CONSEIL NATIONAL DE LA RECHERCHE

ITC

INSTITUT POUR LES TECHNOLOGIES DE LA CONSTRUCTION

RAPPORT TECHNIQUE

N° 2012.09.20.382

Estimation des prestations énergétiques d'un bâti dynamique dé nominé VetroVentiltato

Auteurs

Ludovico Danza

Italo Meroni

Directeur

Roberto Vinci

Index :

1 Introduction	**3**
Aspect expérimental	**4**
2,1 Conduite de l'expérience	4
2,2 Description des cellules expérimentales	4
2,3 Le système de monitorage	5
2,4 Le positionnement des capteurs	10
2,5 Le système de climatisation	11
2,6 Le système de changement d'air	12
2,7 Calibration des cellules d'épreuve	14
2,8 Programme expérimental	15
2,9 Analyses théoriques	17
2,9,1 Empreinte énergétique	17
2,9,2 Confort thermo hygrométrique	18
3 Description des échantillons	**19**
3,1 Description de la structure	19
3,2 Description Prototype	22
3,2,1 stratigraphie vitrée	23
3,2,2 tente micro perforée	24
3,2,3 système de contrôle	24
3,3 Optimisation prototype	25
4 Calculs analytiques	**28**
4,1 Ventilation interne-interne	28
4,2 Ventilation interne-externe	30
5 Expérimentation estivale	**33**
5,1 Consommations énergétiques estivales	33
5,1,1 Vetro Ventilato actif	33
5,1,2 Vetro Ventilato inactif	36
5,2 Températures superficielles : Vetro Ventilato actif	38
5,3 Confort thermo hygrométrique	39
5,3,1 Vetro Ventilato actif	39
5,3,1 Vetro Ventilato inactif	42
6 Expérimentation hivernale	**44**
6,1 Consommation énergétique	44
6,1,1 Vetro Ventilato actif	44
6,2 Températures superficielles : Vetro Ventilato actif	45
6,2,2 Vetro Ventilato inactif	46
6,3 Empreinte énergétique	47
6,4 Amélioration de la transmutation thermique	50
6,5 Économie d'énergie	51
7 Projection des résultats	**54**
7,1 Données climatiques italiennes	54
7,2 Interprétation des résultats	55
7,3 Extrapolation des résultats	56
8 Conclusions	**58**

Introduction

Dans ce rapport sont rapportés les résultats référés aux expérimentations conduites sur un bâti dynamique menées en accord avec Vetro Ventilato srl.

Les expérimentations, conduites au siège social de la ITC-CNR de San Giuliano Milanese (MI), qui ont débuté en Mars 2011 et terminées en Aout 2012.

L'objectif est la caractérisation énergétique du bâti ventilé. Une telle étude confronte les prestations thermiques avec celles d'un bâti traditionnel en termes de : consommation énergétique, confort thermo hygrométrique et la marche de la transmutation énergétique.

Les expérimentations ont isolé dans quelles conditions climatiques on obtient de meilleurs résultats, spécifiant dans quelles mesures un bâti est meilleur qu'un autre, analysant son comportement dans les cellules d'épreuve externes que ce soit dans des conditions de fonctionnement de la climatisation (hivernale ou estivale) afin de comparer les consommations en absence de climatisation pour vérifier le confort thermo hygrométrique. De telles considérations sont fondamentales pour concevoir un bâtiment, non seulement pour les exigences imposées par la loi, mais aussi pour gérer correctement les flux énergétiques e les logiques de contrôle d'un système dynamique.

La dernière analyse porte sur le comportement de la transmutation thermique d'un bâti en marche. On sait que la transmutation thermique n'est pas une caractéristique constante d'un emballage de bâtiment. Un tel paramètre résulte de la variabilité et la dynamique du flux thermique qui le traverse, par exemple, un bâti, et dépend des températures d'exercice des environnements que l'élément sépare.

Il est surtout question de la variation réelle de la transmutation énergétique, même en présence d'irradiation, en fonction de la portée d'air passant à travers la gaine ventilée du bâti pendant la marche réelle. Même si elle est utilisée seulement pour le diagnostic énergétique et pour le monitorage, la procédure de mesure et de calcul de l'Empreinte Énergétique a été introduite. Grâce à cette dernière, il a été possible de vérifier le fonctionnement de la transmutation thermique calculée avec le programme informatique WIS en accord avec la norme ISO 15099.

2 Mise en ordre expérimentale

2,1 Conduite de l’expérience

Une campagne expérimentale se sert principalement de mesures effectuées en condition de marche dans des environnements avec une température contrôlée mais souvent accompagnée d'analyse de laboratoire et de calculs théoriques.

La conduite d'une expérience sur bâtis dynamiques doit tenir compte des considérations et de mesures sur une série de variables «indépendantes». De tels paramètres, reportés sur le Tableau 1, influencent de façon intrinsèque les prestations du système et seulement une prudente projection permet de les utiliser au mieux. Les résultats qui proviennent d'une expérience permettent de pouvoir contrôler au mieux de telles variables ou de déterminer, à travers l'intersection de ces dernières, les algorithmes de fonctionnement qui en optimisent les performances relatives.

Tableau 1. Variables qui influencent les performances du système

	Variables indépendantes	**Valeurs**	**Unité de mesure**
1	Tente	-	cm
2	Portée de l'air	30 %	-
3	Canal d'extraction	Fonction de la mise en ordre expérimentale	m
4	Type de rotor de ventilation	Couleur	-
5	Période de ventilation	Rang de valeurs	W/m²

En général, il est possible de définir les variables indépendantes qui sont le résultat des analyses effectuées en laboratoire, théoriques et pendant le fonctionnement

Tableau 2. Certaines variables dépendantes mesurées et calculées

Analyses expérimentales	**Variables dépendantes**
1	Consommations énergétiques
2	Confort thermo hygrométrique

2,2 Description des cellules expérimentales.

Les cellules pour les expériences ont des dimensions suivantes : 2,8 x 2,8 x 5 m et leur caractéristiques simulent les conditions de masse thermique utile, que l'on retrouve dans les typologies de construction nationales (Illustration 1) Leur degré d'isolement thermique est suffisamment élevé de façon à ce que l'environnement extérieur n'influence pas soudainement leur comportement pendant l'essai d'un système. Les cellules sont dotées de dispositifs thermostatiques de la température de l'environnement interne, obtenue pendant la saison hivernale d'un système de chauffage électrique, et pendant la saison estivale, d'un système de rafraîchissement par compresseur. Les cellules sont en outre dotées d'un ventilateur sur le plafond, pour assurer l'homogénéisation de la température de l'air interne et pour éviter les stratifications. Les cellules sont complètement monitorées avec des senseurs de température et d'humidité relative et sont dotées d'un compteur d'énergie électrique. De même, pour chaque cellule, le changement d'air a été mesuré.

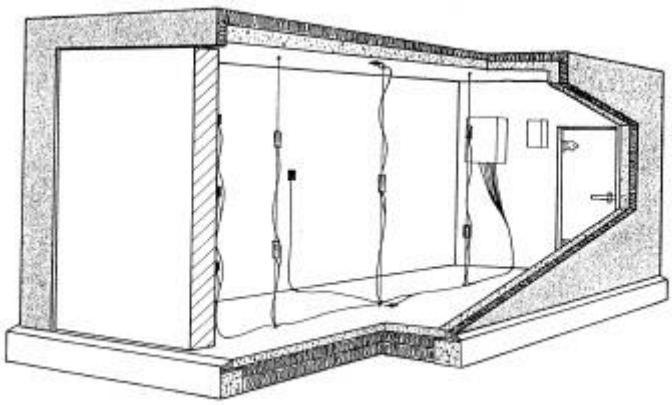


Figure 1. Illustration de la cellule d'épreuve

2,3 Le système de monitorage.

Les cellules d'épreuve sont dotées d'un système de monitorage de l'environnement et d'acquisition de données destinées à :

_ déterminer les conditions internes de l'environnement d'épreuve ;

_ analyser le comportement des températures superficielles internes des parois de la cellule

_ évaluer la réalisation des conditions de confort interne ;

_ comptabiliser la consommation énergétique pour la climatisation.

Le système est constitué de deux data loggers TMF500, qui représentent l'unité centrale du système de télé-contrôle, monitorage et d'acquisition de données. Ils sont positionnés dans chacune des deux cellules et ont été configurées pour la récolte et l'envoi des données via FTP à un serveur dédié à travers un réseau LAN : chacun des deux dispositifs permet la connexion d'un nombre maximum de 24 senseurs de différentes typologies.

Illustration 2. Data logger pour l'acquisition de données TMF 500

Les paramètres suivants sont relevés :

_ Monitorage externe :

- vitesse et direction du vent via les composants cartésiens u,v,w ;
- température ;
- humidité relative ;
- irradiation solaire au niveau de la couverture ;

_ Monitorage interne :

- température ambiante
- température opérative
- humidité relative ;
- consommation d'énergie

_ Monitorage du bâti

- température superficielle de la vitre externe
- température superficielle de la vitre interne

- température superficielle de la tente ;
- température à la sortie de l'interstice

La température interne a été relevée en utilisant des thermomètres à thermorésistante de platine Pt100. Il s'agit de senseurs qui mesurent la température à travers la mesure de la résistance d'un élément de platine. Les sondes Pt100 ont une résistance de 100 Ohm à la température de 0°C. Le rapport entre la température et la résistance peut être considéré comme linéaire pour un intervalle relativement réduit : la variation de température de ces sondes est de -40° / +60°C. Les thermomètres utilisés ont été certifiés par le producteur : il s'agit de senseurs de classe A, qui garantissent une précision d'environ 0,15°C à 0°C.

Illustration 3. Senseur de température à thermorésistante Pt100

La température de l'air est mesurée à 5 différents points : dans 4 d'entre eux on utilise des thermomètres normaux Pt100, quant au point central de la pièce, un senseur combinant température et humidité relative pour l'intérieur est utilisé. La mesure de la température est toujours effectuée avec une sonde Pt100 ; l'humidité relative est quant à elle relevée à travers un transducteur de capacité, constitué d'un film fin dont la capacité varie linéairement avec l'humidité relative de l'air : le signal restitué par le senseur a une tension entre 0-1 V.

Le senseur thermo hygrométrique a une variation de mesure entre -40°C et +60°C et une précision d'environ 0,15°C pour la mesure de la température, quant à l'humidité, la variation est de 0 à 100 % RH, avec une précision d'environ 2 %. Toutes les données ont été certifiées par le fabriquant.

Illustration 4. Senseur combiné de température et humidité relative pour intérieur

Les senseurs ont été opportunément protégés par la radiation solaire directe.

Illustration 5. Système de protection des senseurs de température

Pour la mesure de la température radiante les senseurs à globo-thermomètre avec transducteur Pt100 sont utilisés. Les caractéristiques de l'élément sensible sont les mêmes décrites que pour les sondes de température, avec une variation de mesure entre -40 °C et +60°C et une précision d'environ 0,15 °C. Le senseur est fixé à l'intérieur d'une protection sphérique en cuivre peint en noir opaque (diamètre 15cm) et la protection a été réalisée de façon à garantir de toute façon le réchauffement de l'élément sensible.

Illustration 6, Globo-thermomètre pour la mesure de la température radiante

Les consommations sont monitorées à travers un convertisseur digital d'impulsions qui comptabilise l'énergie consommée à l'intérieur de la cellule d'épreuve.

La sortie du convertisseur est reliée au Datalogger qui, à travers les canaux dédiés à la lecture des signaux digitaux, est en mesure de compter les impulsions transmises et indiquer la consommation d'ensemble.

Illustration 7. Tableau électrique avec compteur digital

Pour le monitorage des conditions climatiques, on se réfère à une petite centrale météo ; il s'agit d'un système analogue à celui présent dans le système d'épreuve, constitué d'un Datalogger TMF500 et par les senseurs suivants :

_Senseur de température et d'humidité relative pour l'extérieur

_ Senseur de radiation solaire globale ;

_ Anémomètre sonique tri axial

Le senseur combiné pour la mesure de l'humidité relative et la température a les mêmes caractéristiques que celles utilisées dans l'environnement intérieur : le revêtement externe agit non seulement à protéger de la radiation solaire, mais aussi des événements extérieurs : la variation de mesure est de -40 °C à +60°C avec une précision d'environ 0,15 °C pour la mesure de la température, pour l'humidité, la variation est de 0 – 100 % RH avec une précision d'environ 2 %.

Illustration 8, Senseur combiné de température et d'humidité relative pour l'extérieur

La radiation solaire globale est mesurée à travers un pyromètre de classe 1 : le senseur est constitué d'un transducteur à thermopile, protégé par une coupole en verre en mesure de garantir une sensibilité élevée du spectre de 0,3 µm à 3µm. Le signal de sortie du senseur est 0/2 V avec une variation de mesure de 0-1300 W/m².

Illustration 9, Senseur pour la mesure de la radiation solaire globale

Les grandeurs relatives aux conditions de vent à l'extérieur des cellules d'épreuve sont mesurées avec un anémomètre à ultrasons avec trois axes : c'est un instrument qui retransmet les informations sur la vitesse et la direction du vent, outre les informations sur la vitesse du son et la température sonique dans des conditions de marche.

Le principe de fonctionnement se base sur des transducteurs soniques, à travers lesquelles sont reconstitués les composants cartésiens du vent.

La direction et l'élévation du vent par rapport à la direction horizontale sont mesurées avec une précision d'environ 1°. La vitesse du vent est mesurée avec une précision d'environ 1 %, avec des variations respectivement de 0-60 m/s et 300-380 m/s. La température est en revanche mesurée dans intervalle -40° C à +60°C avec une précision d'environ 1 °C.

Illustration 10. Senseur anémométrique sonique tri-axial

Le datalogger acquiert les données par les divers senseurs avec un intervalle d'échantillonnage égal à 10 secondes. Toutefois, pour ne pas générer une masse de donnés difficilement gérable, une mesure est enregistrée toutes les 5 minutes ; dans l'intervalle d'acquisition, les données sont recueillies et les données maximales, minimales et moyennes sont calculées : la donnée la plus significative, de laquelle sont ensuite faites les analyses est la donnée moyenne.

L'envoi de données enregistrées par le Datalogger au serveur FTP survient toutes les 6 heures, de façon à réduire à seulement 4 le nombre de séries générées pendant une journée d'envoi. Les données, une fois copiées sur le serveur FTP sont transférées sur une base de données relationnelles, réalisées avec Microsoft SQL.

2,4 Le positionnement des senseurs.

Les senseurs ont été positionnés afin de créer un ensemble de mesures avec lesquelles sont extrapolées les valeurs moyennes relatives à l'environnement d'épreuve. Comme illustrées sur les Illustrations 11 et 12, les senseurs sont positionnés le long d'une diagonale, en position barycentrique et près du plancher de base et supérieur.

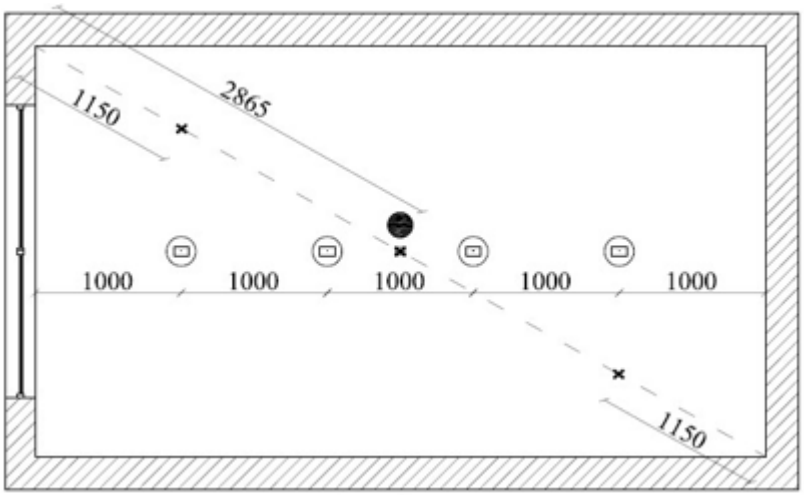
*senseur Tarla et UR

** globo-thermomètre

***senseur Tarla

**** luxmètre

NORD



Plan

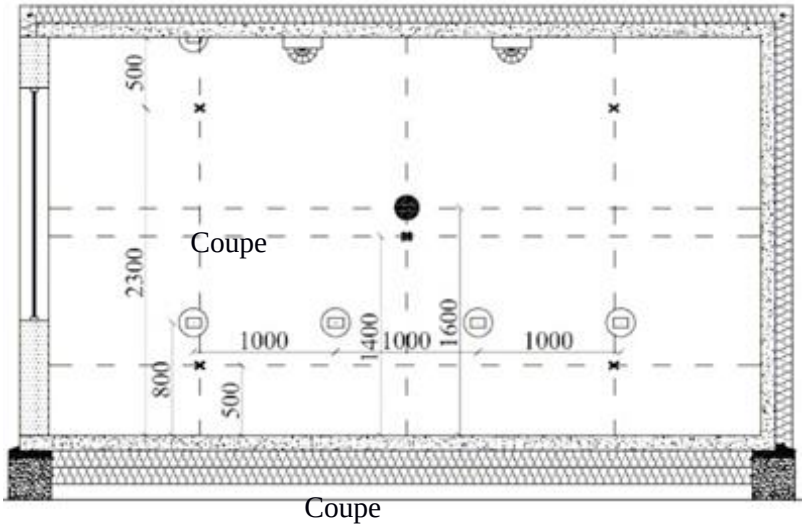
Illustration 11, Plan des cellules de preuve avec indication de la position des senseurs

***Senseur Tarla

****Luxmètre à 0,8m du sol

*****UC

******Luxmètre à 0,8m du sol



Coupe

Coupe

Illustration 12. Coupe des cellules d'épreuve avec indication des positions des senseurs

2,5 L'installation de la climatisation

Le réchauffement des cellules d'épreuve a été assuré avec des systèmes de chauffage à 2kW, avec un rendement égal à environ 1.

Pour le rafraîchissement, pour chaque cellule, une unité pour la climatisation de l'air de type résidentiel à split constitué d'une unité interne et externe avec un COP estival nominal, égal à 3,6 a été utilisée.

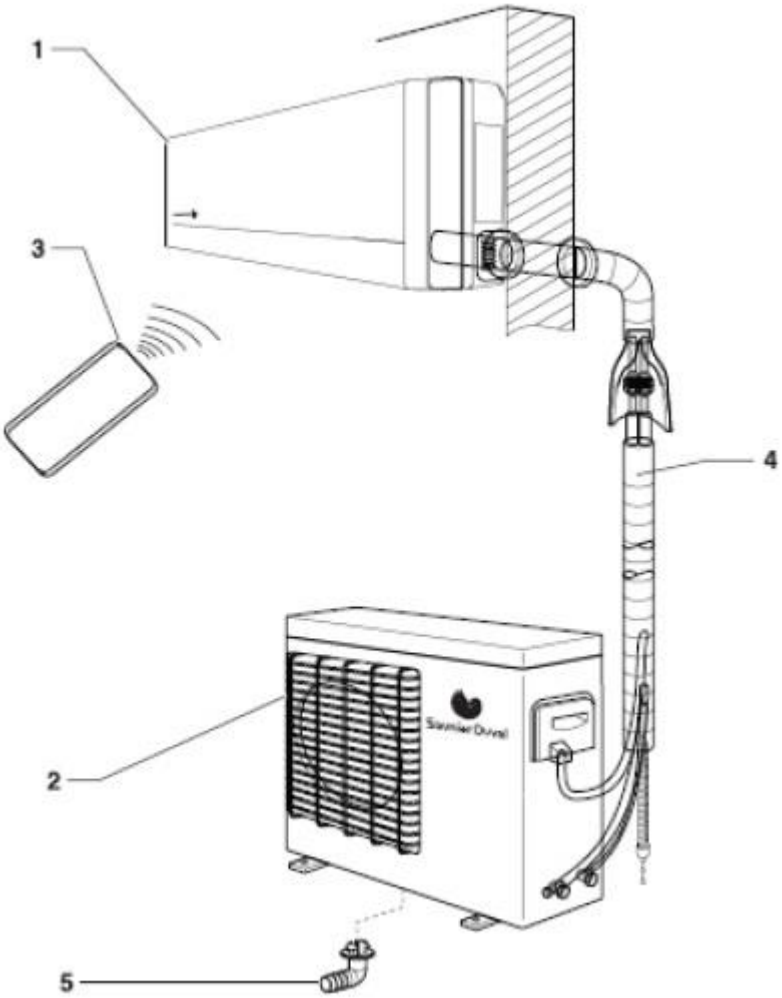


Illustration 13 : Système de climatisation de l'air : 1 : Unité interne; 2 : Unité externe ; 3 : Télécommande ; 4 : Branchements et conduits ; 5 : Tube d'échappement de la condensation

Le système peut fonctionner en mode «Rafraîchissement» ou en mode «Pompe de chaleur». En l'occurrence, le système fonctionne seulement pour la période de rafraîchissement. L'unité externe réalisant la condensation du liquide réfrigérant relâche dans l'environnement extérieur la chaleur qui s'échappe de l'environnement intérieur via l'évaporateur présent dans le split.

2,6 Le système de changement d'air

Les cellules sont dotées d'un système de changement d'air en mesure de garantir 40m^3/h, égal au changement d'air d'un volume en une heure.

L'aspirateur centrifuge axial, monté dans la cellule de référence, a un diamètre nominal de 10 cm et il est doté d'une vitesse minimale et maximale.

Illustration 14, Aspirateur centrifuge utilisé

Les informations techniques provenant du tableau ci dessous font référence à l'illustration 14

Vitesse	Courant absorbé (A)	Puissance absorbée (W)	Portée (m^3/h)	Tours par minute	Émission sonore (Lp dB(A) 3m)	Pression (Pa)
minime	0,32	65	150	1660	51	274
maximale	0,38	85	235	2540	56	392

Grâce à un système de contrôle, il est possible d'obtenir 10 vitesses différentes selon une marche linéaire.

Recyclage (m3/h))

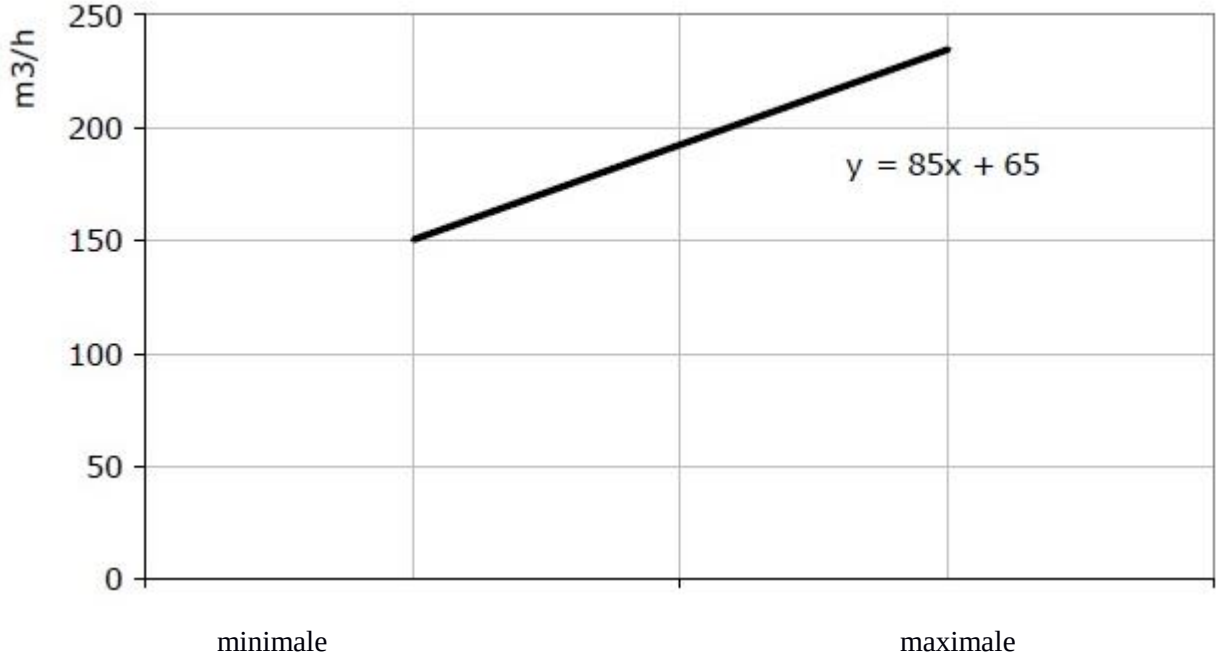


Illustration 15. Variation de recyclage de l'extracteur en fonction de la régulation.

Le fonctionnement de l'extracteur est réglé de façon à garantir un changement d'air de 1 vol/h dans la cellule de référence, alors que le même recyclage est garante par le verre ventilé dans l'autre cellule d'épreuve.

2,7 Calibration de la cellule d'épreuve

Pour procéder correctement au niveau d'une expérience, il est nécessaire d'envisager une phase préliminaire de calibration des dispersions thermiques par ventilation et transmission en comparant deux cellules réalisées avec des fermetures verticales et horizontales complètement opaques. Une fois vérifiée l'analogie du comportement thermique et énergétique des deux cellules, les bâtis d'épreuve relatifs ont été mis en place. L'illustration 16 montre le comportement énergétique par rapport aux degrés par heure cumulés.

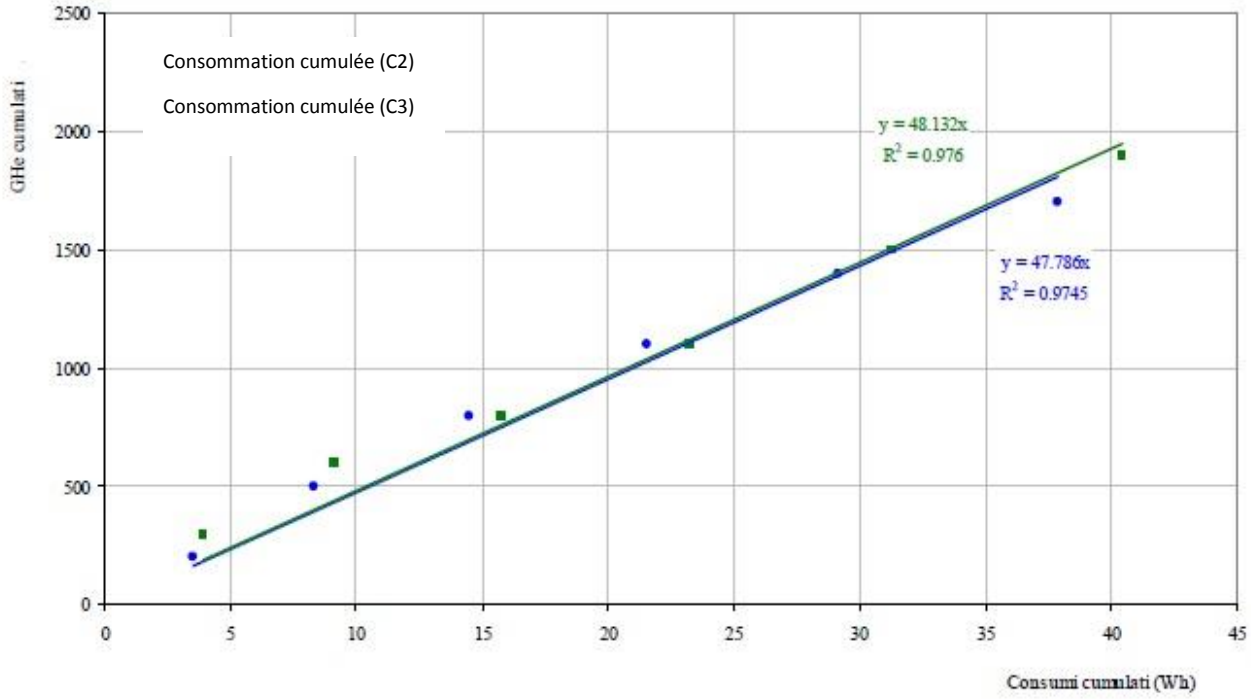
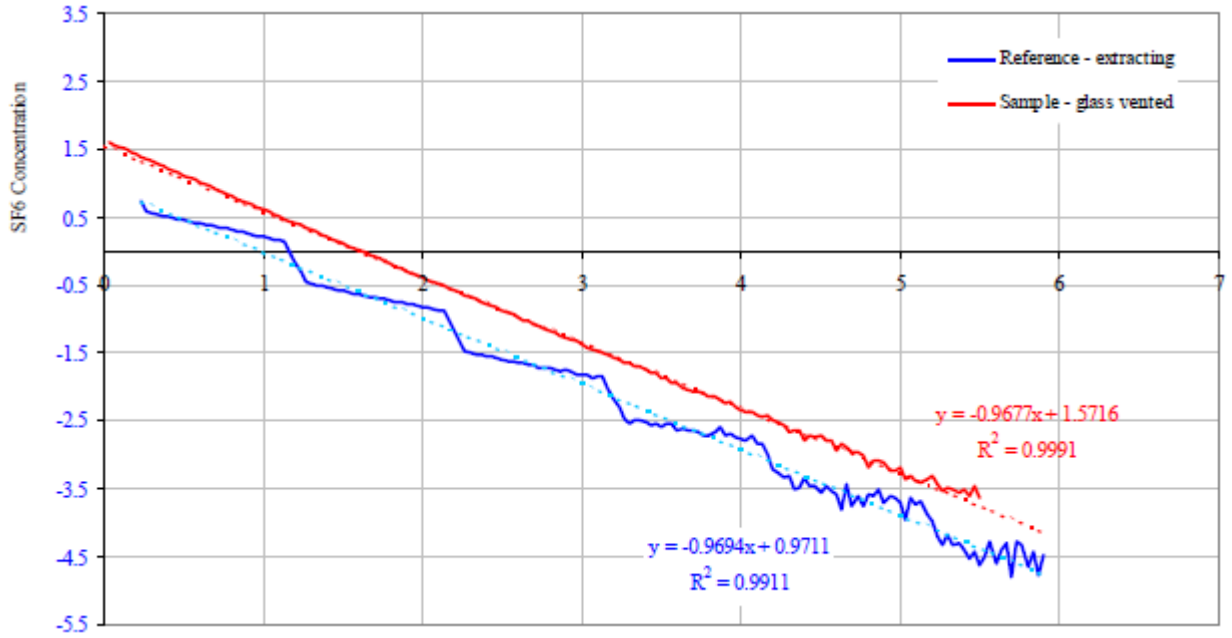


Illustration16.consommation cumulée.

L'évolution des consommations indique un comportement identique entre les trois cellules.

L'illustration 17 montre la marche des changements des deux cellules. En bleu, on identifie une évolution cyclique d'activation du système d'extraction (8 minutes par heure) alterné avec une ventilation naturelle ; en rouge il y a une évolution presque constante du changement horaire imposé par le rotor de ventilation toujours actif dans le bâti. Le changement de l'air pour les deux systèmes est le même. En effet, en comparant inclinaison des droites respectives, on obtient les mêmes valeurs que représentent justement le taux de rechange.



Temps en heures

Illustration 17, Graphique changements horaires

Concentration SF6

Ligne bleue : Référence – extraction

Ligne rouge : Échantillon : vitre ventilée

La phase de calibration a donc démontré l'égalisation effective du point de vue énergétique de la mise en ordre expérimentale.

2,8 Programme expérimental

Du point de vue énergétique, les consommations en conditions actives ont été mes (rafraîchissement en été et réchauffement en hivers), en thermostatant les deux cellules pour quantifier l'économie d'énergie qui est obtenue avec l'application d'un système transparent ventilé, par rapport à un bâti traditionnel de référence, dans le même intervalle de temps, avec des conditions micro climatiques égales :

L'expérience est effectuée sur deux cellules de test externes construites avec les mêmes caractéristiques physiques et géométriques relativement à des fermetures verticales et horizontales opaques, et opportunément monitorées et calibrées. La phase de calibration qui a précédé l'activité expérimentale a permis d'exclure les comportements énergétiques différents entre les emballages opaques et les installations respectives. Dans les deux sont montés deux bâtis identiques en ce qui concerne la typologie du verre (chambre vitrée à basse consommation), le châssis (aluminium avec découpage thermique), la dimension et le système d'obscurcissement (tente micro perforée). Sur la première cellule dite de référence, a été monté un bâti traditionnel non ventilé, alors que sur la cellule, dite témoin a été monté le même bâti dans lequel, cependant un dispositif pour la ventilation mécanique. L'unique différence entre les cellules vient du système de ventilation et par le principe physique adopté pour le changement d'air. Dans la cellule de référence, est présent

un extracteur centrifuge placé sur la paroi Nord, quant à la cellule témoin, le changement d'air est garanti par un rotor de ventilation placée dans le châssis supérieur du bâti qui aspire de l'air de l'environnement intérieur vers l'extérieur au sud. Dans le premier cas, l'air à 20°C est directement expulsé de l'environnement, alors que dans le second cas, l'air interne entre dans la chambre de ventilation du bâti, entre la tente et la superficie vitrée, frôle les superficies transparentes et il est extrait par le rotor de ventilation.

Des tests opportuns de mesure de la concentration du gaz traçant SF6 en des environnements confinés ont permis à réguler le changement horaire des divers systèmes de ventilation mécanique à une valeur proche de 0,9 h-1.

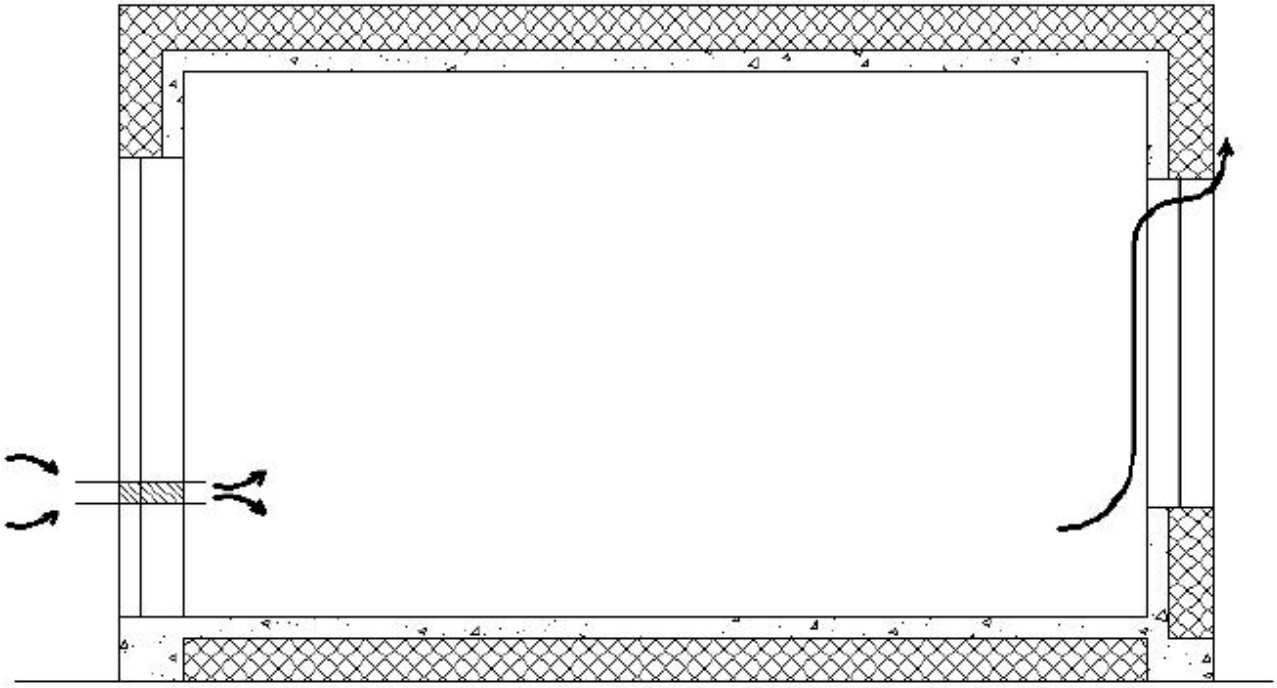


Illustration 18, Coupe d'une cellule de test : système de ventilation de la cellule témoin

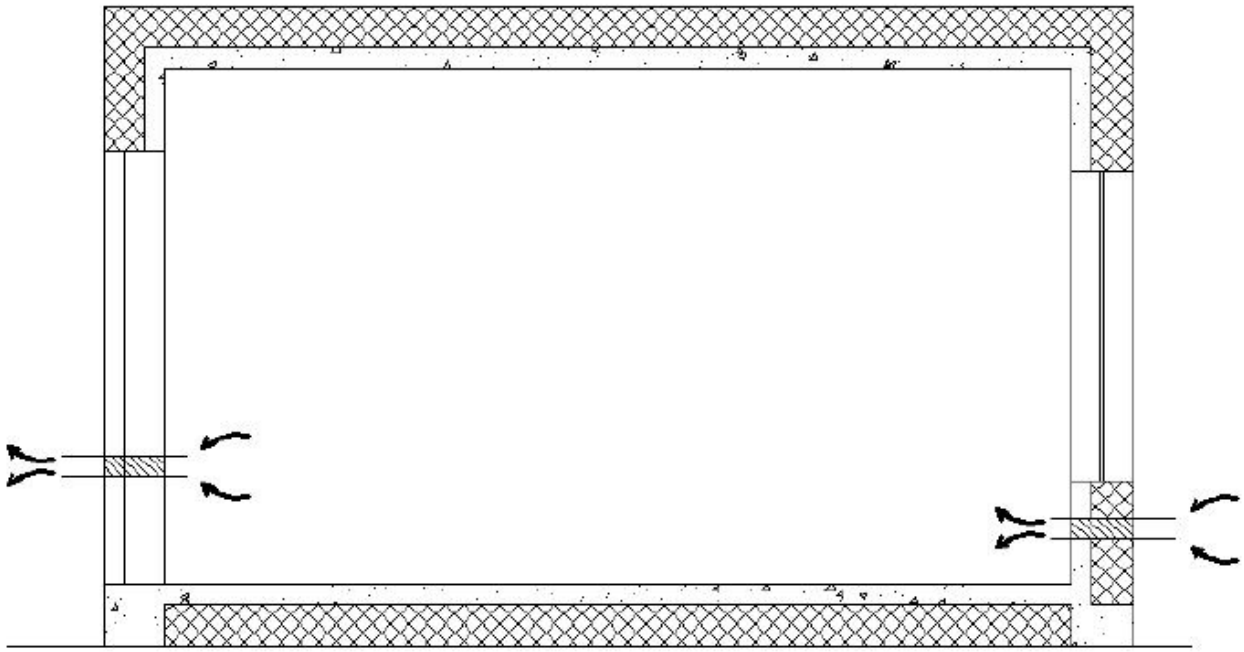


Illustration 19, Coupe d'une cellule de test – Système de ventilation de la cellule de référence.

Le choix d'une configuration expérimentale aussi sélective permet de poursuive un objectif clair : étudier et vérifier le comportement transmissif du bâti témoin en conditions dynamiques réelles en comparant les résultats avec ceux obtenus avec le programme WIS selon des conditions au contour standardisées. En second lieu on évalue l'économie d'énergie obtenue avec un tel bâti.

L'identification des cellules d'épreuve à été effectuée selon la nomenclature suivante :

-cellule sur laquelle a été montée le bâti traditionnel : Cellule 2 ;

-cellule sur laquelle a été montée le bâti ventilé : Cellule 3 ;

Pour la présentation et l'interprétation des résultats, on fera référence à la convention susmentionnée.

2,9 Analyses théoriques

Dans ce paragraphe, sont décrites les approches théoriques suivantes pour les analyses

2,9,1 Empreinte énergétique

L'Empreinte Énergétique est une représentation graphique d'une consommation réelle (gaz, énergie électrique), en fonction d'un facteur extérieur (par exemple, la température extérieure).

L'empreinte énergétique des bâtiments, traitée dans la UNI EN 15603, est une méthode d'évaluation dans laquelle les consommations énergétiques son corrélées avec les variables climatiques. Par rapport à la classification énergétique qui suppose une agrégation de plus de variables et une expression des données de type quantitatif avec un unique indice par rapport à une échelle de référence, l'Empreinte Énergétique décrit le comportement énergétique réel du bâtiment. L'Empreinte Énergétique est la représentation graphique d'une consommation énergétique ou d'une puissance (réchauffement, rafraîchissement, eau chaude sanitaire, etc.) en fonction d'un paramètre externe (en général la température externe), et elle est utilisée pour comparer les consommations réelles d'un bâtiment par rapport à d'autres bâtiments, pour la comparaison entre les valeurs calculées et les consommations réelles ou pour vérifier la qualité d'un intervalle de requalification énergétique.

L'Empreinte Énergétique ne donne pas d'indication sur la consommation optimale d'un bâtiment. Il s'agit seulement d'un instrument d'analyse qualitative ; les variations par rapport à la courbe de référence fournissent les informations utiles pour comprendre le fonctionnement des installations et le comportement d'un bâtiment. Dans ce cas spécifique, une telle méthode permet d'évaluer, à travers la marche des consommations énergétiques, la variation des dispersions thermique de l'emballage. Dans les cellules considérées, la stratigraphie de la surface vitrée étant l'unique variable, la méthode consiste en calculer l'évolution de la transmission thermique des bâtis relatifs.

En accord avec la EN 15603, l'Empreinte Énergétique dépend du coefficient de dispersion thermique H, déterminé en fonction des pertes de transmission et de ventilation du bâtiment ; un tel coefficient représente la pente de la droite interpolant les consommations énergétiques et connue comme l'Empreinte Énergétique.

Il est connu que le coefficient angulaire de la droite est représenté par le rapport entre les puissances thermiques (données par la différence entre la puissance à la température externe et celle de 0°C) et les températures externes :

$$H = H(tr)+H(ve) \quad (4)$$

L'unité de mesure H est la même que celle du coefficient de dispersion thermique : W/K.

Le coefficient H, en accord avec la EN 13700, représente la réactivité du bâtiment aux changements de température externe et peut être calculée selon la formule :

où :

H(tr) est le coefficient de dispersion thermique pour la transmission ;

H(ve) est le coefficient de dispersion thermique pour la ventilation ;

En comparant les coefficients angulaires caractéristiques des deux cellules, des différences de comportement en fonction des conditions climatiques, peuvent émerger.

2,9,2 Confort thermo hygrométrique.

Il a été étudié que le confort thermo hygrométrique de l'environnement, faisant référence à la méthode reportée dans la norme UNI EN ISO 7730, en calculant l'indice PMV et successivement l'indice PPD (pourcentage prévu des insatisfaits de l'anglais «Predicted Percentuage of Dissatisfied» qui fournit les informations sur la privation thermique, ou mal-être thermique, prévoyant le pourcentage de personnes qui ressentiraient une sensation d'inconfort de l'environnement.

DESCRIPTION DES ECHANTILLONS

Le présent chapitre décrit en détail les caractéristiques techniques de l'échantillon analysé.

3,1 Description de la structure

La structure de support des vitres vient de la Presal Extrusion S.r.l, modèle PR75TT.

Pour l'expérience, il a été choisi d'utiliser une structure en aluminium à coupe thermique de classe de prestation moyen haut, mais de typologie standard et courant facile dans le commerce. L'échantillon en question monte une structure à L de la série dé-nominée PR75TT, produit par Presal Extrusion Italia S.r.l.

La gamme PR75TT est constituée d'un système de profil à L et à Z qui permettent la construction de fenêtres à une ou plusieurs volets à battants avec des éventuelles vitres fixe. Les fenêtres ont des sections de structure fixe à 67 mm et d'un volet mobile de 75mm, de cette façon la combinaison de structures fixes à L (ou z s'il y a un volet compensateur) avec des structures mobiles à Z qui permet la réalisation de bâtis avec une superficie externe coplanaire et à l'intérieur un dépassement de 8 mm entre la superficie des parties ouvrable et celle des parties fixes.

Les profilés pour les bâtis sont réalisés avec un alliage d'aluminium EN AW 6060, la coupe thermique est obtenue via l'insertion de la barrette en polyamide PA6,6 renforcée à 25 % de la fibre de verre, assemblée avec les semi profils d'aluminium avec un roulement mécanique. L'insertion des barrettes de coupe thermique devra garantir une valeur de transmission thermique Uw de la fenêtre < 2 W/m²K.

La fermeture des vitres est obtenue via des ferme vitre avec insertion avec détente ou avec une méthode à baïonnette avec une hauteur utile de 22 mm. Toutes les garnitures: joint de vitrage, de tenue et de battement sont en élastomère EPDM/DUTRAL.

Pour l'expérience, un bâti avec deux vitres fixes et pourvu de volet ouvrables a été réalisé. Pour la réalisation de la structure, un profil fixe de 67 mm a donc été utilisé. Il y a dans l'Illustration 20 la coupe du profil fixe latéral du bâti installé.

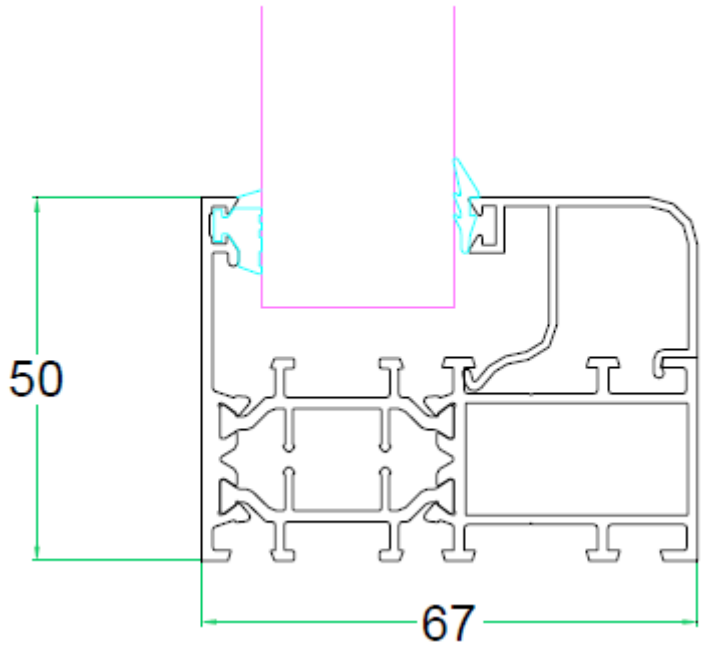


Illustration 20. Coupe de la structure latérale fixe

Le montant central fixe du bâti est obtenu avec l'union des deux profils latéraux comme on peut le voir dans l'illustration 21.

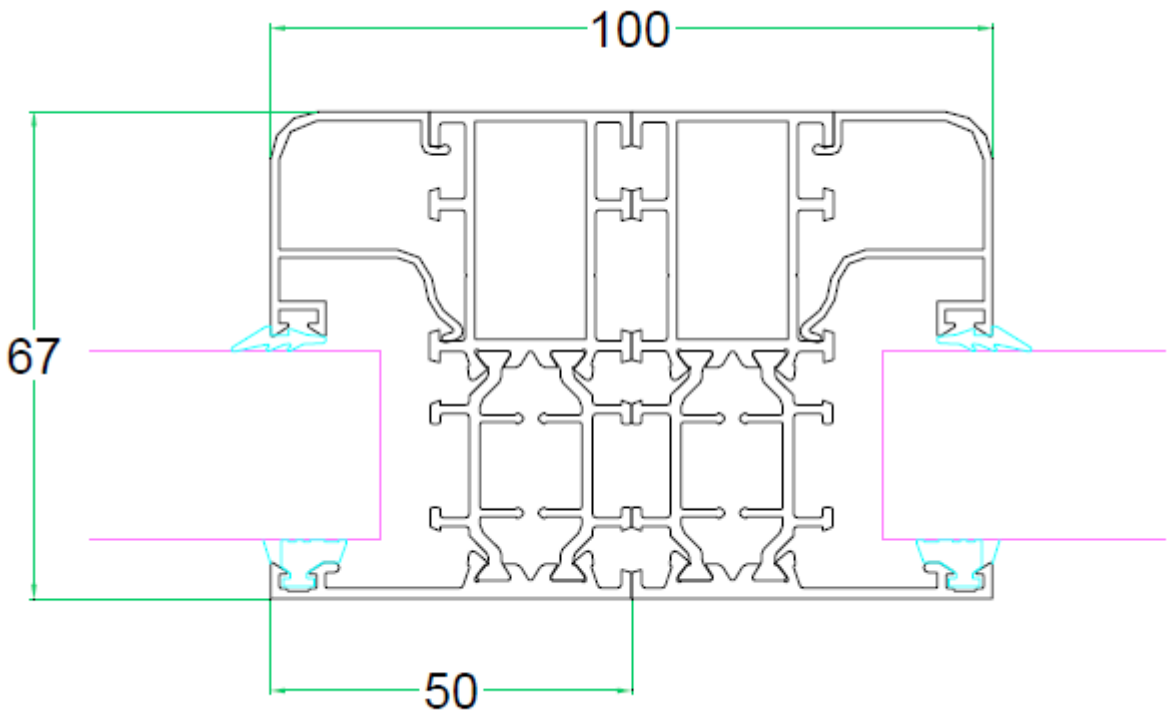
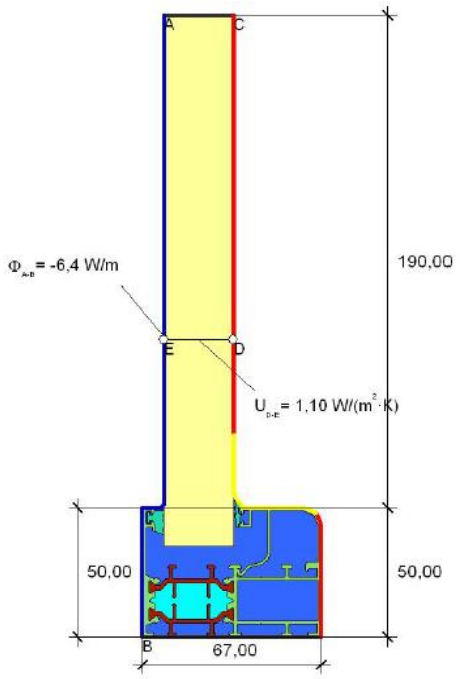


Illustration 21. Section du montant central du bâti

La structure a été testée selon la norme de produit UNI EN ISO 14351-1. Pour vérifier les prestations, des calculs de transmissions thermique ont été effectués pour définir la valeur théorique avec le programme de simulation aux éléments finis, Flixo 5,0 , un programme pour le calcul des ponts thermiques quo-validé selon les normes UNI EN ISO 10211:2007 et UNI EN ISO 10077-2:2006.

Pour obtenir la valeur de transmission thermique relatif à un nœud, via Flixo, on part du dessin avec le format dwg (format autocad) fourni par le requérant ; à ce dessin sont attribués des valeurs de conductivité thermique relatif aux matériaux fournis par le programme comme valeurs de tableau. Le choix des matériaux de la bibliothèque du programme Flixo 5,0 a été conduit sur la base de la documentation fournie par le commettant, de la norme UNI EN ISO 10077-2 ou des données présentes dans la littérature. A partir de la simulation, il a été obtenu une valeur de transmission thermique du nœud égal à Uf = 2,26 W/m²K.



$$U_f = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_p \cdot b_p}{b_f} = \frac{\frac{-6,424}{-20,000} - 1,095 \cdot 0,190}{0,050} = 2,262\ W/(m^2 \cdot K)$$

Illustration 22. Résultats de la simulation avec Flixo 5,0

Nom	Nom			
1) Aluminium si volet compensateur	16000	8) Extérieur, châssis	0,000	25000
2) Cavité non ventilée, EPS= 0,09		9) Réduit	20000	5000
3) EPDM (éthylène propylène diène monomère	0,260	10)Symétrie/ section composant	0,000	
4) Panneau	0,035	11)Standard	20000	7692
5) Polyamide 6,6 avec 25 % de fibre de verre	0,300			
6) Silicone pur (1)	0,350			
7) Cavité d'air non ventilée, EPS=0,3				

La structure ici analysé a été utilisé pour réaliser un bâti avec deux vitres fixes et dépourvu de volets ouvrables. L'absence de volets ouvrables a permis d'utiliser des nœuds de petites dimensions, afin de maximiser la zone de la partie transparente et de réduire au minimum la zone des nœuds métalliques qui même s'ils sont de bonne qualité, résultent être la partie thermique la plus faible du bâti.

C'est ainsi que l'on a obtenu le bâti illustré dans la perspective de l'illustration 23.

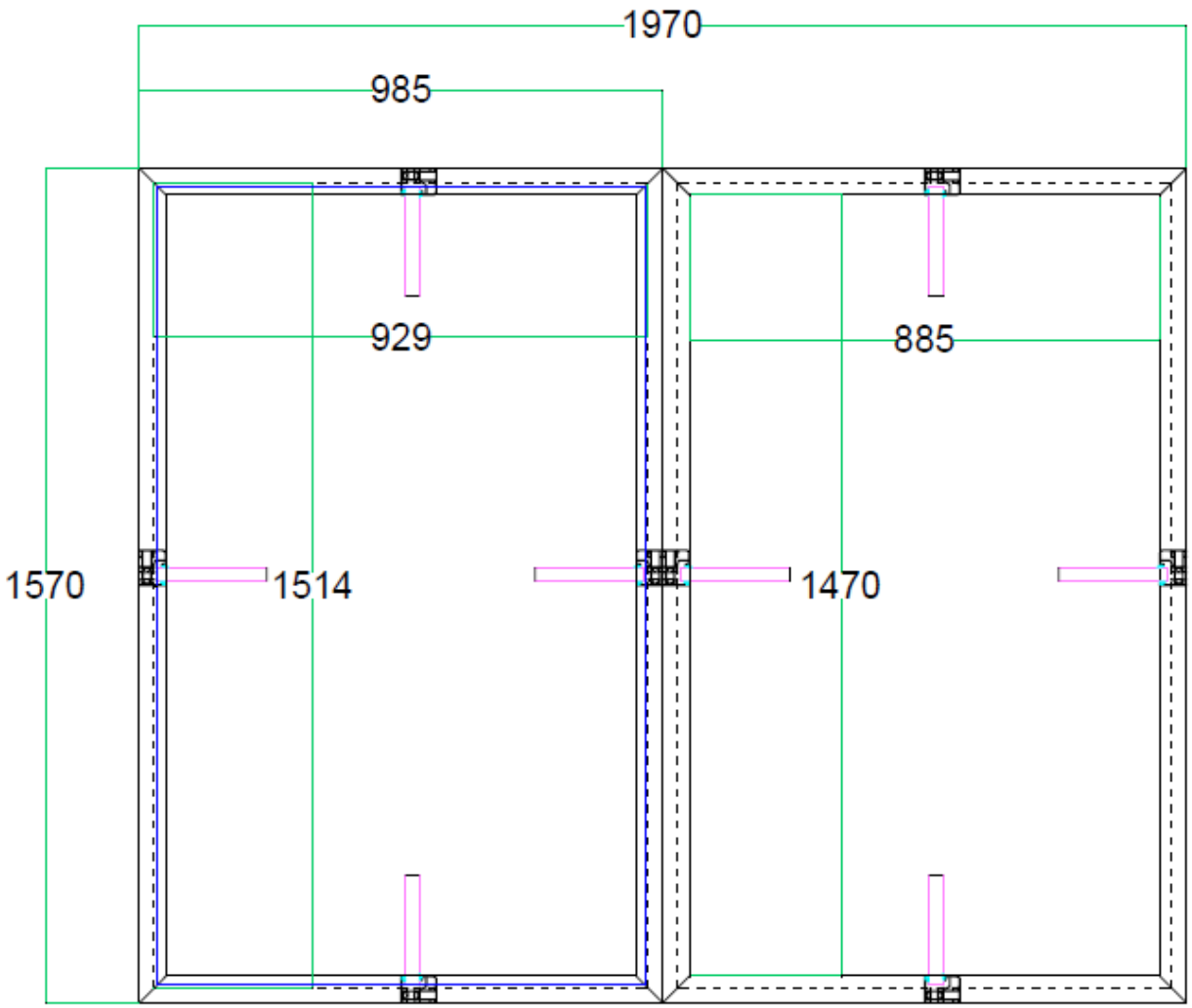


Illustration 23, Prospective frontale du bâti

3,2 Description du prototype

Le système VetroVentilato est constitué d'une chambre vitrée couplé d'une tente interne et un système de contrôle de la ventilation.

Au sommet du seul bâti témoin, est présent un rotor de ventilation en mesure d'aspirer l'air présent à l'intérieur de l'interstice qui se forme entre la tente et la plaque de verre la plus interne. En aspirant l'air, le rotor de ventilation crée une dépression attirant l'air de l'environnement à l'intérieur de l'interstice, créant ainsi des mouvements de circulation à l'intérieur de la chambre.

L'air aspiré est expulsée vers l'extérieur, que ce soit pendant la période estivale ou la période hivernale.

L'objectif est de soustraire la chaleur accumulée sur la vitre en réduisant le facteur solaire pendant la période estivale et la transmission thermique pendant la période hivernale.

Illustration 24. Schéma de fonctionnement du bâti

3,2,1 Stratigraphie vitrée

La fenêtre innovante avec chambre ventilée et tente semi-transparente sur le côté interne présente la suivante stratigraphie (de l'extérieur vers l'intérieur)

1) vitre claire stratifiée (3+3mm)

2) Interstice d'air (16mm)

3) Vitre de basse émission (3mm)

4) Interstice d'air forcé (25mm)

5) Rideau à roulement semi-transparent VSL812

La fenêtre traditionnelle est en revanche sans rideau et reflète les points 1, 2, et 3 listés précédemment. Les caractéristiques techniques des vitres utilisées sont reportées en Tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques techniques des plaques de verre utilisées λ

Vitre	s(mm)	λ(W/mK)	TS	R(se)	R(si)	TL	R(le)	R(li)	T(irr)	R(e)	R(i)
1-Stratifié (3,3)	6	1	0,818	0,081	0,081	0,896	0,084	0,084	0,542	0,061	0,061
3-Basse émission	3	1	0,585	0,283	0,283	0,879	0,041	0,041	0,492	0	0

Où :

s(mm) : épaisseur ;

λ(W/mK) : conductivité thermique ;

TS : transmission solaire ;

R(se) : réflexion solaire externe ;

R(si) : réflexion solaire interne ;

TL : transmission lumineuse ;

R(le) réflexion lumineuse externe ;

R(li) réflexion lumineuse interne ;

T(irr) transmission de la radiation infrarouge ;

R(e) : réflexion de la radiation infrarouge ;

R(i) : réflexion de la radiation infrarouge ;

3,2,2 Tente micro-perforée

A l'intérieur est présente un store micro-perforée avec les caractéristiques suivantes.

Tableau 5. Caractéristiques techniques de la tente

	Transmission luminosité %	Transmission solaire %	Réflexion énergie solaire %	Absorption énergie solaire %	Facteur solaire g
Tecknoscreen	14	23	77	0	0,18

3,2,3 Système de contrôle

Le fonctionnement du rotor de ventilation est régulé par des senseurs en degré de lire la température de la vitre et de l'environnement. Un dispositif est en mesure de contrôler de loin la vitesse du rotor de ventilation et de réguler le temps d'allumage de ce dernier.

Il est prévu un système de gestion centralisé, via la carte maître à panneau qui régule les variables considérées par le système, et un composant hardware décentré (carte esclave) positionné à l'intérieur du bâti (illustration 25).

Illustration 25. Schéma du système de gestion de VetroVentilato

Système d'acquisition

Carte esclave

Panneau de contrôle

Le panneau de contrôle est doté d'un senseur de température ambiante de référence, comme la carte esclave qui est dotée d'un senseur de température de l'air qui sort du bâti, liée avec un câble à la carte maître.

Les fonctions qui lui sont associées sont :

_le calcul de la différence de température entre celle mesurée par le senseur posté à son intérieur, et celle mesurée par le senseur posté dans la carte esclave ;

_a mesure du courant absorbé par le moteur du rotor de ventilation tangentiel ;

_le contrôle de la tension d'alimentation du moteur ;

_contrôle du temps de recirculation

_la mémorisation des températures maximales et minimales atteintes

Les variables gérées par le système et imposées manuellement sont citées de suite :

_ΔT : est la différence de température entre l'air ambiant et celui de sortie qui définit la limite outre laquelle le rotor de ventilation démarre. Plus le delta est petit, plus le système est réactif aux variations climatiques ; au contraire, un delta élevé permet des variations plus grandes de température.

_L'alimentation du rotor de ventilation : il est prévu une sélection des différents niveaux d'alimentation afin de contrôler la portée d'air extraite du bâti.

_L'orientation des lamelles du store : l'orientation peut être régulée avec un bouton interne et définit l'effet de protection des rayons solaires que l'on veut obtenir ;

_l'horaire d'allumage et d'extinction : avec l'aide d'un timer, il est possible de forcer le fonctionnement du rotor de ventilation tangentiel ; de cette façon, il est possible d'établir un changement de l'air contrôlé continu et pré-imposé.

3,3 Optimisation du prototype

A la suite sont reportées les premières mesures de changement d'air dans la cellule sur laquelle a été montée la vitre innovante. Le taux de changement d'air atteint étai égal à 1 h^-1.

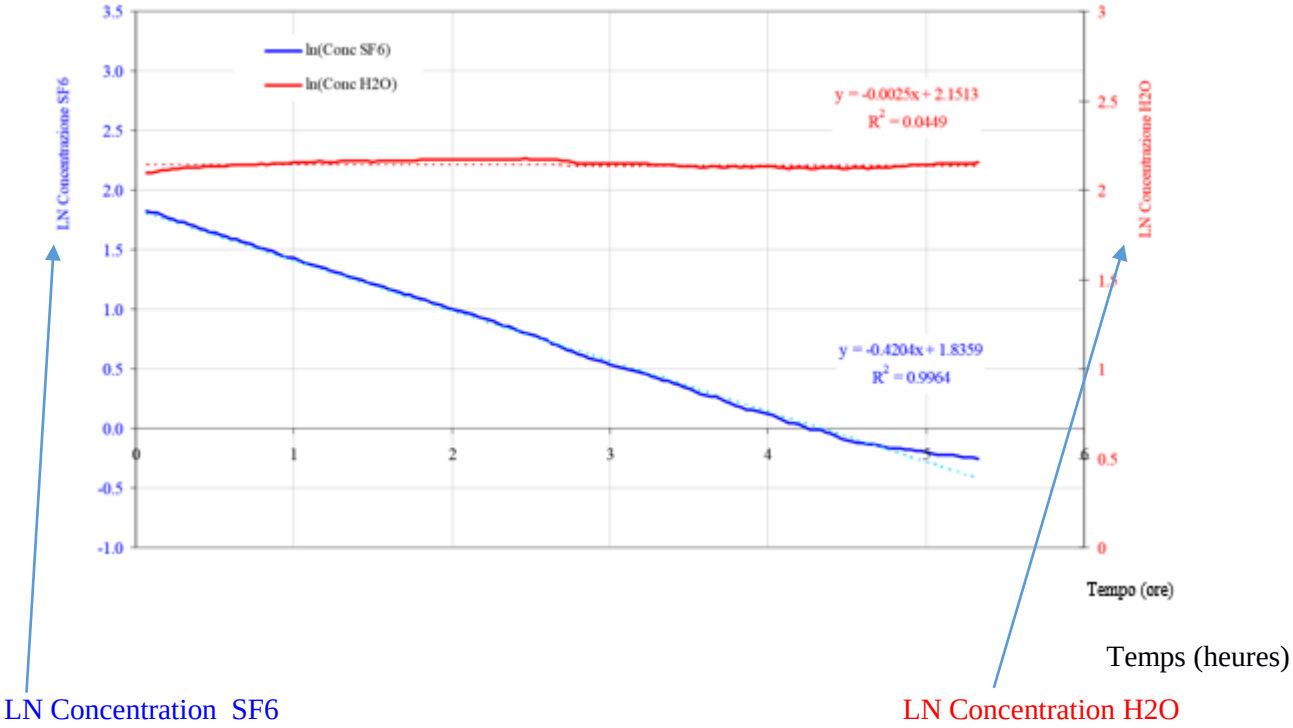


Illustration 26, Changement d'air de Vetro Ventilato avec le rotor de ventilation de base

Les mesures de changement d'air (égales à 0,4 h^-1), du précédent graphique, ont pu déterminer une déficience du système de changement d'air, causé principalement par un rotor de ventilation avec des caractéristiques de basse portée et de pertes localisées dans le conduit de sortie trop élevées.

Les rotors de ventilation ont été changés avec celle de portée plus importantes et les sections de sorties d'air du système VetroVentilato ont été fermées en cherchant d'améliorer la dynamique de fluide interne, en positionnant une grille pour l'évacuation de l'air en correspondance du rotor de ventilation (Illustration 27 et Illustration 28).

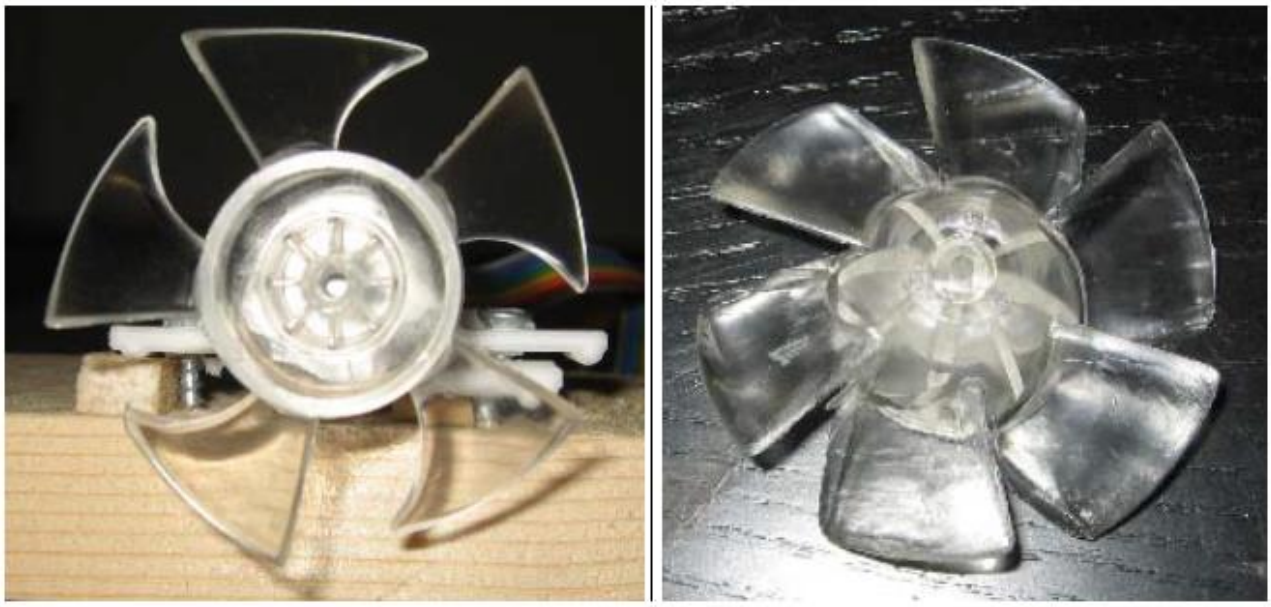


Illustration 27. Typologie des rotors de ventilation utilisés. A gauche, le rotor échangé par celui de droite, plus efficace

Illustration 28. Comparaison des sections à la sortie de l'air venant de VetroVentilato

A partir de nouvelles mesures de rechange, l'illustration 29 montre une évolution acceptable du taux de rechange égal à 0,94 h^-1.

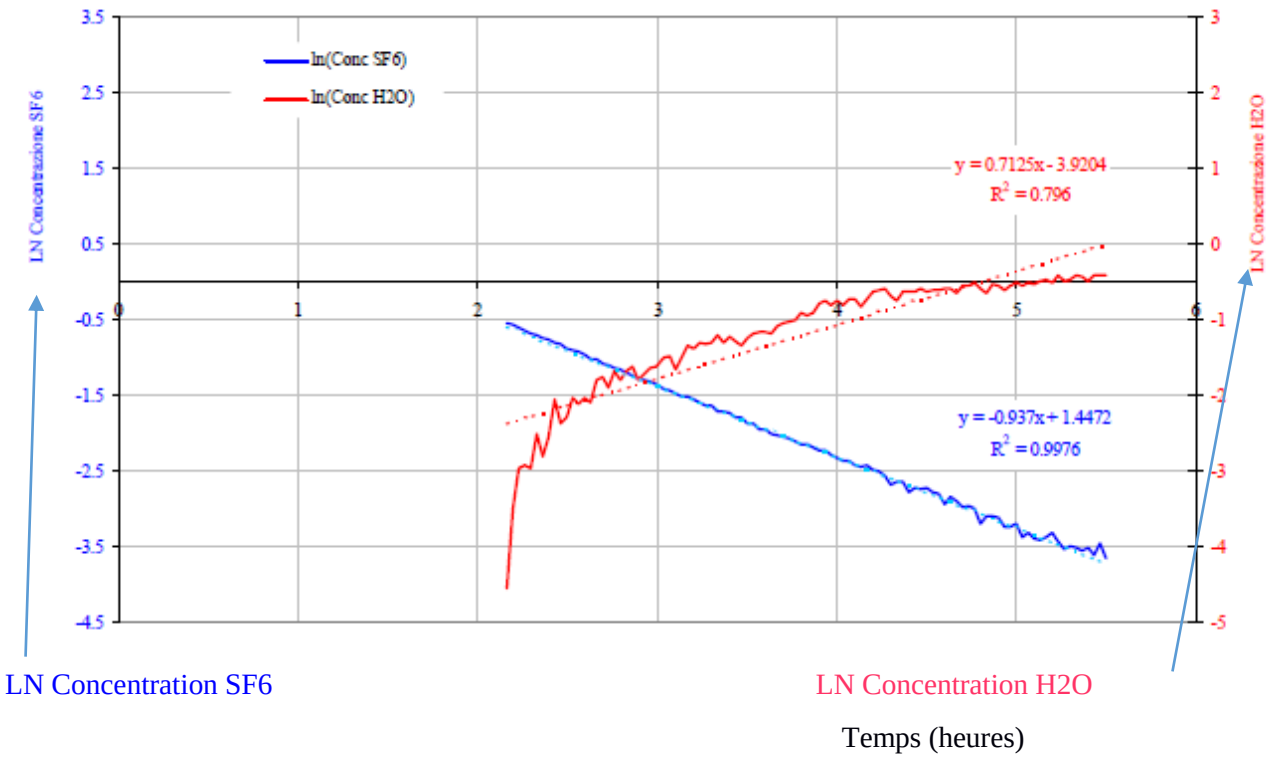


Illustration 29, Changement d'air de Vetroventilato avec rotor de ventilation avec une portée plus importante

Calculs analytiques

La structure du bâti laisse la possibilité d'acheminer l'air aspiré par le rotor de ventilation soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur. Des calculs analytiques ont étés effectués avec le programme de simulation WIS pour comprendre les variations de la transmission thermique et du facteur solaire en fonction de la portée d'air passant, à travers le bâti et du type de ventilation : interne-interne ou interne-externe.

4,1 Ventilation interne-interne

Il y a eu la comparaison de la différence de transmission thermique et du facteur solaire pendant la période hivernale avec une ventilation interne-interne avec la tente abaissée par rapport à celui standard sans ventilation (Illustration 30). On note comment l'augmentation de la portée de ventilation donne de l'essor à la valeur de transmission thermique de la vitre ventilée, qui dépasse même les valeurs de la vitre traditionnelle statique quand on dépasse les 90 m^3/h. Le facteur solaire de la vitre ventilée se révèle plus avantageux grâce à la présence de la tente.

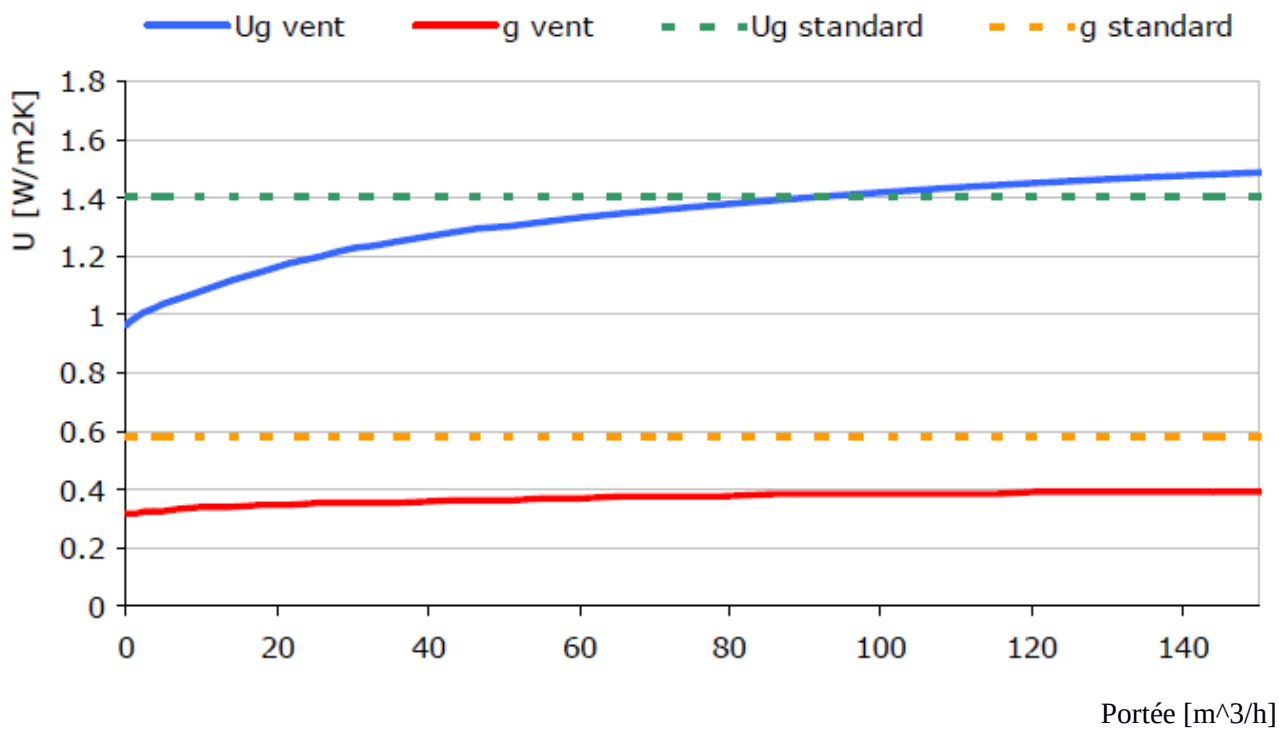


Illustration 30, L'hiver, ventilation interne-interne, transmission thermique et facteur solaire du verre

Le bâti (vitre + châssis) dans l'Illustration 31 maintient la même évolution du seul verre : les deux ont la même tendance et atteignent seulement des valeurs de transmission thermique plus élevés, alors que le facteur solaire ne varie pas.

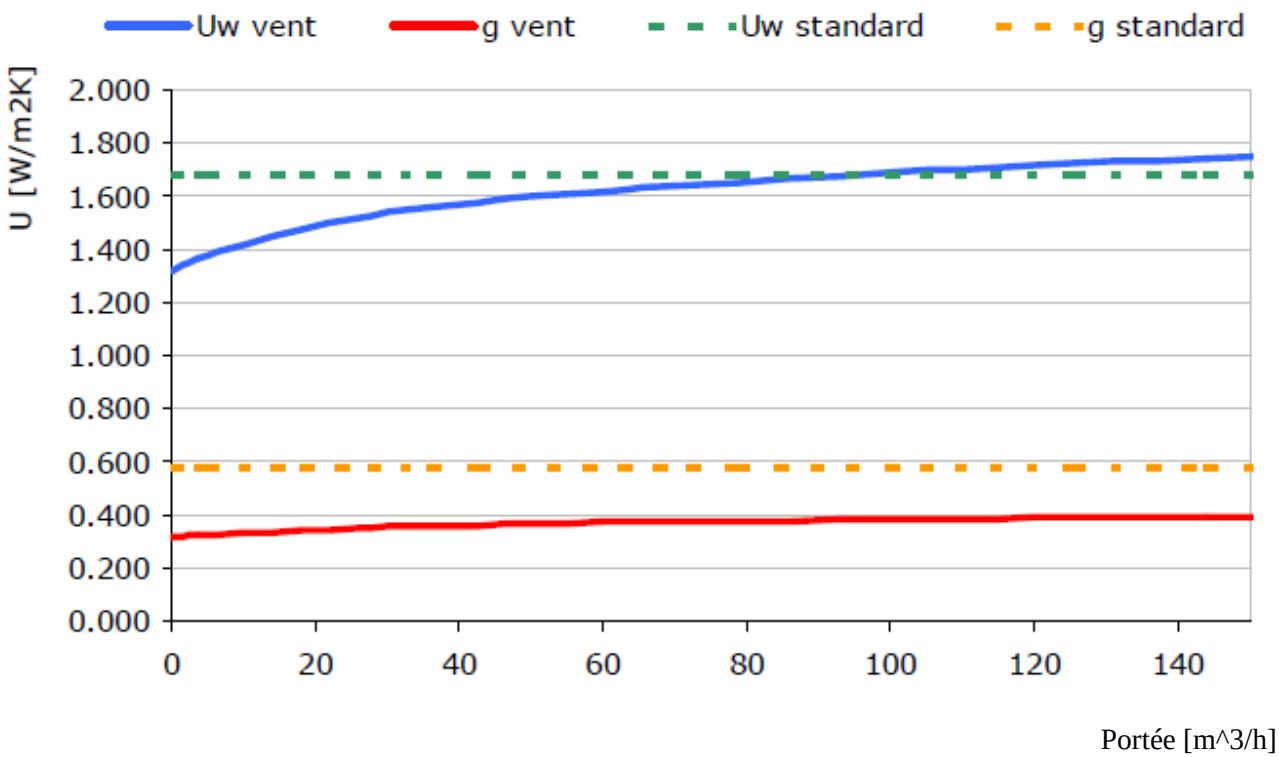
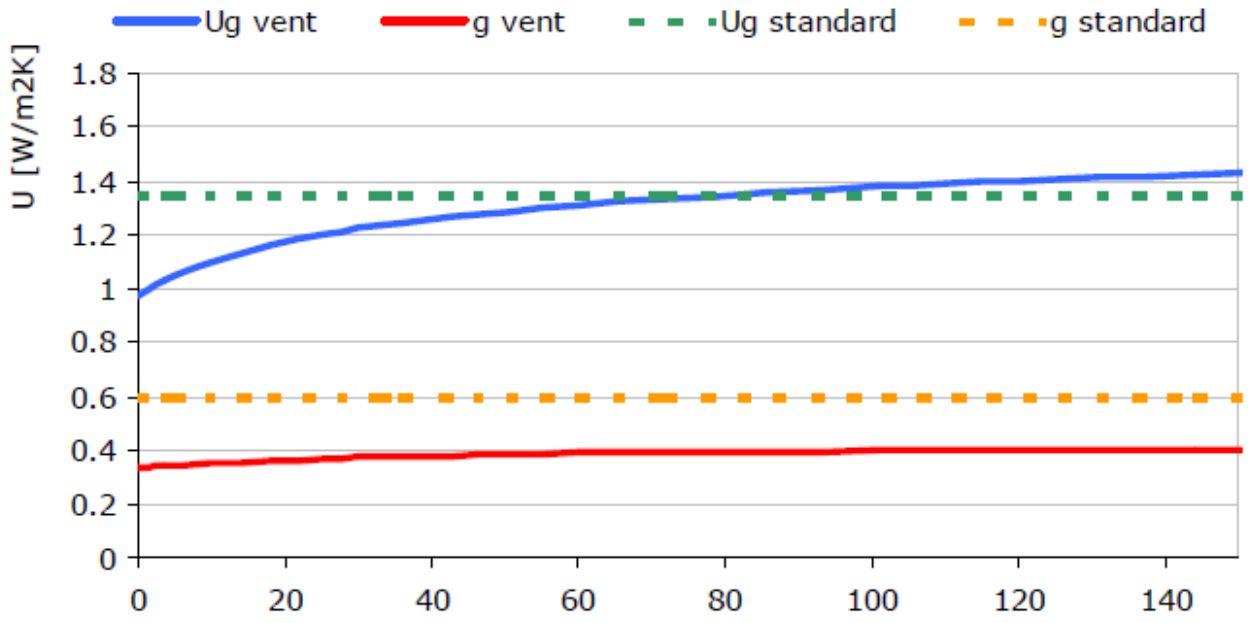


Illustration 31,

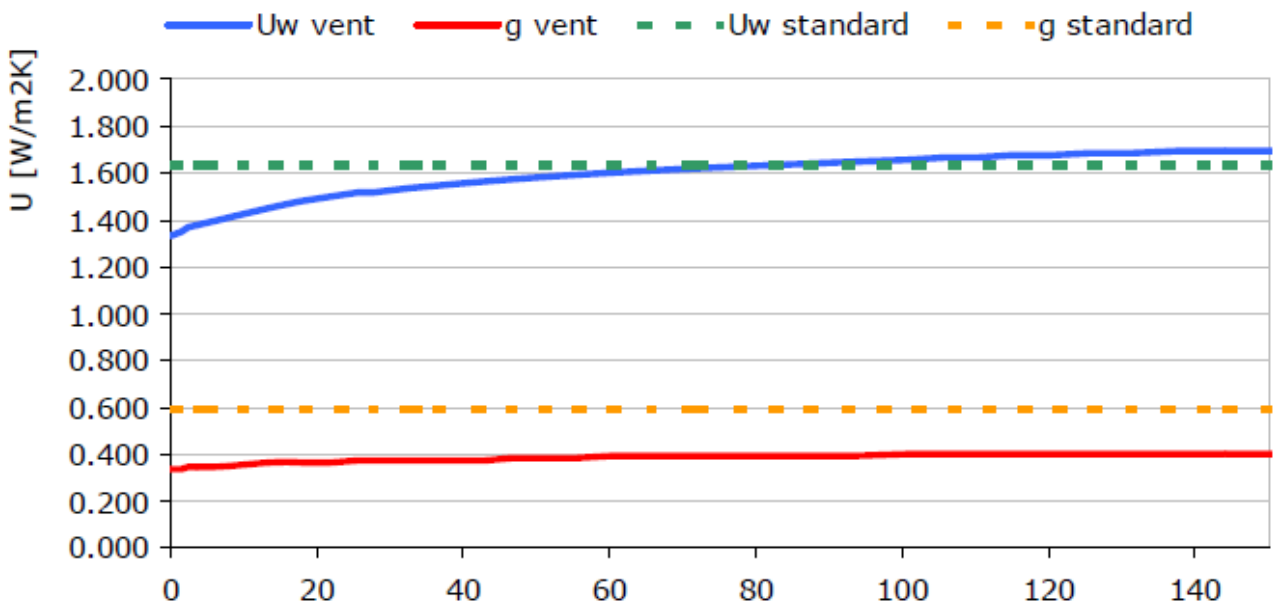
L'hiver, ventilation interne-interne, transmission thermique et facteur solaire du bâti.

Pendant la période estivale (Illustration 32, Illustration 33), les deux vitres et les deux bâtis maintiennent la même évolution vue dans le cas hivernal, même si la transmission thermique du système ventilé dépasse celle du système traditionnel avec des portées de ventilation inférieures (environ 80m^3/h).



Portée [m^3/h]

Illustration 32, L'été, ventilation interne-interne, transmission thermique et facteur solaire du verre



Portée [m^3/h]

Illustration 33, L'été, ventilation interne-interne, transmission thermique et facteur solaire du bâti

4,2 Ventilation interne-externe

Si on modifie le système de ventilation et que l'on aspire toujours l'air de l'environnement intérieur mais de l'expulser vers l'environnement extérieur, on note une variation de tendance. Dans l'illustration 34, la transmission thermique de la vitre traditionnelle se maintient au niveau d'une valeur constante égale à 1,4

W/m²K alors que celle du verre ventilé se réduit progressivement à l'augmentation de la portée de ventilation jusqu'à atteindre une valeur de 0,2 W/m²K. Ainsi, même le facteur solaire se réduit à l'augmentation de la portée convergeant vers une valeur égale à 0,2 contre 0,6 de la vitre traditionnelle.

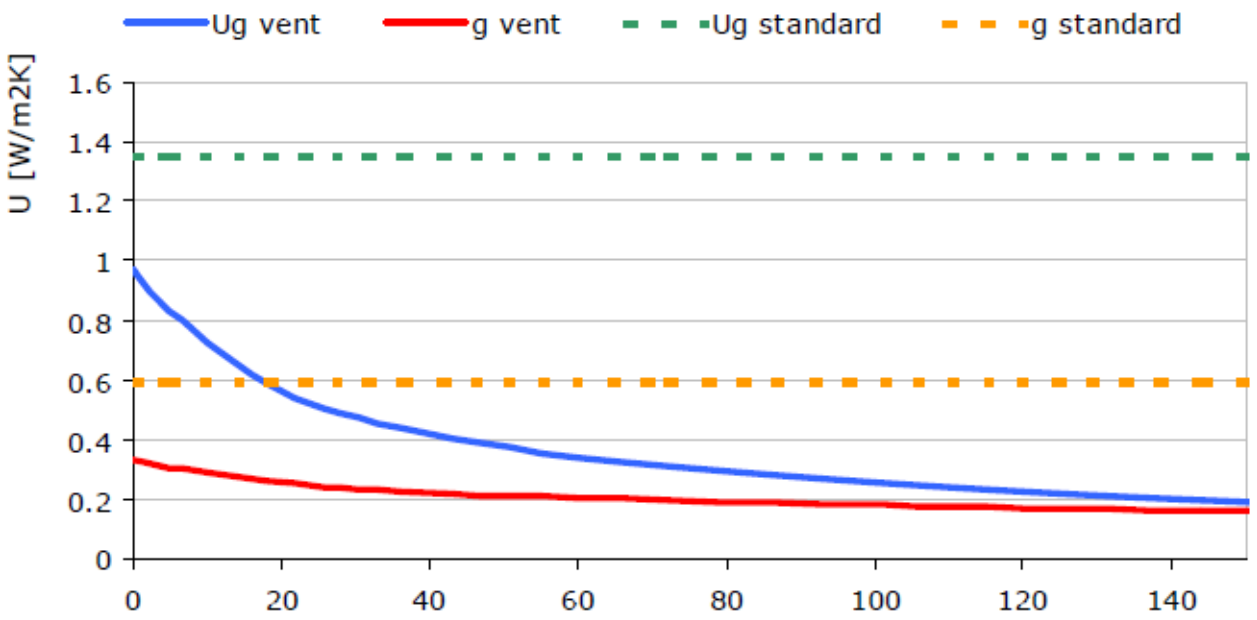


Illustration 34. Hiver, ventilation interne-externe, transmission thermique et facteur solaire de la vitre

Même si avec des valeurs supérieures, la même évolution vue pour la vitre est enregistré aussi pou le système vitre+châssis (Illustration 35). La vitre ventilée rejoint une valeur de transmission thermique égal à 0,7W/m²K

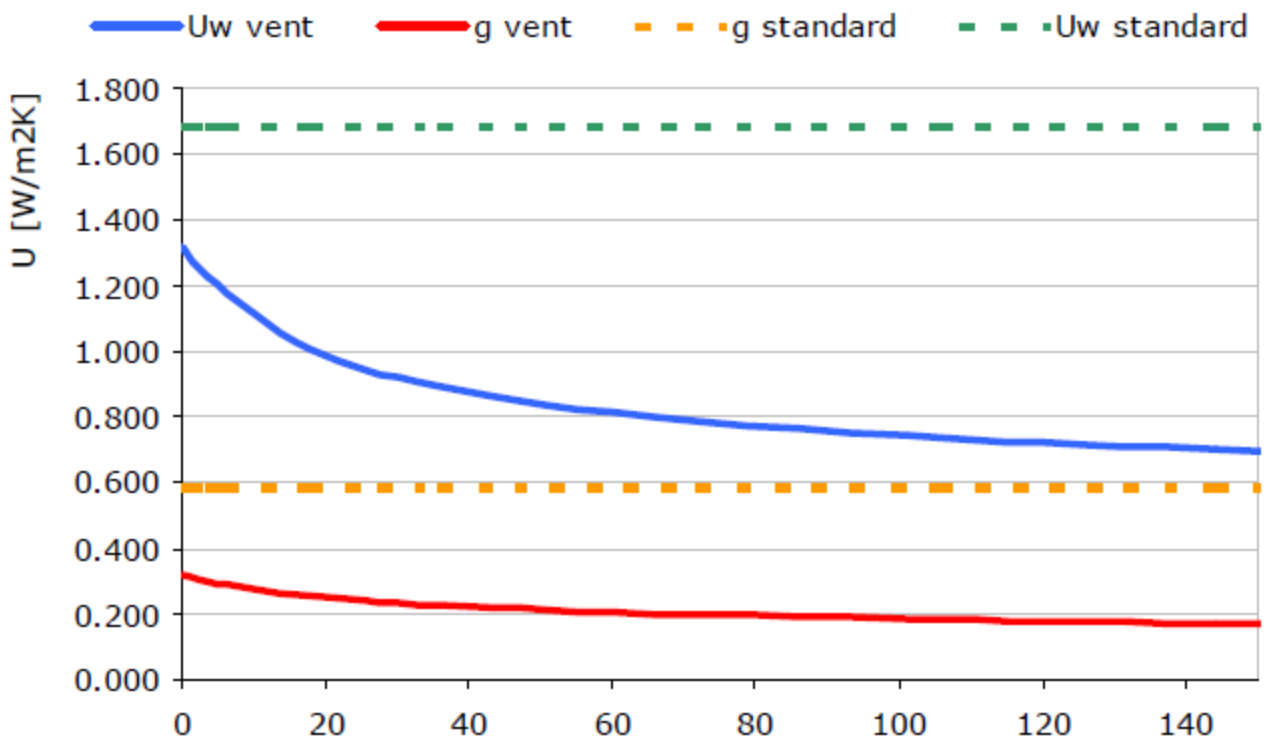
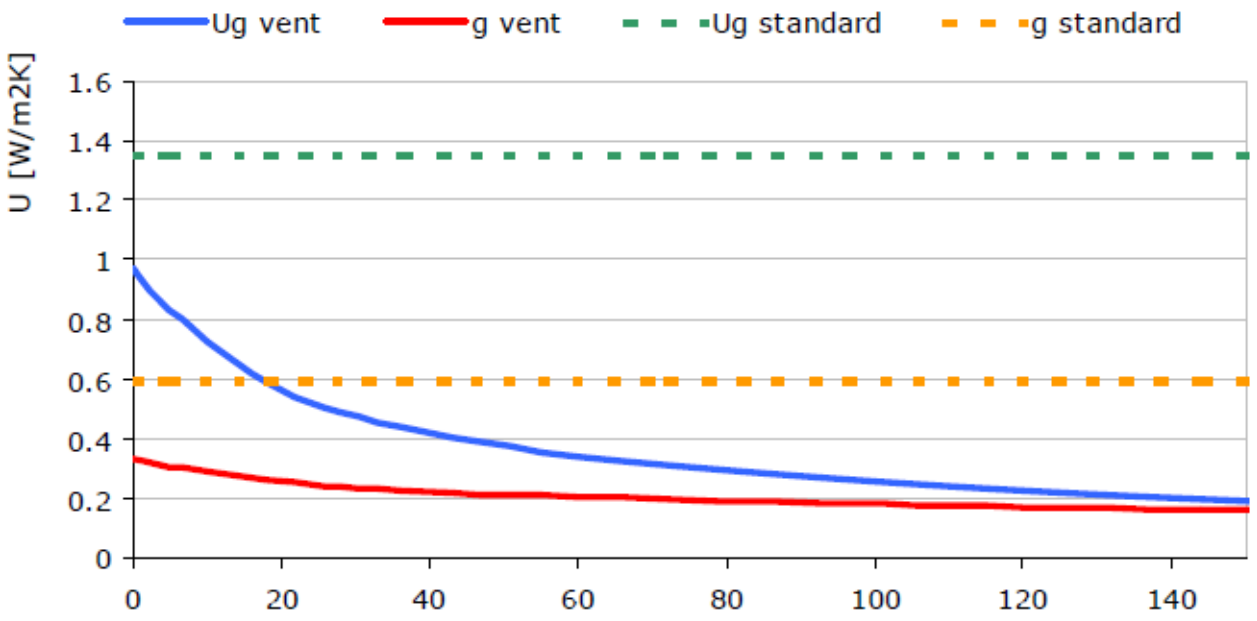


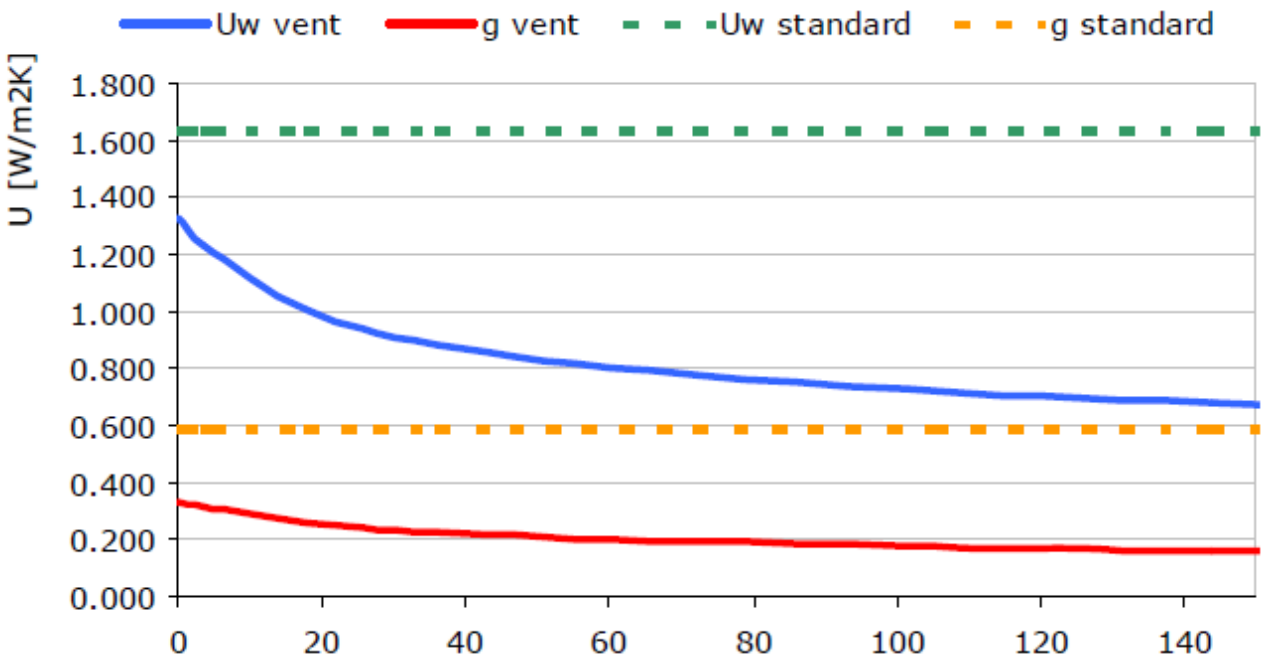
Illustration 35. Hiver, ventilation interne-externe, transmission thermique et facteur solaire du châssis



Les mêmes évolutions sont enregistrées dans le cas estival (Illustration 36, Illustration 37)

Portée [m^3/h]

Illustration 36. Été, ventilation interne-interne, transmission thermique et facteur solaire de la vitre



Portée [m^3/h]

Illustration 37. Été, ventilation interne-interne, transmission thermique et facteur solaire du bâti

A partir des graphiques examinés, émerge donc la meilleure performance de la vitre avec ventilation interne-externe, que ce soit dans le cas estival ou hivernal. Il est possible d' hypothétiser une étude du système interne-interne seulement en réunion avec un récupérateur de chaleur.

Expérience estivale

5,1 Consommation énergétique estivale

5,1,1 Vetro Ventilato actif

Dans la période estivale, les graphiques montrent clairement une consommation énergétique plus importante pour la cellule de référence par rapport à la cellule sur laquelle a été montée la vitre dynamique. L'économie d'énergie réalisable varie selon l'évolution de la température extérieure en premier lieu et puis aussi de l'irradiation. On enregistre une variation qui oscille entre 20 % et 50 % avec des valeurs moyennes autour de 35 %. Pour les journées nuageuses (par exemple le 11 et le 12 août 2011) on observe une baisse des performances du VetroVentilato jusqu'à des valeurs minimales de 20 %. Ceci ne veut pas dire qu'une telle vitre se comporte d'une façon moins bonne par rapport à une vitre traditionnelle, mais que le bénéfice est réduit par rapport à une tierce journée.

*(Cellule 2) Compteur : somme

**(Cellule 3) Compteur :somme

***Température extérieure °C

****Variation %

*****Radiation solaire globale

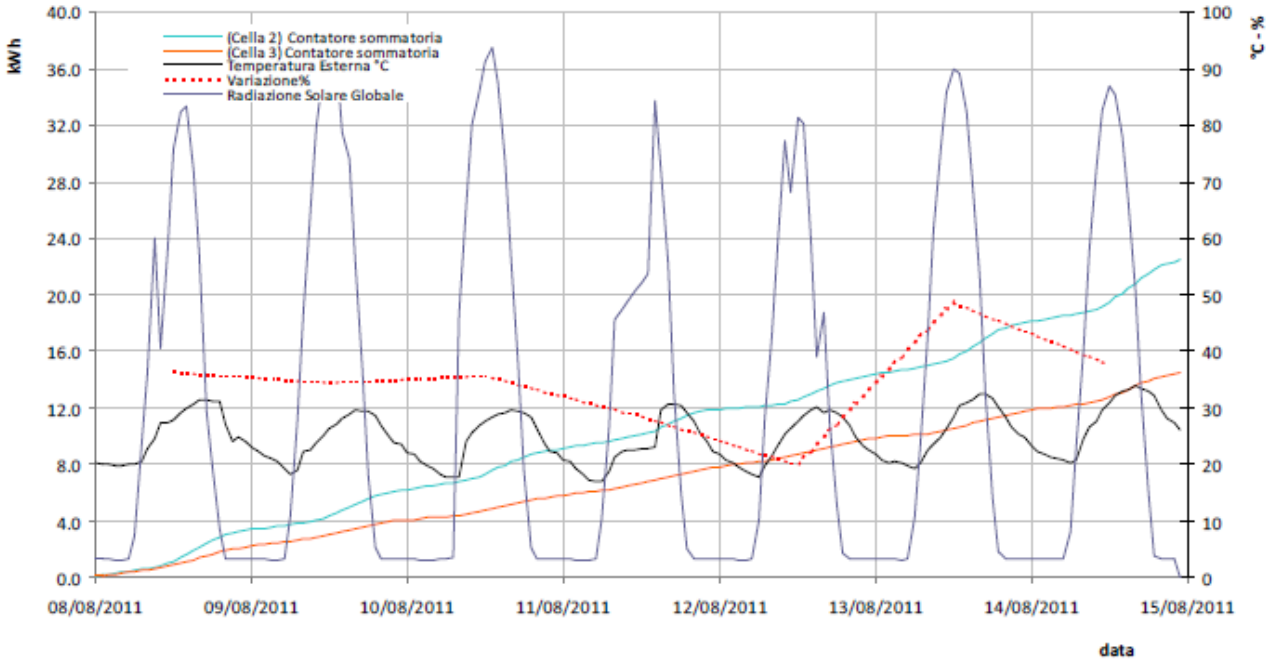


Illustration 38 Consommation énergétique du 08/08/2011 au 14/08/2011

*(Cellule 2) Compteur : somme

**(Cellule 3) Compteur :somme

***Température extérieure °C

****Variation %

*****Radiation solaire globale

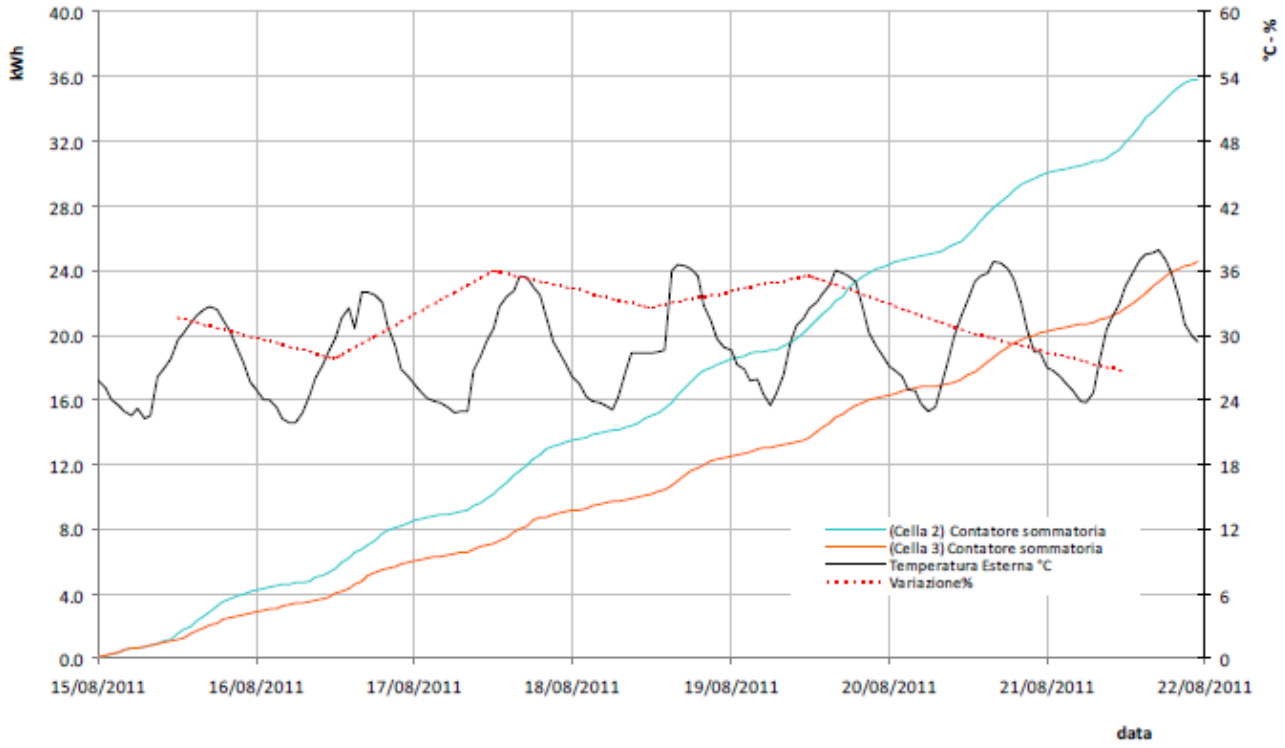
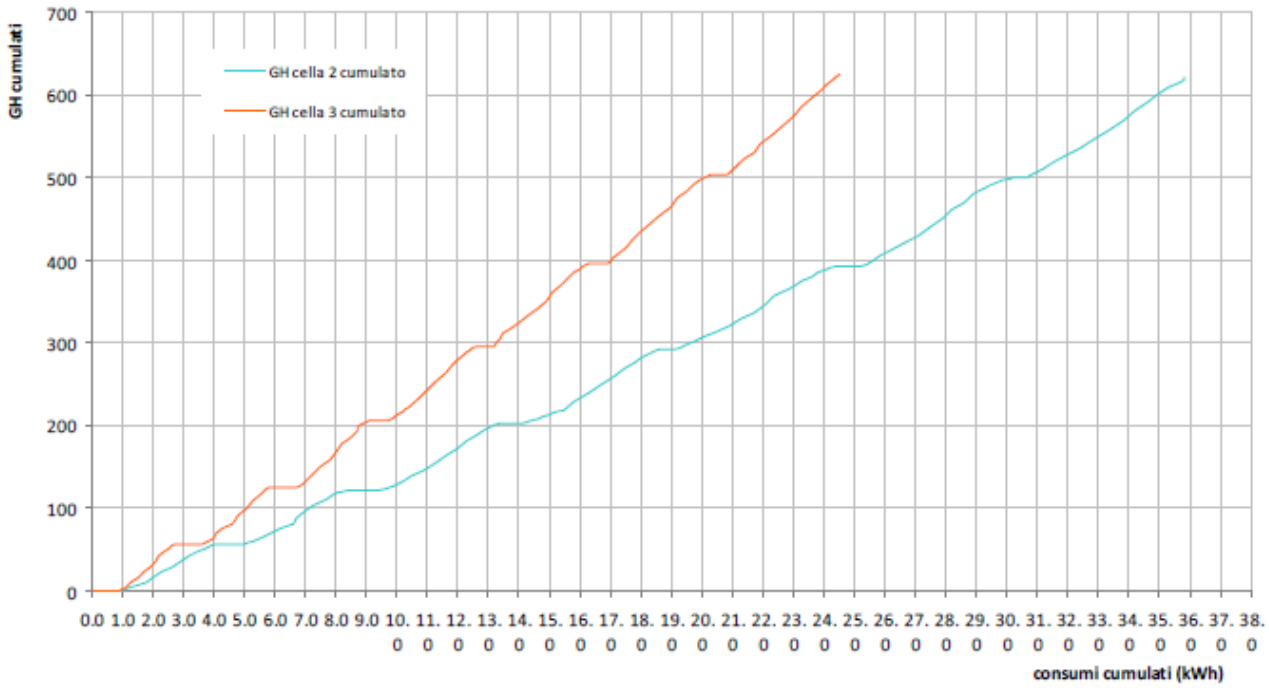


Illustration 39 Consommation énergétique du 15/08/2011 au 21/08/2011

Le graphique suivant confirme qu'à degré par heure cumulés égaux (qui identifient la somme des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur), la consommation de la cellule de référence est notablement supérieure. Les mêmes degrés par heure indiquent que les cellules fonctionnent avec le même niveau de thermostatation et en conséquence les différences des consommations dérivent du différent degré de dispersion et d'accumulation thermique



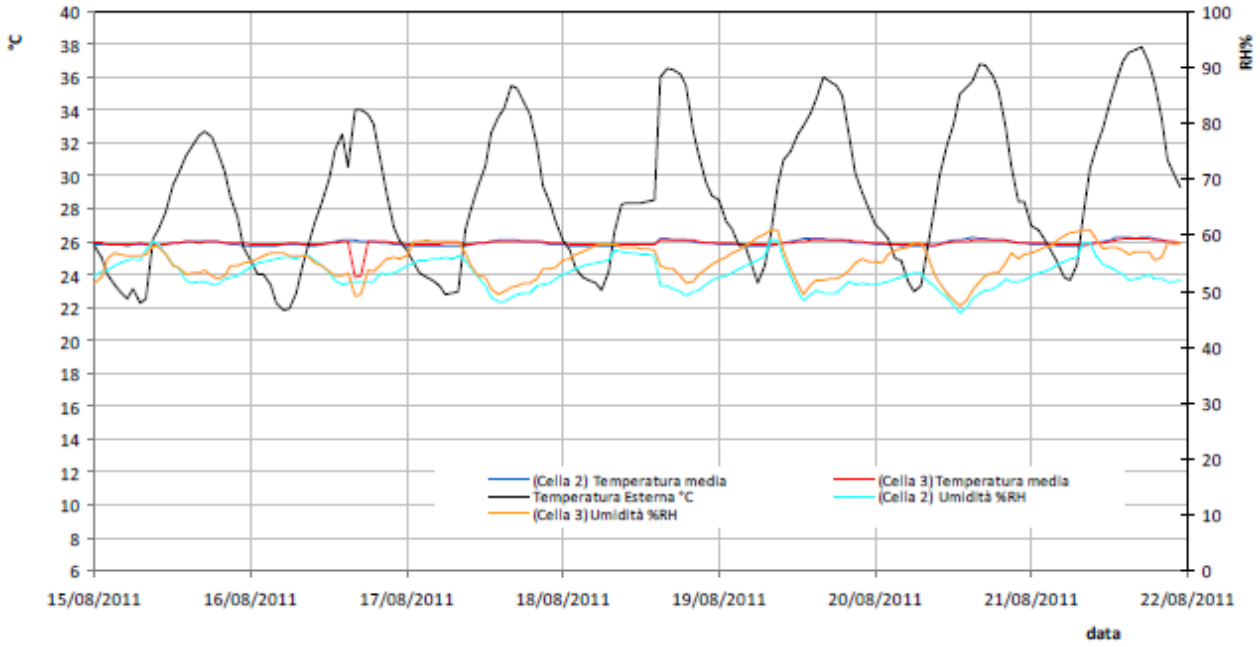
.GH cumulés Consommations cumulées (kWh)

*GH cellule 2 cumulés

**GH cellule 3 cumulés

Illustration 40. Consommation cumulée du 15/08/2011 au 21/08/2011

La température moyenne des cellules relatives comme prévisible sont identiques. L'humidité relative en revanche, pour des températures externes moyennes autour des 27°C, est similaire ; pour des valeurs supérieures la cellule 3 montre une aggravation autour des 5 %.



*(Cellule 2) Température moyenne

**Température externe °C

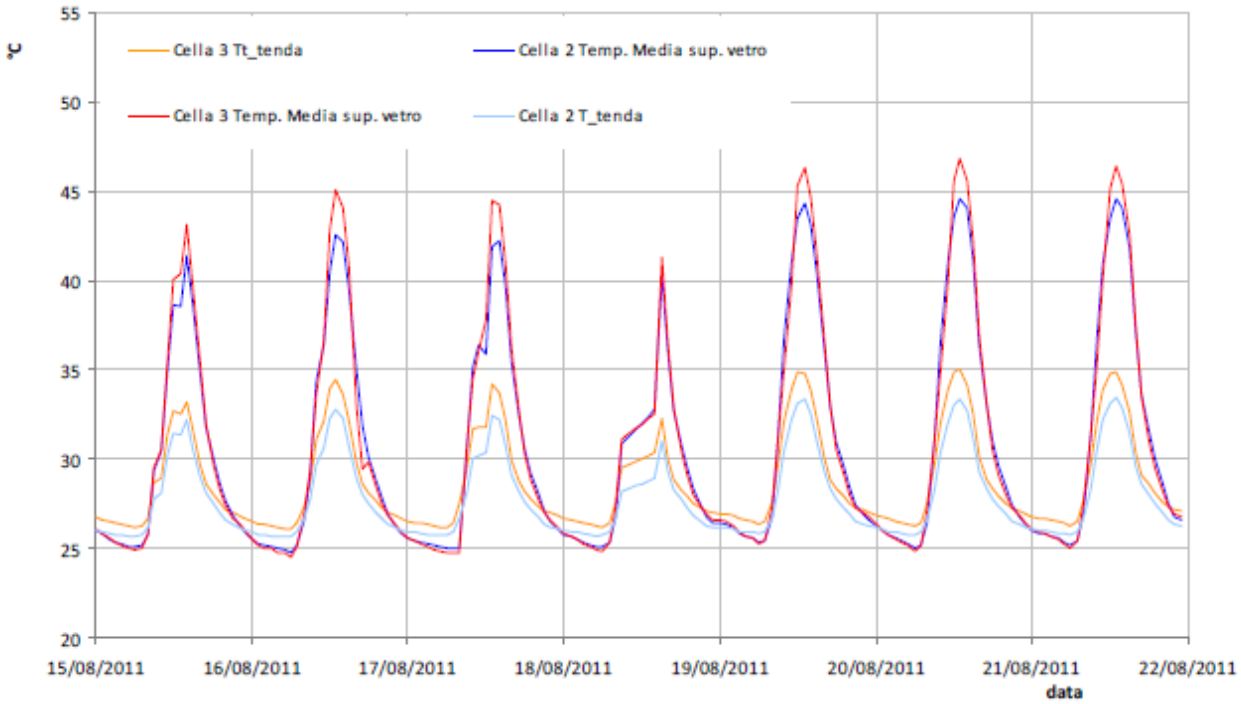
***(Cellule 3) Humidité %RH

****(Cellule 3) Température moyenne

***** (Cellule 2) Humidité %RH

Illustration 41 Températures moyenne et humidité relative du 15/08/2011 au 21/08/2011

En observant le graphique suivant, une donnée significative émerge, qui trouvera successivement une réponse : les températures d'exercice de la Cellule 3 résultent être légèrement plus élevées que le bâti de la Cellue 2.



*Cellule 3 Tt_tente

**Cellule 3 Temp. Moyenne sup. Verre

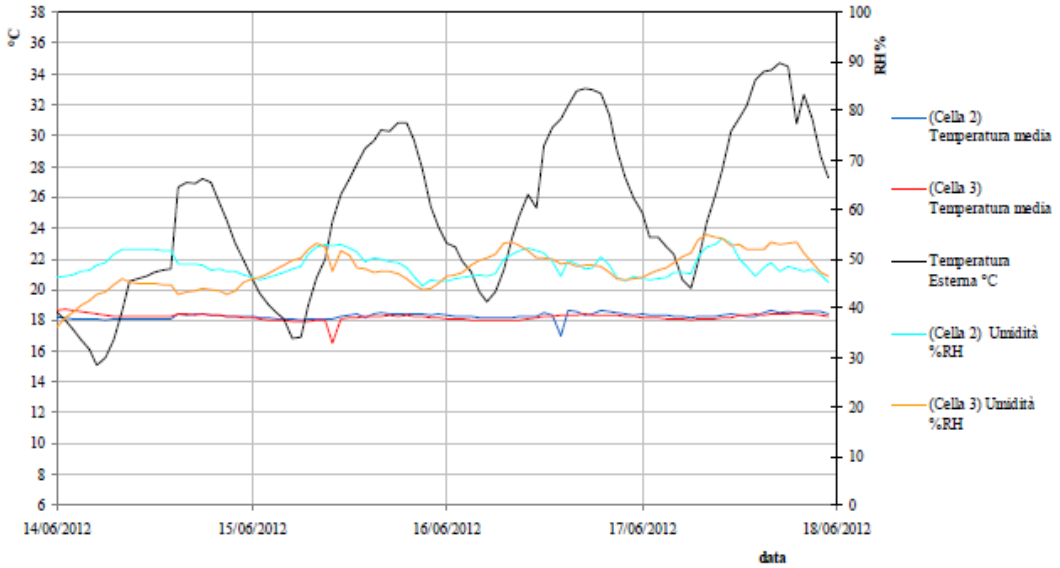
***Cellule 2 Temp. Moyenne sup. Verre

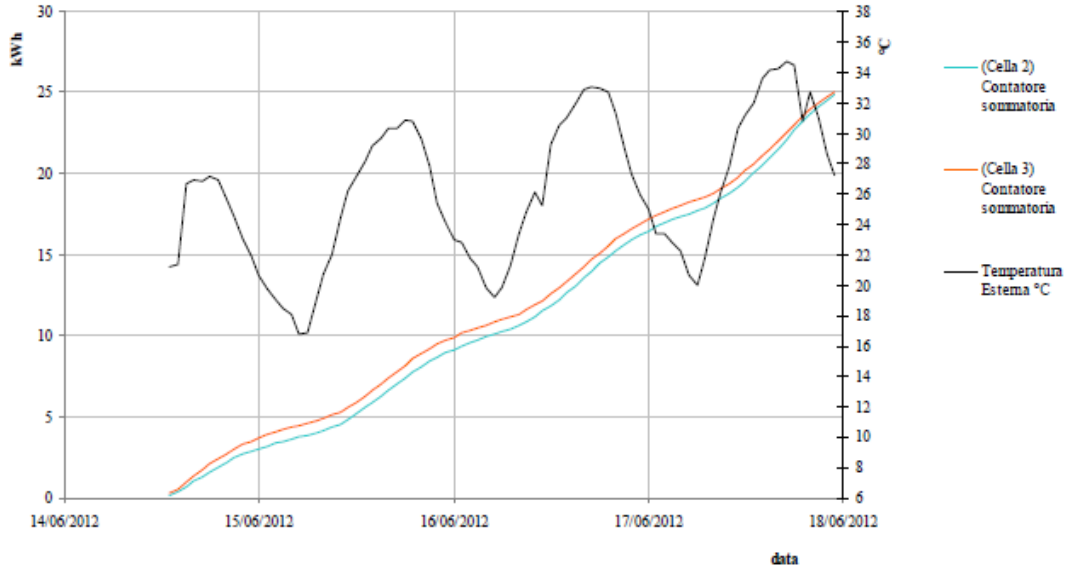
****Cellule 2T_tente

Illustration 42, Températures moyennes et humidité relative du 15/08/2011 au 21/08/2011

5,1,2 Vetro Ventilato non actif

La présente configuration hypothèse le VetroVentilato inactif. La cellule avec le système Vetro Ventilato inactif devrait théoriquement fournir les mêmes prestations que la cellule de référence. A la suite, sont confrontés non seulement les consommations énergétiques mais aussi les températures d'exercice et d'humidité relative.





(Cellule 2) Température moyenne

**(Cellule 3) Température moyenne

***Température extérieure °C

****(Cellule 2) Humidité %RH

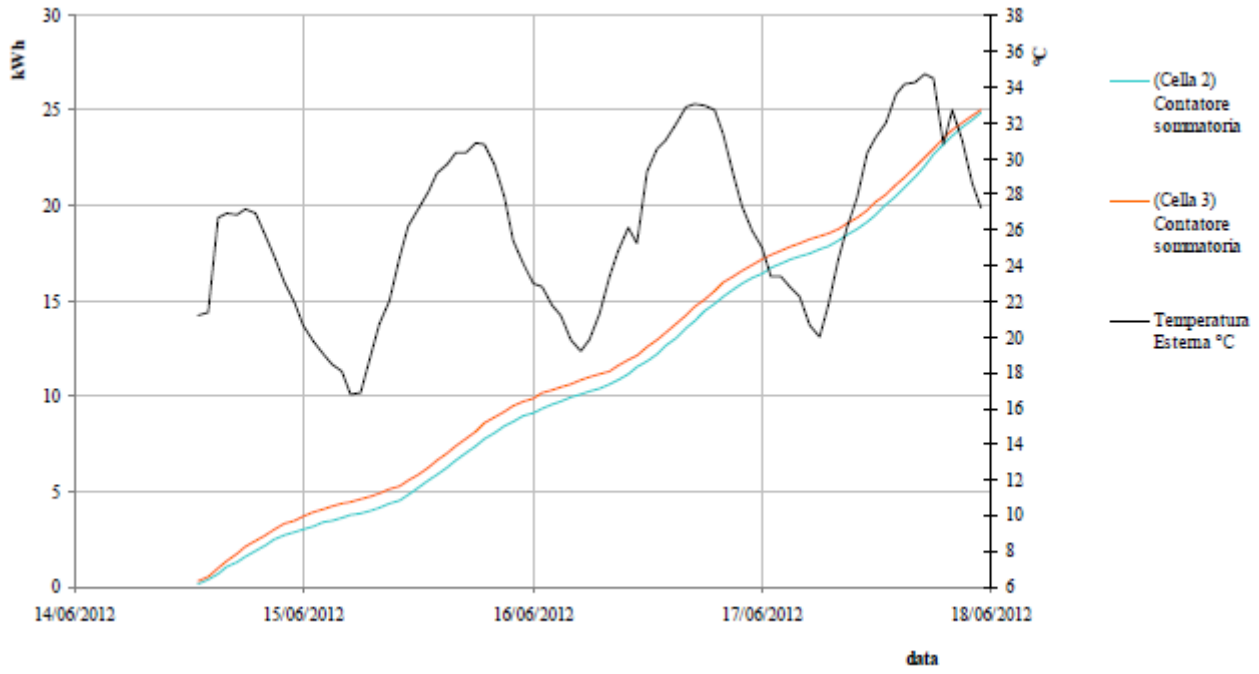
*****(Cellule 3) Humidité%RH

*(Cellule 2) Compteur : somme

**(Cellule 3) Compteur : somme

***Température extérieure

Illustration 43. Evolution des consommations énergétiques



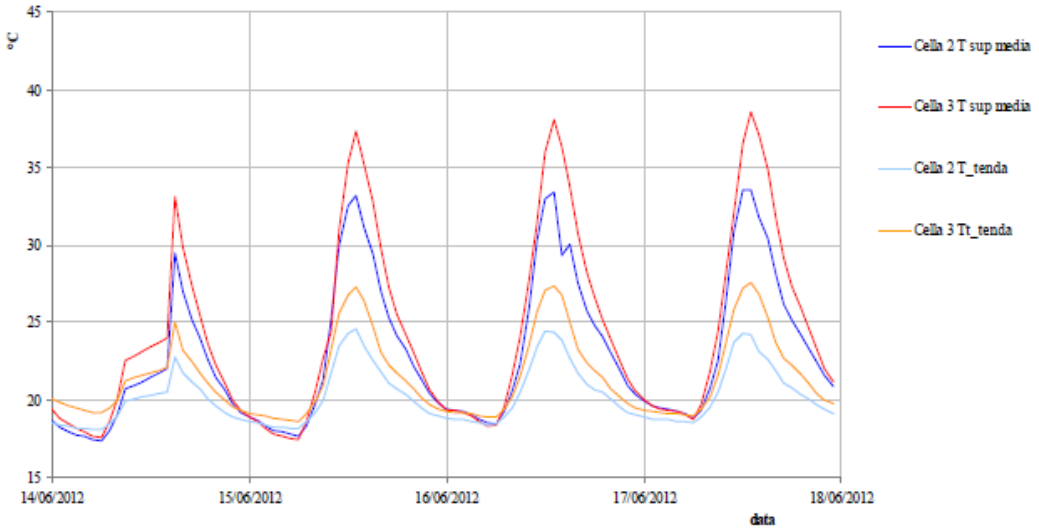
GH cumulés

Consommations cumulées (kWh)

*GH Cellule 2 cumulé

**GH Cellule 3 cumulé

Illustration 44 Evolution des consommations cumulées par rapport aux degrés par heure



*Cellule 2 T sup. Moyenne

**Cellule 3 T sup. Moyenne

***Cellule 2 T_tente

****Cellule 3 Tt_tente

Illustration 45. Evolution des températures superficielles des systèmes vitrés en été

L’évolution des températures superficielles des vitres, respectivement dans la Cellule 2 et la Cellule 3, résultent être similaires mais avec des valeurs différentes. On note que les températures relatives à la Cellule 3 sont toujours plus élevées par rapport à celles mesurées dans le bâti de référence jusqu'à environ 5°C pendant les heures d'insolation maximale. Analogiquement, on vérifie pour les températures superficielles des tentes internes respectives. Le présent comportement trouve une justification dans le positionnement des tentes internes. Dans le bâti de référence, la tente est postée à 10 cm de la vitre intérieure, alors que dans le bâti dynamique, la tente, intégrée au châssis est posté seulement à 2,5 cm. Une distance réduite de la tente (Cellule 3) cause un réhaussment de la température autour de la tente même et donc se vérifient les évolutions visibles dans l'illustration. Évidemment les régimes de température plus élevés réduisent le flux de chaleur passant par le bâti dynamique.

5,2 Températures superficielles : Vetro Ventilato actif

L'analyse suivante s'arrête sur l'étude des évolutions des températures superficielles en correspondance des trois points des systèmes vitrés analysés :

_tente intérieure ;

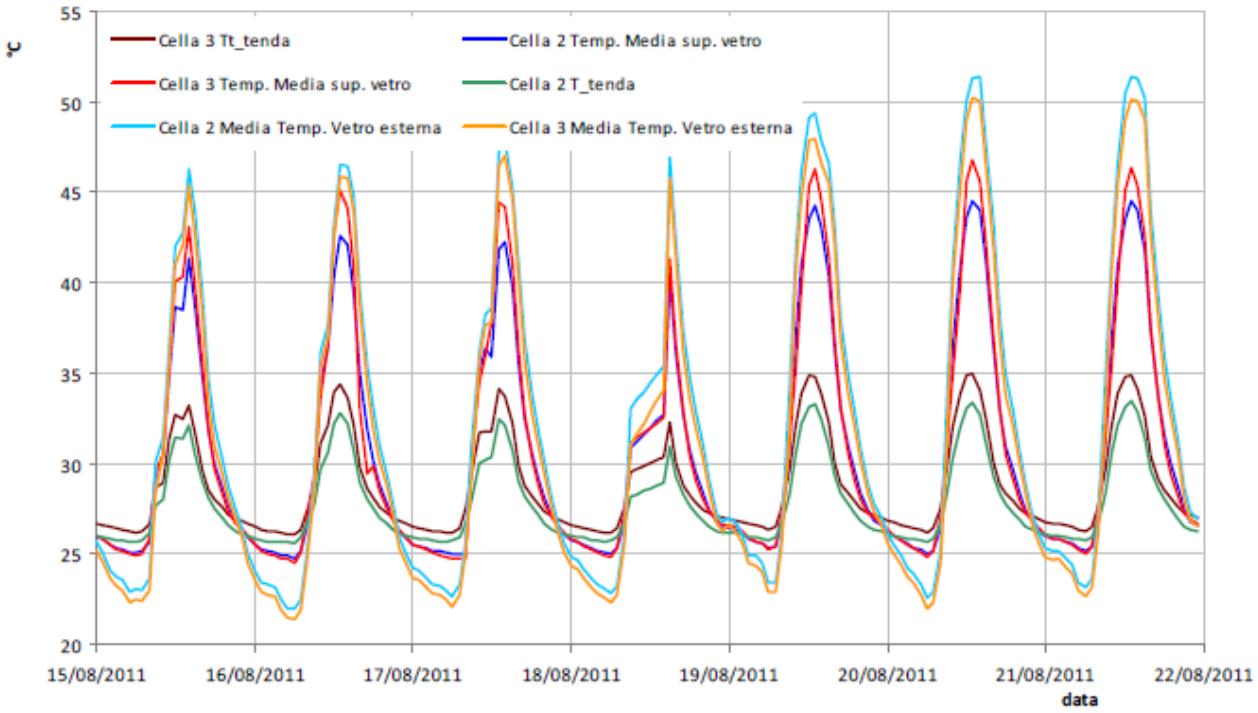
_superficie chambre vitrée interne ;

_superficie chambre vitrée externe ;

Il faut dire tout d'abord que la tente interne du bâti dynamique est positionnée à 25mm de la vitre interne et donc se crée une chambre d'air ventilée avec une épaisseur réduite entre la tente et la chambre d'air traditionnelle. Une telle configuration permet à la chambre d'air de maintenir la chaleur à son intérieur et de «surchauffer», évitant ainsi que la chaleur se disperse dans l'environnement intérieur. En effet, en observant le graphique suivant, les températures superficielles respectent ce qui a été dit.

En cohérence avec les températures superficielles des tentes, même pour la vitre interne s'enregistrent des températures superficielles dans le bâti dynamique, dues à *l'effet de serre* de la chambre ventilée. Contrairement à ce que l'on peut penser, un tel fonctionnement résulte être un bénéfice en terme d'efficacité du système, comme il est possible de voir dans le paragraphe sur les consommations énergétiques.

Sur la superficie externe, en revanche l'évolution des températures est inversé, ça veut dire que les températures superficielles du bâti traditionnel sont plus élevées. Dans ce cas la motivation réside dans le fait qu'un tel bâti a des variations du comportement thermique moins soudaines que celui qui est dynamique (dû principalement aux caractéristiques dynamiques de ce dernier).



*Cellule 3 Tt_tente

**Cellule 3 Temp. Moyenne sup. vitre

***Cellule 2 Temp. Moyenne Vitre externe

****Cellule 2 Temp. Moyenne sup. vitre

*****Cellule 2 Temp. Moyenne sup. Vitre

******Cellule 3 Temp. Moyenne Vitre externe

Illustration 46. Evolution des températures superficielles des systèmes vitrés en été

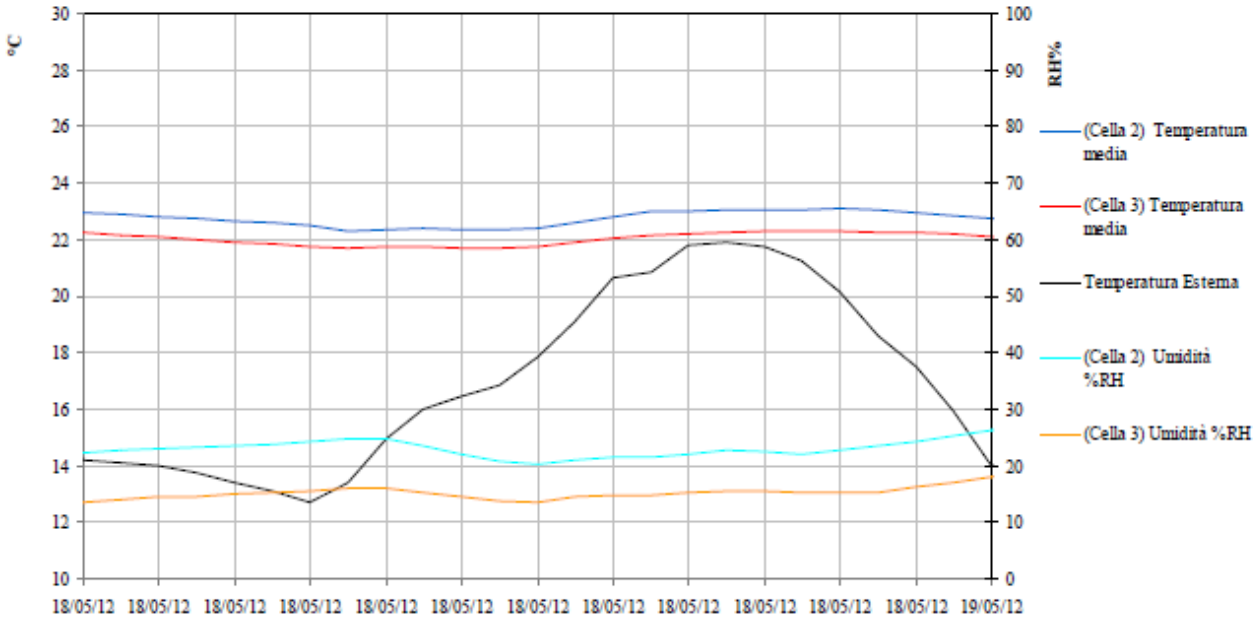
5,3 Confort thermo hygrométrique

5,3,1 Vetro Ventilato actif

Les graphiques décrits ne représentent pas la totalité des monitorages exécutés, mais ne sont pas non plus des explications d'exemples, en reportant les mesures relevés dans les jours les plus représentatifs et significatifs qui décrivent au mieux les informations nécessaires à l'évaluation des prestations des composants de l'emballage transparent dynamique.

Comme vu précédemment la ventilation mécanique active dans l'interstice détermine de meilleures prestations énergétiques et une économie d'énergie considérable. En absence de climatisation, on vérifie maintenant des cellules respectives en termes de température d'équilibre de l'air interne et l'humidité relative.

On considère le mois de mai, période dans laquelle les apports gratuits résultent être déterminants pour obtenir de meilleures conditions de confort et des discriminations entre la sensation de froid ou de chaud par les occupants. En l'espèce la température d'équilibre de la Cellule 3 résulte être inférieure de 1°C à celle enregistrée dans la cellule de référence. Analogiquement pour l'humidité relative on mesure des valeurs plus basses d'environ 10 % dans la cellule 3.



*(Cellule 2) Température moyenne

** (Cellule 3) Température moyenne

***Température externe

**** (Cellule 2) Humidité %RH

***** (Cellule 3) Humidité %RH

Illustration 47. Evolution des températures et humidité avec le système ventilé actif – confort estival

Dans le graphique suivant sont reportés les évolutions horaires des paramètres :

_irradiation solaire ;

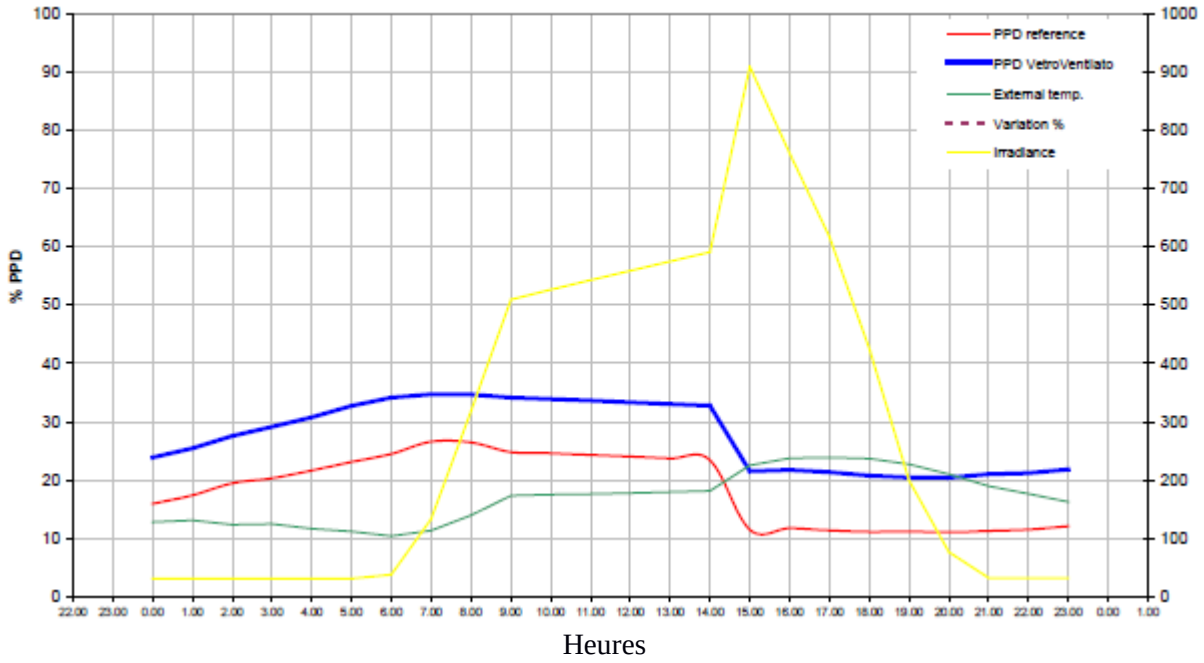
_température extérieure ;

_indice de personnes insatisfaites de la cellule sur laquelle est monté le système Vetroventilato ;

_indice de personnes insatisfaites de la cellule de référence ;

_variation en pourcentage entre les PPD des cellules comparées ;

En considérant une semaine type, les données de PPD (Illustration 48) sont meilleurs dans la cellule de référence compte tenu que le PMV (Illustration 49) indique une sensation de bien-être «neutre» pour la même cellule. S'agissant d'une période durant laquelle la température maximale rejoint environ 22°C, la Cellule 3 maintient des températures plus basses en s'attestant sur des valeurs de confort correspondant à «assez froid». Il va de soi que pour les températures externes encore plus élevées (en été), la Cellule 3 maintiendrait des valeurs plus basses que la Cellule 2.



PPD référence

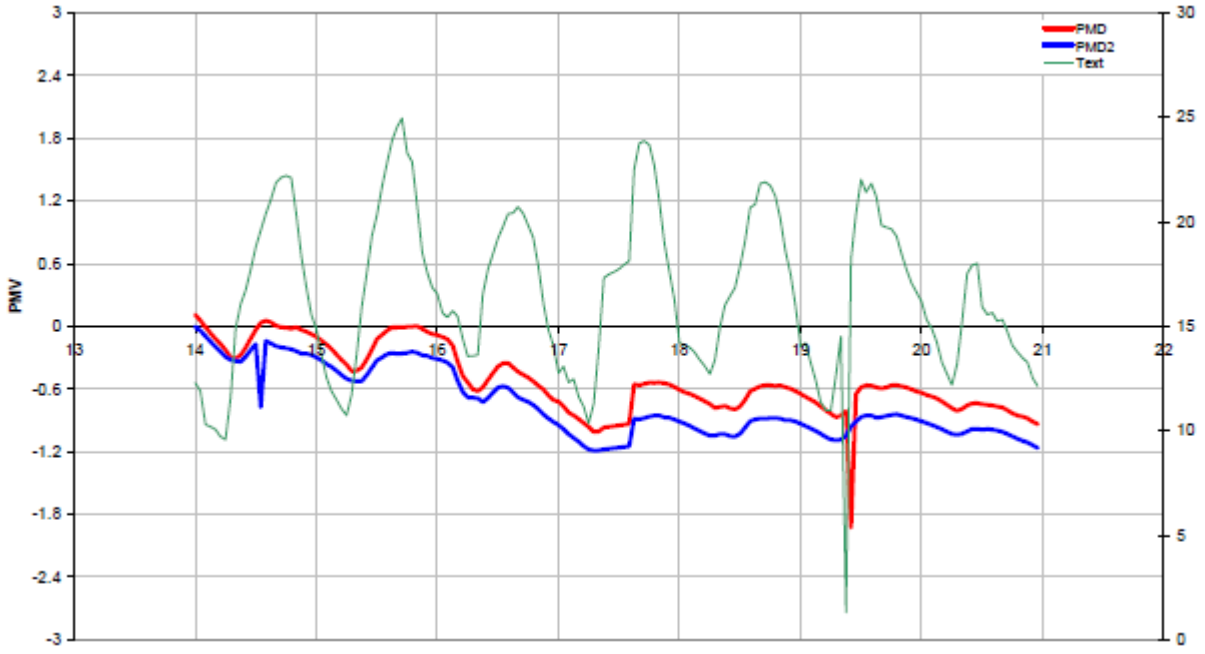
PPD VetroVentilato

***Température extérieure

****Variation %

*****Irradiation

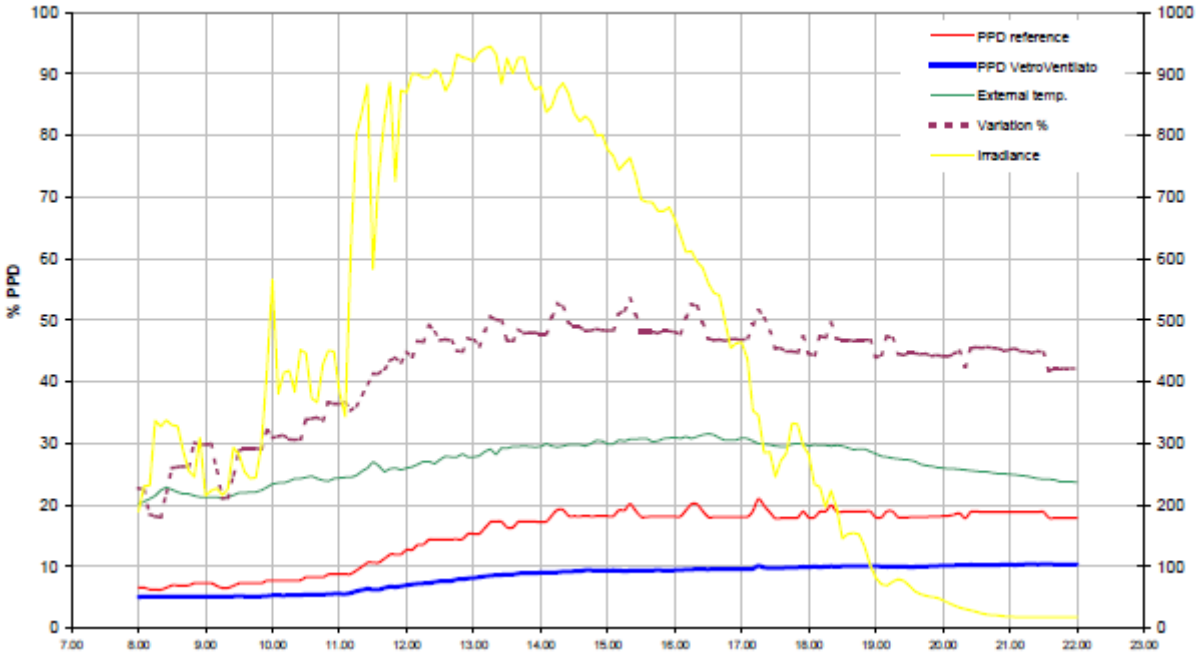
Illustration 48. Evolution du PPD en été – comportement A



Heures

Illustration 49. Evolution du PMV en été – comportement A²

Dans une semaine estivale on observe ce qui a été décrit ci-dessus. Le PPD (Illustration 50 et Illustration 51) est meilleure dans la Cellule 7 d'environ 10 % s'attestant sur des valeurs optimales, avec une sensation de bien-être «neutre». Ceci indique que dans une journée ensoleillée avec des températures qui atteignent des valeurs maximales de 30°C il n'est pas nécessaire d'allumer la climatisation, alors que dans la Cellule 2, en revanche, il est nécessaire d'allumer le climatiseur pour garantir les conditions de bien-être.



*PPD référence

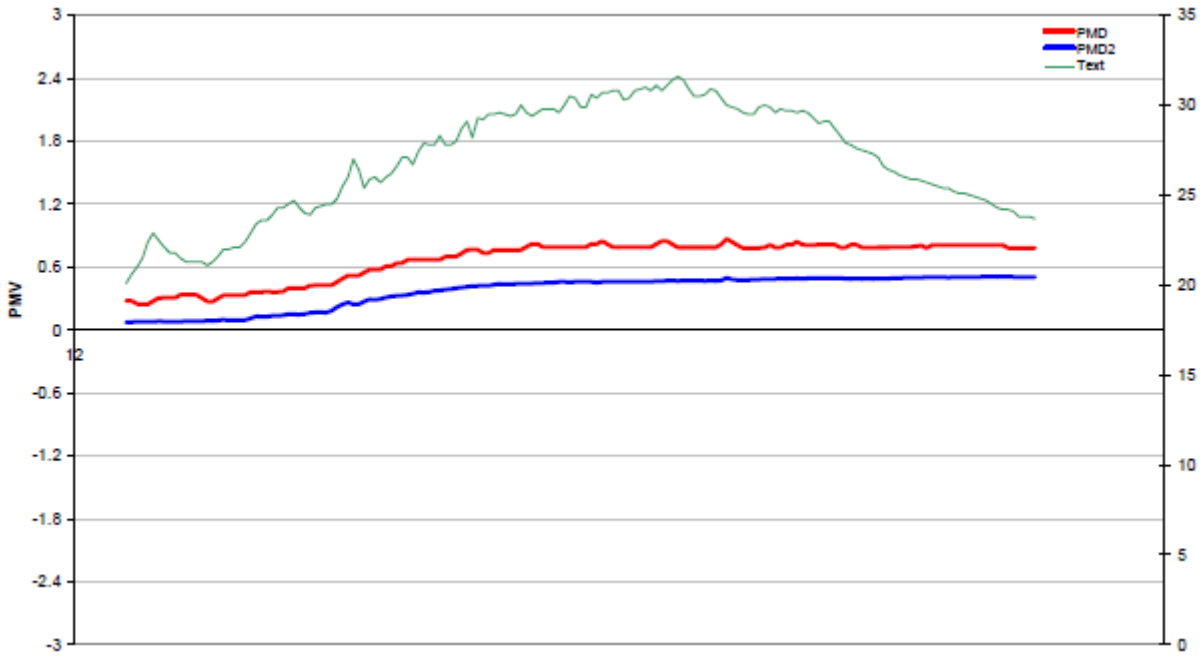
**PPD VetroVentilato

***Température extérieure

****Variation %

*****Irradiation

Illustration 50 Evolution du PPD en été – comportement B

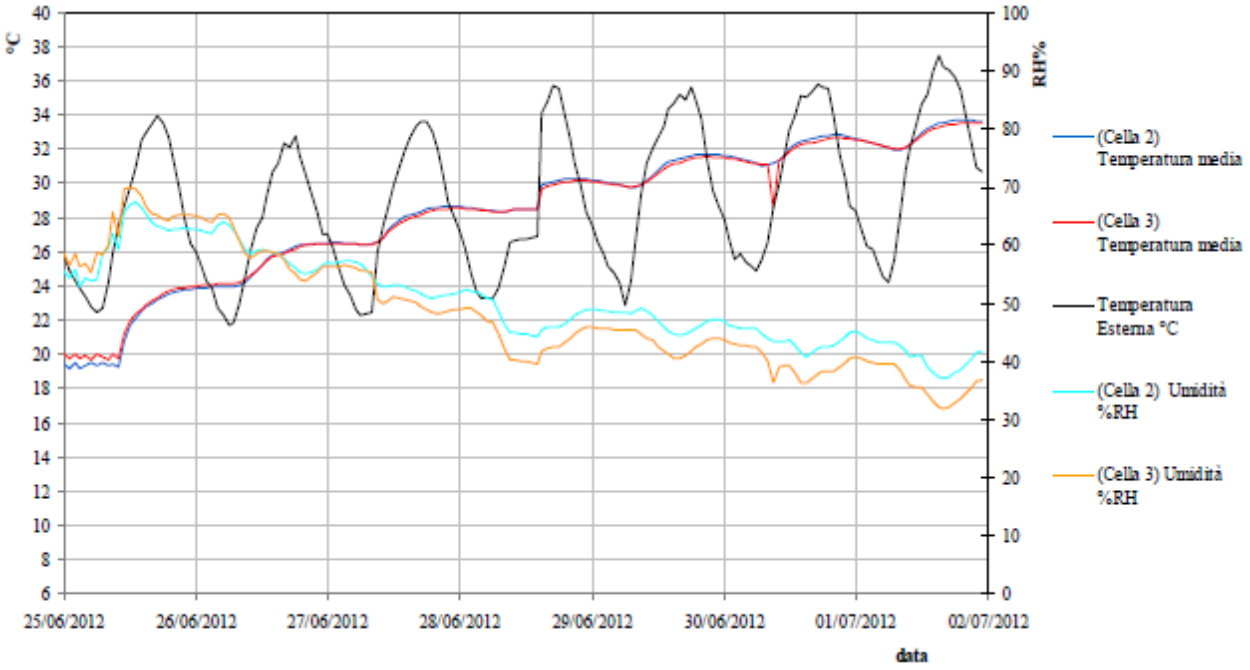


Heure

Illustration 51. Evolution du PMV en été – comportement B

5,3,2 Vetro Ventilato non actif

On considère pour le présent paragraphe une configuration similaire à celle précédente (installation de climatisation éteinte), mais avec le Vetro Ventilato éteint. En vertu de ces manœuvres on hypothèse une évolution du confort très similaire, analogiquement pour ce qui a été possible de vérifier avec les consommations énergétiques. En fait même si les températures moyennes des cellules sont presque identiques (Illustration 52), les humidités relatives s'écartent de 5 % de UR, et les valeurs les plus basses sont associées à la Cellule 3, avec le Vetro Ventilato. Une telle différence entraîne une variation sensible du confort.



*(Cellule 2) Température moyenne

**(Cellule 3) Température moyenne

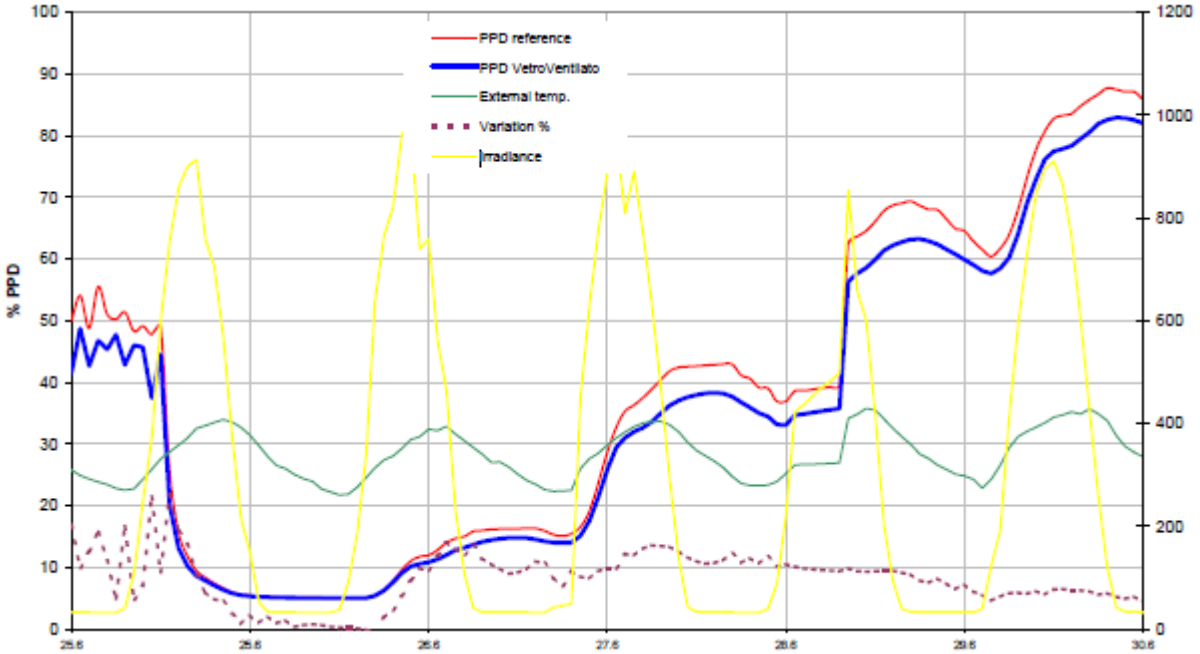
***Température extérieure

****(Cellule 2) Humidité %RH

*****(Cellule 3) Humidité %RH

Illustration 52, Evolution des températures et de l'humidité avec système ventilé éteint – confort estival

Dans l'illustration 53 on note l'indice PPD des deux cellules. Confirmant ce qui a été dit plus tôt, l'humidité relative plus basse en C3 est directement proportionnelle au PPD. Donc pour les valeurs les plus bas de personnes insatisfaites, on rejoint de meilleures valeurs de confort d'environ 5-8 %.



Heures

*PPD référence

**PPD VetroVentilato

***Température extérieure

****Variation %

*****Irradiation

Illustration 53. Evolution du PPV avec système ventilé éteint

En considérant donc les différences des résultats obtenus avec la même configuration pour les deux cellules, on démontre encore une fois ce qui est arrivé par rapport aux températures superficielles mesurées en conditions de fonctionnement de la climatisation avec le Vetro Ventilato éteint. La différente distance de la tente par rapport à la vitre interne induit de tels écarts.

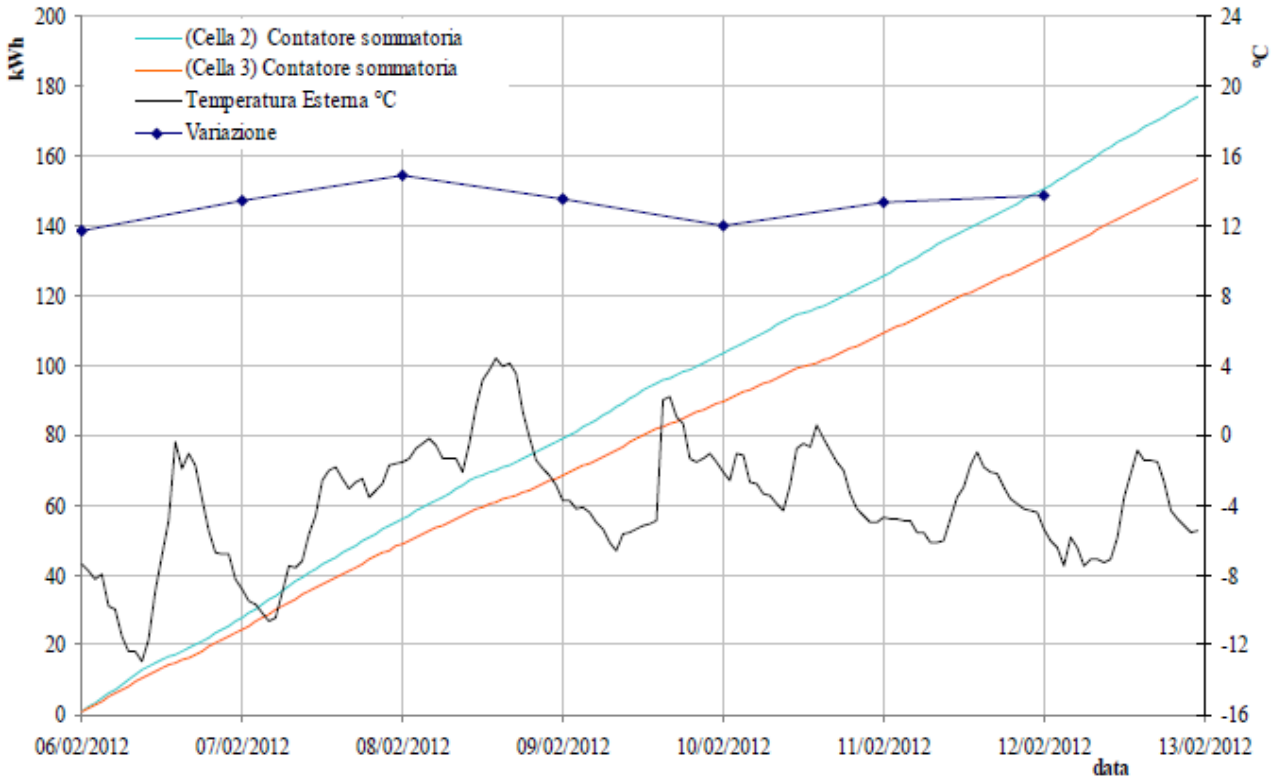
6 EXPERIENCE HIVERNALE

6,1 Consommations énergétiques

6,1,1 Vetro Ventilato actif

La comparaison entre les consommations hivernales montre un meilleur comportement de la cellule témoin avec une réduction de la consommation électrique en moyenne autour de 13 %.

Pour les températures supérieures à 0°C, on enregistre de légères améliorations dues à l'efficacité du système dynamique et de toute manière avec l'augmentation de la température l'économie augmente



*(Cellule 2) Compteur : somme

**(Cellule 3) Compteur : somme

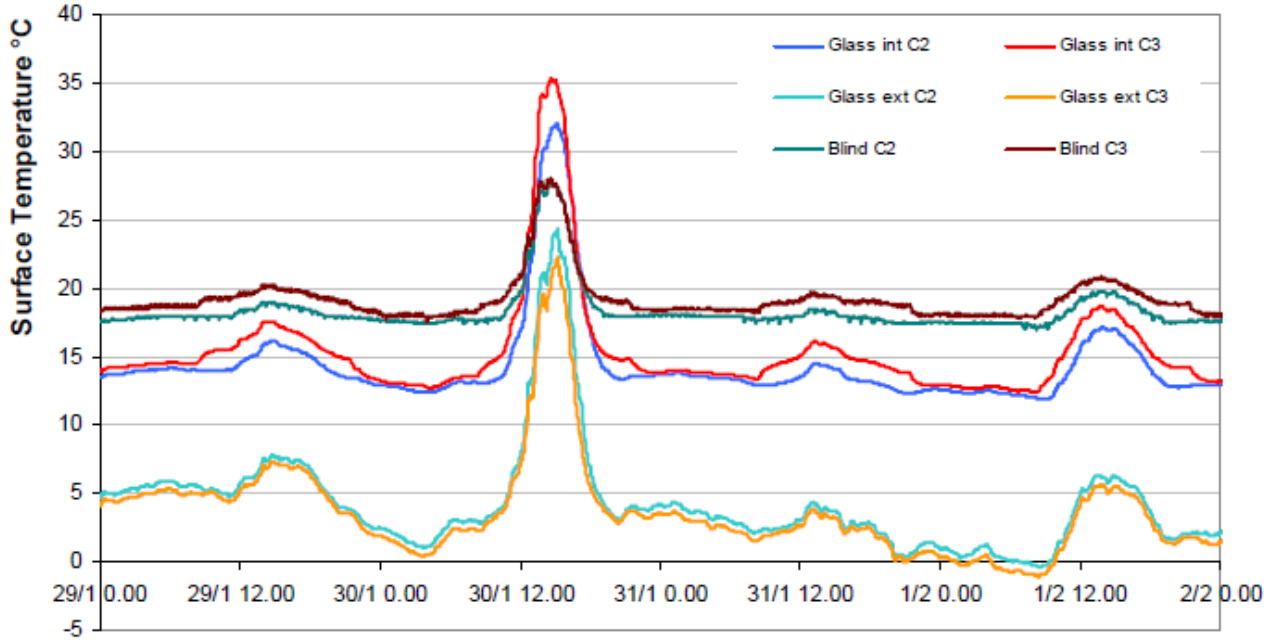
***Température extérieure °C

****Variation

Illustration 54. Consommation énergétique du 06/02/2012 au 12/02/2011

Le comportement énergétique différent des cellules sera illustré plus clairement dans l'Illustration 59

6,2 Températures superficielles : Vetro Ventilato actif



Températures superficielles °C Jours

*Vitre interne C2

****Vitre interne C3

**Vitre exérieure C2 *****Vitre extérieure C3

***Tente C2

******Tente C3

Illustration 55. Evolution des températures superficielles des systèmes vitrés en hiver

On observe l'évolution des températures superficielles en correspondance à trois points : tente, chambre vitrée interne et externe. Il se trouve en outre qu'il faisait beau que le 30 janvier, alors que les autres jours étaient nuageux. En partant du point externe, les températures superficielles de la chambre vitrée des deux cellules («Vitre extérieure C2» et «Vitre extérieure C3») sont similaires.

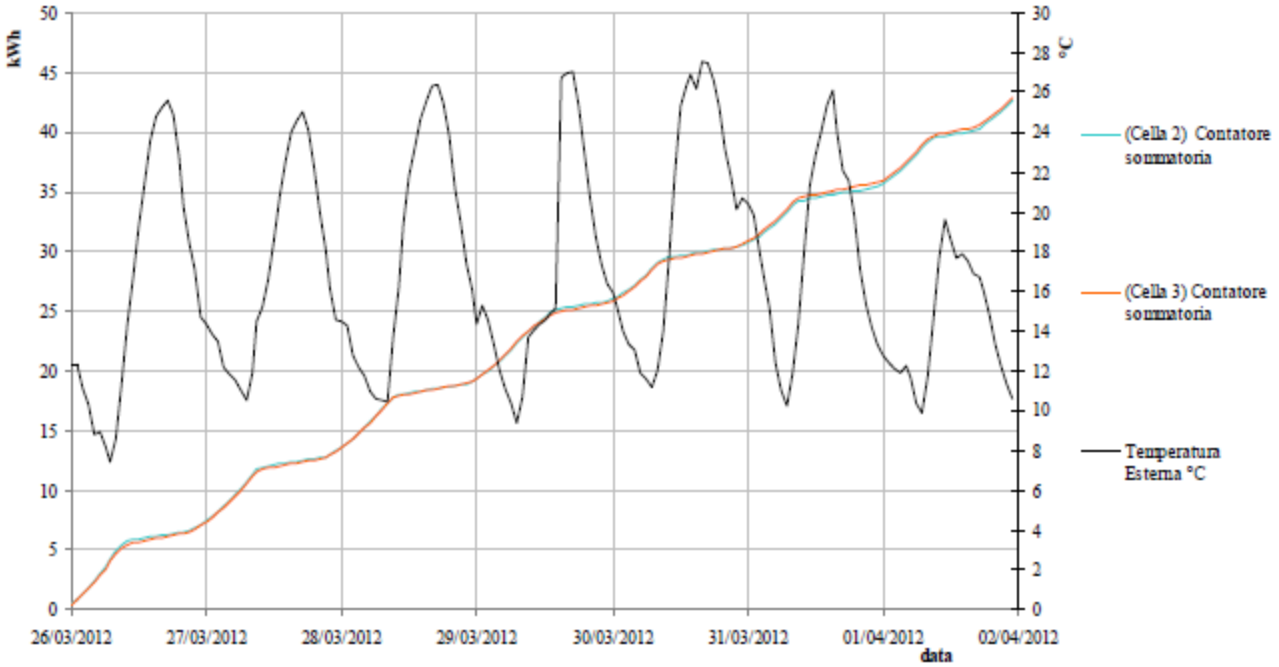
les températures de la vitre de référence sont un peu plus élevées car elle disperse davantage et donc ressent le flux de chaleur sortant plus important. Les températures superficielles internes («Vitre intérieure C2» et «Vitre intérieure C3») en revanche présentent déjà quelques différences. La courbe rouge montre une évolution des températures en moyennes supérieures à la courbe bleue caractérisé par le comportement de la vitre ventilée en régime dynamique. Vu que le flux d'air à 20°C passe par la surface vitrée, on indique en d'autres termes de maintenir à une température plus élevée la chambre d'air et d'éviter qu'une certaine quantité de chaleur ne soit pas dispersée à travers le bâti mais dirigée vers l'extracteur. Pendant les heures nocturnes, en outre on note un aplatissement des différences entre les températures superficielles des cellules vu que le rotor de ventilation est éteint en assumant de cette façon un comportement similaire au bâti traditionnel.

Dans le point le plus interne de la section du système de référence, c'est à dire la tente, la température superficielle est constamment plus basse (courbe «Tente C2») par rapport à la cellule témoin (courbe «Tente C3»), à part pendant les heures d'insolation majeure, où les différences s'annulent. L'explication réside dans le fonctionnement décrit par la superficie de la chambre d'air interne. La température de la tente de la vitre

ventilée s'approche de beaucoup aux températures internes du point défini, consentant de maintenir les niveaux de confort élevés en proximité de la fenêtre.

6,2,1 Vetro Ventilato non actif

Analogiquement à ce qui a émergé dans la même configuration pendant la période estivale, on observe l'évolution des consommations hivernales et des températures superficielles (Illustration 56 et Illustration 57).



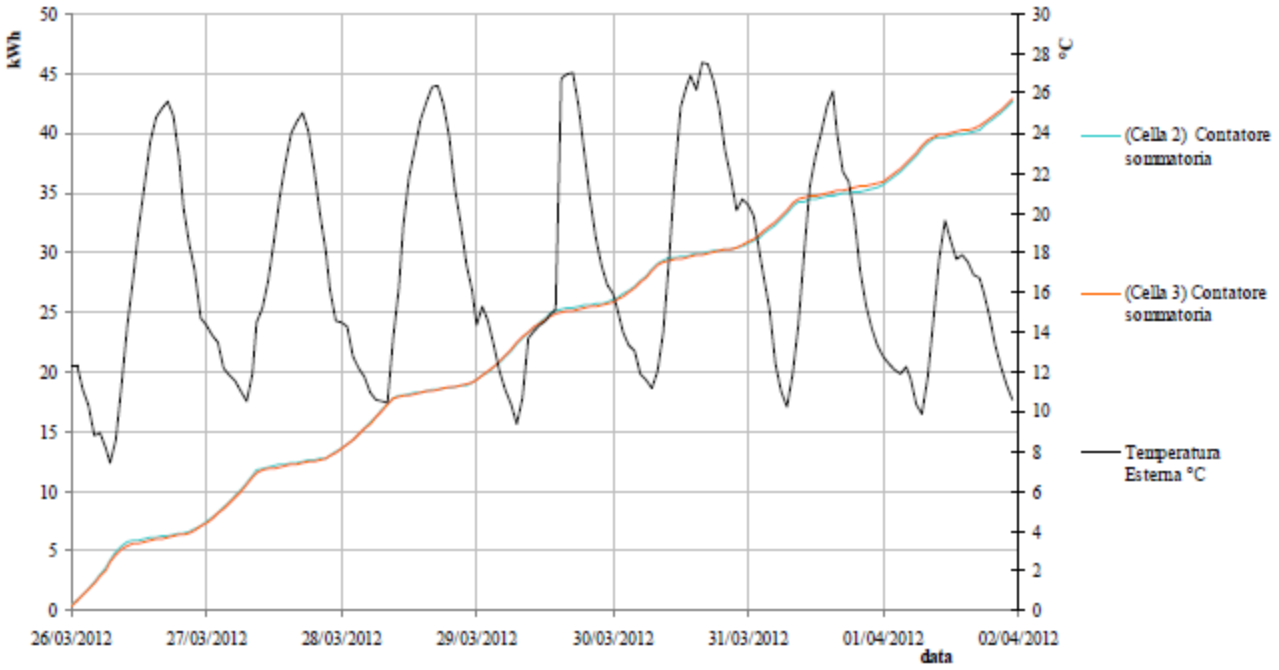
*(Cellule 2) Compteur : somme

**(Cellule 3) Compteur : somme

***Température extérieure °C

Illustration 56. Comparaison des consommations énergétiques en hivers avec la ventilation éteinte

Les consommations, comme pour l'Illustration 43 résultent être identiques donc même pour la période hivernale on peut confirmer que les deux cellules présentent le même comportement énergétique.



*Cellule 2 Temp. Moyenne sup. Vitre

**Cellule 3 Temp. Moyenne sup. Vitre

***Cellule 2 Moyenne Temp. Vitre externe

****Cellule 3 Moyenne Temp. Vitre externe

*****Cellule 2 T_tente

******Cellule 3 Tt_tente

Illustration 57. Evolution des températures superficielles des systèmes vitrés en hiver avec ventilation éteinte

Parallèlement, les évolutions des températures superficielles présentent les mêmes différences dans le cas estival et trouvent une justification même dans ce cas dans la position différente de la tente dans les deux cellules.

6,3 Empreinte énergétique

Pour pouvoir déterminer l'Empreinte Énergétique d'un édifice, il est nécessaire de recueillir une série de données représentatives dans une période la plus longue possible relativement aux consommations énergétiques.

La période de relevé de données choisi est journaliere. Même si dans la majorité des cas on considère une cadence hebdomadaire, dans l'expérience présente il y a deux cellules de petites dimensions dont les charges énergétiques sont constantes et présentent un comportement d'inertie de dimensions réduites. En exigeant en outre une précision élevée des résultats, les lectures quotidiennes ou horaires consentent de mesurer des anomalies ou des différences parfois imperceptibles. L'appareillage électronique avec transmission des données à une centrale permet de telles exigences.

L'Empreinte Énergétique, outre ses propres finalités reconnues d'instrument de pré-diagnostic énergétique et de sensibilisation de l'usager final, dans la présente recherche, elle est employée à partir des output des consommations énergétiques pour remonter on données de input du projet, par exemple la transmission thermique.

Le calcul de la transmission thermique d'un bâti en condition d'exercice résulte être très compliqué. Aujourd'hui il existe des instruments de calcul qui, en accord avec la norme ISO 15099, consentent d'étudier l'évolution de la transmission thermique et du facteur solaire en présence d'une ventilation forcée à l'intérieur d'un interstice du bâti et d'en évaluer la dépendance de la portée d'air. Dans la conduite de campagnes expérimentales on peut monitorer les consommations et vérifier de meilleures prestations énergétiques d'un bâti dynamique par rapport à un bâti traditionnel, mais on peut difficilement mesurer directement les transmissions thermiques respectives. On rappelle en outre que la transmission thermique est un indicateur de laboratoire, ce qui veut dire que les mesures conduites pour la détermination de telle valeur sont effectuées en absence d'irradiation. Dans le cas spécifique, la présence d'irradiation dans l'expérience est une condition dont il faut absolument tenir compte et par conséquence, la mesure indirecte de la transmission thermique tiendra compte de cette erreur en évaluant un indicateur global de dispersion thermique du bâti dynamique. Pour une telle fin, la méthodologie de l'Empreinte Énergétique a été prise en compte, finalisée avec le calcul des dispersions susmentionnées à partir il est possible de calculer indirectement la variation de la transmission thermique d'un élément de dispersion, quel qu'il soit.

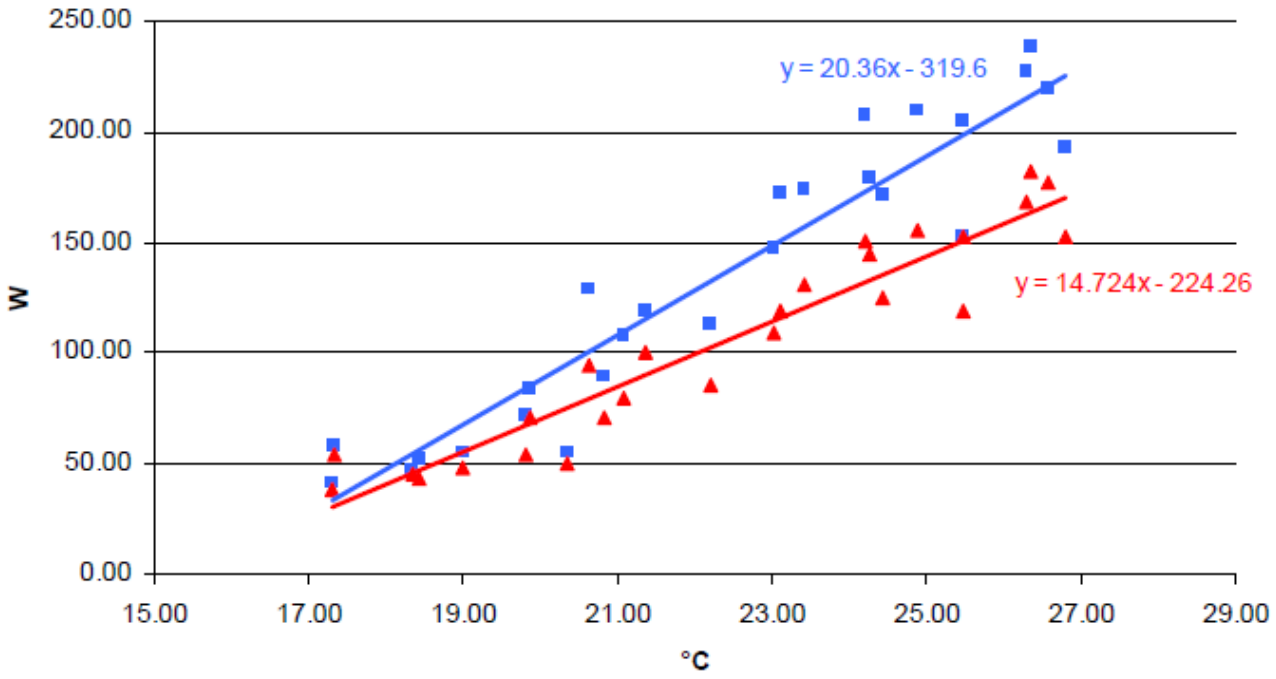


Illustration 58.Empreinte énergétique estivale

L'illustration 58 montre l'évolution de l'Empreinte Énergétique en conditions estival avec le fonctionnement de la climatisation grâce à une pompe de chaleur. Avec l'augmentation de la température estivale, les consommations et la puissance électrique requise augmentent aussi. La pente de la courbe caractéristique, contrairement à celle hivernale, ne représentent pas les dispersions totales de l'emballage qui délimite les espaces rafraîchis. Le coefficient angulaire des deux droites interpolantes sous-entend quelque chose de plus. Elle indique la quantité d'énergie employée pour apporter la chaleur entrante dans les cellules, dû principalement soit aux phénomènes dispersifs, soit aux apports gratuits dus à la présence du soleil. En cohérence avec le graphique de l'Illustration 38, on montre des consommations plus réduites dans la cellule sur laquelle est montée le VetroVentilato par rapport à la cellule de Référence. Un tel comportement réside non seulement dans la capacité de la première à disperser moins, mais aussi dans la capacité d'apporter plus de chaleur grâce à l'extraction de l'air qui effleure l'élément le plus dispersif de la cellule dans son ensemble, c'est à dire le bâti.

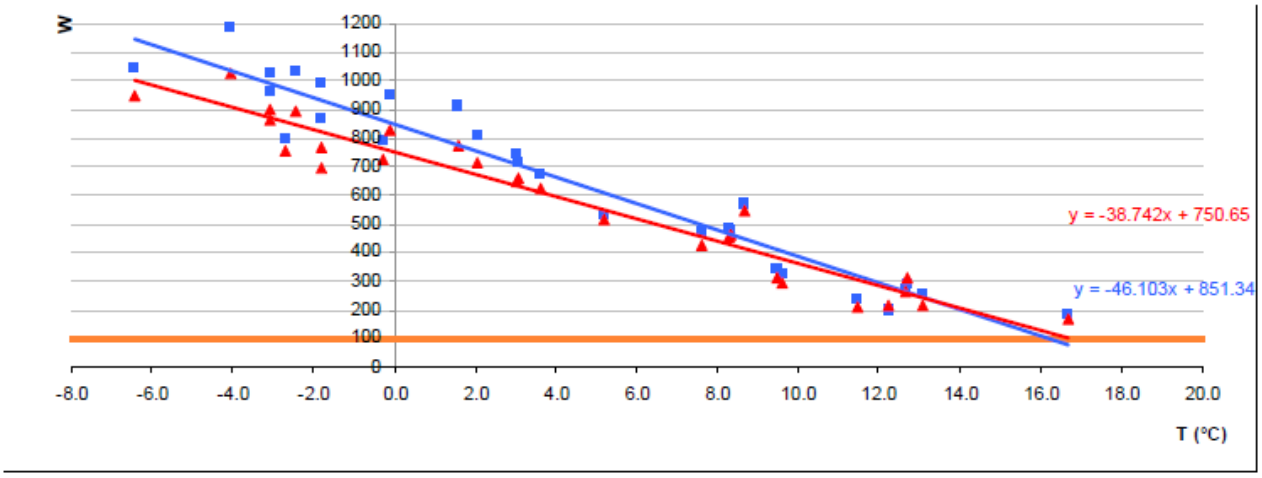


Illustration 59. Empreinte énergétique hivernale

En hiver la pente de l'Empreinte Énergétique montre la quantité de dispersions par transmission et la ventilation de chaque cellule.

A partir du présent graphique il est possible d'en extraire de multiples considérations :

-dimensionnement de la puissance thermique de l'équipement ;

-température extérieure d'extinction de l'équipement ;

-comportement de l'emballage à différentes températures externes ;

-capacité de contention de la chaleur ;

La première considération se déduit de la comparaison de la puissance requise, par exemple la température de projection dans la commune de Milan (-5°C). La cellule de référence requiert une puissance égale à 1100 W contre une puissance requise de la cellule avec composant dynamique égale à 950 W. Une telle réduction amène à installer en phase de dimensionnement à installer dans un édifice type, un générateur de chaleur moins onéreux.

Le second aspect est déterminé par l'intersection des deux droites interpolantes avec la droite orange, qui identifie une consommation moyenne donnée par d'autres appareils électriques autres que l'équipement. L'équipement de la première cellule s'éteint à 16°C alors que la seconde, presque à 17°C. Bien que la cellule avec le bâti témoin consomme moins d'énergie, celui-ci s'éteint à une température extérieure plus importante. Une telle comparaison trouve une explication dans la capacité intrinsèque du bâti dynamique d'extraire la chaleur et de réduire les dispersions, donc dans des périodes de l'année pendant laquelle l'amplitude thermique est plus importante (typiquement les premiers mois du printemps de l'automne) on observe ce phénomène et autour de 16°C il est plus avantageux d'éteindre le vetroventilato.

En introduisant la troisième considération, il pourrait être intéressant de créer une logique de contrôle qui éteigne le rotor de ventilation de la vitre à une température extérieure externe (11°C) permettant au bâti d'acquérir un comportement similaire à la courbe bleue plus efficace pour des températures supérieures (évidemment jusqu'à les conditions de climatisation).

La dernière évaluation est donnée par la comparaison des pentes de la courbe. Elle suggère une réduction notable des dispersions de chaleur qui consentent de maintenir les conditions de confort plus homogènes et meilleures.

6,4 Amélioration de la transmission thermique

Par rapport à ce qui a émergé de l'expérience hivernale, dans laquelle ont été confrontés le bâti Vetro Ventilato, avec fonctionnement actif, et le bâti traditionnel, on déduit un meilleur comportement du premier bâti par rapport au second. Dans la seconde analyse la configuration successive avec le Vetro Ventilato éteint a permis de constater que les différences de consommation s'annulent. Sur la base de ces analyses, il est possible d'imputer le meilleur comportement du Vetro Ventilato à deux caractéristiques de ce dernier. La première est inhérente dans l'exploitation des convections qui effleurent la superficie vitrée ; la seconde se trouve dans la position de la tente, très proche du bâti ventilé. Dans tous les cas ces caractéristiques ont permis au bâti d'obtenir des résultats meilleurs par rapport à un bâti similaire, dont l'amélioration est à rechercher dans la transmission thermique.

Dans ces cas, s'agissant d'une expérience qui s'est passée dans des conditions réelles de fonctionnement, la principale difficulté est d'établir de combien la transmission thermique du bâti se soit réduite, et en second lieu, à quel pourcentage l'amélioration susmentionnée est à imputer à la proximité de la tente.

Par rapport à cela, on a eu recours à la méthode de l'Empreinte Énergétique.

On considère toutes les superficies dispersantes des cellules expérimentales, le transmissions thermiques respectives, les ponts thermiques avec les longueurs respectives et le taux de rechange de la ventilation mécanique. En exécutant de simples calculs on obtient les coefficients de dispersion thermique par transmission et ventilation. La somme de ces deux termes détermine le coefficient de dispersion thermique globale H(tot) qui indique, dans la méthode de l'Empreinte Énergétique, la pente de la droite interpolante.

Le terme H(tot) de projet est égal à 45,2 [W/K]. En confrontant la pente de la droite bleue dans l'Illustration 59, égale à 46,1, correspondant à la cellule avec le bâti de référence. En confrontant les deux valeurs, on observe des différences négligeables.

A partir des droites interpolantes des consommation des cellules respectives, il est possible de noter que la cellule de référence est la plus dispendieuse. En fait, la cellule avec le Vetro Ventilato (courbe rouge) montre une pente mineure et des consommations plus basses. Sa pente mesurée est égale à 38,7. Ceci veut dire que par rapport à la Cellule 2 il y a un coefficient de dispersion plus important de 7,4 [W/K]. En considérant que toutes les superficies, les transmissions thermiques respectives et les ponts thermiques sont invariables entre les cellules, on déduit que la transmission thermique du Vetro Ventilato est la seule variable. Comme dit précédemment, une telle réduction est à rechercher dans la ventilation entre la tente et la vitre et la distance entre ces derniers. En premier lieu, l'efficacité de la tente près du bâti a été quantifiée et elle a été ensuite exclue des avantages thermiques dus à la présence de la ventilation dans l'interstice. Grâce aux différences enregistrées entre le bâti de référence et le Vetro Ventilato, à partir de ce dernier, respectivement dans les deux configurations différentes, (ventilation active et non active), il a été possible de quantifier la contribution de la tente postée à proximité du Vetro Ventilato par rapport à la tente de la vitre de référence, postée à une certaine distance. L'amélioration a été estimée à environ 38 %. Le pourcentage d'amélioration exclu, en second lieu il a été ensuite possible de déterminer la réduction de la transmission thermique pour la seule composante de la ventilation. A partir des données expérimentales, il a émergé que la présence de la ventilation dans l'interstice du bâti permet d'améliorer la transmission thermique du bâti même, jusqu'à l'obtention, pour la portée d'air fixée à 20 m^3/h, d'environ 0,59 W/m²K. Avec ce résultat et en cohérence avec les caractéristiques géométriques, les dispersions thermiques du châssis situé au dessus du Vetro Ventilato et les entretoises de la chambre ventilée, ont été éliminées. Même par rapport aux calculs théoriques qui mettent en évidence, avec une portée de 20 m^3/h, une amélioration d'environ 0,55 W/m²K, il est possible de valider les résultats expérimentaux.

6,5 Économie d'énergie

L'économie d'énergie réalisable dans la période hivernale varie en fonction des conditions climatiques et en majorité, il dépend de la température extérieure. Pour des valeurs de température compris entre -7 et +17°C, l'économie d'énergie réalisable avec le secours de Vetro Ventilato est en moyenne égale à 10 % par rapport au même bâti statique. Pour des valeurs de température sous le zéro, l'économie rejoint environ 10 % alors que pour des valeurs proches de 17°C on rejoint 5 % d'économie.

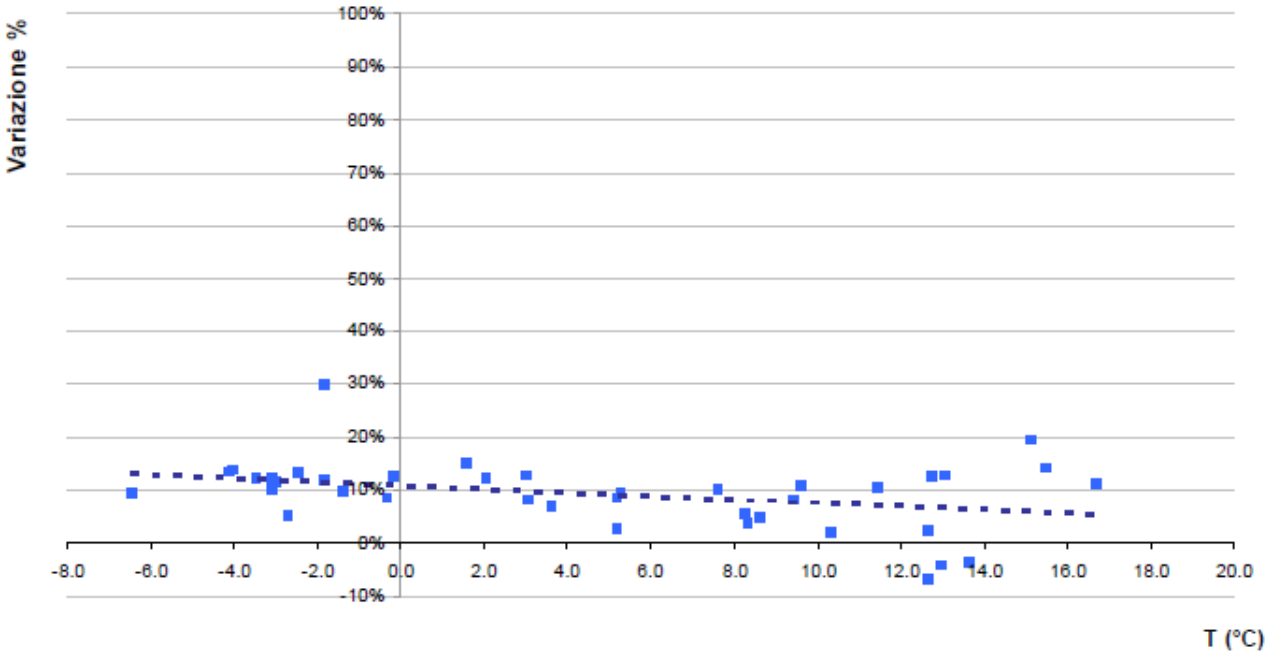


Illustration 60. Pourcentage de variation en hiver

En été, en revanche, on obtient des résultats plus évidents. Toujours en fonction de la température extérieure, en partant d'une valeur proche de 17°C on obtient une économie d'environ 12 %, pour des valeurs peu inférieures à 27°C de moyenne journalière, en revanche, l'économie augmente jusqu'à 30 %.

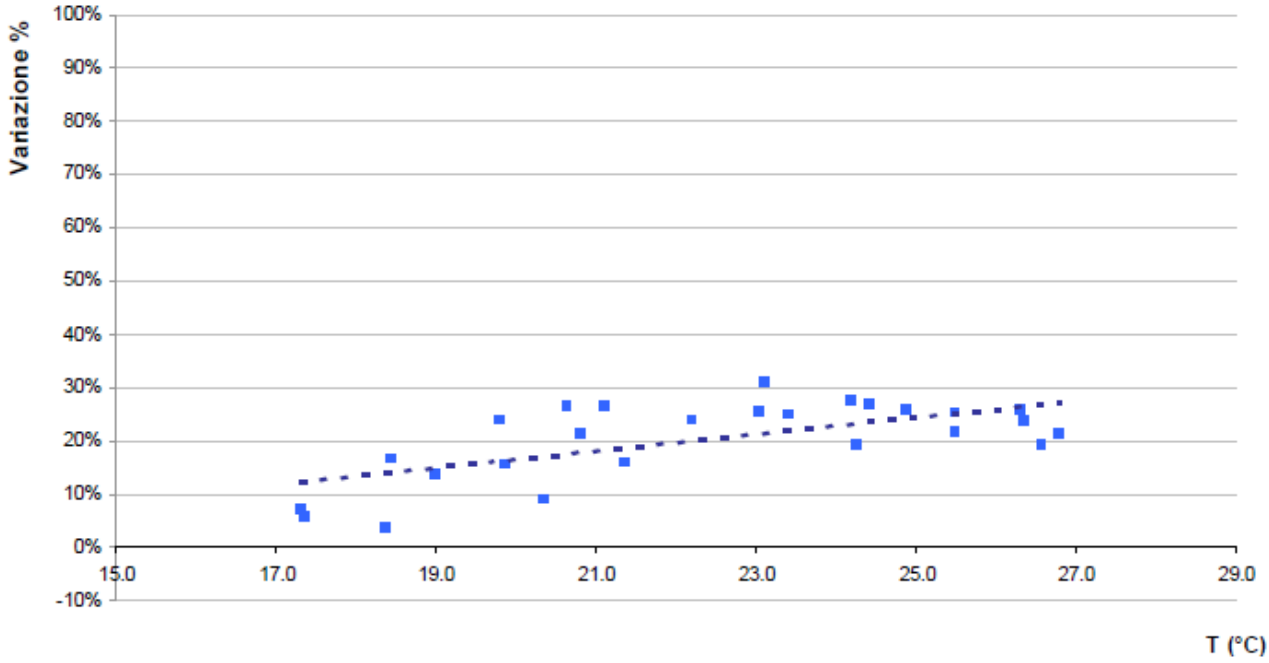


Illustration 61. Pourcentage de variation en été

De tels résultats sont évidemment pris en contexte dans une zone E (Milan). Il est possible quoi qu'il en soit d'étendre les analyses à différents contextes dans lesquels on peut enregistrer des températures moyennes qui retombent dans le spectre de températures obtenu dans l'expérience. En considérant par exemple une ville dans laquelle la température moyenne dans la période estivale, ou un mois déterminé, est d'environ 19°C, l'économie d'énergie présumé pourra être égale à 15 %. Pour une ville avec une température moyenne de 26°C on pourrait obtenir une économie supérieure : à 25 %.

7 Projection des résultats

Le présent paragraphe décrit le comportement des consommation/puissances mesurées par les différentes cellules pour déterminer des variables (variables environnementales et intrinsèques au bâti : température moyenne de l'air externe [°C] pour l'entière journée) en étendant ainsi les résultats , obtenus par voie expérimentale, aux provinces italiennes, à partir des données climatiques moyennes mensuelles (source CTI).

7,1 Données climatiques italiennes

A la suite, se reportent les images du territoire national et des frontières provençales. L'Illustration 62 et l'Illustration 63 montrent l'évolution des températures moyennes des périodes respectives de rafraîchissement et de réchauffement.

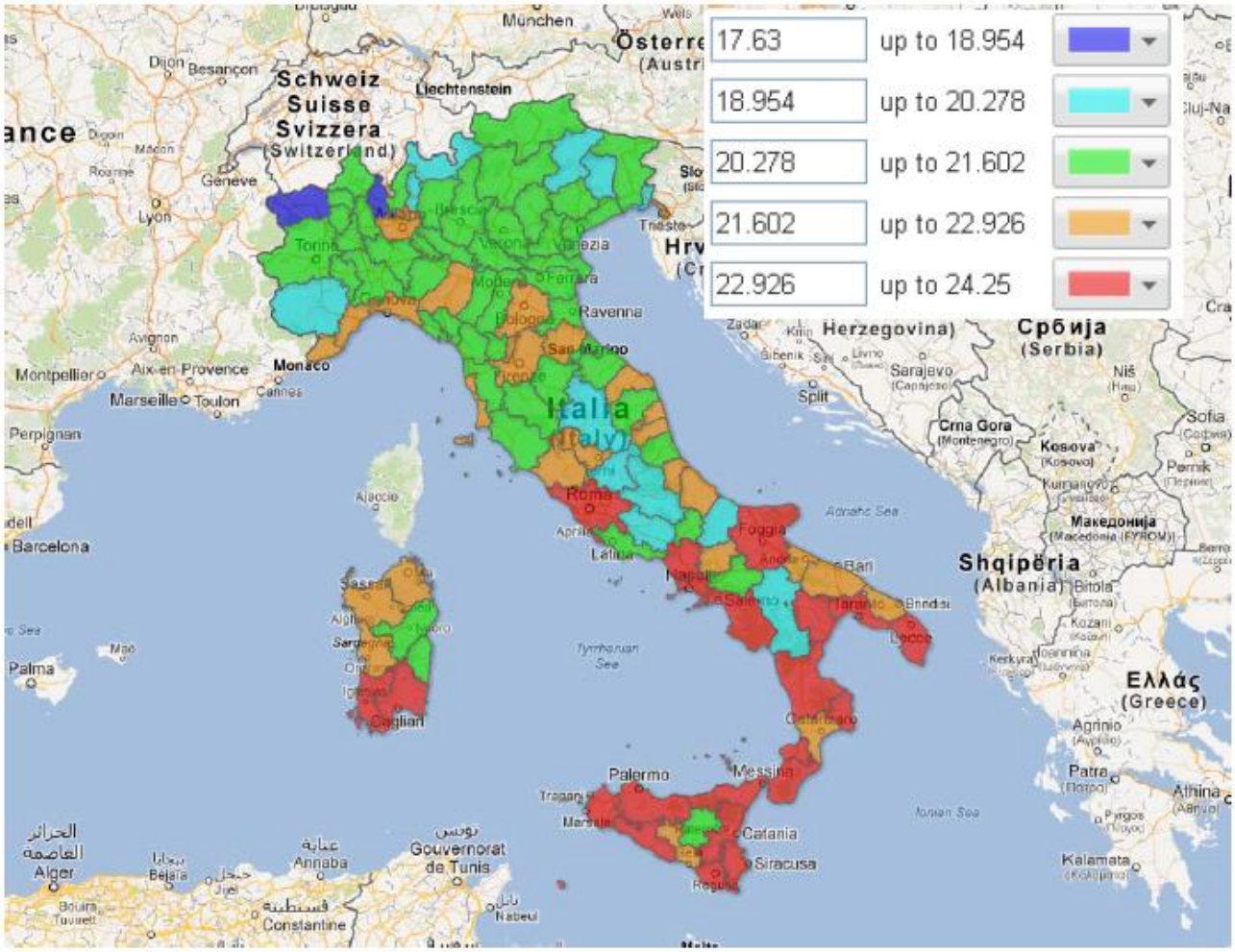


Illustration 62, Températures moyennes pour la période de rafraîchissement en Italie

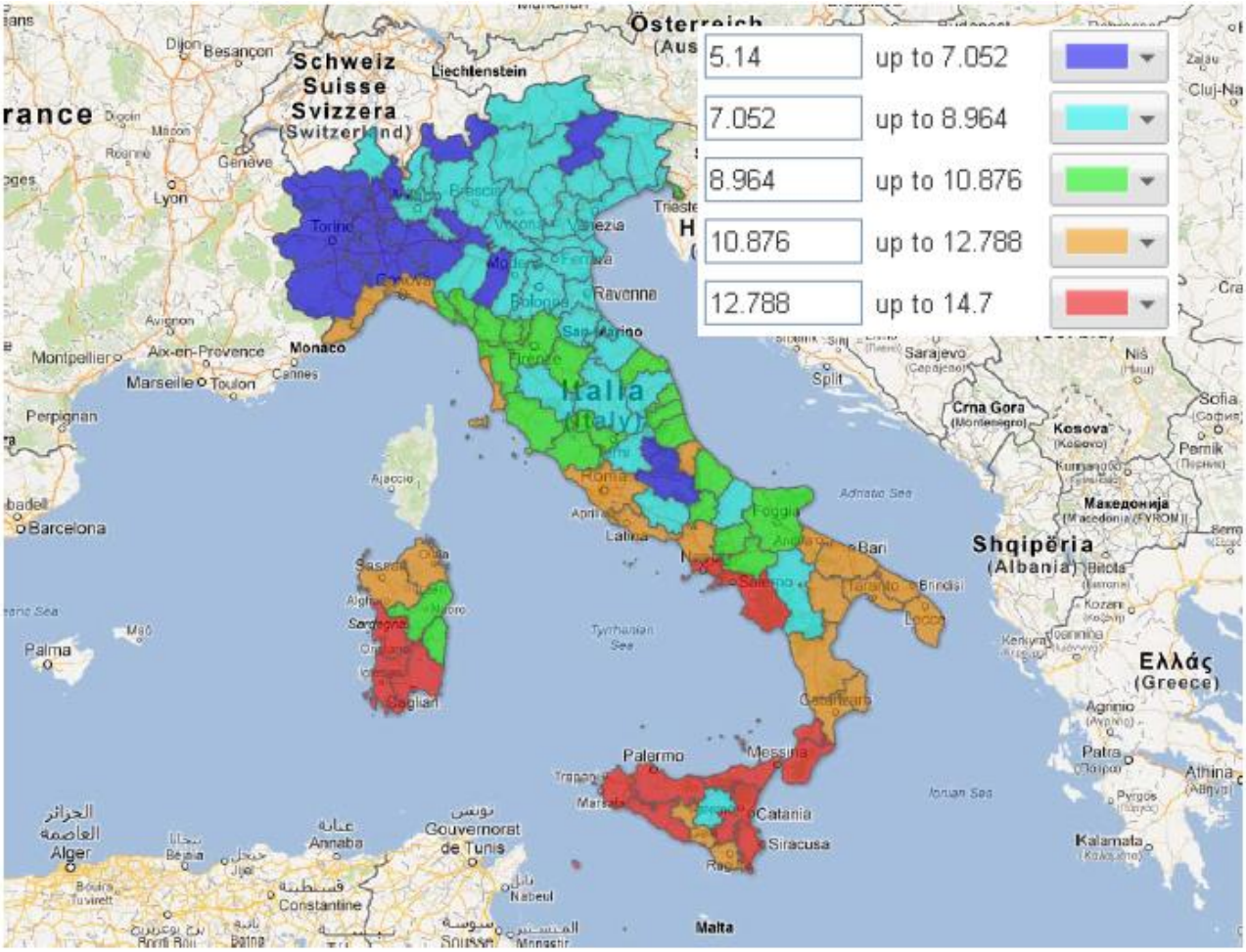


Illustration 63Températures moyennes pour la période de réchauffement en Italie.

7,2 Interprétation des résultats

Les résultats qui suivent se réfèrent à la comparaison des deux cellules à partir de l'économie d'énergie mesurée et visible dans l'Illustration 60 et l'Illustration 61.

On souligne comment la contribution énergétique d'une couverture peut varier en fonction par exemple de la superficie dispersante de l'emballage entier, du facteur de forme ou de la superficie transparente par rapport à celle utilisable.

La coloration identifie la valeur des variations en pourcentage des consommations entre la cellule avec Vetro Ventilato et la cellule avec le verre de référence.

De cette façon, une coloration croissante du rose pâle à un rouge intense indique, dans la période hivernale, dans quelles provinces s'observent de meilleures prestations (rouge intense) du Vetro Ventilato ; analogiquement en ce qui concerne la coloration de l'azur clair au bleu intense pendant l'été.

La présente section effectue une analyse transversale du comportement énergétique des deux cellules expérimentales hypothétiquement disposées pour toutes les zones climatiques. Toutefois on souligne que les cellules ont été projetées avec les standards de construction de la zone E, donc les élaborations graphiques successives ne proviennent pas des considérations en mérite avec les réquis minimaux des lois nationales.

7,3 Extrapolation des résultats

En hiver, en phase de réchauffement, on peut observer que la cellule 3 est toujours plus avantageuse par rapport à la cellule 2. La carte met en évidence que même pour les Régions du Nord, pour lesquelles les températures du mois de février sont comprises entre 2° C et 3°C, l'économie d'énergie de la cellule 3 par rapport à la cellule 2 est supérieure de 10 %. Pour les Provinces du Sud (surtout les îles les plus grandes), en revanche, où en février s'enregistrent des températures plus douces et généralement supérieures à 10°C, le pourcentage de variation marque un +6 % environ, toujours en faveur de la cellule 3.

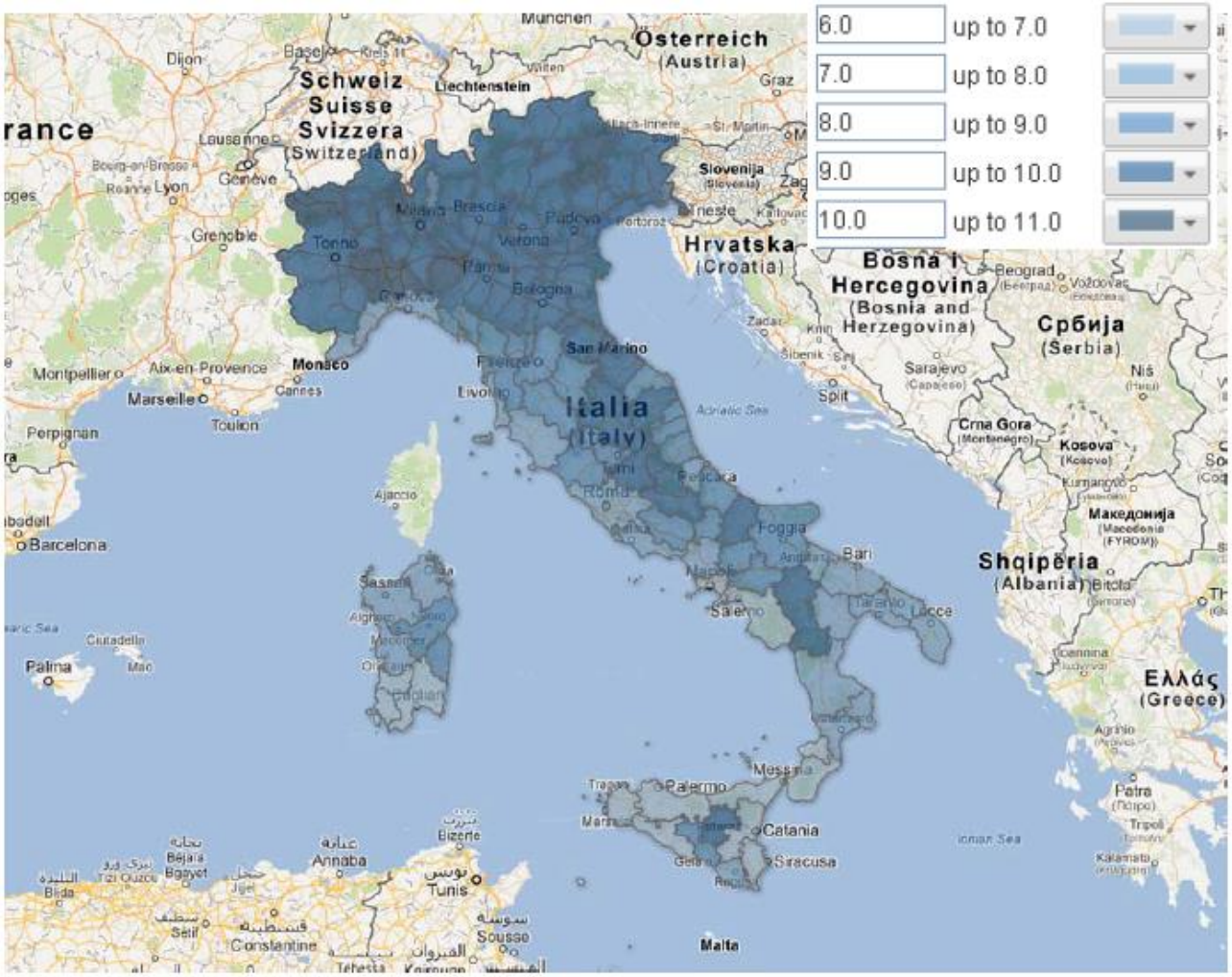


Illustration 64. Économie d'énergie, exprimé en pourcentage pour la période de réchauffement en Italie

Pour définir l'évolution estivale on considère les températures du mois de juillet. Même dans ce cas la cellule 3 est décidément plus avantageuse par rapport à la cellule 2 avec des valeurs de pourcentage de variation des consommations qui oscillent entre 17 % (où la température est égale à environ 20°C) et 28 % (où la température moyenne externe du mois de juillet est supérieure à 26°C)

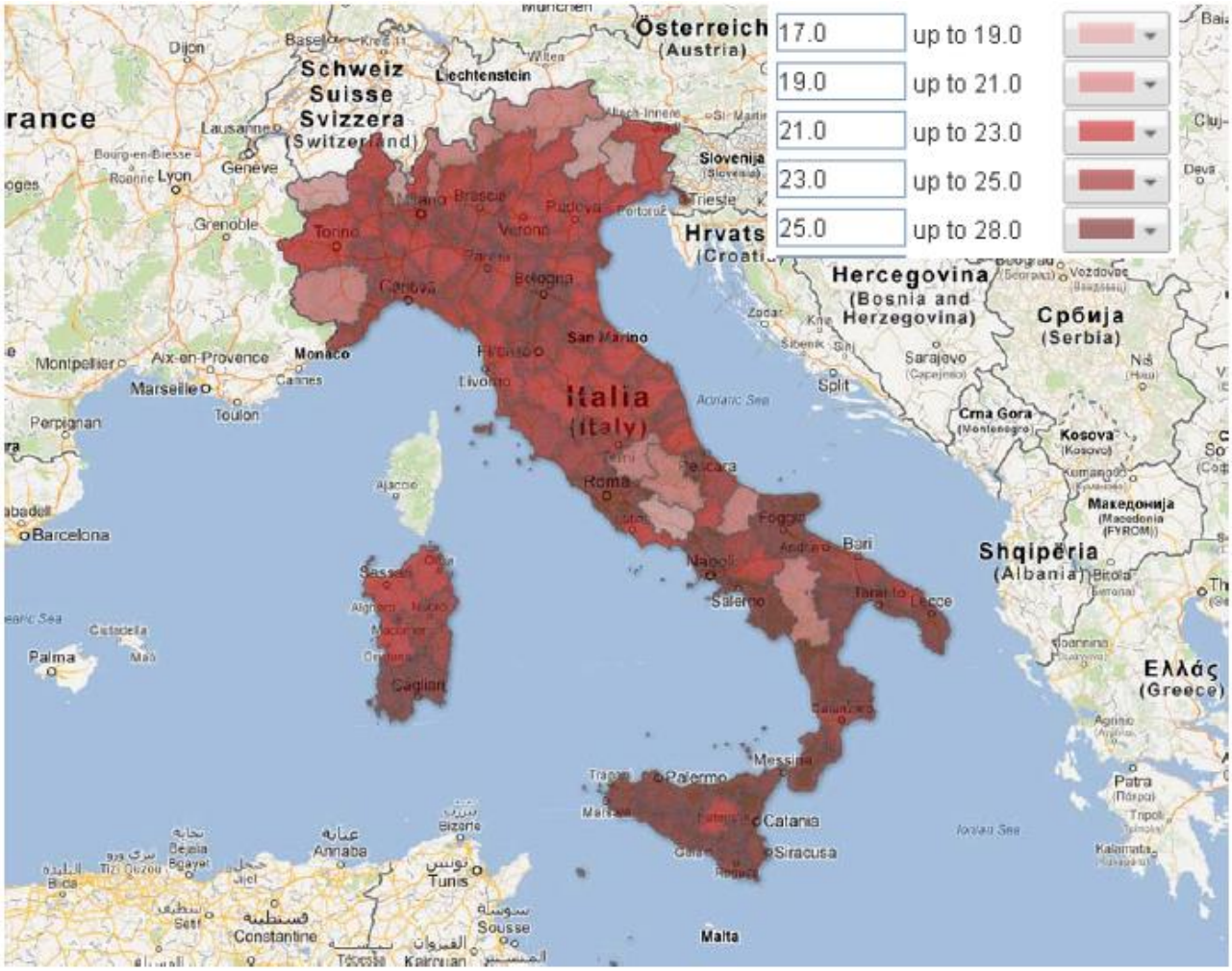


Illustration 65. Économie d'énergie, exprimé en pourcentage, pour la période de rafraîchissement en Italie

Conclusions

La présente expérience a permis de caractériser le comportement énergétique et de confort du bâti dynamique. Les configurations proposées ont permis de calculer la variation de la transmission thermique en conditions dynamique et de mettre en évidence l'amélioration effective du confort ainsi que de l'économie d'énergie que l'on peut obtenir.

De telles considérations résultent être fondamentales pour projeter un édifice, non seulement par rapport aux minimums requis par la loi, mais aussi pour dimensionner et gérer correctement les flux énergétiques et les logiques de contrôle d'un système dynamique. La principale difficulté pour faire fonctionner avec exactitude un bâti dynamique se trouve dans le règlement des temps d'allumage e dans la portée de ventilation. De tels indicateurs paramétrés étant en fonction des variables climatiques, il est évident de définir en prévention les logiques de contrôle qui en optimisent l'efficacité. Une possible optimisation du système ventilé pourrait concerner l'introduction d'un système de récupération de chaleur, en garantissant ainsi des économies énergétiques supérieures.

A ce propos, il serait intéressant d’exécuter une expérience successive en ajoutant au bâti ventilé un système de récupération de chaleur de façon à garantir que ce soit en été ou en hiver une amélioration ultérieure des performances, d'environ 25 %.