une maquette requiert une démarche de réflexion et de conception au cours de laquelle les élèves seront amenés à effectuer une description sous forme de croquis de la maquette. Pour passer à l'étape suivante de la réalisation, les élèves devront établir une représentation de l'objet soit sous forme de plans techniques, soit sous forme de maquette numérique en utilisant un modeleur. La faisabilité technique avec les contraintes imposées par le collège sera intégrée lors de la phase de conception. Les activités de réalisation feront l'objet d'une planification avec une répartition des tâches. Une réflexion sur les propriétés intrinsèques des matériaux (conductivité thermique, capacité thermique, résistance mécanique ...) et les modes d'assemblage sera menée.

La réalisation des campagnes de mesures répondra à des règles décrites dans un protocole expérimental. La chaîne d'informations (acquérir, traiter, transmettre) peut être abordée avec, comme support, le dispositif d'acquisition de données. Le traitement des données, sous forme de courbes, permet d'utiliser les outils logiciels de type tableur-grapheur et les outils de traitement de texte pour mettre en forme les analyses.

Afin de répondre aux questions posées, l'idée sera de réaliser une maquette permettant différentes configurations (forte isolation, ou faible isolation, forte inertie ou faible inertie). Pour cela, la maquette sera composée de deux parties (deux enceintes) avec des configurations modulables. Nous allons utiliser, comme matériau à forte inertie, le béton et, comme isolant, la laine de bois. Une partie de la maquette sera vitrée afin de pouvoir simuler le comportement thermique d'un vitrage.

La conception d'une maquette avec deux cellules va permettre de mener en même temps et dans les mêmes conditions expérimentales, des essais avec différentes compositions de structure (en jouant sur l'inertie et l'isolation).

Les plans de fabrication sont réalisés avec un modeleur 3D ou un logiciel de DAO.

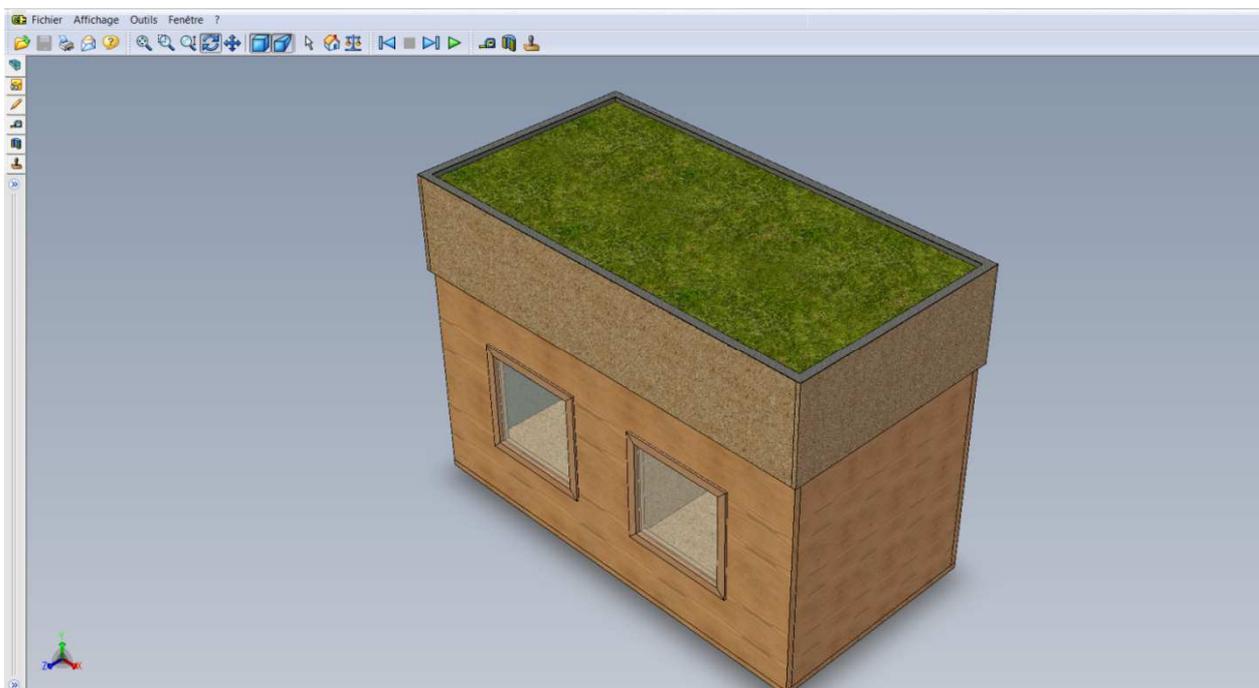


Figure 2 : Perspective de la maquette bioclimatique en vue 3D

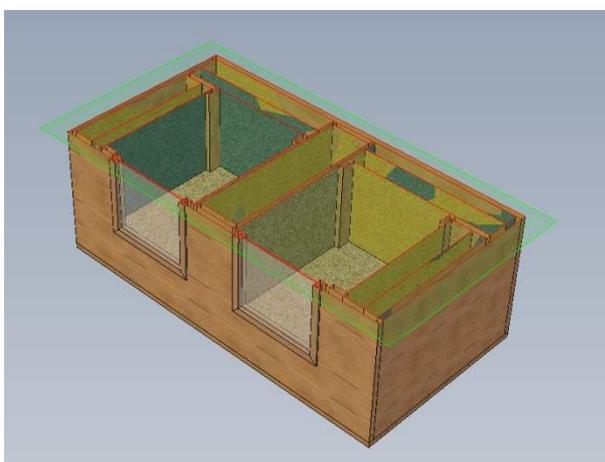


Figure 3 : Coupe horizontale de la maquette



Figure 4 : Coupe verticale de la maquette

2.2 Phase de réalisation

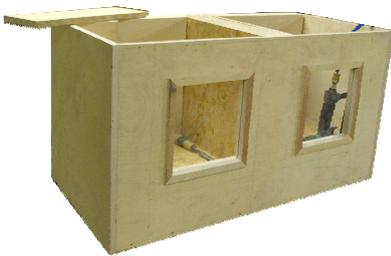
Après l'étape de réflexion et de conception, nous devons passer à la phase de réalisation. La réalisation de la maquette proposée a été effectuée dans un lycée technologique et professionnel, afin de respecter au mieux les similitudes avec un bâtiment réel. Ce type de maquette ne pourra pas être réalisé dans les mêmes conditions en collège. La démarche, mise œuvre, pourra néanmoins inspirer les professeurs de collège ou les élèves afin de concevoir une maquette plus petite avec d'autres matériaux.

Phase 1 : Enveloppe extérieure



Les plaques en bois en contre plaqué ont été retenues pour assurer la structure porteuse de la maquette. Chaque plaque de bois va être découpée en fonction des plans, et assemblée par des vis à bois.

Phase 3 : Vitrages



La façade n'est pas isolée et comporte deux vitres de 4 mm montées avec parrecloses.

Phase 5 : Réalisation de la toiture terrasse



Fabrication de la toiture de type terrasse avec la mise en place d'une membrane d'étanchéité.

Phase 7 : Végétalisation de la toiture terrasse



La couche pouzzolane (roche volcanique, d'une épaisseur de 4 cm, va assurer une couche drainage pour l'humidité de la toiture.

Phase 2 : Plancher bas



La partie basse est isolée par une plaque de 10 cm de polystyrène puis recouverte par une plaque en bois (OSB) de 10 mm.

Phase 4 : Aménagement intérieur



Vue de dessus de la maquette avec les deux enceintes symétriques, permettant la réalisation de différentes configurations de murs. Ces enceintes sont thermiquement isolées par une paroi séparatrice en panneau d'OSB de 10 mm et 12 cm d'isolant en laine de bois.

Phase 6 : thermocollage de l'étanchéité

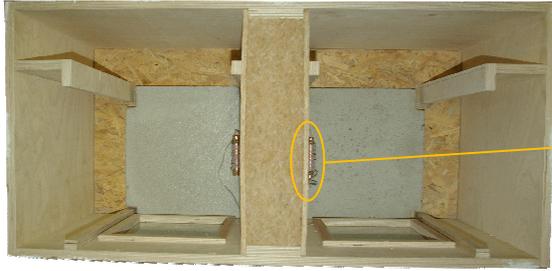


La membrane est chauffée, les deux parties vont être ensuite thermocollées l'une sur l'autre à l'aide d'une petite molette afin d'assurer l'étanchéité de la toiture.



Mise en place du tapis végétal déroulé et coupé aux dimensions de la toiture sur la pouzzolane.

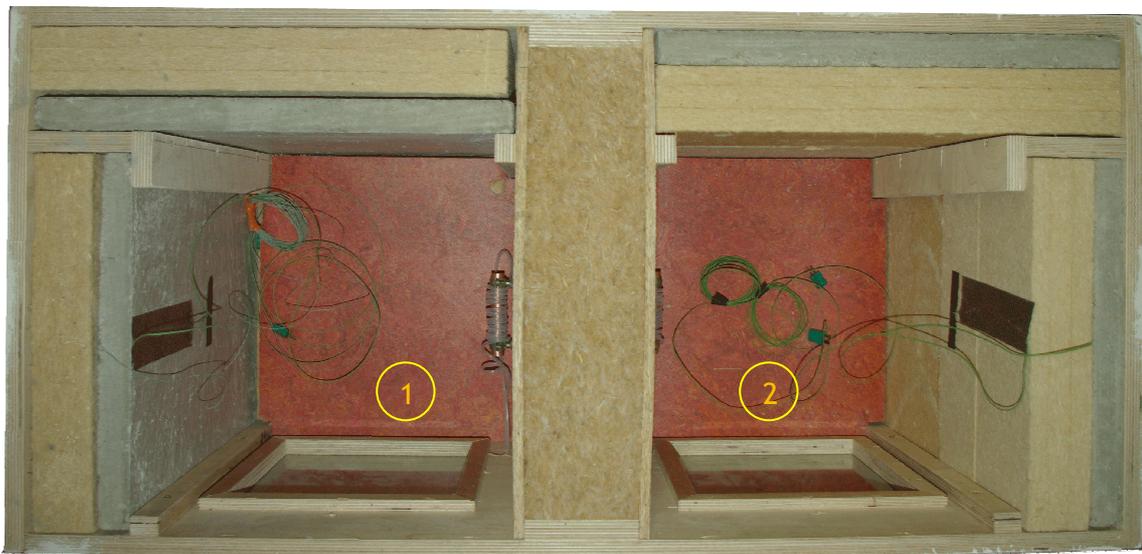
Phase 8 : Système de chauffage



Le chauffage de chaque enceinte sera assuré par un fil électrique chauffant (traceur électrique) enroulé autour d'un tube de cuivre de 10 cm. La même longueur de fil est utilisée pour chaque enceinte afin d'avoir les mêmes puissances de chauffage.

Mise en place d'une dalle en béton fibré de 3 cm d'épaisseur (dosé à 350 kg/m³) pour assurer la fonction de plancher bas. Le dosage du béton, pour 1 m³, est de 400 litres de sable, 800 litres de gravillon, 350 kg de ciment et 175 litres d'eau.

Phase 9 : Montage des parois verticales



Enceinte N°1 : Isolation disposée à l'extérieur

L'isolant est constitué par des plaques de laine de bois, d'épaisseur 6 cm, placées côté extérieur. Les dalles de béton, de même composition que la dalle de sol, sont placées côté intérieur.

Cette enceinte est équipée de capteurs de température placés en surface de la paroi intérieure, entre le béton et l'isolant, et à l'extérieur de l'enceinte.

Enceinte N°2 : Isolation disposée à l'intérieur

Les mêmes matériaux sont utilisés comme pour l'enceinte N°1, mais ils sont disposés différemment. La paroi en béton est disposée côté extérieur et l'isolant est intérieure.

Comme pour l'enceinte N°1, des capteurs de températures vont permettre de relever la température intérieure de surface de l'isolant, la température d'interface (béton-isolant) et la température extérieure.

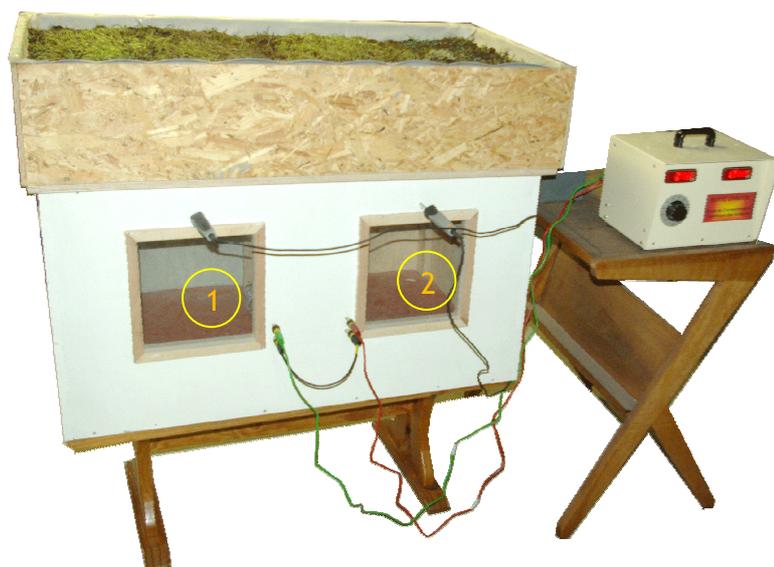


Figure 5 : Maquette bioclimatique en phase d'essai

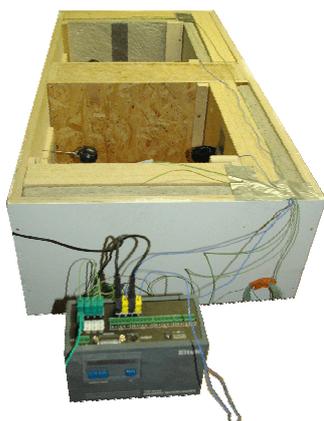
Une couche de peinture blanche assure la finition de l'ensemble. Les deux éléments chauffants sont raccordés en série sur un générateur de tension qui va générer une puissance électrique dans le montage. La puissance électrique va être dissipée sous forme de chaleur dans chacune des enceintes.

3 CAMPAGNE DE MESURES

3.1 Influence de l'inertie

Plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées afin de déterminer les bons réglages au niveau du générateur de tension et de la centrale de mesures. Nous allons présenter les résultats de deux campagnes de mesures réalisées.

Conditions de l'expérimentation :



Enregistrement des températures :

Les différentes sondes de température sont reliées à une centrale de mesures qui enregistre, avec un pas de temps donné (1 min), les températures. Ces enregistrements seront ensuite convertis en fichier de données permettant de tracer les évolutions des températures, avec un tableur EXCEL.

Réglages au niveau du générateur de tension : Tension : 12 Volt et Intensité : 2,88 A

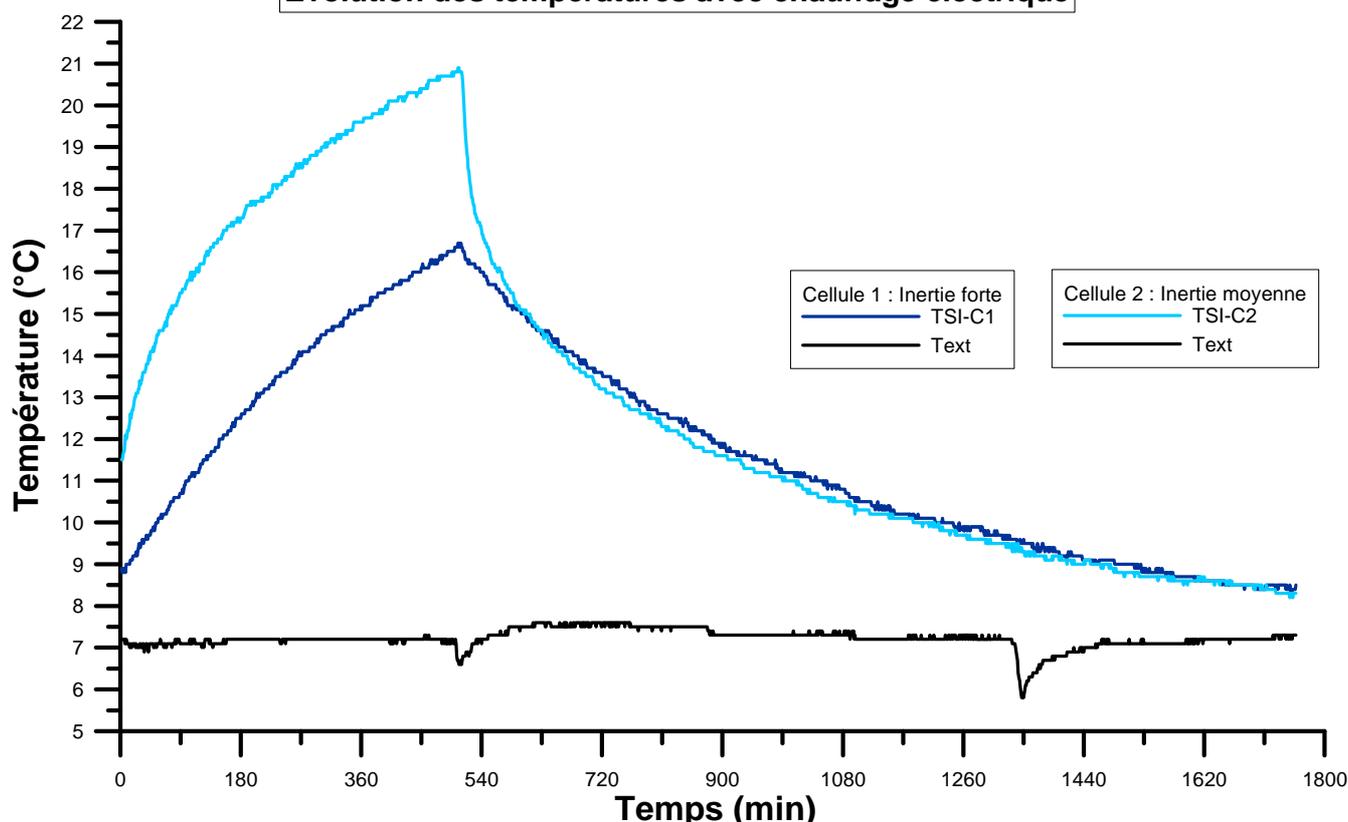
Sur la centrale d'acquisition de données, les températures suivantes sont relevées :

Temps [min]	$T_{\text{Extérieure}} [^{\circ}\text{C}]$	Enceinte N° 1 : Isolation extérieure		Enceinte N° 2 : Isolation intérieure	
		$T_{\text{Surface Paroi}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{INTermédiaire}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{Surface Paroi}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{INTermédiaire}} [^{\circ}\text{C}]$

Essai N° 1 : Maquette avec face avant non isolée :

L'essai comporte une première phase de chauffage des deux enceintes avec montée en température pour atteindre la température de confort au niveau de l'enceinte N°1, puis une phase où le système de chauffage est à l'arrêt.

Evolution des températures avec chauffage électrique



Analyse et interprétation des résultats :

Comme l'on pouvait s'y attendre, l'enceinte, avec une inertie plus forte, va atteindre une température plus basse que l'enceinte de plus faible inertie.

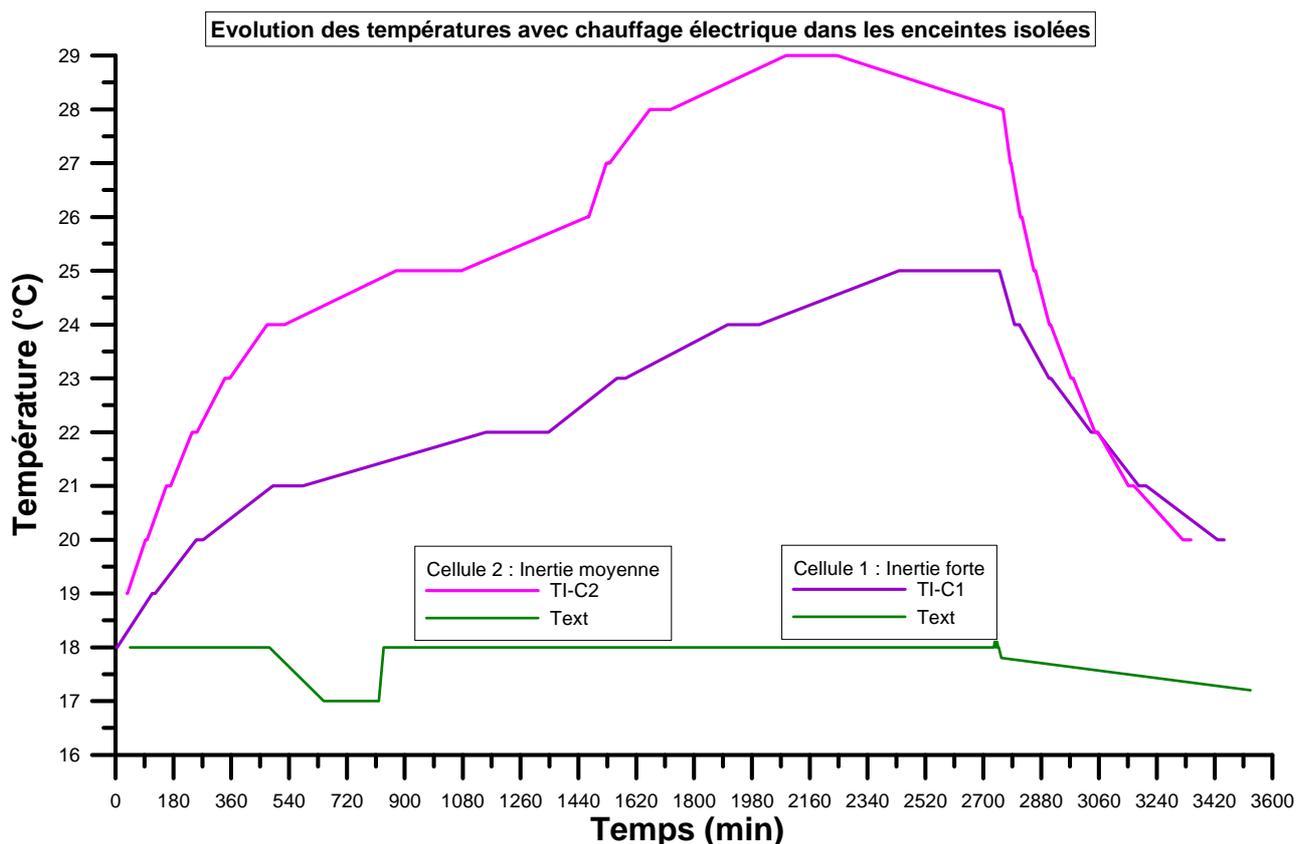
Dans l'enceinte N°1, la chaleur va être absorbée par le béton, qui va monter lentement en température. Dans l'enceinte N°2, l'isolant va stocker une très faible quantité de chaleur, ce qui va entraîner une montée plus rapide en température.

A l'inverse, lors d'une coupure de chauffage, l'enceinte N°2, de plus faible inertie, va chuter rapidement en température. L'enceinte N°1, de plus grande inertie, va restituer la chaleur accumulée dans le béton, limitant ainsi la chute des températures. Or ce dernier point n'apparaît pas vraiment dans l'essai N°1, car les fortes déperditions de la maquette entraînent une chute assez rapide de la température dans les deux enceintes.

Essai N° 2 : Maquette avec face isolée :

Afin de limiter les pertes thermiques de la face avant de la maquette, nous l'avons isolée avec 6 cm d'isolant comme les autres parois. Les résultats des mesures sont donnés dans l'essai N°2.

Cet essai a été effectué fin mai, début juin, avec une température extérieure assez élevée. Afin de maintenir un écart de température suffisant (entre l'intérieur et l'extérieur) nous avons augmenté la température à l'intérieur des deux enceintes. La montée en température dans les deux enceintes a été effectuée par palier en augmentant la puissance de chauffage. Cet essai a été effectué sur une durée de 2,5 jours.



Comme pour l'essai N°1, la température dans l'enceinte N°2, de plus faible inertie augmente plus rapidement et chute aussi plus rapidement. L'enceinte N°1, de forte inertie monte plus lentement en température, car le béton accumule de la chaleur. Cette chaleur accumulée est ensuite restituée à l'ambiance lors des périodes d'arrêt du chauffage. La courbe de l'enceinte N°1 montre bien une chute moins rapide de la température.

Ce phénomène devrait apparaître encore plus clairement dans des conditions hivernales (avec une température extérieure basse) et en laissant fonctionner le chauffage sur une plus grande période.

Cette expérimentation, effectuée avec deux enceintes d'inertie différentes dans les mêmes conditions, montre bien l'influence de ce paramètre sur le comportement thermique des bâtiments et le rôle de l'inertie dans les constructions bioclimatiques.

3.2 Influence de l'isolation thermique

Du point de vue de l'isolation thermique, les deux enceintes, étant constituées des mêmes matériaux, présentent donc les mêmes résistances thermiques. Seule, la face avant de la maquette n'est pas isolée et entrainera donc de plus fortes déperditions.

Afin de visualiser les déperditions thermiques, nous utilisons une caméra thermique infrarouge. Cette caméra permet de prendre des images thermiques, appelées thermogrammes, et de visualiser le rayonnement infrarouge émis par une paroi. L'émission de ce rayonnement est proportionnelle à la température de surface de la paroi. Si l'on se place à l'extérieur, plus la paroi nous apparait élevée en température, plus la déperdition thermique sera importante.

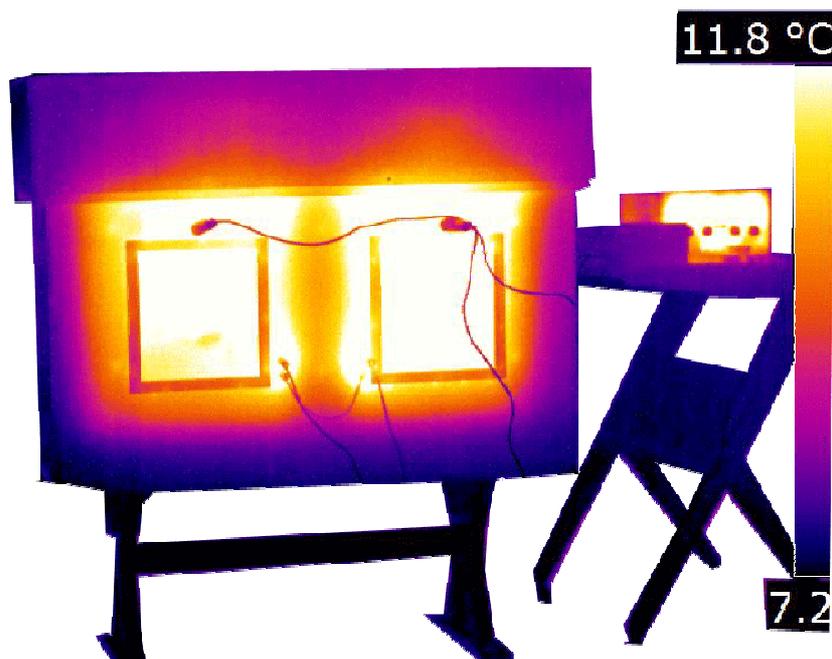


Figure 6 : Thermogramme de la maquette

L'analyse de ce thermogramme permet de mettre en évidence « les zones chaudes » de fortes déperditions thermiques au niveau des vitrages et au niveau de la face avant non isolée. L'air intérieur plus chaud, donc plus léger va se trouver en partie haute (au dessus des fenêtres) et entrainer une plus forte perte de chaleur à cet endroit.

3.3 Récupération des apports solaires

Les apports solaires, au travers des vitrages, participent au chauffage des bâtiments. Ce sont les apports solaires passifs, car ils ne nécessitent pas d'installations de panneaux solaires.

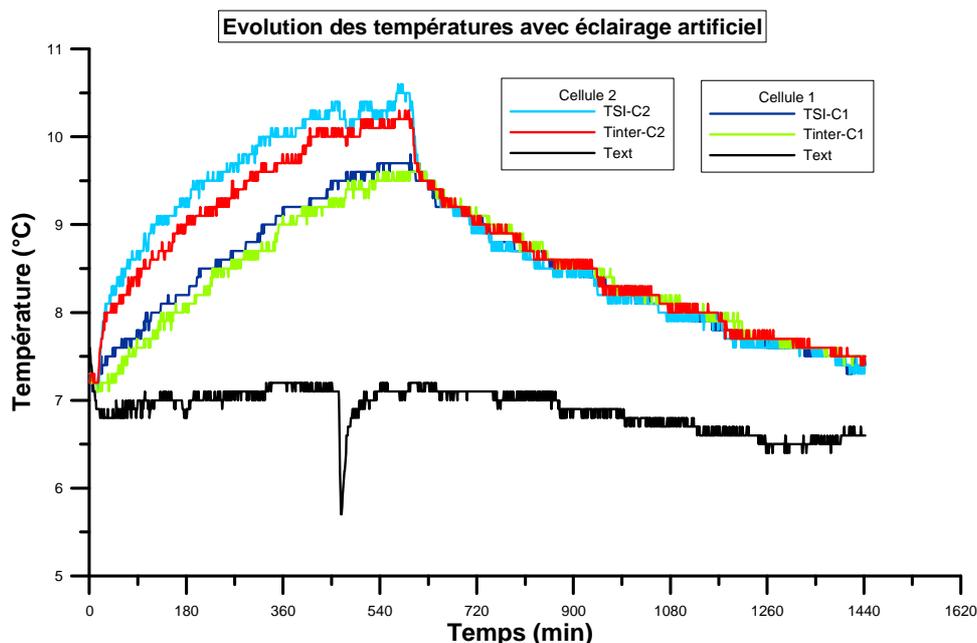
La récupération de ces apports, dans les constructions bioclimatiques, est un élément important pour limiter la consommation d'énergie en hiver. Par contre, en été, ces apports peuvent entraîner des surchauffes, si le bâtiment n'est pas équipé de dispositifs de protection adaptés (stores extérieurs, brises soleil, plantation d'arbres à feuilles caduques assurant de l'ombre sur la façade...). L'orientation des façades jouera un rôle déterminant dans la captation de ces apports gratuits.

Il peut être envisagé de mener une série d'expériences sur la récupération d'énergie avec la maquette précédente en effectuant une simulation du rayonnement solaires avec une lampe. Une série d'expériences peut être menée en plaçant la lampe à différentes distances, différentes hauteurs, comme le ferait le soleil au cours d'une journée d'été ou d'hiver.



Figure 7 : Simulation du rayonnement solaire par une lampe de chantier

Avec le même dispositif expérimental, une série de mesures a été effectuée avec une lampe de chantier. La lampe utilisée avait une puissance électrique de 150 Watts et était placée perpendiculairement à la face avant, entre les deux vitres, à une distance de 40 cm de la maquette. Le dispositif électrique de chauffage de la maquette était à l'arrêt.



Analyse et interprétation des résultats :

Le rayonnement, émis par la lampe, traverse la vitre et se transforme en chaleur pour assurer le chauffage des deux enceintes. Comme dans le cas précédent, l'enceinte de moyenne inertie monte plus rapidement en température mais chute aussi plus rapidement, lors de l'arrêt du rayonnement.

Le rayonnement thermique émis, par la lampe, traverse la paroi vitrée, les parois intérieures s'échauffent montent en température et émettent à leur tour un rayonnement dans le domaine infrarouge. Ce rayonnement est piégé dans les enceintes, car la vitre est opaque vis-à-vis de ce type de rayonnement : c'est le principe de l'effet de serre. Le thermogramme de la figure suivante montre ce phénomène d'opacité des vitres vis-à-vis du rayonnement infrarouge.



Figure 8 : Thermogramme de la maquette avec simulation du rayonnement solaire

4 CONSTRUCTION PASSIVE « Pass-I*Lab¹ »

4.1 Présentation du projet

Dans le cadre de la politique qu'elle met en œuvre en faveur du développement durable, la Région Centre a élaboré un projet de construction à très basse consommation d'énergie répondant aux critères des constructions passives. Ce laboratoire de formation, appelé Pass-I*Lab, est implanté sur le site du lycée Gaudier Brzeska à Saint Jean de Braye.

Le but de cette construction passive est purement pédagogique et doit permettre aux élèves de découvrir les perspectives d'avenir en ce qui concerne le bâtiment, dans un contexte politique et économique de plus en plus attentif aux préoccupations environnementales. Cette construction favorise la prise en compte du développement durable dans l'apprentissage des métiers du bâtiment. L'enveloppe du bâtiment est construite selon les principes de l'architecture bioclimatique en favorisant l'utilisation de matériaux écologiques. Les équipements, mis en place, permettent de réduire au maximum toutes les consommations d'énergie (éclairage, chauffage, ventilation et production d'ECS).

La particularité du projet repose sur la mise en place de différents capteurs, au moment de la construction, de manière à pouvoir analyser le comportement thermique de ce type de construction. Les capteurs, placés à l'intérieur des différentes parois et au niveau des équipements, sont reliés à une centrale de communication. La consultation des informations des différents capteurs s'effectue par une connexion, via le réseau intranet de l'établissement, sur le serveur Web de la centrale.

Les différents synoptiques constituent la porte d'entrée numérique à Pass-I*Lab. Ils sont conçus afin de permettre à l'utilisateur, qui ne connaît pas en détail le projet, de comprendre les informations affichées et de les exploiter dans une séance pédagogique.

La façade sud du bâtiment est structurée avec huit pans de mur extérieur, bénéficiant tous de la même exposition afin d'obtenir des mesures comparables entre les différentes technologies constructives :

- Paroi N°1 : Mur à ossature bois
- Paroi N°2 : Mur bois massif + isolation extérieure
- Paroi N°3 : Mur Paille technique du GREB
- Paroi N°4 : Mur bois massif
- Paroi N°5 : Mur rideau en triple vitrage
- Paroi N°6 : Mur en parpaing avec isolation extérieure
- Paroi N°8 : Mur bloc de béton cellulaire avec isolation extérieure
- Paroi N°9 : Mur en brique alvéolaire avec isolation extérieure



Figure 9 : Façades sud du bâtiment Pass-I*Lab

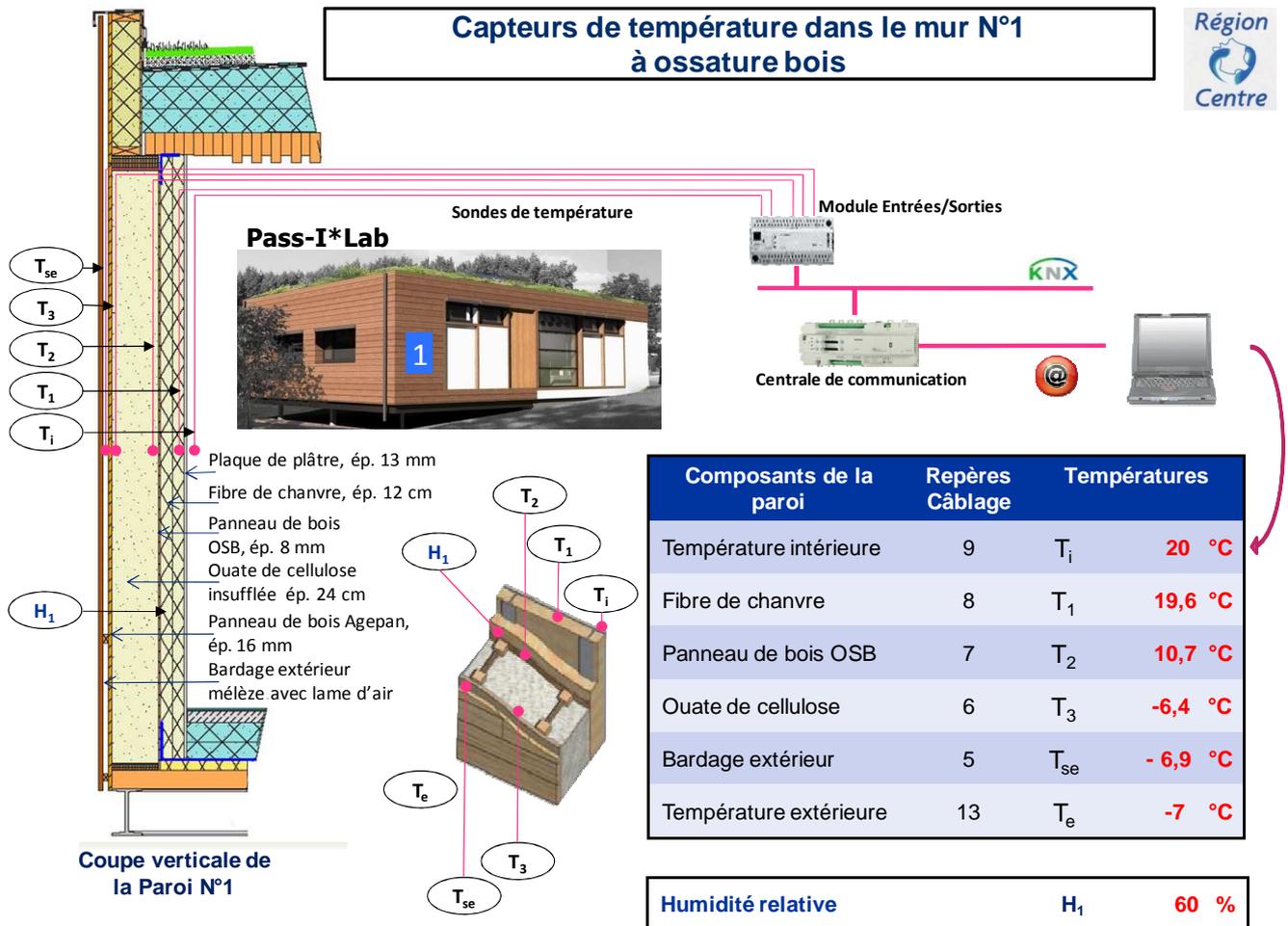
¹ Pass : pour « bâtiment passif », conçu pour favoriser une récupération maximum des apports solaires et limiter les déperditions de chaleur -

I : pour innovation dans les techniques de construction des bâtiments à basse consommation d'énergie équipés de systèmes pédagogiques innovants

Lab : pour laboratoire de formation dans lequel des travaux pratiques seront réalisés

4.2 Etudes du comportement thermique des parois verticales

Pour chacune des 8 parois verticales instrumentées, les informations indiquées sur les figures ci-après sont accessibles, en temps réel, lors d'une connexion sur la centrale de communication. Sur chaque page apparaît un repère indiquant la position de cette paroi dans le bâtiment, une coupe verticale du mur avec la position de chaque capteur ainsi qu'une vue en perspective d'un échantillon du pan de mur concerné. Le tableau affiche les valeurs numériques des capteurs en temps réel.



Pistes d'exploitation pédagogique possibles :

Une recherche peut être menée sur les différents matériaux de construction des parois composites, avec une classification en fonction du rôle joué dans la construction (finition, isolation, structure porteuse, étanchéité à l'air, à l'eau ...).

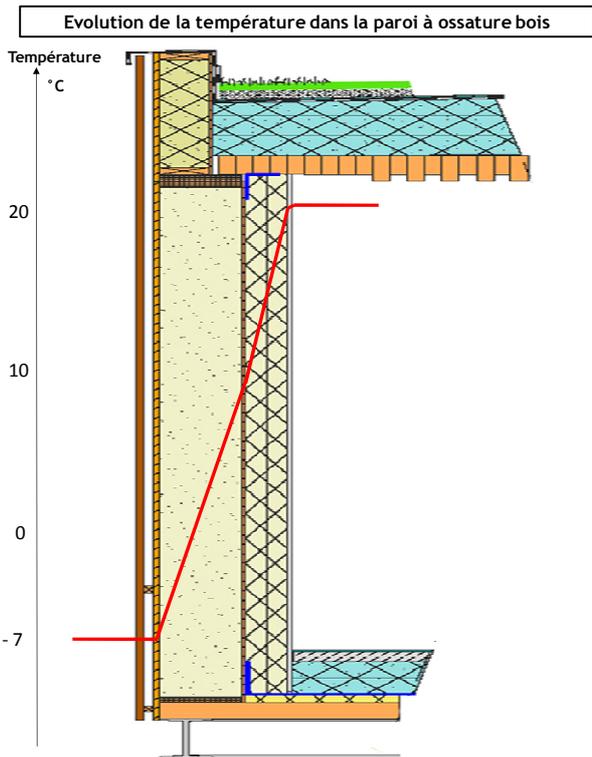


Figure 10 : Enregistrements effectués pour la paroi N° 1

Ces parois répondent à des normes d'isolation des bâtiments passifs. Pour chaque paroi, il est possible de tracer le graphique d'évolution des températures. Ces graphiques permettent de visualiser les chutes de température au sein d'une paroi dans les différents matériaux. Plus la chute de température est importante, plus la résistance thermique de la paroi sera grande et les déperditions thermiques faibles.

Ces tracés peuvent induire un questionnement des élèves sur la fonction des différents matériaux, leur capacité à s'opposer au passage de la chaleur (résistance thermique).

L'analyse peut être complétée par une étude des fiches techniques des matériaux précisant la résistance thermique. Un lien avec les chutes de températures enregistrées sera effectué.

4.3 Visualisation des déperditions thermiques

La thermographie infrarouge va nous permettre d'analyser les différences de température de surface des façades des bâtiments, les zones plus chaudes représentant les endroits par lesquels la chaleur s'échappe. L'analyse des thermogrammes et leur exploitation avec un logiciel professionnel peut faire l'objet d'une exploitation pédagogique.

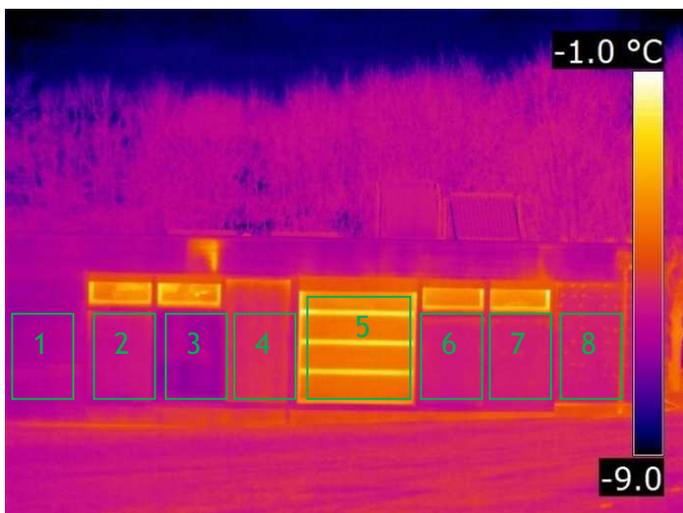


Figure 11 : Thermogramme de la façade Sud de Pass_I*lab



Figure 12 : Photo de la façade Sud de Pass_I*lab

Ce thermogramme a été réalisé avec une température extérieure de -9°C , au levé du jour, lorsque le bâtiment n'est pas exposé au rayonnement solaire. L'écart de température important entre l'intérieur et l'extérieur est de 29°C permet de visualiser correctement « les fuites de chaleur » par l'enveloppe. Les repères de 1 à 8 correspondent aux huit parois tests.

Les parois 3 et 4 se distinguent des autres pour quelles raisons ?

Une analyse rapide pourrait conduire à penser que la paroi N°3, le mur en paille, est le plus performant car sa température est plus basse. Or, si l'on regarde la photo dans le visible, on peut noter des traces d'humidité sur le mur. Comme la température extérieure est très basse, cette eau a gelé d'où une température de surface plus basse. L'analyse thermographique ne doit être effectuée que sur des parois sèches, car l'humidité fausse l'analyse.

La paroi 4, en bois massif de 32 cm d'épaisseur, nous apparaît plus claire, donc avec une température de surface plus élevée que les autres. Sa résistance thermique est un peu moins bonne que les autres, donc elle va laisser passer un peu plus de chaleur.

Nous observons aussi une tache, de couleur claire, au dessus de cette paroi. La partie haute, appelée acrotère, a été isolée par insufflation de ouate de cellulose. La fuite de chaleur, que nous visualisons, indique que le caisson ne s'est pas correctement rempli. Ce défaut est uniquement visible pour des écarts de température importants entre l'intérieur et l'extérieur.

Sur la paroi 8, isolée par l'extérieur, les panneaux de laine de bois sont collés et fixés par des chevilles sur le mur porteur. Un zoom sur cette paroi permet de distinguer les ponts thermiques ponctuels générés par les chevilles de fixation.



Figure 13 : Thermogramme de la baie vitrée



Figure 14 : Photo dans le visible de la baie vitrée

Ces deux images nous permettent de visualiser le comportement de certains matériaux vis-à-vis du rayonnement thermique. La vitre est un corps transparent pour le rayonnement visible ; nous pouvons observer, au travers de celle-ci, l'intérieur du bâtiment. Par contre, elle devient opaque pour le rayonnement infrarouge. Nous ne pouvons voir sur le thermogramme que le reflet de l'environnement extérieur, en particulier celui du thermographe.

L'analyse des corps, qui ont un facteur de réflexion important, doit être effectuée avec prudence, car l'information reçue par la caméra comporte deux composantes : l'une concerne l'émission propre de la vitre et l'autre le reflet du rayonnement infrarouge de l'environnement dans celle-ci.

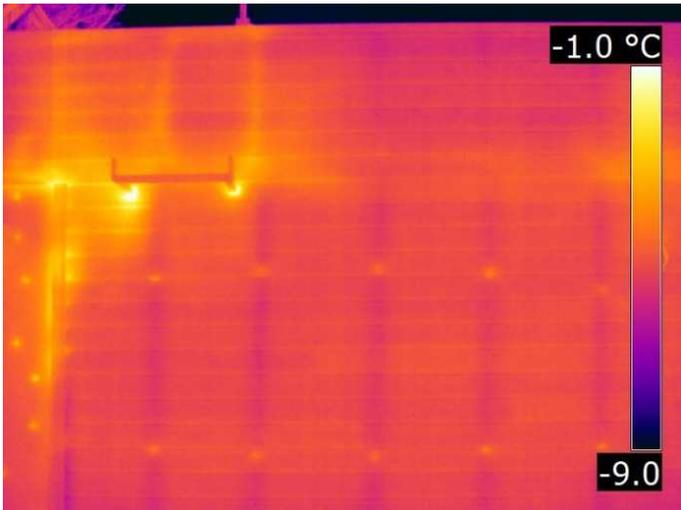


Figure 15 : Thermogramme du support de fixation de l'échelle



Figure 16 : Photo du support de fixation de l'échelle

L'isolation de cette partie du bâtiment est assurée par de la laine de bois collée sur la paroi extérieure avec une protection par un bardage en bois. Le thermogramme met en évidence une perte de chaleur au niveau du support métallique de l'échelle d'accès en toiture. Celui-ci, étant fixé sur le mur porteur, traverse l'isolant et se comporte comme une ailette qui dissipe de la chaleur.

Les linteaux en bois posés verticalement, sur lesquels sont fixés les clins du bardage, sont visibles sur le thermogramme.