

La validation d'un modèle est une phase primordiale dans son développement. Dans le cadre de cette thèse, un première étape de validation par confrontation des sorties de notre modèle avec les résultats de simulations de DYMOLA et TRNSYS a permis de s'assurer de sa cohérence. Cependant, il est indispensable de compléter cette validation qualitative par des comparaisons avec des mesures réalisées *in situ* selon un protocole expérimental rigoureux.

Ce chapitre est dédié à la présentation de l'expérience mise en place pour la validation de notre modèle. Une cellule de BESTlab¹ a été instrumentée afin de paramétrer le modèle et de disposer de mesures de référence pour les comparaisons. Cette cellule, ainsi que la métrologie mise en place sont présentés ici.

2.1 Cellule de tests

La validation du modèle d'enveloppe de bâtiment développé dans le cadre de cette thèse sera effectuée sur la base de comparaisons avec des mesures réalisées dans une cellule de BESTLab présentée dans ce chapitre. Les compositions des parois, de la fenêtre et de la porte de l'enceinte de test sont détaillées ici.

BESTLab d'EDF R&D est un laboratoire spécialement dédié aux études des enveloppes du bâtiment et aux technologies solaires intégrées au bâtiment. Ses objectifs sont

- d'étudier les performances d'enveloppes en conditions naturelles à l'échelle 1 ;
- d'intégrer et d'étudier de nouveaux systèmes.

A terme, il s'agit de caractériser les Bâtiments Basse Consommation (BBC) et des bâtiments rénovés selon des critères d'économie d'énergie à partir de mesures expérimentales et de modèles validés grâce aux mesures. Les impacts de l'environnement extérieur (apport solaire, température ambiante) sur le comportement thermique de ce type de bâtiment sont entre-autre étudiés.

Le laboratoire a été construit sur le site EDF R&D les Renardières, à la lisière de la forêt de Fontainebleau,

1. Building Envelope and Solar Technologies Laboratory

environ 75 km au Sud-est de Paris (48°22' N ; 2°49' E, altitude : 100 m) dans un environnement rural sans obstacle sur la face sud sur une distance de 100 m (Fig. III.2).

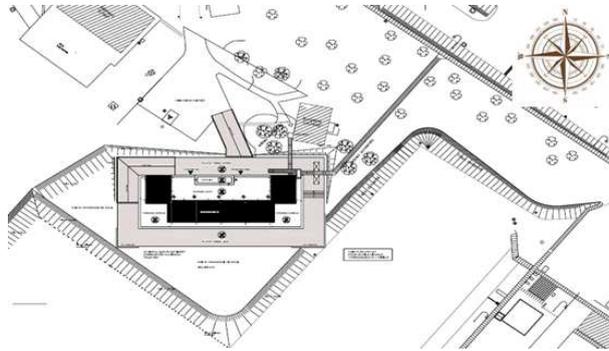


FIGURE III.2 – Situation de BESTLab

BESTLab est composé de 12 cellules de test de dimensions $3 \times 3 \times 3$ m environ, réparties sur deux étages (Fig.III.3). Les 6 cellules de l'étage sont mansardées, l'inclinaison de la toiture étant modifiable, tandis que chacune des 6 cellules du rez-de-chaussée disposent d'une paroi amovible exposée à l'extérieur .

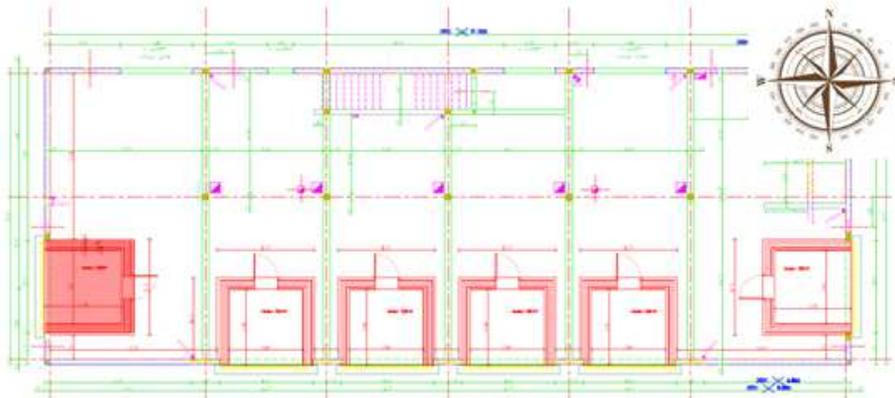


FIGURE III.3 – Plan du bâtiment de BESTLab. La cellule utilisée pour la validation, orientée Ouest, est ici en rouge

Les cellules sont instrumentées : des capteurs y mesurent températures d'air et de parois, pressions et rayonnement incident, tandis que le bâtiment est doté d'une station météorologique installée sur le toit. Enfin le bâtiment est piloté, de telle sorte que les cellules sont entourées d'une garde thermique conservée à une température constante de 20°C.

La cellule de test utilisée dans le cadre de notre expérience se situe au rez-de-chaussée du côté Ouest (Fig. III.4). Il s'agit d'une pièce de dimensions $2,97 \times 2,90 \times 2,82$ m, dont les 5 faces donnant sur l'intérieur du bâtiment sont fortement isolées ($U < 0.1 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$) et équipée d'une paroi de tests amovible donnant sur l'extérieur, munie d'une fenêtre et orientée vers l'Ouest.



FIGURE III.4 – Photographie de la cellule Ouest

Les murs sont composés de couches constituées de différents matériaux - enduit, isolant, plâtre - représentant une épaisseur totale de 41 cm pour les murs latéraux Est, Sud et Nord (Tab. III.2), et 32,4 cm pour la paroi Ouest donnant à l'extérieur (Tab. III.3).

Parois intérieures	Matériaux	Epaisseur [m]	Conductivité [W/(m.K)]	Masse volumique [kg/m ³]	Capacité [J/(kg.K)]
<i>Côté garde</i>					
Parement extérieur	FERMACELL BA13	0,013	0,32	1150	1265
Parement extérieur	FERMACELL BA13	0,013	0,32	1150	1265
Isolation laine minérale	ULTRACOUSTIC	0,045	0,04	33	1400
Parement extérieur	FERMACELL BA13	0,013	0,32	1150	1265
Parement extérieur	FERMACELL BA13	0,013	0,32	1150	1265
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Isolation PSE	DOUBLISSIMO	0,1	0,032	14	1400
Parement intérieur	PLACOPLATRE BA13	0,013	0,313	816	800
<i>Côté Cellule</i>					

TABLE III.2 – Composition, matériaux et caractéristiques thermiques des couches constituant les parois Est, Nord et Sud non amovibles

Paroi Ouest	Matériaux	Epaisseur [m]	Conductivité [W/(m.K)]	Masse volumique [kg/m ³]	Capacité [J/(kg.K)]
<i>Côté extérieur</i>					
Parement extérieur	ENDUIT EXTERIEUR	0,01	0,5	1300	1000
Parpaing	PARPAING CREUX	0,2	0,8	800	1000
Isolation PSE	DOUBLISSIMO	0,1	0,032	14	1400
Parement intérieur	PLACOPLATRE BA13	0,013	0,313	816	800
<i>Côté Cellule</i>					

TABLE III.3 – Composition, matériaux et caractéristiques thermiques des couches constituant la paroi Ouest

Les coupes suivantes permettent de distinguer l’empilement des différentes couches constitutives des parois présentées dans les tableaux (Fig. III.5).

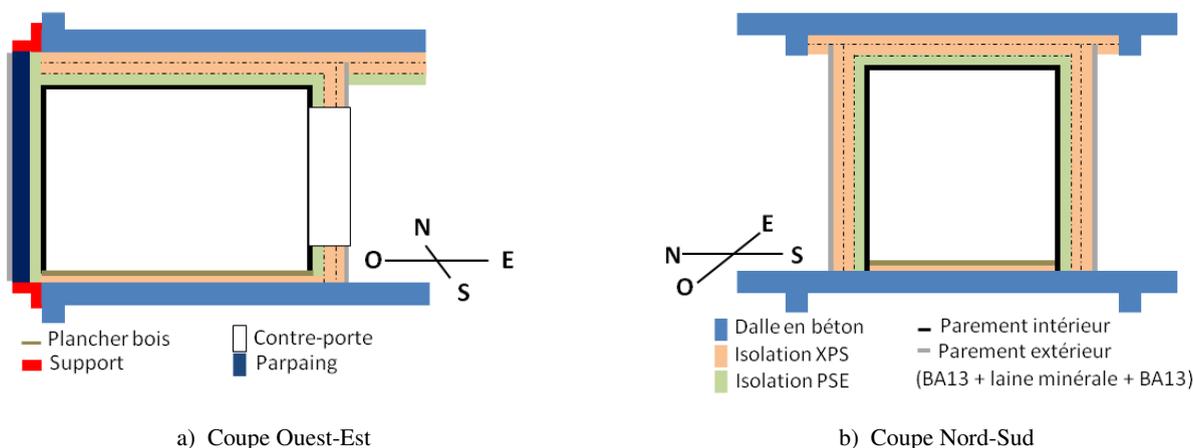


FIGURE III.5 – Présentation des différentes couches constitutives des parois de la cellule BESTLab

La fenêtre apposée à la paroi extérieure est équipée d’un double vitrage *DV 4/16/4 FEA* formé d’une lame d’air de 16 mm encadrée de deux vitres de 4 mm dont les caractéristiques optiques et thermiques sont précisées dans le tableau III.4. Notons que de l’ARMAFLEX, un isolant thermique flexible noir, a été collé sur les rebords de la fenêtre. En plus d’assurer l’étanchéité et l’isolation de la fenêtre, sa couleur garanti d’éviter toute réflexion du rayonnement incident vers l’intérieur de la cellule.

Optiques globales			Optiques par verre	Thermique
Transmission τ_{vitrage}	Réflexion ρ_{vitrage}	Absorption α_{vitrage}	Absorption α_{verre}	Coefficient de transfert thermique U [W/(m ² .K)]
0,52	0,28	0,18	0,09	1.12

TABLE III.4 – Caractéristiques optiques et coefficient thermique du vitrage

La paroi Est, donnant sur l’intérieur du bâtiment, est équipée d’une porte isolée ouvrant sur un sas vers la garde. La porte est assemblée selon les matériaux présentés dans le tableau III.5.

Contre porte	Matériaux	Epaisseur [m]	Conductivité [W/(m.K)]	Masse volumique [kg/m ³]	Capacité [J/(kg.K)]
<i>Côté garde</i>					
Contre plaqué	CONTRE PLAQUE	0,01	0,11	750	1000
Isolation	ISOLATION LAINE	0,04	0,038	1300	1000
Contre plaqué	CONTRE PLAQUE	0,01	0,11	750	1000
<i>Côté Cellule</i>					

TABLE III.5 – Composition, matériaux et caractéristiques thermiques des couches constituant la contre-porte

Enfin, le plafond et le sol sont décrits dans les tableaux III.6 et III.7.

Plafond	Matériaux	Epaisseur [m]	Conductivité [W/(m.K)]	Masse volumique [kg/m ³]	Capacité [J/(kg.K)]
<i>Extérieur</i>					
Coursive béton	PROTECTION GRAVILLON	0,08	0,960	1800	1000
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Forme de pente	FORME DE PENTE	0,05	1,130	2000	1000
Dalle plafond	BETON	0,23	1,750	2500	1000
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Isolation PSE	DOUBLISSIMO	0,1	0,032	14	1400
Parement intérieur	PLACOPATRE BA13	0,013	0,313	816	800
<i>Côté Cellule</i>					

TABLE III.6 – Composition, matériaux et caractéristiques thermiques des couches constituant le plafond

Plancher	Matériaux	Epaisseur [m]	Conductivité [W/(m.K)]	Masse volumique [kg/m ³]	Capacité [J/(kg.K)]
<i>Vide sanitaire</i>					
Parement intérieur	PLACOPLATRE BA13	0,013	0,313	816	800
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Dalle plancher	BETON	0,23	1,750	2500	1000
Isolation XPS	ROOFMATE SL-X	0,1	0,029	33	1400
Plancher bois	PANNEAU CTBX	0,022	0,120	1250	1200
<i>Côté Cellule</i>					

TABLE III.7 – Composition, matériaux et caractéristiques thermiques des couches constituant le plancher

Les dimensions de cette cellule ainsi que les caractéristiques de ces parois, fenêtre et porte ont été implémentées dans HEAT3 (Blomberg, 1996) afin de dessiner le maillage et de calculer les conductivités et capacités de chaque maille. Ce paramétrage constitue la première étape de l'adaptation du modèle à la configuration de l'enceinte test. Le traitement des données d'entrée, en termes de flux solaire et de températures aux limites et leur intégration au modèle constitue la seconde et ultime étape de l'adaptation du modèle. Les conditions de mesures de ces données, ainsi que la métrologie installée pour la validation du modèle sont présentées dans la section à venir.

L'étanchéité à l'air de la cellule a été évaluée avant l'utilisation de la cellule, une fois que la centrale de traitement d'air eut été enlevée. Elle a été mesurée en utilisant la méthode dite de « dépressurisation DC » qui consiste à utiliser un ventilateur pour aspirer de l'air dans la cellule afin d'y créer une dépression. En colmatant les entrées d'air volontaires, on provoque ainsi des écoulements aérodynamiques uniquement à travers les orifices parasites de l'enveloppe que l'on désire étudier. La perméabilité de l'enveloppe est alors obtenue à partir du débit de fuite Q_f sous différentes pressions de 10 Pa à 120 Pa, représenté par les coefficients de perméabilité K et n selon la relation :

$$Q_f = K\Delta P^n \quad (\text{III.1})$$

Pour la cellule de BESTlab étudiée, le débit de fuite Q_f a été établi inférieur à $0,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ ce qui correspond à un niveau d'étanchéité « Excellent » au sens de la Réglementation Thermique en vigueur ($0,2 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ de paroi froide pour $K = 0,58$ et $n = 0,76$). Considérant une surface de mur extérieur de 36 m^2 et un volume de cellule de 24 m^3 , nous retrouvons une valeur de débit d'air de $7,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Cette valeur sera utilisée au sein de notre modèle, implémentée dans l'équation II.32. Dans cette équation, un flux déperditif est calculé en fonction du débit et de l'écart entre températures intérieure et extérieure de la cellule.

Le débit sera gardé constant dans le temps dans notre modélisation. L'infiltration est liée à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (tirage thermique) et à la vitesse du vent. Cependant le bâtiment est relativement peu exposé aux vents : une étude datant de la construction du laboratoire, proche de BESTLab, a en effet montré une atténuation d'un facteur 3 des vents dominants par rapport aux vents en amont du site, liée à la présence d'un masque boisé à une centaine de mètre au Sud (Barnaud, 1987). Aussi, aucune corrélation entre les puissances de chauffage et les vitesses de vent mesurées à l'extérieur de la cellule n'a permis de relier ces deux facteurs. Dans notre cas, la vitesse du vent n'a que peu d'impact, justifiant que cet aspect soit négligé.

Notons enfin que la localisation des défauts d'étanchéité et la visualisation directe des écoulements résultants d'infiltrations peuvent être opérées par différentes techniques telles que l'interférométrie holographique (Peiponen et al., 1989) ou le suivi de microparticules traceuses permettant de localiser les chemins d'air (Belleudy, 2014). En ce qui nous concerne, nous avons pu identifier des sources d'infiltrations par thermographie infrarouge (Fig. III.6). Sur la paroi Est, nous observons en effet des températures plus basses autour de la porte suggérant des déperditions de chaleur. Aussi, nous pouvons constater des températures basses sous la porte, trahissant la présence du trou, pourtant rebouché avec de l'isolant, qui recevait initialement un conduit pour la Centrale de Traitement d'Air enlevée avant l'expérience.

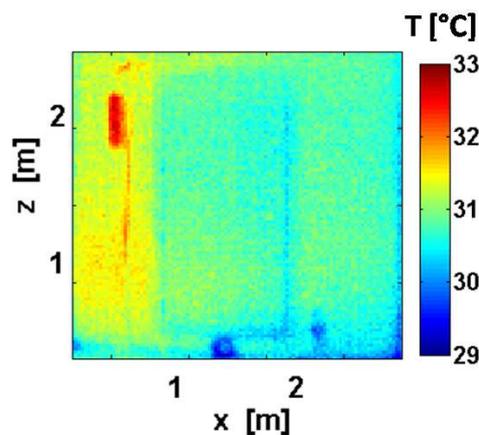


FIGURE III.6 – Image infrarouge au niveau de la paroi Est

2.2 Métrologie

La métrologie de la cellule est constituée de l'instrumentation standard installée dans chacune des cellules de BESTlab, complétée par des dispositifs de prises de vue. La cellule Ouest est donc équipée :

- de sondes PT-100 dispersées en surface des parois et en leur sein ;
- d'une caméra infrarouge dédiée à déterminer les champs de température d'une paroi donnée ;
- d'une caméra dans le visible permettant de suivre visuellement la tache solaire ;
- un pyranomètre placé derrière la fenêtre afin de mesurer le rayonnement global transmis par le vitrage.

Par ailleurs, les données météorologiques permettant de déterminer les conditions environnementales baignant BESTlab sont fournies soit par la station météorologique installée sur le toit du bâtiment, soit par la station placée à proximité immédiate du site.

L'ensemble des instruments constituant la métrologie dont les mesures ont été utilisées pour la paramétrisation et la validation de notre modèle sera présenté dans cette section.

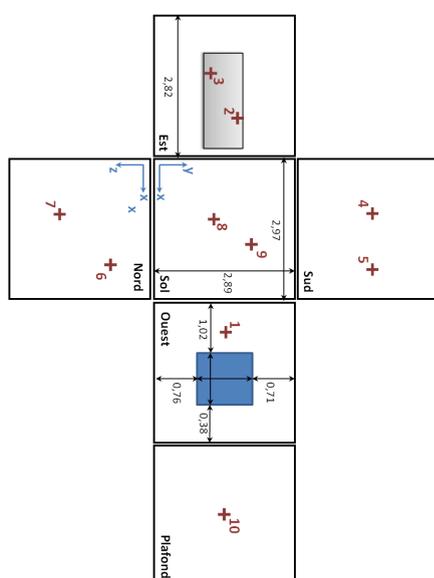
2.2.1 Disposition des sondes de mesure de température

La cellule a été instrumentée par un ensemble de sondes afin de connaître précisément son comportement thermique. Les mesures réalisées auront deux applications potentielles :

- soit elles serviront de conditions aux limites pour les simulations réalisées avec notre modèle ;
- soit elles serviront de référence pour la validation de notre modèle.

Les sondes de température utilisées, que ce soit pour mesurer la température d'air, de surface ou de dalle, sont des sondes à résistance de platine PT-100 câblées en 4 fils.

Les températures de surface des parois à l'intérieur de la cellule sont mesurées par 11 sondes PT-100.



N° Sondes Paroi	1 Ouest	2 Est	3 Est	4 Sud	5 Sud
X [m]	2,98	0,0	0,0	0,61	2,50
Y [m]	1,44	1,70	1,20	2,89	2,89
Z [m]	0,65	1,0	2,30	1,40	1,40

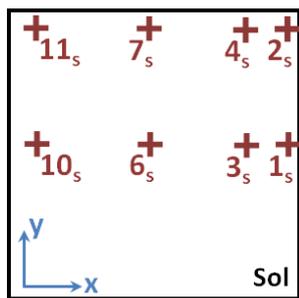
N° Sondes Paroi	6 Nord	7 Nord	8 Sol	9 Sol	10 Plafond
X [m]	2,40	1,30	1,30	1,70	1,50
Y [m]	0,00	0,00	1,30	2,20	1,5
Z [m]	0,60	2,0	0,0	0,0	2,83

FIGURE III.7 – Disposition des différentes sondes en température sur et dans les parois

TABLE III.8 – Coordonnées des sondes placées en surfaces des différentes parois, à l'intérieur de la cellule

Une à trois sondes sont ainsi placées sur les différentes parois (Fig.III.7) selon les coordonnées du tableau III.8. L'élément sensible est fixé au contact de la paroi et légèrement incrusté tout en venant affleurer à sa surface, puis le capteur a été recouvert d'enduit et de peinture comme le reste de la paroi.

Au niveau du sol, cinq sondes ont été fixées entre l'isolant et les panneaux en CTBH et six autres ont été placées de la même façon entre l'isolant et la dalle (Fig. III.8). Les sondes sont dispersées seulement sur une moitié du plancher selon les coordonnées présentées dans le tableau III.9. Cette disposition avait été prise avant les essais, une symétrie dans les températures mesurées à ce niveau ayant été observée lors d'études préalables. Il était par ailleurs impossible de rajouter des sondes du côté opposé pour notre étude. Ainsi, par la suite, les températures mesurées au sol ont été appliquées de façon symétrique au côté opposé.



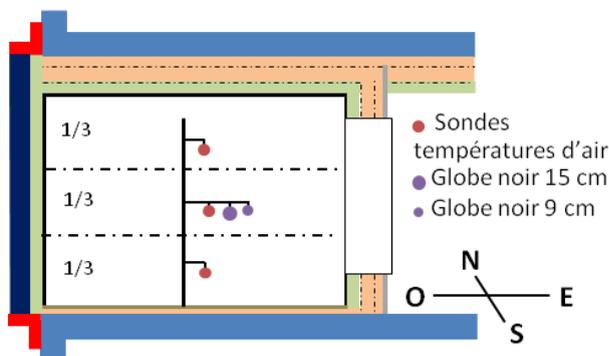
N° Sondes	1 _s	2 _s	3 _s	4 _s	6 _s	7 _s	10 _s	11 _s
X [m]	2,8	2,8	2,7	2,7	1,4	1,4	0,1	0,1
Y [m]	1,5	2,7	1,5	2,7	1,5	2,7	1,5	2,7
Z [m]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

FIGURE III.8 – Disposition des sondes PT-100 au niveau du sol

TABLE III.9 – Coordonnées des sondes placées au sol entre l'isolant et la dalle (Seules les sondes utilisées dans le paramétrage du modèle sont présentées)

Au niveau du plafond, nous ne disposons que d'une seule sonde placée entre la dalle plancher et la forme de pente.

La température d'air à l'intérieur de la cellule est mesurée grâce à 3 sondes PT-100 placées à différentes hauteurs, au centre de 3 volumes fictifs représentant le tiers de la hauteur de la cellule (Fig. III.9).



a) Schéma de l'installation des sondes de mesures de températures d'air

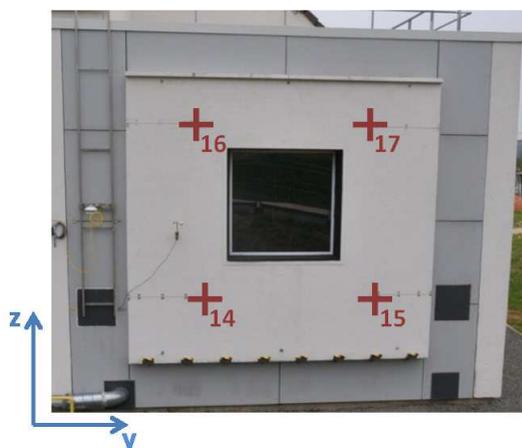
b) Photographie du mât de mesures

FIGURE III.9 – Installation des sondes de mesures de températures d'air à 3 hauteurs

Cette disposition est prise pour évaluer et tenir compte de l'éventuelle hétérogénéité et stratification des températures d'air. Les sondes sont placées dans des cylindres en aluminium afin de les protéger du rayonne-

ment solaire incident et donc éliminer l'éventuel artéfact lié à l'absorption du rayonnement. Par ailleurs, deux globes noirs sont placés au centre de la cellule, un de 15 cm de diamètre et un autre de 9 cm de diamètre.

A l'extérieur, 4 sondes sont réparties autour de la fenêtre de la paroi opaque Ouest (Fig. III.10 et Tab. III.10).



N° Sondes	14	15	16	17
X [m]	3,2	3,2	3,2	3,2
Y [m]	0,6	2,2	0,6	2,2
Z [m]	0,6	0,6	2,4	2,4

FIGURE III.10 – Emplacement des sondes PT-100 situées à l'extérieur de la cellule

TABLE III.10 – Coordonnées des sondes placées à l'extérieur sur la paroi Ouest

Enfin, une sonde PT-100 a été placée en surface extérieure de la contreporte de la paroi Est.

2.2.2 Caméras visible et infrarouge

L'objet de notre étude étant, entre autre, d'étudier l'impact des variations climatiques sur le comportement thermique du bâtiment, il a été décidé au préalable de modéliser les apports extérieurs le plus précisément possible, justifiant le choix de localiser à chaque instant la tache solaire dans le bâtiment. La validation de ce nouveau modèle passe alors par une vérification du bon positionnement de la tache solaire et d'évaluer le calcul des températures en son sein. Dans cette optique, deux dispositifs de suivi de la tache solaire ont été installés dans la cellule (Fig. III.11) :

- une caméra Infrarouge (IR) a été placée dans un premier temps sur le plafond, visant le sol. Il s'agit d'une caméra *FLIR SC500* de résolution 320×420 pixels, mesurant un spectre entre 7,5 et 13,0 μm pour une plage de températures mesurées située entre -40 °C à 500 °C. Cette caméra est dotée d'un microbolomètre LWB ne disposant pas de système de refroidissement, induisant potentiellement du bruit sur les mesures. Elle a été utilisée pour mesurer les champs de température sur tout le sol puis par la suite, celle-ci a visé la paroi Est.
- Une caméra dans le visible *GoPro* a été placée juste à côté de la caméra IR, à la même hauteur. Celle-ci permet de localiser visuellement la tache solaire.

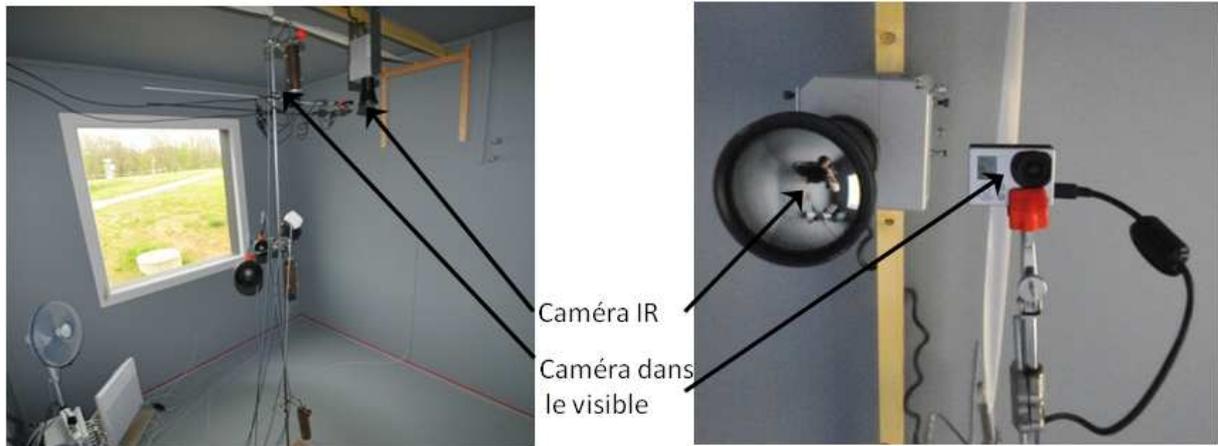


FIGURE III.11 – Localisation des caméras dans le visible et infrarouge

2.2.3 Mesures météorologiques

Une bonne connaissance des conditions météorologiques autour de la cellule est primordiale pour la paramétrisation précise de notre modèle. C'est pourquoi, dans le cadre de ce protocole expérimental de validation, plusieurs dispositifs de mesure de données météorologiques ont été mis à disposition.

Tout d'abord, un pyranomètre a été apposé sur la paroi ouest de la cellule BESTlab afin de mesurer l'éclairement global vertical arrivant sur ce mur (Fig. III.12.b).

Ensuite, nous disposons des mesures de la station météorologique du site des Renardières (Fig. III.12.a). Celle-ci est située à l'altitude la plus élevée du site, environnement immédiat est dégagé de tout masque et aplani. Elle permet de mesurer précisément les conditions météorologiques (température extérieure, hygrométrie, ensoleillement et vent) à proximité immédiate des laboratoires ETNA et BESTLab :



a) Photographie de la station météorologique des Renardières



b) Localisation du pyranomètre placé sur la paroi Ouest de la cellule étudiée

FIGURE III.12 – Photographie des stations météorologiques utilisées dans le cadre de la modélisation

- la température de l'air extérieur est mesurée à la hauteur de 4 mètres, par l'intermédiaire d'une sonde platine protégée du rayonnement et placée dans un tube en convection forcée ;

- la mesure de la vitesse du vent est réalisée par un anémomètre à mesurée par une girouette placée au niveau de l'anémomètre ;
- le rayonnement global horizontal est mesuré par un pyranomètre placé sur le mât, à 11 m du sol tandis que la composante diffuse du rayonnement solaire est obtenue grâce à un pyranomètre pourvu d'un anneau d'obturation du soleil éliminant la composante directe du rayonnement ;
- un tracker installé en champ libre comprend un pyranomètre diffus global et un pyranomètre diffus horizontal pourvu d'une sphère d'occultation suivant la course du soleil ;
- Accessoirement, des mesures d'humidité relative fournies par un capteur à détection optoélectronique de la condensation et des mesures de la pression absolue sont réalisées. Ces mesures ne sont pas utilisées pour notre modèle.

Le tableau III.11 détaille les références et les précisions attendues pour l'ensemble des capteurs de cette station météorologique

Mesures	Marque	Référence	Incertitudes
Température extérieure	General Eastern	Hygro-M2	$\pm 0,2$ °C
Humidité relative	General Eastern	Hygro-M2 1111h	0,5 % à 1,25 %
vent			
Vitesse (anémomètre)	Chauvin Arnoux	CAF2	1 %
Direction (Girouette)	Chauvin Arnoux	CG36	1 %
Pression atmosphérique	Multur	-	1 mbar
Rayonnement global horizontal (pylone)	Kipp & Zonen	CM21	$\pm 0,2$ %
Rayonnement diffus Horizontal (pylone)	Kipp & Zonen	CM11	$\pm 0,6$ %
Rayonnement global horizontal (tracker)	Kipp & Zonen	CM21	$\pm 0,2$ %
Rayonnement diffus Horizontal (tracker)	Kipp & Zonen	CM11	$\pm 0,6$ %

TABLE III.11 – Equipement de la station météorologique du site des Renardières

2.2.4 Chaîne d'acquisition

La chaîne d'acquisition des mesures de température de la cellule est composée des éléments suivants :

- des sondes de température PT-100 munies de 4 fils, branchement type « lemo » ;
- un coffret de raccordement se situant dans chaque cellule, sortie par bornier à pinces ;
- un câble de jonction plus ou moins long selon la distance de la cellule avec le second coffret ;
- un second coffret de raccordement se situant dans la garde thermique, branchement par bornier à pinces ;
- une centrale d'acquisition *Agilent 34980A* avec carte *34921A*, branchement à vis ;
- un serveur pour le stockage des données, via le réseau local.

La centrale d'acquisition utilisée dans l'installation est d'un multimètre de $6\frac{1}{2}$ digits et de 8 emplacements dans lesquels viennent s'insérer des modules. Les modules utilisés pour les mesures de température sont des multiplexeurs *34921A* disposant de 20 voies 4 fils. La centrale permet donc potentiellement l'acquisition des

données de 160 sondes 4 fils.

Par ailleurs, l'acquisition est assurée avec une précision de 0,06 °C selon le fournisseur tandis que les sondes de mesure en température ont une précision de 0,15 °C.

Cette incertitude sous-estime la valeur réelle étant donné que nous n'avons pas pris en compte toutes les sources d'erreur : il faut, par exemple, noter qu'aucun étalonnage n'a pour l'instant été effectué sur les chaînes de mesure des températures. Il existe en effet des sources d'incertitudes liées à l'étalonnage des appareils de mesure et la dérive des mesures dans le temps et sur l'inertie du bouclier thermique des sondes de température. Notons que les sondes PT-100 à l'intérieur de la cellule ont été posées en avril 2013 et venaient d'être étalonnées. D'ailleurs, le pyranomètre sur BESTLab, les pyranomètres et les capteurs de températures de la station météo ont été posés et étalonnés aussi à cette période. Par contre, nous n'avons pas la date d'étalonnage des sondes placées en milieu de mur et celles qui mesurent la température de la garde. Aucun réétalonnage n'a été réalisé sur l'ensemble de la chaîne de mesure jusqu'à présent, on ne connaît donc pas l'incertitude liée à l'étalonnage et à la dérive dans le temps qui n'est estimable numériquement que si la chaîne de mesure a subi au moins deux étalonnages. Une autre source d'incertitude est liée à l'inertie du bouclier thermique : ce paramètre influe sur le temps de réponse de la sonde. Les boucliers utilisés étant parfois différents d'une sonde à une autre, les temps de réponse sont différents.

2.3 Résumé du protocole expérimental

L'objet de ce chapitre est de présenter dans une première section la géométrie, les dimensions ainsi que la structure de la cellule test utilisée pour valider notre modèle. La pièce parallélépipédique de 2,97 × 2,90 × 2,82 m est fortement isolée et dotée d'une paroi amovible, la seule en contact avec l'extérieur du bâtiment. Cette paroi est équipée d'une fenêtre à double-vitrage orientée Ouest.

La métrologie utilisée dans le cadre de notre expérience est ensuite détaillée. Il s'agit d'une instrumentation complète destinée à mesurer les températures de paroi et d'air utilisées comme conditions aux limites ou comme référence pour la validation. Cette instrumentation a été complétée par des caméras infrarouge et dans le visible dans le but d'avoir les champs de température des surfaces des parois et de suivre visuellement la tache solaire. Enfin les conditions environnementales utiles au paramétrage du modèle sont récoltées par deux stations météorologiques du site.