





et de la Maîtrise de l'Energie

Smart-Réno Fiabiliser, Professionnaliser et Valoriser

Auteurs : Thierry Duforestel, Kods Grissa Nacib, Pascal Dalicieux (EDF R&D) Maxime Doya, Manon Rendu (Tipee)

SMART RENO

VOLET 1 : FIABILISATION

TACHE 1.2 : MESURES COMPARATIVES

LIVRABLE : RESULTATS ET ANALYSES DES ESSAIS

SOMMAIRE

1.	CO	NTEXTE – PRESENTATION DU LIVRABLE	4
2. IN	TIP: NITIALI	EE : POSE D'UNE ISOLATION THERMIQUE EXTERIEURE (ITE) AVEC UN ISOLAN EMENT HUMIDE	NT 4
	2.1.	Objectif	4
	2.2.	PRESENTATION DU LABORATOIRE	5
	2.3.	Mesures des conditions aux limites	6
	2.4.	ANALYSE PHYSIQUE DU DEFAUT OBSERVE	10
	2.4.	1. Comparaison des emplacements instrumentés	10
	2.4.	2. Analyse de l'évolution de l'humidité relative mesurée	13
	2.4.	3. Analyse du transfert d'humidité	14
	2.4.	4. Etude du transfert de chaleur	15
	2.5. TIPEE	METHODOLOGIE RETENUE POUR LA MODELISATION DU DEFAUT SUR LA PLATEFORE 17	RME
3.	BES	TLAB : DEFAUT DE POSE D'UNE ISOLATION THERMIQUE EXTERIEURE (ITE)	18
	3.1.	DESCRIPTION DE L'ESSAI	18
	3.2.	SORTIES GRAPHIQUES : EXEMPLES DE RESULTATS DE MESURE	20
	3.3.	ANALYSE PHYSIQUE DU DEFAUT OBSERVE	21
4.	BES	TLAB : DEFAUT D'ECRAN DE SOUS-TOITURE	21
	4.1.	DESCRIPTION DE L'ESSAIS	21
	4.2.	SORTIES GRAPHIQUES : EXEMPLES DE RESULTATS DE MESURE	23
	4.3.	ANALYSE PHYSIQUE DU DEFAUT OBSERVE	24
5.	BES	TLAB : DEFAUT D'ETANCHEITE DE LA TRAPPE D'ACCES AU COMBLE	24
	5.1.	DESCRIPTION DE L'ESSAIS	24
	5.2.	SORTIES GRAPHIQUES : EXEMPLES DE RESULTATS DE MESURE	26
	5.3.	ANALYSE PHYSIQUE DU DEFAUT OBSERVE	26
6.	BES	TLAB : DEFAUT DE POSE DE FENETRE EN RENOVATION	27
	6.1.	DESCRIPTION DE L'ESSAIS	27
	6.2.	SORTIES GRAPHIQUES : EXEMPLES DE RESULTATS DE MESURE	28
	6.3.	ANALYSE PHYSIQUE DU DEFAUT OBSERVE	28
7.	ME	THODOLOGIE RETENUE POUR LA MODELISATION DES DEFAUTS SUR LA	20
r	LAIEF	URME BESILAB	29
8.	CO	NCLUSION	30
9.	ANN	NEXES : L'INSTRUMENTATION DES ESSAIS, ET LES PROGRAMMES D'ESSAIS	31
	9.1.	1. Ipee : Pose a une Isolation Thermique Exterieure (ITE) avec un isolant	27
	initi		31
	9	1.1.1.1. Geometrie et materiaux	31
	9	1.1.2. Instrumentation	34
	9	1.1.3. Consignes d'essais	37
	9.1.	2. Bestiab : Defaut de pose d'une Isolation Thermique Exterieure (ITE)	3/
	9	1.2.1. Presentation des equipements en test	37
	9	1.2.2. Programme de l'essal	38
	9	1.2.5. Detaut ITE de la cellule KDC 55	44
	9	1.2.4. Fose sails delaut de la cellule KDC S1	40 17
	9 0	1.2.3. Instrumentation specifique	/ 4 ۱۰
	9	127 Restitution des données	0+ ⊿0
			・・・・・・・・・・・

Page 2 st

9.1.3. B	estlab : Défaut d'écran de sous-toiture	
9.1.3.1.	Description des équipements et des cellules	
9.1.3.2.	Instrumentation fixe	
9.1.3.3.	Instrumentation spécifique	
9.1.4. B	estlab : Défaut d'étanchéité de la trappe d'accès au comble	
9.1.4.1.	Description des équipements et des cellules	
9.1.4.2.	Instrumentation fixe	
9.1.4.3.	Instrumentation spécifique	
9.1.5. B	estlab : Défaut de pose de fenêtre en rénovation	
9.1.5.1.	Présentation des équipements en test	
9.1.5.2.	Programme de l'essai	
9.1.5.3.	Description des équipements et des cellules	
9.1.5.4.	Défaut menuiserie	77
9.1.5.5.	Mode de génération des défauts et scénarisation des essais	
9.1.5.6.	Instrumentation fixe	
9.1.5.7.	Instrumentation spécifique	

|--|

1. Contexte – Présentation du livrable

Ce livrable synthétise les résultats et analyses des essais réalisés sur la plateforme TIPEE de La Rochelle Université et au laboratoire BESTLAB d'EDF R&D.

Ces essais portent sur une mise en œuvre de l'isolation par l'extérieur avec défaut de stockage avant chantier sur la plateforme TIPEE, et quatre couples technologie / défaut au laboratoire BestLab (EDF R&D) : défaut de pose d'écran de sous-toiture, défaut dans la pose d'une trappe de comble, défaut dans la pose de l'étanchéité d'une fenêtre de rénovation et défaut dans l'application de l'isolant dans le cadre d'une mise en œuvre d'une isolation par l'extérieur.



L'objectif premier de cette tâche est l'enregistrement de données de mesures permettant la mise au point et la validation de modèles numériques représentant les défauts précités. Dans ce livrable, nous présentons le montage des cinq essais et le descriptif de leur instrumentation, et apportons les informations nécessaires à la compréhension des expériences dédiées à chacun des défauts étudiés. Enfin nous illustrons les résultats de mesures par quelques graphes et observations physiques de l'effet des défauts reproduits.

2. Tipee : Pose d'une Isolation Thermique Extérieure (ITE) avec un isolant initialement humide

2.1. **Objectif**

L'objectif de cette étude est la caractérisation expérimentale de la perte de performance thermique liée la mise en œuvre de matériaux d'isolation qualifiés de non-hygroscopiques et non-capillaires suite à un aléa répété en phase chantier : leur exposition directe à des épisodes pluvieux.

En effet, selon les retours consignés dans la base AQC (Analyse bibliographique des défauts des systèmes d'isolation - livrable tâche 1.1), ces événements sont fréquemment rencontrés sur

Page 4 sur 84	

les chantiers de rénovation : l'isolant peut être stocké sur palette dans un espace exposé aux intempéries et/ou une fois installé sur la paroi, il peut être laissé sans protection le temps que l'enduit soit posé, l'exposant une fois de plus aux intempéries. Il en résulte un isolant mouillé, ce qui engendre une dégradation de ses performances d'isolation thermique. La question posée dans cette étude est la suivante : l'installation d'un isolant humide dégrade-t-elle les performance thermique de la paroi de manière durable ?

Dans cette étude, il s'agit de reproduire ce défaut de mise en œuvre sur un bâtiment laboratoire. La configuration sélectionnée a été choisie après des échanges avec l'architecte responsable de la mise en œuvre de la paroi d'essai (Agence Cointet Associés – La Rochelle) afin qu'elle soit représentative du marché de la rénovation de maisons individuelles en Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE). La paroi étudiée est composée d'une façade lourde réalisée en parpaings enduits recouverte côté extérieur d'un isolant en laine de roche avec parement enduit.

Cette façade a été séparée en deux parties sur la largeur par un profil en PVC sur l'épaisseur de l'isolant : une moitié est constituée d'isolant soumis à la pluie pendant la phase chantier (complexe vicié « V ») et l'autre a été réalisée avec de l'isolant sec et recouvert d'enduit rapidement (complexe non-vicié « NV »). Cette séparation permet de comparer le comportement hygrothermique des deux parties, en supposant qu'elles sont exposées aux mêmes conditions aux limites intérieures et extérieures. Dans ce but, la paroi a été instrumentée par des capteurs mesurant l'évolution temporelle des températures et des humidités relatives dans différents plans verticaux et horizontaux. Une instrumentation des conditions intérieures et extérieures permet une mesure fine des conditions aux limites.

2.2. **Présentation du laboratoire**

Le bâtiment-test (représenté sur la figure 1), livré en 2018, est dédié à l'étude du comportement des façades de bâtiment exposées à des conditions climatiques réelles. Il est situé près de La Rochelle et soumis à un climat océanique tempéré.



Figure 1 : Photos du bâtiment-test en cours de construction

Ce bâtiment est composé de cinq pièces indépendantes les unes des autres, appelées cellulestest. Chaque cellule-test est composée de cinq parois fortement isolées entourées par un volume d'air conditionné en température, appelé garde thermique, dans le but de maximiser les déperditions vers la sixième paroi, appelée la façade-test exposée au climat extérieur. La façade testée dans le cadre de ce projet a été installée sur la cellule-test repérée sur la *Figure* (DH1). Elle est orientée au Sud, 18° vers l'Ouest. Elle dispose d'un convecteur électrique et d'une extraction de ventilation utilisés lors de ces essais.

Page 5 sur 84	



Figure 2 : Vue 3D du bâtiment-test (sans ses parois extérieures)

Généralement, les cellules-test DH1 et DH2 ne représentent qu'une seule cellule-test d'une hauteur totale d'environ 9 mètres. Dans ces essais, les cellules-test ont été séparées par une paroi fortement isolée afin de réduire la hauteur sous plafond de la cellule-test DH1. La cellule-test DH2 est maintenue à la même température que la cellule-test DH1 tout au long des essais.

La cellule-test DH1 ainsi modifiée a un volume intérieur de 59 m³ (5,62 m x 3 m x 3,5 m).

2.3. Mesures des conditions aux limites

La mesure fine des conditions aux limites (CL) permet à la fois une bonne compréhension des données expérimentales associées mais aussi une modélisation fidèle du comportement hygrothermique de la paroi. Les matériaux utilisés n'ayant pas été spécifiquement caractérisés (conductivité thermique dépendante de la teneur en eau, Isothermes de sorption/désorption, etc.) la connaissance des CL pour chaque couche et de points bien localisés dans la masse, peuvent permettre par identification de retrouver des matériaux ayant un comportement proche dans les bases de données disponibles.

Le graphique de la Figure 3 montre les conditions aux limites intérieures (température d'air et humidité relative moyennes). La température intérieure a été régulée à 20°C jusqu'au mois de mai (sauf pendant quelques jours début avril pendant lesquels la régulation n'a pas fonctionné). A partir de mai, la température intérieure a oscillé entre 17 et 25°C. Quant à l'humidité relative, elle varie de 35 à 65%.

Page 6 sur 84	



Figure 3 : Conditions de température et d'humidité relative dans la cellule-test au cours de l'essai

Pour s'assurer de l'homogénéité de la température et de l'humidité relative à l'intérieur de la cellule-test, plusieurs capteurs ont été placés proche paroi. Pour chacun de ces capteurs, l'écart à la valeur moyenne est calculé à chaque pas de temps. Une représentation statistique de ces données est fournie sur les graphiques de la Figure 4. De manière générale, les températures et les humidités relatives mesurées sont proches de la valeur moyenne mesurée (la différence avec la moyenne est toujours proche de 0). Concernant les températures, quelques mesures s'en éloignent (quelques points hors graphique) mais ce sont des observations ponctuelles, probablement dû à un problème d'acquisition aléatoire.

L'homogénéité à l'intérieur de la cellule-test est donc correcte.



Page 7 sur 84



Figure 4 : Homogénéité dans la cellule-test : étude des écarts à la moyenne de la température (a) et de l'humidité relative (b)

A l'extérieur, différentes grandeurs ont été mesurées ou calculées grâce aux mesures : la température et l'humidité relative de l'air proche paroi, la température équivalente de l'environnement reflétant le flux radiatif Grandes longueurs d'onde reçu par la façade, la densité de flux solaire total reçu par la façade (somme des densités de flux direct, diffus et réfléchi), la direction et la vitesse du vent et l'intensité de précipitations. Ces grandeurs sont présentées sur les Figure 5 et Figure 6. Afin de faciliter la lecture, les données de température, humidité relative et rayonnement solaire sont présentées sur la Figure 5 uniquement pour les mois de janvier et août.

Ces données servent à la compréhension de l'évolution des grandeurs mesurées au sein de la paroi durant les 9 mois de l'essai. Ces dernières sont présentées dans la partie suivante et servent à l'analyse expérimentale du défaut observé.

Note : Les mesures présentées ici sont les mesures réalisées sur l'installation expérimentale de la Plateforme TIPEE complétée des données de stations météo proches lorsque des pannes ou erreurs d'acquisition ont été constatées. Ceci permet de fournir un fichier complet pour la modélisation du défaut.

Page 8 sur 84	







Figure 5 : Conditions extérieures durant l'essai : janvier (a) et août (b)

Page 9 sur 84		
Page 9 sur 84	Dama O aum 04	
	Page 9 Sur 84	
v v	5	



Figure 6 : Conditions extérieures durant l'essai : précipitations (a) et rose des vents (b)

2.4. Analyse physique du défaut observé

2.4.1. Comparaison des emplacements instrumentés

Comme présenté au § 9.1.1.3 (Annexe), les capteurs ont été insérés dans la paroi à 3 hauteurs différentes du côté vicié (V) et du côté non vicié (NV). Ces emplacements sont rappelés sur la Figure 7 en vue de face de l'extérieur. A chacun de ces 6 emplacements, 4 capteurs de température et humidité relative ont été installés dans l'épaisseur de l'isolant. Comme indiqué

Page 10 sur 84	

précédemment, 3 capteurs sont défectueux. Ce sont les capteurs 6cV, 4aV et 3aV. Seuls les capteurs situés à la hauteur *e* présentent donc un jeu complet.



Figure 7 : Localisation des capteurs à 3 hauteurs différentes de chaque côté (vicié et non vicié)

Afin de vérifier la différence de conditionnement des côtés vicié et non vicié, on observe sur la Figure 8 le comportement hygrothermique aux emplacements des capteurs placés vers l'extérieur (plan vertical numéro 6). Pour cet emplacement, le capteur 6cV est défectueux, ainsi nous ne l'affichons pas.



Figure 8 : Evolution des températures-humidités relatives mesurées pendant les 5 premières semaines de l'essai par les capteurs situés à l'emplacement 6

Page 11 sur 84		
	Page 11 sur 84	

La Figure 9 présente le comportement hygrothermique aux emplacements des capteurs placés dans le plan vertical numéro 5. Pour cet emplacement, tous les capteurs sont opérationnels.



Figure 9 : Evolution des températures-humidités relatives mesurées pendant les 5 premières semaines de l'essai par les capteurs situés à l'emplacement 5

Il est alors possible de remarquer que la différence d'humidité relative initiale entre les côtés vicié et non vicié est claire pour le niveau e, et plus subtile pour les niveaux a et c. Le capteur 6eV présente une humidité relative à 100% jusqu'à la fin janvier.

On privilégie donc l'étude du niveau *e* dans la suite de ce document car la différence d'humidité relative est plus importante que pour les autres niveaux et tous les capteurs sont fonctionnels.

Page 12 sur 84		
	Page 12 sur 84	

2.4.2. Analyse de l'évolution de l'humidité relative mesurée

L'évolution du couple température-humidité relative (isoplèthes) des capteurs placés au niveau *e* pendant toute la durée de l'essai, i.e. de décembre 2020 à septembre 2021 (chaque groupe de marqueurs colorés représentant 1 mois de mesures), est représenté sur la Figure 10. Sur ces graphiques, on peut remarquer que, dans des gammes de températures similaires, les humidités relatives mesurées par les capteurs placés du côté vicié sont toujours supérieures à celles mesurées par les capteurs situés du côté non vicié. Ceci est vérifié même après 9 mois d'essai. En effet, au mois de septembre, la différence est entre 5 et 15% selon le capteur considéré.

Il semblerait, en se focalisant sur les minimas et les maximas de température pour les variations cycliques mensuelles des 4 premiers mois d'expériences, que le côté vicié présente respectivement, pour les niveaux 4, 5 et 6, des valeurs plus faibles d'au moins 1°C et plus hautes de plus d'1°C que le coté non-vicié.



Page 13 sur 84	



Figure 10 : Evolution des températures-humidités relatives mesurées pendant les 9 mois de l'essai par les capteurs situés au niveau e

Notons que les niveaux d'humidité relative du cote non-vicié de la paroi sont plus élevés que dans nos attentes. L'hypothèse est que le contenu en eau du mur maçonné et de son enduit contribue significativement à la prise d'humidité de l'isolant et que le stockage défectueux préalable n'a pas permis une prise d'humidité assez marquée pour creuser les écarts.

2.4.3. Analyse du transfert d'humidité

A l'aide des mesures de température et d'humidité relative de chacun des capteurs, il est possible de calculer l'humidité absolue, notée AH, et la pression de vapeur saturante, notée P_{vap} , pour chacun de ces points. Ces deux grandeurs sont calculées à partir de la température et de l'humidité relative mesurées et de la pression atmosphérique, selon les équations de l'ASHRAE.

Le moteur de ce transfert est la pression de vapeur partielle. Sur la Figure 11, l'évolution de la pression de vapeur partielle et de l'humidité absolue dans la paroi et dans l'air intérieur et extérieur est représentée pour une semaine début janvier et une semaine début septembre.







Figure 11 : Evolution de la pression de vapeur partielle et de l'humidité absolue des capteurs situés au niveau e en janvier (a) et en septembre (b)

En janvier, la pression de vapeur de l'air extérieur est supérieure à la pression de vapeur de l'air intérieur. Pendant une journée très ensoleillée (2 janvier), la pression de vapeur dans la paroi augmente et dépasse la pression de vapeur de l'air intérieur favorisant un assèchement de la paroi à la fois vers l'intérieur et vers l'extérieur. Lorsque la journée est nuageuse, l'assèchement de la paroi ne peut avoir lieu que vers l'extérieur. En septembre, la pression de vapeur de l'air extérieur est proche de celle de l'air intérieur. La pression de vapeur à l'intérieur de la paroi dépasse ces deux limites en journée, en présence de soleil. Ceci devrait donc tendre à un assèchement global de la paroi.

Dans ces deux cas, l'humidité absolue contenue dans la paroi viciée est supérieure à l'humidité absolue contenue dans la paroi non viciée, notamment à la fin de l'été. Il sera nécessaire de comparer l'humidité absolue contenue dans la paroi au bout d'un an, pour disposer de deux séries de données comparables.

2.4.4. Etude du transfert de chaleur

La performance thermique d'une paroi est caractérisée en régime statique par sa résistance thermique R (sans considérer les résistances de surface) définie comme la somme des résistances thermiques de chacune de ses couches, dépendant de leur conductivité thermique λ et de leur épaisseur e:

$$R = \sum_{couch} R_{couch} = \sum_{couch} \frac{e_{couche}}{\lambda_{cou}}$$

Pour la paroi considérée, la résistance thermique de la couche d'agglo est d'environ 0,2 m².K.W⁻¹, celle des enduits est inférieure à 0,1 m².K.W⁻¹ et celle de l'isolant est d'environ 4 m².K.W⁻¹. La performance thermique de la paroi dépend donc majoritairement de la résistance thermique de la couche d'isolant et plus particulièrement de sa conductivité thermique λ ; son épaisseur étant supposée connue.

Page 15 sur 84	

L'étude du transfert de chaleur dans la couche isolante peut être réalisée tant que le gradient de température est suffisant. Le graphique présenté en Figure 12 montre le gradient de température moyen quotidien entre la température de surface extérieure et la température d'interface isolant/agglo de chaque côté (vicié (V) et non vicié (NV)).



Figure 12 : Gradient de température considérant la couche d'isolant

Une panne du système d'acquisition a empêché la récolte des données jusqu'à mi-février et de fin juillet à début août.

Le gradient de température est supérieur à 4°C jusqu'à fin mars. En effet, une période de fort ensoleillement a eu lieu fin mars-début avril. La période de début avril à mi-avril présente également de forts gradients (de 6 à 8°C). Ces deux périodes sont donc considérées favorables pour l'étude de l'impact de l'humidité sur le transfert de chaleur.

Le transfert de chaleur à travers la paroi peut s'étudier à travers l'écriture du bilan suivant :

$$Extérieur: \left. \lambda_{couche} \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{couche} = Q_{conv,out}(t) + \alpha_{LW} Q_{LW,out}(t) + \alpha_{SW} Q_{SW}(t) = Q_{out}(t)$$

Où λ_{couche} est la conductivité de la couche pour laquelle le gradient de température est considéré, $Q_{conv,out}$ est la densité de flux convectif échangée entre la surface extérieure de la paroi et l'air extérieur, $\alpha_{LW}Q_{LW,out}$ est la densité de flux radiatif en grandes longueurs d'onde absorbée par la surface extérieure de la paroi (considérant l'échange avec son environnement radiatif) et $\alpha_{SW}Q_{SW}$ est la densité de flux radiatif absorbée en courtes longueurs d'onde.

La densité de flux convectif est définie comme suit :

$$Q_{conv,out}(t) = h_{conv,out}(t) \left(T_{air,out}(t) - T_{s,out}(t) \right)$$

Avec le coefficient d'échange convectif extérieur, noté $h_{conv,out}$, et estimé selon l'ISO 6946 comme une fonction de la vitesse d'air proche paroi $v_{2,5m}$.

La densité de flux radiatif absorbée en grandes longueur d'ondes est linéarisée et calculée comme suit :

$$\alpha_{LW}Q_{LW,out}(t) = h_{LW,out}(t) \left(T_{env,rad}(t) - T_{s,out}(t) \right)$$

Page 16 sur 84	

Où $h_{LW,out}(t) = 4\sigma \alpha_{LW} \left[\frac{T_{s,out}(t) + T_b(t)}{2}\right]^3$ est le coefficient d'échange radiatif extérieur.

Pour cette paroi, on considère $\alpha_{LW} = 0.9$ et $\alpha_{SW} = 0.4$ (appliqué à chacun des côtés).

A l'aide des mesures expérimentales, il est possible de calculer le gradient de température pour la paroi entre l'interface isolant/béton et l'extérieur (présentant une faible inertie thermique) et chacun des flux convectifs et radiatifs. Il est alors possible de calculer le rapport des conductivités : $\frac{\lambda_V}{\lambda_{NV}} = \frac{\sum_{période} Q_{out,V} \sum_{période} \Delta T_{NV}}{\sum_{période} Q_{out,NV} \sum_{période} \Delta T_V}$, puisque les épaisseurs côté vicié et côté non vicié sont les mêmes. Ce rapport est défini comme une somme cumulée. Ce rapport est tracé sur le graphique de la Figure 13.



Figure 13 : Evolution du ratio des conductivités thermiques de l'isolant côté vicié et côté non vicié sur la première période (a) et la seconde période (b) froide étudiées

Comme montré sur ce graphique, la présence d'humidité du côté vicié accroît donc la conductivité thermique de l'isolant et augmente donc le flux traversant cette couche de la paroi. La conductivité de l'isolant du côté vicié est supérieure de 2% à celle de l'isolant du côté non vicié à la fin de la première période et de 4% à la fin de la seconde période.

2.5. *Méthodologie retenue pour la modélisation du défaut sur la plateforme TIPEE*

Une simple analyse des données expérimentales n'est pas suffisante pour caractériser l'impact du défaut sur le transfert de chaleur. Pour une analyse plus poussée, une modélisation est nécessaire. La modélisation de ce défaut est réalisée avec le logiciel WUFI 2D à l'échelle de la

Page 17 sur 84	

paroi. Les conditions aux limites considérées sont celles présentées dans la partie 2.4. La modélisation est réalisée entre le 1^{er} janvier et le 30 septembre.

Les mesures de température et d'humidité à l'intérieur de la paroi (du côté vicié et non vicié) sont comparés aux résultats du modèles afin de valider le modèle. Les données mesurées au niveau e présentent des résultats sensiblement différents entre les côtés viciés et non viciés comparés aux données mesurées au niveau a et c. L'étude de ce jeu de données est donc favorisée.

Une fois le modèle validé, une étude de sensibilité aux paramètres caractérisant la paroi est réalisée.

3. Bestlab : Défaut de pose d'une Isolation Thermique Extérieure (ITE)

3.1. Description de l'essai

Cette expérimentation avait pour but d'observer expérimentalement l'impact thermique de défauts de pose d'une isolation thermique par l'extérieur dans le cas d'une rénovation. Plus particulièrement, on a reproduit des défauts visant à favoriser le passage de d'air extérieur en face arrière de l'isolant (entre isolant et mur support). L'observation s'est faite à l'aide d'un suivi dans le temps de l'état thermique de la paroi (température à différents point), et d'un bilan des consommations de la cellule. Cette configuration a été comparée à un cas sans défaut de pose.

L'essai a eu pour objectif de comprendre les phénomènes thermiques en jeu puis de les modéliser.

Comme tous les essais menés dans le laboratoire BestLab cet essai repose sur une reproduction d'un défaut dans une cellule que l'on compare, sur une période assez longue, à la même cellule sans le défaut.

En l'occurrence pour cet essai c'est la cellule RDCS3 qui porte le défaut tel qu'un chemin soit possible pour l'air entre le mur (avec enduit grossier) et l'isolant (ce qui est préjudiciable pour la performance de l'isolation (voir photos et schémas figure 14). Alors que sur la cellule RDCS1 l'isolant est bien plaqué contre un enduit plus fin.



Fage to Sul 04			Page 18 sur 84	
----------------	--	--	----------------	--



Figure 14 : Un défaut en pied et en tête de l'isolation rend possible un passage d'air extérieur entre l'isolant et le mur.

A l'aide du code couleur ci-dessus et en symbolisant par un carré rouge un fluxmètre positionné à la surface intérieure au centre de la paroi test, l'équipement de mesure proposé pour chacune des deux cellules est représenté sur le schéma suivant. Il comporte les éléments suivants :

- 8 capteurs de température de la lame d'air (bleu ciel)
- 6 capteurs de température de surface extérieure (vert)
- 6 capteurs de température de surface intérieure de l'isolant (rouge)
- 6 capteurs de température de surface extérieure du mur en parpaings (violet)
- 6 capteurs de température de surface intérieure du mur en parpaings (jaune)
- 1 Fluxmètre

Soit 32 PT100 et 1 fluxmètre par cellule.

Page 10 sur 84		
	Page 19 sur 84	



Figure 15 : Positionnement des capteurs. A gauche : vue de face. A droite : vue en coupe verticale

3.2. Sorties graphiques : exemples de résultats de mesure

Nous présentons ici l'impact thermique du défaut de pose de l'ITE. La lame d'air créée entre le mur porteur et l'isolant laisse s'établir une circulation ascendante d'air extérieur entre le bas et le haut du mur, circulation qui se traduit par une température d'interface entre le mur et l'isolant plus froide dans le cas du mur avec défaut (voir figure 16) et bien sûr par un flux de chaleur également plus grand (voir figure 17).

L'essai s'est bien déroulé, le phénomène mesuré sur une période d'environ six mois nous a permis d'identifier une modélisation de ce défaut détaillée dans le livrable 1.3 de ce volet 1.



Figure 16 : Impact du défaut de pose de l'ITE sur la température entre l'isolant et le mur

Page 20 sur 84		
J	Page 20 sur 84	



Figure 17 : Impact du défaut de pose (courbe rouge) de l'ITE sur le flux de chaleur perdu par le mur extérieur

3.3. Analyse physique du défaut observé

L'observation de la conséquence d'un défaut de pose associé à une configuration de mur extérieur dont l'enduit est d'une rugosité importante est bien conforme à l'attendu. L'espace ainsi créé génère bien une zone plus froide responsable d'une perte thermique accrue. Nous avons pu exploiter ces mesures pour modéliser cette conséquence en l'assimilant à une perte de résistance thermique comparée à la résistance thermique « théorique » (voir § 7).

4. Bestlab : Défaut d'écran de sous-toiture

4.1. **Description de l'essais**

De même que pour l'essai « ITE », deux cellules jumelles thermiquement et dimensionnellement seront utilisées. Une cellule sera dite de « référence (CBL S1) » avec un écran de sous toiture parfaitement posé. L'autre sera dite cellule de « test (CBL S4)», sans écran de sous toiture.

Le but de l'essai était d'observer expérimentalement l'impact de l'absence de l'écran de sous toiture pour l'isolation des combles entre chevrons et en sous face des chevrons. L'observation a porté sur un suivi dans le temps de l'état thermique de la paroi (température à différents point), et d'un bilan des consommations de la cellule attenante. Cette configuration a été comparée à un cas sans défaut, c'est-à-dire avec un écran de sous toiture installé selon les règles de l'art. L'essai a eu pour objectif de comprendre les phénomènes thermiques en jeu et de les modéliser à l'échelle du composant testé d'abord puis à l'échelle d'un bâtiment complet.

Page 21 sur 84	



Les essais se sont déroulés sur huit mois, une période froide, une période de mi-saison et une période estivale.

Une instrumentation de base

Flux solaires (emplacement de la paroi extérieure de la cellule)

- 1 pyranomètre : mesure du flux incident extérieur vertical orienté SUD Température extérieure (Pt100)
- Température extérieure placée sur la façade SUD à mi-hauteur de la paroi vitrée
- 4 températures de surface réparties sur la surface extérieure de la paroi test de la cellule

Une station Météo

- température extérieure
- hygrométrie extérieure
- rayonnements solaire direct, diffus et global mesurés sur un plan horizontal
- température de ciel
- vitesse et orientation du vent
- pluviomètre

Des mesures de températures du volume intérieur de la cellule (Pt100) placées sur un mat au centre de la cellule

• 3 températures d'air à différentes hauteurs : centres de 3 volumes fictifs représentant le tiers de la hauteur de la cellule (existantes dans l'instrumentation fixe de la cellule) Rq : le brassage assure des températures très proches sur les trois sondes.

• 1 température Moyenne de Rayonnement (globe noir de diamètre 9 cm) au centre de la cellule



Page	22	sur	84

Une instrumentation spécifique à l'essai

Pour cette instrumentation spécifique le même système de mesure est mis en place dans les deux cellules. Températures de surface à chaque interface : écran de sous toiture / isolant (ou surface externe de l'isolant pour la cellule sans écran), première couche isolant / deuxième couche isolant et isolant / BA 13 et enfin surface du BA 13 (le tout répété en quatre zones différentes). Des sondes de température sont également insérées dans la couche externe d'isolant (celle qui est posée entre les chevrons) pour mesurer le gradient de température. Cette instrumentation a été mise en place pour appréhender comment les couches externes de l'isolant sont affectées par l'absence d'écran, et surtout quelles en sont les conséquences sur les déperditions.



4.2. Sorties graphiques : exemples de résultats de mesure

Les graphes ci-dessous représentent l'impact thermique d'une absence d'écran de sous-toiture, dans un premier temps sur la température au cœur de l'isolant (Figure 18), puis sur les conséquences de cette modification de la température à l'intérieur de l'isolant sur les déperditions (Figure 19).



Figure 18 : Impact de l'absence d'écran de sous-toiture sur la température dans l'isolant (en rouge sans écran)

Page 23 sur 84	



Figure 19 : Impact de l'absence d'écran de sous-toiture sur les déperditions thermiques (en rouge sans écran)

4.3. Analyse physique du défaut observé

Les mouvements d'air entre les tuiles et l'isolant et les différentes mises en pression/dépression de cet espace lié aux vitesses et directions de vent variables, ont pour conséquence une pénétration de l'air froid sur les premiers centimètres d'isolant (dans le cas d'une laine minérale. La figure 18 montre cette pénétration de l'air froid dans la laine de verre, et la figure 19, la conséquence directe sur les dépenditions de la cellule sans écran (courbe rouge).

L'essai s'est bien déroulé, le phénomène mesuré sur une période d'environ six mois nous a permis d'identifier une modélisation là aussi assimilée à une perte de résistance thermique comparée à la résistance thermique « théorique » avec écran de sous-toiture (voir § 7).

5. Bestlab : Défaut d'étanchéité de la trappe d'accès au comble

5.1. **Description de l'essais**

Le but de cet essai était d'observer expérimentalement l'impact thermique d'un défaut de pose ou d'étanchéité d'une trappe d'accès aux combles. Les défauts reproduits ont été de deux ordres, l'absence de la continuité de l'isolation entre le plafond et la trappe puis l'absence d'une étanchéité à l'air entre la trappe et le plafond.

Nous avons cherché à observer l'impact des infiltrations d'air et de l'absence d'isolation au niveau de la trappe.

Cette configuration a été comparée à un cas sans défaut de pose, représenté de façon idéale par un plafond sans trappe.

Page 24 Sur 84	





faux-plafond avec trappe



faux-plafond seul



Pour le faux-plafond de la cellule de référence :

Page 25 sur 84	



Figure 20 : Positionnement des sondes de température sur le plafond de référence et au niveau de la trappe.

5.2. Sorties graphiques : exemples de résultats de mesure

Pour cet essai nous représentons ici la dépense énergétique de la cellule de référence (S3) pour laquelle l'absence de trappe de comble représente la trappe « parfaite » (pas de fuite possible, comparée à la dépense énergétique de la même cellule présentant différents niveaux de défauts de pose de cette trappe de comble.



Figure 22 : Impact d'un défaut de pose d'une trappe de comble sur les déperditions

5.3. Analyse physique du défaut observé

Les infiltrations d'air d'un comble perdu liées à un défaut de mise en œuvre d'une trappe de comble sont bien observées sur cet essai. La figure 21 montre les conséquences de ce défaut au

Page 26 sur 84	

niveau des températures à proximité de la trappe, et la figure 22, la conséquence directe sur les déperditions de la cellule.

L'essai s'est bien déroulé, le phénomène mesuré sur une période d'environ six mois nous a permis d'identifier une modélisation de type débit enthalpique en fonction des paramètres physiques environnants (voir § 7).

6. Bestlab : Défaut de pose de fenêtre en rénovation

6.1. **Description de l'essais**

Le but de cet essai était d'observer expérimentalement l'impact thermique de défauts de pose d'une fenêtre dans le cas d'une rénovation. Plus particulièrement, nous avons cherché à observer des défauts induisant des infiltrations d'air entre le dormant existant de l'ancienne fenêtre et le dormant de la nouvelle fenêtre montée en mode rénovation (DTU 36.5). L'observation se fera à l'aide d'un suivi dans le temps de l'état thermique de la paroi (température à différents point), et d'un bilan des consommations de la cellule attenante. Cette configuration sera comparée à un cas sans défaut de pose.



L'essai a eu pour objectif de comprendre les phénomènes thermiques en jeu afin de les modéliser, a priori sous la forme d'une loi débit-pression. Pour ce type de défaut en effet, l'impact thermique dépend essentiellement des données climatiques extérieures (température, vitesse du vent) et de la configuration du bâtiment. Il est donc indispensable d'en obtenir un modèle si l'on veut étendre les constatations expérimentales à tous les cas de figure de la rénovation.

Les cellules sont constituées de 6 parois opaques. 5 sont fortement isolées (U<0,1 W/m²/K), la 6^e donne sur l'extérieur et est isolée (ITI) par 10cm de PSE (R~2,5 m²K/W).

Les défauts ont été créés par manque d'étanchéité à la jonction entre dormant bois et dormant PVC (les lignes rouges symbolisent l'absence du joint d'étanchéité).

Pour la cellule avec défaut (RDC S4), trois configurations de défaut ont été testées en condition d'hiver et en condition d'été. Elles sont représentées sur la figure suivante :



Page 27 sur 84

Configuration P (Périmètre) Configuration H (Horizontal) Configuration V (Vertical)

Après l'installation de chaque configuration de défaut, un essai de perméabilité de la cellule sera effectué.

6.2. Sorties graphiques : exemples de résultats de mesure

Pour cet essai nous représentons ici un tracé de la dépense énergétique de la cellule de référence (S4) pour laquelle la pose de la fenêtre de rénovation a été réalisée selon les règles de l'art (DTU 36.5), comparée à la dépense énergétique de la même cellule présentant un défaut de pose, nous avons retenu pour l'exemple figurant ci-dessous le cas où les joints ont été oubliés sur les bords horizontaux de la fenêtre.



Figure 23 : Impact d'un défaut de pose d'une fenêtre de rénovation sur les déperditions

6.3. Analyse physique du défaut observé

Pour ce défaut on observe un débit d'air parasite s'infiltrant ou s'exfiltrant de la cellule présentant les défauts d'étanchéité, et se traduisant par une dépense énergétique supplémentaire. L'essai s'est bien déroulé, le phénomène mesuré sur une période d'environ six mois nous a permis d'identifier une modélisation de type débit enthalpique en fonction des paramètres physiques environnants (voir § 7). Par exemple sur cette séquence de mesure la puissance thermique moyenne ayant traversé le défaut, représente un débit moyen d'infiltration de 20 m3/h.

Page 28 sur 84	

7. Méthodologie retenue pour la modélisation des défauts sur la plateforme BESTLAB

La modélisation du défaut se tiendra comme suit :

Etape 1. Evaluation des évolutions libres.

Il s'agit d'une comparaison entre les mesures calculées par le modèle Dymola et celles issues de l'expérimental permettant d'identifier la conductance correspondante du pont thermique.

Etape 2. Evaluation des évolutions en température régulée.

Il s'agit d'une comparaison entre les mesures calculées par le modèle Dymola et celles issues de l'expérimental permettant d'identifier la conductance correspondante du pont thermique.

Etape 3. Constat expérimental : comparaisons des mesures des cellules avec défaut et sans défaut.

Cette comparaison suppose que les conductances de pont thermique dans la cellule de référence et dans la cellule avec défaut sont identiques en évolution libre et en configuration régulée.

Une fois que la sélection des séquences expérimentales identiques pour les deux cellules (avec et sans défaut) est faite, une comparaison des températures intérieures mesurées permettra d'analyser les critères retenus pour la modélisation des défauts. Cela permettra d'identifier de la conductance G du défaut (ou de sa puissance) en fonction du temps.

Etape 4. Relation entre conductances ou puissances identifiées et un modèle défaut.

L'objectif de cette partie est de recaler les paramètres de ces modèles physiques avec les puissances perdues P(t) identifiées. A priori deux familles de modèles physiques sont concernées : La résistance thermique d'une paroi et le débit enthalpique lié à un flux d'air.

La base des puissances identifiées est toujours la comparaison entre cellules avec et sans défaut. Pour le modèle « Résistance Thermique » :

En prenant un indice 1 pour la cellule avec défaut et un indice 2 pour la cellule sans défaut on obtient :

$$P_1(t) - P_2(t) = S \frac{R_2 \Delta T_1 - R_1 \Delta T_2}{R_1 R_2}$$

Or, P1-P2 est par définition ce qu'on a appelé P(t).

On peut aussi noter $\Delta R=R2-R1$ (la perte de résistance thermique due au défaut).

$$P(t) = S \frac{R_2(\Delta T_1 - \Delta T_2) - \Delta R \Delta T_2}{(R_2 - \Delta R)R_2}$$

Or en période régulée, $\Delta T1 = \Delta T2 = \Delta T(t)$ Ce qui permet de calculer directement $\Delta R(t)$:

$$\Delta R(t) = \frac{R_2^2 P(t)}{R_2 P(t) + S \Delta T(t)}$$

Pour le modèle « Débit Enthalpique » :

Avec toujours l'indice 1 pour la cellule avec défaut et l'indice 2 pour la cellule sans défaut, on peut écrire la différence d'appel de puissance entre les deux cellules :

$$P_1(t) - P_2(t) = C_p(\dot{m}_1(t)\Delta T_1(t) - \dot{m}_2(t)\Delta T_2(t))$$

En notant : $\Delta \dot{m}(t) = \dot{m}_1(t) - \dot{m}_2(t)$ le débit d'air supplémentaire lié au défaut et P(t) la différence des puissances identifiée entre les deux cellules, on obtient :

$$P(t) = (\dot{m}_2(t)(\Delta T_1 - \Delta T_2) + \Delta \dot{m}(t)\Delta T_1)$$

Et là aussi on peut utiliser la période régulée où les ΔT sont égaux des deux côtés pour identifier la différence des débits par :

Page 29 sur 84	

$$\Delta \dot{m}(t) = \frac{P(t)}{C_p \Delta T(t)}$$

Pour les deux modèles « Résistance Thermique » et « Débit Enthalpique » on peut donc tenter d'identifier la valeur des défaut (différence de résistance thermique et différence de débit) en fonction du temps à partir de séquences régulées.

On pourra alors tenter d'identifier les conditions d'environnement qui font changer ces valeurs (par exemple en traçant en parallèle la valeur du défaut et la vitesse du vent...).

Si l'on peut établir une telle corrélation, on pourra alors l'écrire dans un modèle et tenter de vérifier si ça marche sur les périodes non régulées.

Etape 5. Identifier les corrélations entre les paramètres des modèles physiques et les composantes de l'environnement.

Etape 6. Relation entre conductances ou puissances identifiées et un modèle défaut.

8. Conclusion

Ce livrable de la Tâche 1.2 intitulée « Mesures comparatives » est une partie importante du programme puisqu'elle a permis à la fois de visualiser et de chiffrer les conséquences énergétiques des principaux défauts parmi les travaux de rénovation, répertoriés dans l'analyse bibliographique menée dans la Tâche 1.1.

Cette Tâche 1.2, avec ses cinq essais à échelle 1, a également permis de réaliser la modélisation de ces défauts et leurs conséquences. Ces travaux de modélisation et l'étude qui en découle sont synthétisés dans la Tâche 1.3.

Pour cette Tâche 1.2, un gros travail a porté sur le montage de ces essais sur la plateforme Rochelaise Tipee et dans le laboratoire Bestlab d'EDF R&D au centre des Renardières. Une instrumentation conséquente a été nécessaire pour pouvoir mesurer avec une bonne fiabilité les conséquences thermiques des défauts sélectionnés.

Nous pouvons dire à l'issue de cette période d'essais en climat réel, qui s'est déroulée sur neuf mois, que ces essais ont donné satisfaction, et que la qualité des montages et de leur instrumentation nous ont permis de mesurer les phénomènes attendus. A savoir, l'impact d'une mise en œuvre de l'isolation par l'extérieur avec défaut de stockage avant chantier, les conséquences thermiques de l'absence d'un écran de sous-toiture, d'un défaut dans la pose d'une trappe de comble, d'un défaut dans la pose de l'étanchéité d'une fenêtre de rénovation et enfin d'un défaut dans l'application de l'isolant dans le cadre d'une mise en œuvre d'une isolation par l'extérieur.

L'objectif premier de cette tâche était l'enregistrement de données de mesures permettant la mise au point et la validation de modèles numériques représentant les défauts précités.

Cet objetif est atteint, mais au delà des modèles numériques indispensables à une quantification globale du poids de ces défauts, nous pouvons également dire que ce travail a permis de mettre des valeurs sur les conséquences énergétiques de « mauvais gestes de rénovation » inconnues jusqu'à aujourd'hui.

Page 30 sur 84		
	Page 30 sur 84	

9. Annexes : l'instrumentation des essais, et les programmes d'essais

9.1.1. Tipee : Pose d'une Isolation Thermique Extérieure (ITE) avec un isolant initialement humide.

9.1.1.1. Géométrie et matériaux

La cellule-test est fermée en accueillant un échantillon de façade appelé façade-test d'une largeur de 3 mètres. Elle est constituée d'un mur en parpaings et d'isolant de laine de roche sous enduit. Cette façade est séparée en deux parties sur la largeur par un profil en PVC sur l'épaisseur de l'isolant comme illustré sur la Figure A1 : un complexe vicié V (ayant subi des épisodes hydriques) et un complexe non vicié NV.



Figure A1 : Elévation Sud du bâtiment-test

La façade est représentée par une coupe verticale et une coupe horizontale sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** De l'intérieur vers l'extérieur, elle est composée de plaques de plâtre (BA13) collées sur un mur maçonné en parpaings agglomérés (20 cm de large). Les parpaings ont été montés sur un corbeau métallique et enchâssés entre des profilés acier en U de part et d'autre. Ils ont été enduits puis recouverts de panneaux de laine de roche de 140 mm d'épaisseur de résistance thermique déclarée 4 K.m²/W. Enfin, à l'extérieur, l'isolant est également recouvert d'enduit. Un isolant complémentaire en PSE de 30mm a été intercalé entre la cornière du bas et le premier rang de parpaing.

La jonction entre les poutres et le cadre structurel en acier de la façade-test est réalisée à l'aide de pièces en acier galvanisé (sabots). Ceci permet d'assurer le maintien structurel de la façade-test contre le bâtiment-test.

Page 31 sur 84	
5	



Figure A2 : Coupe verticale (a) et coupe horizontale (b) de la façade-test

Un jointoiement (joint acrylique) en périphérie du parpaing, contre le contreplaqué existant a été réalisé pour diminuer les infiltrations d'air. La plaque de plâtre permet de finaliser cette étanchéité à l'air, elle a également été complétée d'un joint acrylique à l'interface du contreplaqué et autour des platines structurelles.

Une bavette en cornière fixée dans le MOB au-dessus de la façade-test permet de protéger la partie supérieure des rejaillissements d'eau de pluie.

Les matériaux utilisés dans cet essai sont détaillés dans le Tableau 1.

Matériau	Marque	Épaisseur	Détails
Plaque de plâtre BA13	Placo	13 mm	
Agglo béton	ALKERN	200 mm	
Enduit mortier fibré	PRB Fondisol F	15 mm	Gris – Collage et calage de plaques d'isolant sur le support
Laine de roche	RockWool ECOROCK DUO lambda 35	140 mm	Double face (surdensifiée tournée vers l'extérieur) RockSATE Duo PLUS & FRONTROCK MAX Plus
Sous enduit mince armé d'une toile de verre résistant au alcalis	PRB Fondisol F	20 mm	Blanc – 1500 kg/m ³
Enduit de finition RPE structuré organique	PRB Crépimur F	1 mm	Blanc, granulométrie fine, ignifugé, taloché, 2,1 à 2,5 kg/m ² , 1800 kg/m ³

Tableau 1	÷	Informations	sur les	matériaux	mis	en	œuvre
rabioaa i		in normation of	001 100	matomatax		0	000110

Les travaux gros œuvre ont commencé le 07/12/2020 :

Travaux	Date début	Remarques
Pose des renforts structurels	08/12/2020	
Montage du mur maçonné	09/12/2020	
Enduit du mur maçonné	10/12/2020	

Page 32 sur 84	

Pose de l'isolant V + passage des sondes de mesure	14/12/2020 matin
Pose de l'isolant NV + passage des sondes de mesure	14/12/2020 après-m
Enduit de la partie sèche et humide de l'ITE	15/12/2020
Installation des isolants périphériques complémentaires	16/12/2020
Finition surfaçage	16/12/2020
Pose de la plaque de BA13 côté intérieur	16/12/2020
Remontage du capotage isolé	18/12/2020

Le 18/12/2020, deux tests de perméabilité par porte soufflantes ont été réalisés. Le premier nous a permis de mettre en évidence les fuites et le second de vérifier les résultats après l'implémentation de correctifs (cordons de joint acrylique essentiellement). Le taux de renouvellement d'air de la cellule sous 50 Pa est de 1,08 Vol.h⁻¹ et 12 m³/h sous 4 Pa.

La Figure A3 montre les principales étapes de construction de la façade.



(a)



(C)



(d)



(b)



(e)



(f)

Figure A3 : Pose du corbeau métallique (a), des profils acier latéraux (b), des agglos enduits vus de l'extérieur (c) et bruts de l'intérieur (d), de l'isolant. La façade terminée vue de l'extérieur (f).

Un capotage constitué d'isolant et recouvert d'une tôle métallique prélaquée blanche permet de compléter l'isolation de part et d'autre de la façade-test, d'assurer l'étanchéité à l'eau et d'améliorer l'étanchéité à l'air.

Stockage de l'isolant

La moitié des palettes d'isolant nécessaire au chantier, soit 4 ballots de 3 panneaux ont été stockés dehors, dans leur emballage pendant les 4 semaines précédant le démarrage du chantier. L'autre moitié a été conservée à l'intérieur d'une halle technique chauffée à 16°C.

9.1.1.2. Instrumentation

De nombreux capteurs sont installés à l'extérieur, à l'intérieur de la cellule-test et dans la façade-test étudiée.

Diverses données météorologiques sont mesurées en façade ou en toiture :

- Température d'air et humidité relative (VAISALA HMP155),
- Rayonnement solaire total (pyranomètre SMP21-A),
- Rayonnement grande longueur d'onde (pyrgéomètre KIPP AND ZONEN SGR4-A).

D'autres données météorologiques sont mesurées en toiture :

- Vitesse et direction du vent (anémomètre à ultrasons VAISALA WMT701),
- Précipitations (BLET),
- Pression atmosphérique (ADOLF THIES),
- Rayonnement solaire direct (tracker solaire et pyrhéliomètre KIPP AND ZONEN SHP1).

Ces appareils sont présentés sur la Figure A4.

Page 34 sur 84	
~	1



(a)



(b)



(C)



Figure A4 : Appareils de mesures des données météorologiques : (a) Capteur de température et humidité en façade, (b) Pyranomètre et pyrgéomètre en façade, (c) Anémomètre en toiture (d) Tracker solaire, capteur de température et humidité en toiture, (e) Capteur de précipitations et (f) baromètre

Les autres mesures sont des températures et des humidités relatives réalisées grâce à différents capteurs à l'intérieur de la cellule-test ou dans la paroi :

- Pt100 + centrale Keysight 34980A (température),
- Rotronic HCA2 + centrale NI (température et humidité relative / air),
- Sensirion SHT 85 + serveur RaspberryPi (température et humidité relative / matière).

Chacun de ces capteurs est repéré dans la suite du document par une nomenclature précisant sa position dont la règle est la suivante :

- T, Ta ou HR précise la nature de la mesure : T pour une température de surface ou d'interface, Ta pour une température d'air et HR pour humidité relative,
- Un chiffre de 1 à 7 pour les températures de surface ou d'interface ; 1 étant la surface intérieure et 7 la surface extérieure,
- Une lettre minuscule (a, b, c, d ou e) précisant la hauteur du capteur,
- Un suffixe (V, NV ou -) pour préciser la position du capteur du côté vicié (V), non vicié (NV) ou central (-).

Cette nomenclature et les capteurs concernés sont illustrés sur le schéma de la Figure 7 représentant la façade testée sous forme de vue éclatée. 30 capteurs de températures (en rouge) et 24 capteurs de température et humidité relative (en violet) ont été placés dans la façade testée.

Page 35 sur 84	

Figure A5 : Schéma de position des capteurs température et humidité relative et météo

Dans la cellule-test, dans un plan parallèle à la paroi, 9 capteurs Pt100 sont installés à environ un mètre de la façade à trois hauteurs différentes (b, c, d) afin de vérifier l'uniformité de température dans un plan parallèle (surtout la présence d'une stratification). Certains sont installés dans des protections radiatives ventilées. En plus de ces capteurs, deux capteurs mesurent la température et l'humidité (Ta/HR bc V et Ta/HR cd NV).

A l'intérieur de la façade, les capteurs sont placés sur 7 plans différents (1 pour la surface intérieure, 7 pour la surface extérieure sous enduit et 2-3-4-5-6 pour les plans intermédiaires). Les capteurs de température (plans 1, 2 et 7 sont placés à 5 hauteurs différentes (a, b, c, d et e).

Les capteurs de température et d'humidité relative (Sensirion SHT85) sont placés aux interfaces 3, 4, 5 et 6 et à 3 hauteurs différentes dans l'isolant de la façade-test. Ces capteurs sont isolés du contact à l'eau liquide par une protection pneumatique poreuse. Certains de ces capteurs (positions 3a, 4a et 6c) sont défectueux (entourés en noir sur la figure).

Les incertitudes résumées dans le Tableau 2.

Zone	Grandeur	Appareil	Incertitude
e	Température	Pt100 4 fils	± 0,15°C *
Façad	Température	Sensirion SHT85	± 0,5°C *
	Humidité relative		± 3 % *
e	Température	Pt100 4 fils	± 0,15°C *
ellul	Température	Rotronic HC2A	± 0,1°C **
	Humidité relative		± 0,8 % **
	Température d'air	VAISALA HMP 155	± 0,15°C *
téo	Humidité relative		± 2 % **
Mé	Vitesse de vent		\pm 0,1 m.s ⁻¹ **
	Direction du vent	Anemometre sonique v AISALA	± 2° **

Tableau 2 : Récapitulatif des incertitudes de mesure

|--|
Rayonnement solaire	Pyranomètre SMP21-A	\pm 3 % de la mesure **
Température de brillance	Pyrgéomètre SGR4-A	± 0,7°C **
* estimé par étalonnage	** à partir de la documentation	

9.1.1.3. Consignes d'essais

Les essais se sont déroulés du 24 décembre 2020 au 30 septembre 2021, soit 9 mois.

Un débit de ventilation en extraction est fixé. Le taux de renouvellement d'air par ventilation retenu est de 0,8 vol/h, soit environ 47 m³/h. La température d'air est maintenue à 20°C jusqu'au 1^{er} mai 2021, puis laissée en évolution libre hors saison de chauffe. Ces consignes sont résumées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Consignes de température et de ventilation imposées lors des essais

Année	2020		2021						
Mois	12	01 02 03 04				05	06	07	08
Température		20°C Régime libre							
Ventilation		0,8 vol/h							

L'acquisition est réalisée en continu avec un pas de temps de 5 minutes.

9.1.2. Bestlab : Défaut de pose d'une Isolation Thermique Extérieure (ITE)

9.1.2.1. **Présentation des équipements en test**

Système ITE (isolation thermique par l'extérieur) de type PSE sous enduit posé en calé (plots de colle) chevillé (voir schéma ci-dessous)



Figure A6 : schéma de principe d'une ITE callée chevillée

Pose sur mur existant dont l'ITI a été supprimée, donc sur enduit extérieur.

Page 37 sur 84		
	Page 37 sur 84	

Par sa configuration, ce système est ouvert en sous face de l'isolant. Et du fait des pratiques de pose, il est probable que cette lame d'air puisse circuler. Pour cet essais nous allons volontairement faire en sorte que cette circulation d'air ait lieu.

Choix du niveau d'isolation : niveau CEE \rightarrow R posé = 3,7 m²K/W. En effet, on cherche à avoir un haut niveau d'isolation pour mettre en valeur l'impact du défaut. Si on considère un R=0,23 m²K/W de la paroi existante (parpaing) et les coefficients de convection intérieur et extérieur (resp. 7,7 et 25 W/m²/K), on s'attend donc à un U théorique de paroi de : 0,24 W/m²/K.

NB : il ne faut pas que les déperditions théoriques de la paroi de test soient au même niveau que les parois adiabatiques de la cellule. Quelques valeurs suivantes pour rappel :

- PT BESTLab avec ITI (calculs stage 2018 Nacereddine Hadjadj sur cellule RDC S3) :
 - Psi plancher 0,113 W/m/K $\rightarrow \sim 0,3277$ W/K
 - Psi refend 0,038 W/m/K $\rightarrow \sim 0,197$ W/K
 - Psi plafond 0,135 W/m/K $\rightarrow \sim 0,3915$ W/K
 - Parois adiabatiques de BESTLab <0,1 W/m²/K

Il a fallu recalculer les ponts thermiques d'enveloppe pour la configuration ITE.

En effet, le passage d'une configuration initiale en ITI à une configuration finale en ITE modifie les ponts thermiques des parois des cellules. De plus, la configuration sans défaut apportera une résistance thermique réelle plus importante que celle apportée par la configuration avec défaut. Il est donc probable que les ponts thermiques de la configuration sans défaut soient plus forts que ceux de la configuration avec défaut, diminuant ainsi l'écart de comportement entre les deux configurations.

Pour limiter et prendre en compte cet effet, nous avons dû :

- D'une part recalculer tous les ponts thermiques dans les deux configurations (avec des hypothèses de résistance thermique équivalente pour la configuration avec défaut. Les premières comparaisons entre résultats expérimentaux et résultats simulés à l'échelle de la cellule (notamment dans le cas de la cellule de référence) permettront de vérifier la pertinence de la valeur globale des ponts thermiques calculés.
- D'autre part limiter le nombre de ponts thermiques, notamment en effectuant un retour d'isolant sur les deux côtés verticaux des parois test dans les deux configurations.

9.1.2.2. Programme de l'essai

Deux cellules sont mobilisées (RDC S1 et S3) : RDCS1 sans défaut c'est-à-dire en respectant les règles de l'art et sur un enduit suffisamment lisse pour que la lame d'aire soit fermée et quasi immobile entre le mur et l'isolant, et RDCS3 avec défaut, c'est-à-dire sur un enduit grossier laissant apparaître une lame d'air ouverte et mobile entre le mur et l'isolant.

Démontage de l'ITI préexistante dans les deux cellules, traitement de la paroi (infiltration d'air résiduelle) et pose d'un parement intérieur (plaque de plâtre).

Montage de l'ITE côté extérieur pour les deux cellules, avec insertion des défauts pour RDCS3. Pose des capteurs pendant les travaux.

Utilisation des CTA préexistantes dans les deux cellules. Le comptage permettra d'assurer les bilans énergétiques. L'air sera brassé par les CTA.

Application d'un scénario de températures de consignes (évolution libre, climatisation, chauffage) dans les deux cellules de manière identique.

Description des équipements et des cellules

Les essais se dérouleront dans les cellules RDC S1 et RDC S3, équipées d'une paroi test opaque initialement isolée par l'intérieur (doublage PSE plaque plâtre + peinture).

Page 38 sur 84	

Les cellules sont constituées de 6 parois opaques. 5 sont fortement isolées (U<0,1 W/m²/K), la 6^e donne sur l'extérieur et est isolée (ITI) par 10cm de PSE (R~2,5 m²K/W) pour RDC S3 et un système PIV+ tasseaux bois pour RDC S1.



Figure A7 : Coupe horizontale de la cellule de test



Figure A8 : Coupe verticale de la cellule de test

Page 39 sur 84	



Informations détaillées sur les parois de la cellule :

Figure A9 : Coupe horizontale : Composition des murs de refend donnant sur la garde et jonction avec la paroi de test (RDC S1)

Matériau	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité calorifique (J/kg/K)	Epaisseur (cm)
Convection				
côté garde				
Parement	0,32	1150	1265	1,3
extérieur				
Parement	0,32	1150	1265	1,3
extérieur				
Laine minérale	0,04	39	1030	5
Fibrociment	0,32	1000 à 1250	?	1,25
Fibrociment	0,32	1000 à 1250	?	1,25
XPS	0,029	33	1400	10
XPS	0,029	33	1400	10
PSE gris	0,032	14	1400	10
Convection				
côté cellule				

Tab. 1 : composition des murs de refend donnant sur la garde

Matériau	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité calorifique (J/kg/K)	Epaisseur (cm)
Convection côté garde				
Porte	0,15	220	1000	0,06
Isolation PU extrudé	0,028			2

Page 40 sur 84		
V	Page 40 sur 84	



Convection côté cellule

Figure 6 : Coupe verticale : Composition du plancher donnant sur le vide sanitaire et jonction avec la paroi de test (RDC S3)

Matériau	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité calorifique (J/kg/K)	Epaisseur (cm)
Convection vide sanitaire				
Parement extérieur	0,32	1150	1265	1,3
PSE	0,04	14	1400	10
XPS	0,029	33	1400	20
Entrevous	1,052			16
Dalle béton	1,75			7
XPS	0,029	33	1400	10
XPS	0,029	33	1400	10
plancher	0,032	1250	1200	2,2
Convection côté cellule				

Tab. 3 : composition plancher sur vide sanitaire

Matériau	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité calorifique (J/kg/K)	Epaisseur (cm)
Convection air extérieur				
Enduit	0,5	1300	1000	1

Page 41 sur 84	
	-

Parpaings	1,4			16
PSE	0,04	14	1400	10
Parement	0,32	1150	1265	1,3
intérieur				
Convection				
côté cellule				

Tab. 4 : composition de la paroi de test opaque (sur extérieur) – RDC S3

Une centrale de traitement d'air (CTA) régule la température dans la cellule, grâce à une batterie d'eau froide (réseau d'eau froide 12°C du laboratoire) et une résistance électrique. Deux diffuseurs positionnés au niveau du plafond permettent un brassage de l'air pour le rendre le plus homogène possible lorsque la cellule n'est pas en contact avec l'air extérieur.



Figure A10 : Schéma de principe de la CTA

Impacts sur le laboratoire : modification des cellules

Les travaux à réaliser sont :

- Préparation de la cellule pour les essais :
 - Dépose isolation intérieure existante dans les deux cellules
 - RDC S1 : système ITI PIV (stockage vide sanitaire)
 - RDC S3 : doublage PSE + plaque plâtre (mise aux déchets)
 - Traitement étanchéité périphérie paroi test côté intérieur
 - Traitement maçonnerie mur parpaing côté intérieur si nécessaire
- Montage de l'essai
 - Sur la cellule RDC S3 (avec défaut) : pose d'un enduit roulé donnant à peu près le même aspect que la photo ci-dessous

Page 42 sur 84	



Figure 8 : Vue d'une pose d'isolant extérieur sur enduit existant roulé

- Pose PSE sous enduit sur les deux cellules. Niveau d'isolation CEE (R=3,7m²K/W) + traitement des ponts thermiques latéraux par retour d'isolant et enduit sur l'épaisseur des murs de test (les deux côtés verticaux des parois testées).
 - o RDC S1 : selon les recommandations des CPT 3035 du CSTB



• RDC S3 : pose avec défauts (description §9.1.2.3)

Figure A11 : schéma global installation ITE avec défaut (RDC S3)

• Pose parement plaque de plâtre + finition peinture côté intérieur

Dans les § qui suivent, quelques précisions sur les travaux :

Traitement étanchéité de la périphérie des parois de test

Vérification de l'état de la jonction et de l'isolation entre les parois (plancher, refends, plafond) et la paroi de test. Si nécessaire, corrections à apporter (mousse PU...)

RDC S1 : réfection plancher et plafond (vieille infiltration des eaux de pluie résolue en 2017 avec changement des couvertines).

Traitement étanchéité : pose d'une membrane sur toute la périphérie entre la paroi test et les autres parois (voir photos ci-dessous pour le type de pose choisi).

Page 43 sur 84	



Figure A12 : vue jonction mur parpaing et paroi adiabatique (gauche) et vue jonction mur parpaing et plancher (droite)

Pour vérification amélioration étanchéité : mesure perméabilité des cellules

Traitement maçonnerie paroi parpaing

Rebouchage des trous existants dans les parois de test (datant de la pose des parois test sur le laboratoire à sa construction) \rightarrow amélioration étanchéité et gémellité des cellules.



Figure A13 : vue d'un trou existant dans paroi test

Pour vérification amélioration étanchéité : mesure perméabilité des cellules

9.1.2.3. Défaut ITE de la cellule RDC S3

On favorise le passage de l'air extérieur en face arrière de l'isolant par la partie basse du système, au niveau du rail de départ.

Page 44 sur 84	



Figure A14 : schéma rail de départ (g.) où le passage de l'air est favorisé et photo visite chantier (d.) de la partie inférieure d'un rail de départ (en vue du dessous)

Pour cela :

- Pose d'un enduit induisant une grosse épaisseur entre la crête la plus haute et le creux le plus profond. Exemple photo ci-dessous pour créer le plus possible des espaces entre le rail de départ et le mur



Figure A15: Vue d'une pose réelle du rail de départ sur enduit roulé

- Pose de 2 rails de départ de 2m chacun. On supprimera l'éclisse, et on écartera les 2 rails >3mm réglementaire
- Pose des panneaux avec colle en plots, plots de colle les plus épais possibles pour écarter les panneaux du mur
- L'enduit de finition et la trame ne feront pas de retour entre le dernier rang de panneaux PSE et la paroi test → ouverture entre PSE et paroi test par le haut

		Page 45 sur 84	
--	--	----------------	--



Figure A16 : Schéma de principe d'une tête de mur en ITE sans retour d'enduit (configuration avec défaut)



Figure A17 : Schéma de principe de la pose d'un larmier au-dessus de la paroi testée

- Pose d'un larmier depuis la face avant de l'ITE jusqu'au mur du laboratoire (passage sous le bardage). Ecartement suffisant pour aider au passage de l'air sur la partie supérieure de la paroi test.

9.1.2.4. Pose sans défaut de la cellule RDC S1

- Pose du système sur l'enduit gratté existant.
- Pose du rail de départ avec écartement et éclisses conformes au CPT.
- Retour de l'enduit en tête de mur.
- Recouvrement par couvertine sans défaut, selon le principe du schéma suivant.



Figure A18 : Schéma de principe d'une tête de mur en ITE avec retour d'enduit (configuration sans défaut)

Traitement ponts thermiques latéraux (2 cellules)

On ne souhaite pas observer l'impact de la qualité du retour de l'isolant sur les côtés latéraux de la façade test. L'espace minimum disponible entre chaque côté de paroi test (RDC S1 et S3)

Page 46 sur 84	

et la trémie (passage des câbles des sondes) est de 7cm \rightarrow application d'un retour d'isolation parfaitement posé d'épaisseur identiques sur les 2 côtés des deux parois + finition parfaitement posée.

Rq : on ouvrira le bardage existant et on traitera la jonction entre l'isolant PSE de la paroi test et la laine de verre sous le bardage (minimisation max. des ponts thermiques latéraux). Le schéma suivant (coupe horizontale sur le côté droit du mur testé) montre le principe du montage attendu.



Figure A19 : Schéma de principe du retour d'isolant sur les montants verticaux des murs tests

9.1.2.5. Instrumentation fixe

Flux solaires (emplacement de la paroi extérieure de la cellule)

• 1 pyranomètre : mesure du flux incident extérieur vertical orienté SUD

Température extérieure (Pt100)

- Température extérieure placée sur la façade SUD à mi-hauteur de la paroi vitrée
- 4 températures de surface réparties sur la surface extérieure de la paroi test de la cellule

Météo ETNA et BESTLab

- température extérieure
- hygrométrie extérieure
- rayonnements solaire direct, diffus et global mesurés sur un plan horizontal
- température de ciel
- vitesse et orientation du vent
- pluviomètre

Températures du volume intérieur de la cellule (Pt100) placées sur un mat au centre de la cellule

- 3 températures d'air à différentes hauteurs : centres de 3 volumes fictifs représentant le tiers de la hauteur de la cellule (existantes dans l'instrumentation fixe de la cellule) Rq : le brassage assure des températures très proches sur les trois sondes.
- 1 température Moyenne de Rayonnement (globe noir de diamètre 9 cm) au centre de la cellule

|--|



Positionnement du mât de mesure dans la cellule test

9.1.2.6. Instrumentation spécifique

En reprenant le code couleur ci-dessus et en symbolisant par un carré rouge un fluxmètre positionné à la surface intérieure au centre de la paroi test, l'équipement de mesure proposé pour chacune des deux cellules est représenté sur le schéma suivant. Il comporte les éléments suivants :

- 8 capteurs de température de la lame d'air (bleu ciel)
- 6 capteurs de température de surface extérieure (vert)
- 6 capteurs de température de surface intérieure de l'isolant (rouge)
- 6 capteurs de température de surface extérieure du mur en parpaings (violet)
- 6 capteurs de température de surface intérieure du mur en parpaings (jaune)
- 1 Fluxmètre

Soit 32 PT100 et 1 fluxmètre par cellule.

Les flux mètres retenus sont commercialisés par la société CIM (cimcapteurs@wanadoo.fr), nous utiliserons :

Cellule sans défaut un flux mètre en résine époxy type 119 (dimensions 250 x 250 x 1.5) Cellule avec défaut un flux mètre en résine époxy type 117 (dimensions 100 x 30 x 1.5)

Page 48 sur 84	



Figure A20 : Positionnement des capteurs. A gauche : vue de face. A droite : vue en coupe verticale

9.1.2.7. Restitution des données

La restitution des mesures, au pas d'une minute, se fera sous forme d'un tableau Excel de fréquence hebdomadaire. Il répertoriera les voies suivantes :

Dama 40 ann 04		
Page 49 sur 84	Page 49 sur 84	

RDC S1	
Libellé voie	unité
Ts_RDC_S1_PlanVS_Int	°C
Ts_RDC_S1_PlanVS_Mil	°C
Ts_RDC_S1_PlanVS_Ext	°C
Ts_RDC_S1_PlanInt_Int	°C
Ts_RDC_S1_PlanInt_Mil	°C
Ts_RDC_S1_PlanInt_Ext	°C
Ts_RDC_S1_N_Int	°C
Ts_RDC_S1_N_Mil	°C
Ts_RDC_S1_N_Ext	°C
Ts_RDC_S1_E_Int	°C
Ts_RDC_S1_E_Mil	°C
Ts_RDC_S1_E_Ext	°C
Ts_RDC_S1_O_Int	°C
Ts_RDC_S1_O_Mil	°C
Ts_RDC_S1_O_Ext	°C
Ta_RDC_S1_Mat_B	°C
Ta_RDC_S1_Mat_Mil	°C
Ta_RDC_S1_Mat_H	°C
Tmr_RDC_S1_Mat_Mil	°C
Teau_RDC_S1_Sortie	°C
Teau_RDC_S1_Entrée	°C
Qeau_RDC_S1	l/mn
Puis_RDC_S1_CHAUF	Wh
Puis_RDC_S1_VENT	Wh
Ts_RDC_S1_TEST_Int	°C
Ts_RDC_S1_TEST_Ext1	°C
Ts_RDC_S1_TEST_Ext2	°C
Ts_RDC_S1_TEST_Ext3	°C
Ts_RDC_S1_TEST_Ext4	°C
Ta_G_RDC_CL4	°C
Ta_G_RDC_CL5	°C
Ta_G_RDC_CL6	°C

RDC S3	
Libellé voie	unité
Ts_RDC_S3_PlanVS_Int	°C
Ts_RDC_S3_PlanVS_Mil	°C
Ts_RDC_S3_PlanVS_Ext	°C
Ts_RDC_S3_PlanInt_Int	°C
Ts_RDC_S3_PlanInt_Mil	°C
Ts_RDC_S3_PlanInt_Ext	°C
Ts_RDC_S3_N_Int	°C
Ts_RDC_S3_N_Mil	°C
Ts_RDC_S3_N_Ext	°C
Ts_RDC_S3_E_Int	°C
Ts_RDC_S3_E_Mil	°C
Ts_RDC_S3_E_Ext	°C
Ts_RDC_S3_O_Int	°C
Ts_RDC_S3_O_Mil	°C
Ts_RDC_S3_O_Ext	°C
Ta_RDC_S3_Mat_B	°C
Ta_RDC_S3_Mat_Mil	°C
Ta_RDC_S3_Mat_H	°C
Tmr_RDC_S3_Mat_Mil	°C
Teau_RDC_S3_Sortie	°C
Teau_RDC_S3_Entrée	°C
Qeau_RDC_S3	l/mn
Puis_RDC_S3_CHAUF	Wh
Puis_RDC_S3_VENT	Wh
Ts_RDC_S3_TEST_Int	°C
Ts_RDC_S3_TEST_Ext1	°C
Ts_RDC_S3_TEST_Ext2	°C
Ts_RDC_S3_TEST_Ext3	°C
Ts_RDC_S3_TEST_Ext4	°C
Ta_G_RDC_CL8	°C
Ta_G_RDC_CL9	°C
Ta_G_RDC_CL10	°C

Conditions terrasse RDC Sud :

Ta_RDC_S1_Ext	°C
Fl_Inc_RDC_S1_Ext	W/m²

Instrumentation spécifique à l'essai :

Page 50 sur 84	

RDC S1	
Libellé voie	unité
Ta_RDC_S1_BasOuest	°C
Ta_RDC_S1_BasMil	°C
Ta_RDC_S1_BasEst	°C
Ta_RDC_S1_TiersBas	°C
Ta_RDC_S1_TiersHaut	°C
Ta_RDC_S1_HautOuest	°C
Ta_RDC_S1_HautMil	°C
Ta_RDC_S1_HautEst	°C
Ts_RDC_S1_Ext1	°C
Ts_RDC_S1_Ext2	°C
Ts_RDC_S1_Ext3	°C
Ts_RDC_S1_Ext4	°C
Ts_RDC_S1_Ext5	°C
Ts_RDC_S1_Ext6	°C
Ts_RDC_S1_IntIso1	°C
Ts_RDC_S1_IntIso2	°C
Ts_RDC_S1_IntIso3	°C
Ts_RDC_S1_IntIso4	°C
Ts_RDC_S1_IntIso5	°C
Ts_RDC_S1_IntIso6	°C
Ts_RDC_S1_ExtMur1	°C
Ts_RDC_S1_ExtMur2	°C
Ts_RDC_S1_ExtMur3	°C
Ts_RDC_S1_ExtMur4	°C
Ts_RDC_S1_ExtMur5	°C
Ts_RDC_S1_ExtMur6	°C
Ts_RDC_S1_IntMur1	°C
Ts_RDC_S1_IntMur2	°C
Ts_RDC_S1_IntMur3	°C
Ts_RDC_S1_IntMur4	°C
Ts_RDC_S1_IntMur5	°C
Ts_RDC_S1_IntMur6	°C
Fluxmetre_RDC_S1	W/m ²

RDC S3	
Libellé voie	unité
Ta_RDC_S3_BasOuest	°C
Ta_RDC_S3_BasMil	°C
Ta_RDC_S3_BasEst	°C
Ta_RDC_S3_TiersBas	°C
Ta_RDC_S3_TiersHaut	°C
Ta_RDC_S3_HautOuest	°C
Ta_RDC_S3_HautMil	°C
Ta_RDC_S3_HautEst	°C
Ts_RDC_S3_Ext1	°C
Ts_RDC_S3_Ext2	°C
Ts_RDC_S3_Ext3	°C
Ts_RDC_S3_Ext4	°C
Ts_RDC_S3_Ext5	°C
Ts_RDC_S3_Ext6	°C
Ts_RDC_S3_IntIso1	°C
Ts_RDC_S3_IntIso2	°C
Ts_RDC_S3_IntIso3	°C
Ts_RDC_S3_IntIso4	°C
Ts_RDC_S3_IntIso5	°C
Ts_RDC_S3_IntIso6	°C
Ts_RDC_S3_ExtMur1	°C
Ts_RDC_S3_ExtMur2	°C
Ts_RDC_S3_ExtMur3	°C
Ts_RDC_S3_ExtMur4	°C
Ts_RDC_S3_ExtMur5	°C
Ts_RDC_S3_ExtMur6	°C
Ts_RDC_S3_IntMur1	°C
Ts_RDC_S3_IntMur2	°C
Ts_RDC_S3_IntMur3	°C
Ts_RDC_S3_IntMur4	°C
Ts_RDC_S3_IntMur5	°C
Ts_RDC_S3_IntMur6	°C
Fluxmetre_RDC_S3	W/m ²

Acquisition

L'acquisition des mesures liées à la cellule s'effectue à partir de centrales d'acquisition de données AGILENT via le logiciel d'acquisition *ARCALE*. Le traitement des mesures pourra s'effectuer sur un poste du labo ou sur différents postes du réseau intranet (version client).

L'acquisition des données météo s'effectue à partir de centrales d'acquisition de données AGILENT au pas de temps d'une minute.

		Page 51 sur 84	
--	--	----------------	--

9.1.3. Bestlab : Défaut d'écran de sous-toiture

9.1.3.1. Description des équipements et des cellules

Les essais se dérouleront dans les cellules CBL S1 et CBL S4, équipées d'une paroi test type toiture inclinée, initialement isolées par l'intérieur (2 couches croisées de laine de verre, 1 entre chevrons et l'autre sous les chevrons).

Chacune de ces cellules est constituée de 6 parois opaques. 5 sont fortement isolées (U<0,1 $W/m^2/K$), adiabatiques avec la garde thermique du laboratoire régulée en température à 20°C, la 6^e (le rampant) (U=0,36 $W/m^2/K$) donne sur l'extérieur et est isolée par 20 cm de laine de verre.





Page 52 sur 84



Coupe horizontale de la cellule de test



Coupe verticale de la cellule de test après ré-isolation du plancher

Détails de l'isolation entre le pied droit et le bas du rampant :

Page 53 sur 84		
	Page 53 sur 84	



Détail de l'isolation entre le mur intérieur et le haut du rampant ;



Centrale de traitement d'air (CTA) :

Une centrale de traitement d'air (CTA) régule la température dans la cellule, grâce à une batterie d'eau froide (réseau d'eau froide 12°C minimum du laboratoire) et à une résistance électrique

Page 54 sur 84	

(1250 W). Deux diffuseurs orientables positionnés au niveau du plafond permettent un brassage de l'air pour rendre sa température la plus homogène possible afin d'éviter toute stratification de celle-ci dans la cellule.



Schéma de principe de la CTA

Impacts sur le laboratoire : modification des cellules

Les travaux à réaliser sont :

- Préparation de la cellule pour les essais :
 - Dépose des CTA
 - Dépose isolation plancher existante (4cm) \rightarrow conservation des panneaux
 - Dépose isolation pied-droit \rightarrow mise aux déchets
 - Pose isolation plancher selon le mode de pose décrit dans le rapport ME-35-19-001 (même procédé), avec 2 x10cm de PSE + 4cm (isolant initial)
 - Dépose isolation intérieure rampants existante dans les deux cellules → mise aux déchets matériaux
 - Observation des parties découvertes, diagnostic et corrections éventuelles de défauts
 - Reprise de l'étanchéité des pieds droits et en périphérie de la paroi testée (pour cette dernière paroi, la reprise de l'étanchéité peut être réalisée après l'installation de la paroi test).
 - Retrait écran HPV de la CBL S4 par découpage (pas de retrait des tuiles
 - Montage de l'essai
 - Retrait couverture CBLS1, retrait et mise au déchet de l'écran existant
 - Pose d'un écran dans le CBL S1, puis couverture
 - Pose d'une isolation par l'intérieur dans les deux cellules (première couche de 8 cm entre chevrons sans pare-vapeur, deuxième couche croisée de même épaisseur avec pare-vapeur), puis pose parement de finition.
 - Etanchéité des jonctions intérieures par film collé (idem cellules du RDC).

Pose de l'isolant et du parement plâtre intérieur

L'isolant posé sera de la laine de verre standard, de conductivité thermique de l'ordre de 38 mW/mK. La première couche d'isolant sera posée entre les chevrons. Elle sera d'une épaisseur

Page 55 sur 84		
	Page 55 sur 84	

identique aux chevrons (8 cm). Elle sera complétée par une couche croisée supplémentaire de la même épaisseur avec pare-vapeur sur la face interne de l'isolant). Une plaque de BA 13 sera ajoutée ainsi qu'un traitement Vario Isover à faire sur la périphérie intérieure des pieds droits plus sur le BA13 à l'intérieur des rampants et toutes les jonctions entre les finitions intérieures et les autres éléments (pannes par exemple).

Etanchéité périphérique

La laine de verre qui assure l'isolation entre les cellules devra être reposée et un raccord en BA 13 assurera l'étanchéité entre les murs intérieurs et la toiture pour éviter la circulation d'air entre les cellules par le dessous de la toiture.

9.1.3.2. Instrumentation fixe

Flux solaires (emplacement de la paroi extérieure de la cellule)

• 1 pyranomètre : mesure du flux incident extérieur vertical orienté SUD

Température extérieure (Pt100)

- Température extérieure placée sur la façade SUD à mi-hauteur de la paroi vitrée
- 4 températures de surface réparties sur la surface extérieure de la paroi test de la cellule

Météo ETNA et BESTLab

- température extérieure
- hygrométrie extérieure
- rayonnements solaire direct, diffus et global mesurés sur un plan horizontal
- température de ciel
- vitesse et orientation du vent
- pluviomètre

Températures du volume intérieur de la cellule (Pt100) placées sur un mat au centre de la cellule

- 3 températures d'air à différentes hauteurs : centres de 3 volumes fictifs représentant le tiers de la hauteur de la cellule (existantes dans l'instrumentation fixe de la cellule) Rq : le brassage assure des températures très proches sur les trois sondes.
- 1 température Moyenne de Rayonnement (globe noir de diamètre 9 cm) au centre de la cellule

Page 56 sur 84		
	Page 56 sur 84	



Positionnement du mât de mesure dans la cellule

9.1.3.3. Instrumentation spécifique

Le même système de mesure est mis en place dans les deux cellules.

Températures de surface à chaque interface : écran de sous toiture / isolant (ou surface externe de l'isolant pour la cellule sans écran), première couche isolant / deuxième couche isolant et isolant / BA 13 et enfin surface du BA 13.

Des sondes de température seront également insérées dans la couche externe d'isolant (celle qui est posée entre les chevrons) pour mesurer le gradient de température. On s'attend en effet à ce que surtout les couches externes de l'isolant soient affectées par l'absence d'écran.



Positionnement des capteurs sur la parois d'essai (vue en plan)

Page 57 sur 84	



Positionnement des capteurs sur la paroi d'essai (vue en coupe)

Râteau de mesure des températures dans la couche externe

• Sonde de température à l'interface entre l'écran ou l'air extérieur et la couche externe de l'isolant

- Sonde de température à l'interface entre les deux couches de l'isolant
- Sonde de température à l'interface entre le pare-vapeur et le BA 13
- Sonde de température entre le BA 13 et l'air intérieur

Les sondes aux interfaces sont de type « température de surface ».

Les sondes dans la couche externe de l'isolant (râteau de mesure des températures) seront de type « température d'air ». Pour ce qui concerne le râteau, l'objectif est de perturber le moins possible la mesure. Idéalement le râteau comporte 3 sondes de température : la première est à 1 cm de la surface extérieure, la suivante à 2 cm de cette même surface, la dernière à 4 cm.

La mise au point du dispositif est à discuter. On peut par exemple imaginer (liste non-exhaustive) :

- Les terminaisons sensibles des capteurs sont fixées avec les bons écartements sur un fil très mince et peu conducteur puis ces fils sont insérés à l'aiguille dans l'épaisseur de l'isolant.
- Les sondes sont glissées une par une dans les différentes épaisseurs d'isolant à l'aide d'une aiguille puis maintenues en place en fixant leurs câbles sur un chevron.
- Utilisation d'un matériau support (par exemple un tronçon de la même laine de verre remis en place avec les capteurs à l'intérieur ...

Avec cette configuration de mesures, chaque cellule comportera 16 capteurs de température de surface et 12 capteurs (4 râteaux de 3 capteurs) de température d'air, soit un total de 28 capteurs.

Page 58 sur 84		
0	Page 58 sur 84	



Vue de la cellule avant aménagement de la paroi d'essai

Restitution des données

La restitution des mesures, au pas d'une minute, se fera sous forme d'un tableau Excel de fréquence hebdomadaire. Il répertoriera les voies suivantes :

Page 59 sur 84	

Comble S1	
Libellé voie	unité
Ts_CBL_S1_N_Int	°C
Ts_CBL_S1_N_Mil	°C
Ts_CBL_S1_N_Ext	°C
Ts_CBL_S1_E_Int	°C
Ts_CBL_S1_E_Mil	°C
Ts_CBL_S1_E_Ext	°C
Ts_CBL_S1_O_Int	°C
Ts_CBL_S1_O_Mil	°C
Ts_CBL_S1_O_Ext	°C
Ta_CBL_S1_Mat_B	°C
Ta_CBL_S1_Mat_Mil	°C
Ta_CBL_S1_Mat_H	°C
Tmr_CBL_S1_Mat_Mil	°C
Teau_CBL_S1_Sortie	°C
Teau_CBL_S1_Entrée	°C
Qeau_CBL_S1_	m3/h
Puis_CBL_S1_CHAUF	Wh
Puis_CBL_S1_VENT	Wh
Ts_CBL_S1_TEST_Int	°C
Ts_CBL_S1_TEST_Ext1	°C
Ts_CBL_S1_TEST_Ext2	°C
Ts_CBL_S1_TEST_Ext3	°C
Ts_CBL_S1_TEST_Ext4	°C
Ta_G_CBL_CL4	°C
Ta_G_CBL_CL5	°C
Ta_G_CBL_CL6	°C

Comble S4	Comble S4				
Libellé voie	unité				
Ts_CBL_S4_N_Int	°C				
Ts_CBL_S4_N_Mil	°C				
Ts_CBL_S4_N_Ext	°C				
Ts_CBL_S4_E_Int	°C				
Ts_CBL_S4_E_Mil	°C				
Ts_CBL_S4_E_Ext	°C				
Ts_CBL_S4_O_Int	°C				
Ts_CBL_S4_O_Mil	°C				
Ts_CBL_S4_O_Ext	°C				
Ta_CBL_S4_Mat_B	°C				
Ta_CBL_S4_Mat_Mil	°C				
Ta_CBL_S4_Mat_H	°C				
Tmr_CBL_S4_Mat_Mil	°C				
Teau_CBL_S4_Sortie	°C				
Teau_CBL_S4_Entrée	°C				
Qeau_CBL_S4_	m3/h				
Puis_CBL_S4_CHAUF	Wh				
Puis_CBL_S4_VENT	Wh				
Ts_CBL_S4_TEST_Int	°C				
Ts_CBL_S4_TEST_Ext1	°C				
Ts_CBL_S4_TEST_Ext2	°C				
Ts_CBL_S4_TEST_Ext3	°C				
Ts_CBL_S4_TEST_Ext4	°C				
Ta_G_CBL_CL10	°C				
Ta_G_CBL_CL11	°C				
Ta_G_CBL_CL12	°C				

Conditions terrasse CBL Sud :

Ta_CBL_S1_Ext	°C
Fl_Inc_CBL_S1_Ext	W/m²

Instrumentation spécifique à l'essai :

Page 60 sur 84	

Comble S1		
Libellé voie	unité	
Ts_CBL_S1_TEST_Ext1	°C	
Ts_CBL_S1_Iso_1	°C	
Ts_CBL_S1_BA13ext_1	°C	
Ts_CBL_S1_BA13int_1	°C	
Ta_CBL_S1_Iso1cm_1	°C	
Ta_CBL_S1_Iso2cm_1	°C	
Ta_CBL_S1_Iso4cm_1	°C	
Ts_CBL_S1_TEST_Ext2	°C	
Ts_CBL_S1_Iso_2	°C	
Ts_CBL_S1_BA13ext_2	°C	
Ts_CBL_S1_BA13int_2	°C	
Ta_CBL_S1_Iso1cm_2	°C	
Ta_CBL_S1_Iso2cm_2	°C	
Ta_CBL_S1_Iso4cm_2	°C	
Ts_CBL_S1_TEST_Ext3	°C	
Ts_CBL_S1_Iso_3	°C	
Ts_CBL_S1_BA13ext_3	°C	
Ts_CBL_S1_BA13int_3	°C	
Ta_CBL_S1_Iso1cm_3	°C	
Ta_CBL_S1_Iso2cm_3	°C	
Ta_CBL_S1_Iso4cm_3	°C	
Ts_CBL_S1_TEST_Ext4	°C	
Ts_CBL_S1_Iso_4	°C	
Ts_CBL_S1_BA13ext_4	°C	
Ts_CBL_S1_BA13int_4	°C	
Ta_CBL_S1_Iso1cm_4	°C	
Ta_CBL_S1_Iso2cm_4	°C	
Ta_CBL_S1_Iso4cm_4	°C	

Comble S4				
Libellé voie	unité			
Ts_CBL_S4_TEST_Ext1	°C			
Ts_CBL_S4_Iso_1	°C			
Ts_CBL_S4_BA13ext_1	°C			
Ts_CBL_S4_BA13int_1	°C			
Ta_CBL_S4_Iso1cm_1	°C			
Ta_CBL_S4_Iso2cm_1	°C			
Ta_CBL_S4_Iso4cm_1	°C			
Ts_CBL_S4_TEST_Ext2	°C			
Ts_CBL_S4_Iso_2	°C			
Ts_CBL_S4_BA13ext_2	°C			
Ts_CBL_S4_BA13int_2	°C			
Ta_CBL_S4_Iso1cm_2	°C			
Ta_CBL_S4_Iso2cm_2	°C			
Ta_CBL_S4_Iso4cm_2	°C			
Ts_CBL_S4_TEST_Ext3	°C			
Ts_CBL_S4_Iso_3	°C			
Ts_CBL_S4_BA13ext_3	°C			
Ts_CBL_S4_BA13int_3	°C			
Ta_CBL_S4_Iso1cm_3	°C			
Ta_CBL_S4_Iso2cm_3	°C			
Ta_CBL_S4_Iso4cm_3	°C			
Ts_CBL_S4_TEST_Ext4	°C			
Ts_CBL_S4_Iso_4	°C			
Ts_CBL_S4_BA13ext_4	°C			
Ts_CBL_S4_BA13int_4	°C			
Ta_CBL_S4_Iso1cm_4	°C			
Ta_CBL_S4_Iso2cm_4	°C			
Ta_CBL_S4_Iso4cm_4	°C			

Acquisition

L'acquisition des mesures liées à la cellule s'effectue à partir de centrales d'acquisition de données AGILENT via le logiciel d'acquisition *ARCALE*. Le traitement des mesures pourra s'effectuer sur un poste du labo ou sur différents postes du réseau intranet (version client).

L'acquisition des données météo s'effectue à partir de centrales d'acquisition de données AGILENT.

Toutes les données mesurées seront acquises au pas de temps d'une minute.

Page 61 sur 84		
	Page 61 sur 84	

9.1.4. Bestlab : Défaut d'étanchéité de la trappe d'accès au comble

9.1.4.1. Description des équipements et des cellules

Les essais se dérouleront dans les cellules CBL S2 et CBL S3, équipées d'une toiture constituée de tuiles mécaniques, d'une double isolation en laine de verre croisée et d'un pare vapeur. La finition intérieure et le faux-plafond est réalisé en BA13.



Figure 1 : Localisation des cellules de test

Chacune de ces cellules est constituée de 6 parois opaques. 5 sont fortement isolées (U<0,1 W/m²/K), adiabatiques avec la garde thermique du laboratoire régulée en température à 20°C, la 6^e (le rampant) (U=0,36 W/m²/K) donne sur l'extérieur et est isolée par 20 cm de laine de verre.



Plan d'une cellule de test

Page 62 sur 84	



Figure 2 : Coupe horizontale de la cellule de test



Figure 3 : Coupe verticale de la cellule de test après ré-isolation du plancher

Centrale de traitement d'air (CTA) :

Une centrale de traitement d'air (CTA) régule la température dans la cellule, grâce à une batterie d'eau froide (réseau d'eau froide 12°C minimum du laboratoire) et à une résistance électrique (1250 W). Deux diffuseurs orientables positionnés au niveau du plafond permettent un brassage de l'air pour rendre sa température la plus homogène possible afin d'éviter toute stratification de celle-ci dans la cellule.

Page 63 sur 84		
5	Page 63 sur 84	



Schéma de principe de la CTA

Contrôle de l'état des rampants

Les rampants existants seront déposés pour contrôler l'état de l'isolation d'origine constituée par deux couches croisées de laine de verre et le pare-vapeur. Au besoin l'isolation sera refaite à neuf, toujours avec une épaisseur totale de 200 mm. Les quatre sondes Pt100 de température extérieure seront remises en place entre les deux couches de laine de verre selon les cotes (à définir) ci-dessous :



Emplacement des températures d'air extérieures dans la paroi test

Installation des faux-plafonds et de la trappe

Les cellules seront modifiées pour accueillir un faux plafond, réalisé à l'identique tant au niveau de la pose, des matériaux et des suspentes que des dimensions. La hauteur sous plafond dans chacune des cellules sera la même.

Les faux-plafonds seront réalisés en plaques de BA13 fixées et maintenues par un système de rails (suspentes). Une couche de laine de verre 100 mm de R 3,15 m²K/W posée à l'horizontal côté comble assurera l'isolation thermique.

L'isolation des rampants au niveau des volumes V2 (combles perdus non chauffés) sera supprimée, seules la partie des rampants des volumes V1 sera isolée et l'isolation s'arrêtera au niveau des fauxplafonds avec recouvrement de l'isolant entre le rampant et le faux plafond (fermeture de la boite isolante).

Une trappe de dimension 700 mm x 700 mm sera implantée dans la cellule CBL S3 avec une isolation R de 4,8 m²K/W côté comble. Son isolation (en TSE ou PSE) et son étanchéité (joint à lèvre) pourront

Page 64 sur 84

être modifiées pour constituer le défaut (discontinuité entre la laine de verre et le TSE de quelques millimètres). Ses caractéristiques sont définies ci-dessous :



Coupe longitudinale du faux-plafond avec trappe

|--|



faux-plafond avec trappe faux-plafond seul Coupe verticale des cellules modifiées (CBL S3 à gauche, CBL S2 à droite)

Le volume V1 représente celui de la pièce, le volume V2 celui du comble. La hauteur du faux-plafond sera déterminée à partir du tableau ci-dessous de manière à ce que l'impact du volume du comble sur le volume de la pièce soit représentatif.

Volume d'une cellule : $V = L * \frac{a}{2} * (x + H)$ avec : L la largeur de la cellule et H la hauteur (b+x).

Le volume total V de la cellule sans faux plafond :

Le volume total de la cellule comble S2 est de 27,07 m 3 Le volume total de la cellule comble S3 est de 26,86 m 3

Et la hauteur minimale possible pour les CTA des cellules est de 2,40 m

Et V1 = V-V2 avec V2 = $L * \frac{a'b'}{2}$ et b' = H-h.

	CBL S2			CBL S3	
h (m)	V1 (m ³)	V2 (m ³)	h (m)	V1 (m ³)	V2 (m ³)
2,50	21,89	5,18	2,50	21,80	5,06
2,75	23,21	3 <i>,</i> 86	2,75	23,10	3,76
3,00	24,34	2,73	3,00	24,21	2,65
3,20	25,10	1,97	3,20	24,95	1,90



La hauteur du faux plafond retenue est de 2,5 m :

- Permet de conserver le brassage de l'air avec la CTA du laboratoire
- Hauteur de plafond standard pour les logements
- V2 ~ V1 ÷ 4 \rightarrow écart non négligeable
- Surface trappe ~ 8,5% Surface faux-plafond → l'emprise de la trappe sur la surface n'est pas trop grande

Adaptation de la hauteur des CTA

La hauteur des deux CTA sera adaptée dans la pièce de volume V1 en fonction de la hauteur du fauxplafond retenue.

NB : la hauteur minimale possible techniquement d'une CTA est de 2,40 m.

9.1.4.2. Instrumentation fixe

Flux solaires (emplacement de la paroi extérieure de la cellule)

• 1 pyranomètre : mesure du flux global orienté Sud orienté dans le plan des rampants

Page 66 sur 84	

Température extérieure (Pt100)

• 4 températures d'air réparties au centre de l'isolation en laine de verre

Météo ETNA et BESTLab

- température extérieure
- hygrométrie extérieure
- rayonnements solaires direct, diffus et global mesurés sur un plan horizontal
- température de ciel
- vitesse et direction du vent
- pluviomètre

Températures du volume intérieur de la cellule (Pt100) placées sur un mat au centre de la cellule

- 3 températures d'air à différentes hauteurs situées à chaque 1/3 de la hauteur de la cellule de volume V1 (existantes dans l'instrumentation fixe de la cellule)
- Remarque : le brassage assure l'homogénéisation de la température d'air du volume V1.
- 1 température Moyenne de Rayonnement (globe noir de diamètre 9 cm) au centre de la cellule



Emplacement du mât de températures d'air

Comptage des consommations électriques de la résistance et du ventilateur de la CTA :

- Compteurs Hager EC011 223011 pour la résistance électrique : 1 impulsion/1Wh
- Compteurs Ulys MD80 pour le ventilateur : 1 impulsion/1Wh

Mesure du débit d'eau froide dans l'échangeur de la CTA

Débitmètre Endress+Hauser Promag 53 53H08 en l/min

Températures d'eau en entrée et sortie de la CTA (Pt100) en °C

9.1.4.3. Instrumentation spécifique

Hygrométrie / température d'air au centre des volumes V1 et V2 : un hygromètre est installé à mi-hauteur dans chaque volume V1 et V2.

- T : [-100 ;200]°C, +/-1°C
- HR : [0 ;100]%, +/-2%

Températures de surface au niveau du faux-plafond et de la trappe (Pt100) Températures d'air au niveau de la trappe (Pt100)

Pression atmosphérique au centre des volumes V1 et V2 : un capteur de pression atmosphérique est installé à mi-hauteur dans chaque volume V1 et V2.

• P : [900 ;1100]mbar, +/-1mbar

Page 67 sur 84	



Instrumentation spécifique cellule de test

Pour le faux-plafond de la cellule de référence :



Restitution des données

La restitution des mesures, au pas d'une minute, se fera sous forme d'un tableau Excel de fréquence hebdomadaire. Il répertoriera les voies suivantes :

Comble S2		
Libellé voie	unité	
Ts_CBL_S2_N_Int	°C	
Ts_CBL_S2_N_Mil	°C	
Ts_CBL_S2_N_Ext	°C	
Ts_CBL_S2_E_Int	°C	
Ts_CBL_S2_E_Mil	°C	
Ts_CBL_S2_E_Ext	°C	

Comble S3		
Libellé voie	unité	
Ts_CBL_S3_N_Int	°C	
Ts_CBL_S3_N_Mil	°C	
Ts_CBL_S3_N_Ext	°C	
Ts_CBL_S3_E_Int	°C	
Ts_CBL_S3_E_Mil	°C	
Ts_CBL_S3_E_Ext	°C	

Page 68 sur 84		
	Page 68 sur 84	

Ts_CBL_S2_O_Int	°C
Ts_CBL_S2_O_Mil	°C
Ts_CBL_S2_O_Ext	°C
Ta_CBL_S2_Mat_B	°C
Ta_CBL_S2_Mat_Mil	°C
Ta_CBL_S2_Mat_H	°C
Tmr_CBL_S2_Mat_Mil	°C
Teau_CBL_S2_Sortie	°C
Teau_CBL_S2_Entrée	°C
Qeau_CBL_S2_	m3/h
Puis_CBL_S2_CHAUF	Wh
Puis_CBL_S2_VENT	Wh
Ts_CBL_S2_TEST_Int	°C
Ts_CBL_S2_TEST_Ext1	°C
Ts_CBL_S2_TEST_Ext2	°C
Ts_CBL_S2_TEST_Ext3	°C
Ts_CBL_S2_TEST_Ext4	°C
Ts_RDC_S2_PlanInt_Ext	°C
Ts_CBL_S2_Plan_1	°C
Ts_CBL_S2_Plan_P1	°C
Ts_CBL_S2_Plan_5	°C
Ta_G_CBL_CL6	°C
Ta_G_CBL_CL7	°C
Ta_G_CBL_CL8	°C

Ts_CBL_S3_O_Int	°C
Ts_CBL_S3_O_Mil	°C
Ts_CBL_S3_O_Ext	°C
Ta_CBL_S3_Mat_B	°C
Ta_CBL_S3_Mat_Mil	°C
Ta_CBL_S3_Mat_H	°C
Tmr_CBL_S3_Mat_Mil	°C
Teau_CBL_S3_Sortie	°C
Teau_CBL_S3_Entrée	°C
Qeau_CBL_S3	m3/h
Puis_CBL_S3_CHAUF	Wh
Puis_CBL_S3_VENT	Wh
Ts_CBL_S3_TEST_Int	°C
Ts_CBL_S3_TEST_Ext1	°C
Ts_CBL_S3_TEST_Ext2	°C
Ts_CBL_S3_TEST_Ext3	°C
Ts_CBL_S3_TEST_Ext4	°C
Ts_RDC_S3_PlanInt_Ext	°C
Ts_CBL_S3_Plan_1	°C
Ts_CBL_S3_Plan_P1	°C
Ts_CBL_S3_Plan_5	°C
Ta_G_CBL_CL8	°C
Ta_G_CBL_CL9	°C
Ta_G_CBL_CL10	°C

Conditions terrasse CBL Sud :

Ta_CBL_S1_Ext	°C
FI_Inc_CBL_S1_Ext	W/m²

Page 69 sur 84	

Instrumentation spécifique à l'essai :

Comble S2		
Libellé voie	unité	
HR_V1_S2	%	
Ta_HR_V1_S2	°C	
HR_V2_S2	%	
Ta_HR_V2_S2	°C	
Ts_V1_trappe_1	°C	
Ts_V1_trappe_2	°C	
Ts_V1_trappe_3	°C	
Ts_V1_trappe_4	°C	
Ts_V1_trappe_Mil	°C	
Ts_TSE_trappe_Mil	°C	
Ts_V1_FP1_S2	°C	
Ts_V1_FP2_S2	°C	
Ts_V2_LV1_S2	°C	
Ts_V2_LV2_S2	°C	
Ta_V1_trappe_1	°C	
Ta_V1_trappe_2	°C	
Ta_V1_trappe_3	°C	
Ta_V1_trappe_4	°C	
Ta_V2_trappe_1	°C	
Ta_V2_trappe_2	°C	
Ta_V2_trappe_3	°C	
Ta_V2_trappe_4	°C	
Ta_V1_trappe_Mil	°C	
Ta_V2_trappe_Mil	°C	
Ta_V1_FP1_S2	°C	
Ta_V1_FP2_S2	°C	
Ta_V2_LV1_S2	°C	
Ta_V2_LV2_S2	°C	
Ts_V2_trappe_1	°C	
Ts_V2_trappe_2	°C	
Ts_V2_trappe_3	°C	
Ts_V2_trappe_4	°C	
P_V1_S2	mbar	
P_V2_S2	mbar	

Comble S3		
Libellé voie	unité	
HR_V1_S3	%	
Ta_HR_V1_S3	°C	
HR_V2_S3	%	
Ta_HR_V2_S3	°C	
Ts_V1_FP1_S3	°C	
Ts_V1_FP2_S3	°C	
Ts_V1_FP3_S3	°C	
Ts_V2_LV1_S3	°C	
Ts_V2_LV2_S3	°C	
Ts_V2_LV3_S3	°C	
Ta_V1_FP1_S3	°C	
Ta_V1_FP2_S3	°C	
Ta_V1_FP3_S3	°C	
Ta_V2_LV1_S3	°C	
Ta_V2_LV2_S3	°C	
Ta_V2_LV3_S3	°C	
P_V1_S3	mbar	
P_V2_S3	mbar	

Acquisition

L'acquisition des mesures liées aux cellules s'effectue à partir de centrales d'acquisition de données AGILENT 34980A via le logiciel d'acquisition *ARCALE*. Le traitement des mesures pourra s'effectuer sur un poste du labo ou sur différents postes du réseau intranet (version client).

L'acquisition des données météo s'effectue à partir de centrales d'acquisition de données AGILENT pour ETNA, et de la station AMER de Bestlab.

Page 70 sur 84	

9.1.5. Bestlab : Défaut de pose de fenêtre en rénovation

9.1.5.1. **Présentation des équipements en test**

- Fenêtre PVC haute performance (Uw<=1,3 W/m²K) avec double vitrage peu émissif et remplissage argon, double battant.
 - Les fenêtres à coefficient Uw< à 1,4 représentent 73% des ventes (source Batiétude 2017).
- Posée en rénovation sur le dormant d'une ancienne fenêtre bois (condition du DTU 36.5).
- Cela nécessite le remplacement du dormant PVC actuel par un dormant bois, si possible de même dimension et ayant des caractéristiques comparables aux dormants bois communément vus sur le marché (Eric Quaretti en charge des travaux fera une proposition dans ce sens).

9.1.5.2. Programme de l'essai

2 cellules sont mobilisées (RDC S2 et S4) : une avec défaut (RDC S4), une sans défaut (RDC S2)

Démontage de l'ITI préexistante dans les deux cellules afin de mettre à nu le principe de montage du dormant PVC en place

Traitement de la paroi (infiltration d'air résiduelle) et pose d'une isolation intérieure (doublage PSE collé avec un R de 3,8 m²K/W) et de 2 couches de peinture.

Montage du dormant bois dans le plan de l'ITI,

Montage de la fenêtre en mode rénovation dans le dormant bois avec insertion des défauts pour l'une d'elles.

Le mode de réalisation des défauts sera défini plus loin. Mais nous souhaitons pouvoir représenter des défauts sur tout le pourtour de la fenêtre, seulement sur les bords verticaux et seulement sur les bords horizontaux. Chaque configuration fera l'objet d'une séquence expérimentale spécifique pour chaque saison (hiver, été, intermédiaire).

Un essai de perméabilité sera réalisé sans défaut, puis à chaque nouvelle configuration de défaut. Des tests avec scotch sur une partie des défauts pourront à cette occasion être réalisés pour aider à l'identification du modèle.

Pose des capteurs pendant les travaux.

Utilisation des CTA préexistantes dans les deux cellules. Le comptage permettra d'assurer les bilans énergétiques. L'air sera brassé par les CTA.

Application d'un scénario de températures de consignes (évolution libre, climatisation, chauffage) dans les deux cellules de manière identique.

9.1.5.3. **Description des équipements et des cellules**

Les essais se dérouleront dans les cellules RDC S2 et RDC S4, équipées d'une paroi test avec ouverture pour une fenêtre, initialement isolées par l'intérieur (doublage PSE plaque plâtre + peinture).

Page 71 sur 84	



Localisation des cellules de test – RDC S2 = référence ; RDC S4 = cellule avec défaut

Les cellules sont constituées de 6 parois opaques. 5 sont fortement isolées (U<0,1 W/m²/K), la 6^e donne sur l'extérieur et est isolée (ITI) par 10cm de PSE ($R\sim2,5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$).



Coupe horizontale de la cellule de test

Page 72 sur 84		
J	Page 72 sur 84	


Coupe verticale de la cellule de test

Informations détaillées sur les parois de la cellule :



composition des murs de refend donnant sur la garde et jonction avec la paroi de test (RDC S2)

Matériau	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité calorifique (J/kg/K)	Epaisseur (cm)
Convection côté garde				
Parement extérieur	0,32	1150	1265	1,3

Pag	e 73 sur 84

Parement extérieur	0,32	1150	1265	1,3
Laine minérale	0,04	39	1030	5
Fibrociment	0,32	1000 à 1250	?	1,25
Fibrociment	0,32	1000 à 1250	?	1,25
XPS	0,029	33	1400	10
XPS	0,029	33	1400	10
PSE gris	0,032	14	1400	10
Convection côté cellule				

Tab. 5 : composition des murs de refend donnant sur la garde

Matériau	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité calorifique (J/kg/K)	Epaisseur (cm)
Convection côté garde				
Porte	0,15	220	1000	0,06
Isolation PU extrudé	0,028			2
Convection côté cellule				





composition du plancher donnant sur le vide sanitaire et jonction avec la paroi de test (RDC S3)

Matériau	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité calorifique (J/kg/K)	Epaisseur (cm)
Convection vide sanitaire				

Page 74 sur 84		
	Page 74 sur 84	

Parement extérieur	0,32	1150	1265	1,3
PSE	0,04	14	1400	10
XPS	0,029	33	1400	20
Entrevous	1,052			16
Dalle béton	1,75			7
XPS	0,029	33	1400	10
XPS	0,029	33	1400	10
plancher	0,032	1250	1200	2,2
Convection côté cellule				

Tab. 7 : composition plancher sur vide sanitaire

Matériau	Conductivité (W/m/K)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité calorifique (J/kg/K)	Epaisseur (cm)
Convection air extérieur				
Enduit	0,5	1300	1000	1
Parpaings	1,4			16
PSE	0,04	14	1400	10
Parement intérieur	0,32	1150	1265	1,3
Convection côté cellule				

Composition de la paroi de test opaque (sur extérieur) – RDC S3

Ponts thermiques : sur systèmes PSE+plaque plâtre en ITI : Psi plancher 0,113 W/m/K \rightarrow ~0,3277 W/K

- Psi refend 0,038 W/m/K $\rightarrow \sim 0,197$ W/K
- Psi plafond 0,135 W/m/K $\rightarrow \sim 0,3915$ W/K

Selon l'installation finale, il faudra recalculer les ponts thermiques d'enveloppe.

Une centrale de traitement d'air (CTA) régule la température dans la cellule, grâce à une batterie d'eau froide (réseau d'eau froide 12°C du laboratoire) et une résistance électrique. Deux diffuseurs positionnés au niveau du plafond permettent un brassage de l'air pour le rendre le plus homogène possible lorsque la cellule n'est pas en contact avec l'air extérieur.

Page 75 sur 84	



Figure 4 : Schéma de principe de la CTA

Impacts sur le laboratoire : modification des cellules

Les travaux à réaliser sont :

- Préparation de la cellule pour les essais :
 - Dépose isolation intérieure existante dans les deux cellules → observation et photos du type de pose du cadre existant de la fenêtre.
 - Traitement étanchéité périphérie paroi test côté intérieur (idem cellules RDC S1 et RDC S3)
 - Traitement maçonnerie mur parpaing côté intérieur si nécessaire
- Montage de l'essai
 - Démontage des dormants existants en PVC
 - Remplacement des dormants existants par des dormants bois de même dimension (éventuellement décalée du mur pour arriver au nu intérieur du nouveau doublage). Les nouveaux dormants bois seront représentatifs des dormants bois existants couramment rencontrés en rénovation (l'entreprise QUARETTI prendra tous renseignements utiles auprès de Menuisiers pour cette action).
 - Pose d'un doublage intérieur collé sur la paroi (R de 3,8m2K/W → épaisseur isolant de l'ordre de 13 cm en λ=32 mW/m.K) et mise en peinture du doublage.
 - Etanchéité parfaite (fond de joint et joint sur les faces internes et externes du dormant bois nouvellement installé).
 - Reprise des tableaux, linteaux et appuis en extérieur.
 - Montage des fenêtres de rénovation. Pose parfaite selon DTU d'un côté et avec défaut de l'autre. La scénarisation et le mode de réalisation des défauts sont décrits au paragraphe 4.2.5.

Traitement étanchéité de la périphérie des parois de test

Vérification de l'état de la jonction et de l'isolation entre les parois (plancher, refends, plafond) et la paroi de test. Si nécessaire, corrections à apporter (mousse PU...)

Traitement étanchéité : pose d'une membrane sur toute la périphérie entre la paroi test et les autres parois (voir photos ci-dessous pour le type de pose choisi).

Page 76 sur 84	



Exemple ici de ce qui a été fait pour RDC S1 : vue jonction mur parpaing et paroi adiabatique (gauche) et vue jonction mur parpaing et plancher (droite)

Pour vérification amélioration étanchéité : mesure perméabilité des cellules avant et après intervention.

Traitement maçonnerie paroi parpaing (si nécessaire)

Rebouchage des trous existants dans les parois de test (datant de la pose des parois test sur le laboratoire à sa construction) \rightarrow amélioration étanchéité et gémellité des cellules.



Exemple de ce qui a été observé dans RDC S3 : vue d'un trou existant dans paroi test

Pour vérification amélioration étanchéité : mesure perméabilité des cellules avant et après intervention.

9.1.5.4. **Défaut menuiserie**

Les défauts vont être créés par manque d'étanchéité à la jonction entre dormant bois et dormant PVC. Le mode précis de création de ces défauts est défini plus loin

Pour la cellule avec défaut (RDC S4), trois configurations de défaut vont être testées en condition d'hiver et en condition d'été. Elles sont représentées sur la figure suivante :

Page 77 sur 84	



Après l'installation de chaque configuration de défaut, un essai de perméabilité de la cellule sera effectué.

Recommandations du DTU 36.5 pour une étanchéité parfaite des fenêtres montées en rénovation

Les deux cellules utilisées pour cet essai sont équipées de fenêtres PVC montées en rénovation sur un autre dormant PVC. Le DTU 36.5 ne recommande pas cette configuration et ne la traite pas. Afin de pouvoir se conformer au DTU pour la pose parfaite, et de se placer dans une configuration courante de rénovation, il est donc d'abord nécessaire de remplacer le dormant PVC existant par un dormant bois. L'objectif étant d'identifier et d'analyser les défauts d'étanchéité dus au montage en rénovation sur dormant existant, le dormant bois nouvellement posé aura une étanchéité parfaite.

Préparation du dormant bois existant :

Poses de fourrures en bois : Pour asseoir convenablement la nouvelle menuiserie, il est généralement nécessaire d'avoir recours à la mise en place de fourrures en bois, en particulier sur la traverse basse existante, afin de créer une interface plane. (Notamment pour menuiseries bois de 36 mm pour élargir le surface d'accueil). Les fourrures peuvent être maintenues en place au moyen de clous ou de vis



Calfeutrement au niveau du dormant existant : sans objet, nous considérons que l'étanchéité au niveau du dormant existant est parfaite.

Obturation des orifices de drainage de l'ancien dormant par du mastic.

Page 78 sur 84	



Mise en œuvre des menuiseries PVC sur dormant existant :

Jeu périphérique de 5 mm minimum entre ancien dormant et nouvelle menuiserie. Cette exigence, logique car issue des jeux de tolérances acceptables entre monde industriel et monde du bâtiment, est probablement à l'origine des défauts d'étanchéité. Pour des raisons de sécurité, les poseurs tendent à prendre des tolérances plus grandes, ce qui rend le calage et l'étanchéité plus difficiles (plus les joints sont épais, plus ils sont difficiles à réaliser et moins ils résistent aux variations dimensionnelles des pièces jointoyées).

Positionnement de la menuiserie dans la dormant existant en prenant appui sur la traverse basse du dormant existant

Le calage est destiné à reporter sur le dormant existant le poids propre et les charges de service de la nouvelle menuiserie. On commence par le calage horizontal sur la traverse basse (sous les montants latéraux) puis on cale les montants latéraux et la traverse haute. Le tout se fait à l'aide de cales en bois ou en plastique d'au moins 5 mm (la tolérance minimale pour chaque côté de la fenêtre).



Fixation de la menuiserie : La fixation se fait par vis (diamètre minimal de 5 mm) avec 2 options : en frontal (au travers de l'aile de recouvrement sur la menuiserie bois avec vis à tête plate) ou en feuillure (au travers du PVC dans le dormant bois). La traverse basse est toujours vissée en frontal. Les autres montants peuvent être vissés en frontal ou en feuillure. Pour les montants vissés en frontal, le calage peut n'être que provisoire (on l'enlève après le vissage). Pour les montants (verticaux) le vissage se fait au droit des organes de rotation. Pour les montants horizontaux, le vissage se fait au droit des points de condamnation, des montants et des traverses.

Calfeutrement de l'ouvrage : Le calfeutrement se fait en deux étapes. D'abord un calfeutrement avec mastic sur fond de joint entre menuiseries existantes en bois et menuiserie de réhabilitation en PVC comme indiqué sur le schéma ci-dessous.

Page 79 sur 84		
	Page 79 sur 84	



Coupe verticale sur dormant bois

On remarque que le joint sur la traverse basse se fait à l'extérieur alors que le joint sur toutes les autres traverses se fait à l'intérieur entre l'aile de recouvrement et le dormant bois existant. De ce fait, seul le joint de la traverse basse est affecté par la dimension de la fenêtre.

Puis éventuellement (un montage dit à « joints ouverts » est possible) un calfeutrement toujours avec un mastic sur fond de joint entre les profilés d'habillage de la fenêtre et la structure du bâtiment, sauf en partie basse des fenêtres où l'habillage ne doit jamais être calfeutré de façon à laisser le dormant bois échanger avec l'air extérieur.

Dans tous les cas, il faut veiller à la compatibilité du mastic choisi avec les différents matériaux jointoyés. Pour la menuiserie elle-même, c'est en général un couple PVC-Bois. Mais pour les habillages d'autres couples sont possibles.

Pour nos essais, nous recommandons le choix d'un habillage extérieur parfaitement adapté à la fenêtre PVC de réhabilitation (ainsi, l'habillage se pose par clips sur la nouvelle fenêtre, ce qui permet de le poser et de le déposer très simplement), avec une pose à joints ouverts.Nous recommandons aussi d'utiliser une fenêtre de réhabilitation dont les dimensions laissent un jeu compris entre 5 et 10 mm entre chaque montant du dormant bois existant et chaque montant du dormant PVC de la nouvelle fenêtre.

9.1.5.5. Mode de génération des défauts et scénarisation des essais

Les défauts seront générés par absence de joint de calfeutrement (fond de joint et mastic). Le programme prévoit de se faire succéder 3 configurations pendant 2 périodes (hiver et été) : P (aucun joint), V (absence de joints verticaux), H (absence de joints horizontaux).

9.1.5.6. Instrumentation fixe

Flux solaires (emplacement de la paroi extérieure de la cellule)

• 1 pyranomètre : mesure du flux incident extérieur vertical orienté SUD

Température extérieure (Pt100)

- Température extérieure placée sur la façade SUD à mi-hauteur de la paroi vitrée
- 4 températures de surface réparties sur la surface extérieure de la paroi test de la cellule

Météo ETNA et BESTLab

- température extérieure
- hygrométrie extérieure
- rayonnements solaire direct, diffus et global mesurés sur un plan horizontal
- température de ciel

Page 80 sur 84	

- vitesse et orientation du vent
- pluviomètre

Températures du volume intérieur de la cellule (Pt100) placées sur un mat au centre de la cellule

- 3 températures d'air à différentes hauteurs : centres de 3 volumes fictifs représentant le tiers de la hauteur de la cellule (existantes dans l'instrumentation fixe de la cellule) Rq : le brassage assure des températures très proches sur les trois sondes.
- 1 température Moyenne de Rayonnement (globe noir de diamètre 9 cm) au centre de la cellule



9.1.5.7. Instrumentation spécifique

- Si les places disponibles dans les boitiers le permettent, équiper à mi-hauteur de chaque côté de la fenêtre par une mesure de surface sur le mur en parpaing, sur la surface de l'isolant et sur la plaque de plâtre. Cela donne donc 6 PT100 par cellule.



- Equipement de la fenêtre. Capteurs à l'intérieur et à l'extérieur proches des fuites pour détecter des flux d'air (voir figure suivante).
- Capteurs différentiels de pression entre intérieur et extérieur pour détecter les pressions dynamiques. Mais cette mesure est purement exploratoire, car il y a des chances qu'elle soit très difficilement interprétable.

Page 81 sur 84	



Ta extérieure



Protéger les capteurs thermiques extérieurs du rayonnement solaire direct.

Tous les capteurs de température d'air intérieurs et extérieurs en vis-à-vis. Une paire au milieu de chaque jonction (en appui, en tableau gauche et en tableau droit) et deux autres paires par jonction, à mi-distance entre le milieu et le bord de la fenêtre.

On peut les appeler : Ta-XA-a

Avec :

X=L pour le linteau, X=A pour l'appui, X=TE ou TO pour les tableaux est et ouest

A=E, M ou O pour les montants horizontaux (Est, Milieu ou Ouest); A=B, M ou H pour les tableaux (Bas, Milieu ou Haut)

a = Int ou Ext

Ce qui fait un total de 24 capteurs de températures d'air pour la seule fenêtre.

Restitution des données

La restitution des mesures, au pas d'une minute, se fera sous forme d'un tableau Excel de fréquence hebdomadaire. Il répertoriera les voies suivantes :

Page 82 sur 84	

RDC S2	
Libellé voie	unité
Ts_RDC_S2_PlanVS_Int	°C
Ts_RDC_S2_PlanVS_Mil	°C
Ts_RDC_S2_PlanVS_Ext	°C
Ts_RDC_S2_PlanInt_Int	°C
Ts_RDC_S2_PlanInt_Mil	°C
Ts_RDC_S2_PlanInt_Ext	°C
Ts_RDC_S2_N_Int	°C
Ts_RDC_S2_N_Mil	°C
Ts_RDC_S2_N_Ext	°C
Ts_RDC_S2_E_Int	°C
Ts_RDC_S2_E_Mil	°C
Ts_RDC_S2_E_Ext	°C
Ts_RDC_S2_O_Int	°C
Ts_RDC_S2_O_Mil	°C
Ts_RDC_S2_O_Ext	°C
Ta_RDC_S2_Mat_B	°C
Ta_RDC_S2_Mat_Mil	°C
Ta_RDC_S2_Mat_H	°C
Tmr_RDC_S2_Mat_Mil	°C
Teau_RDC_S2_Sortie	°C
Teau_RDC_S2_Entrée	°C
Qeau_RDC_S2	l/mn
Puis_RDC_S2_CHAUF	Wh
Puis_RDC_S2_VENT	Wh
Ts_RDC_S2_TEST_Int	°C
Ts_RDC_S2_TEST_Ext1	°C
Ts_RDC_S2_TEST_Ext2	°C
Ts_RDC_S2_TEST_Ext3	°C
Ts_RDC_S2_TEST_Ext4	°C
Ta_G_RDC_CL6	°C
Ta_G_RDC_CL7	°C
Ta_G_RDC_CL8	°C

RDC S4	
Libellé voie	unité
Ts_RDC_S4_PlanVS_Int	°C
Ts_RDC_S4_PlanVS_Mil	°C
Ts_RDC_S4_PlanVS_Ext	°C
Ts_RDC_S4_PlanInt_Int	°C
Ts_RDC_S4_PlanInt_Mil	°C
Ts_RDC_S4_PlanInt_Ext	°C
Ts_RDC_S4_N_Int	°C
Ts_RDC_S4_N_Mil	°C
Ts_RDC_S4_N_Ext	°C
Ts_RDC_S4_E_Int	°C
Ts_RDC_S4_E_Mil	°C
Ts_RDC_S4_E_Ext	°C
Ts_RDC_S4_O_Int	°C
Ts_RDC_S4_O_Mil	°C
Ts_RDC_S4_O_Ext	°C
Ta_RDC_S4_Mat_B	°C
Ta_RDC_S4_Mat_Mil	°C
Ta_RDC_S4_Mat_H	°C
Tmr_RDC_S4_Mat_Mil	°C
Teau_RDC_S4_Sortie	°C
Teau_RDC_S4_Entrée	°C
Qeau_RDC_S4	l/mn
Puis_RDC_S4_CHAUF	Wh
Puis_RDC_S4_VENT	Wh
Ts_RDC_S4_TEST_Int	°C
Ts_RDC_S4_TEST_Ext1	°C
Ts_RDC_S4_TEST_Ext2	°C
Ts_RDC_S4_TEST_Ext3	°C
Ts_RDC_S4_TEST_Ext4	°C
Ta_G_RDC_CL10	°C
Ta_G_RDC_CL11	°C
Ta_G_RDC_CL12	°C

Conditions terrasse RDC Sud :

Ta_RDC_S1_Ext	°C
Fl_Inc_RDC_S1_Ext	W/m²

Instrumentation spécifique à l'essai :

D 00 04	
Page 83 sur 84	

RDC S2		
Libellé voie	unité	
Ts_RDC_S2_11	°C	
Ts_RDC_S2_12	°C	
Ts_RDC_S2_13	°C	
Ts_RDC_S2_21	°C	
Ts_RDC_S2_22	°C	
Ts_RDC_S2_23	°C	
Patm_Diff_RDC_S2	mbar	
Ta_RDC_S2_Ext1	°C	
Ta_RDC_S2_Ext2	°C	
Ta_RDC_S2_Ext3	°C	
Ta_RDC_S2_Ext4	°C	
Ta_RDC_S2_Ext5	°C	
Ta_RDC_S2_Ext6	°C	
Ta_RDC_S2_Ext7	°C	
Ta_RDC_S2_Ext8	°C	
Ta_RDC_S2_Ext9	°C	
Ta_RDC_S2_Ext10	°C	
Ta_RDC_S2_Ext11	°C	
Ta_RDC_S2_Ext12	°C	
Ta_RDC_S2_Int1	°C	
Ta_RDC_S2_Int2	°C	
Ta_RDC_S2_Int3	°C	
Ta_RDC_S2_Int4	°C	
Ta_RDC_S2_Int5	°C	
Ta_RDC_S2_Int6	°C	
Ta_RDC_S2_Int7	°C	
Ta_RDC_S2_Int8	°C	
Ta_RDC_S2_Int9	°C	
Ta_RDC_S2_Int10	°C	
Ta_RDC_S2_Int11	°C	
Ta_RDC_S2_Int12	°C	
Vair_RDC_S2	m/s	

RDC S4		
Libellé voie	unité	
Ts_RDC_S4_11	°C	
Ts_RDC_S4_12	°C	
Ts_RDC_S4_13	°C	
Ts_RDC_S4_21	°C	
Ts_RDC_S4_22	°C	
Ts_RDC_S4_23	°C	
Patm_Diff_RDC_S4	mbar	
Ta_RDC_S4_Ext1	°C	
Ta_RDC_S4_Ext2	°C	
Ta_RDC_S4_Ext3	°C	
Ta_RDC_S4_Ext4	°C	
Ta_RDC_S4_Ext5	°C	
Ta_RDC_S4_Ext6	°C	
Ta_RDC_S4_Ext7	°C	
Ta_RDC_S4_Ext8	°C	
Ta_RDC_S4_Ext9	°C	
Ta_RDC_S4_Ext10	°C	
Ta_RDC_S4_Ext11	°C	
Ta_RDC_S4_Ext12	°C	
Ta_RDC_S4_Int1	°C	
Ta_RDC_S4_Int2	°C	
Ta_RDC_S4_Int3	°C	
Ta_RDC_S4_Int4	°C	
Ta_RDC_S4_Int5	°C	
Ta_RDC_S4_Int6	°C	
Ta_RDC_S4_Int7	°C	
Ta_RDC_S4_Int8	°C	
Ta_RDC_S4_Int9	°C	
Ta_RDC_S4_Int10	°C	
Ta_RDC_S4_Int11	°C	
Ta_RDC_S4_Int12	°C	
Vair RDC S4	m/s	

Acquisition

L'acquisition des mesures liées à la cellule s'effectue à partir de centrales d'acquisition de données AGILENT via le logiciel d'acquisition *ARCALE*. Le traitement des mesures pourra s'effectuer sur un poste du labo ou sur différents postes du réseau intranet (version client).

L'acquisition des données météo s'effectue à partir de centrales d'acquisition de données AGILENT.

Toutes les données sont acquises au pas de temps d'une minute.

Page 84 sur 84	