

# RÉFÉRENTIEL PASSIVHAUS POUR LES CLIMATS CHAUDS EUROPÉENS

Confort et basse consommation d'énergie

Partie 2. Détail des propositions nationales

*Passivhaus France*





# RÉFÉRENTIEL PASSIVHAUS POUR LES CLIMATS CHAUDS EUROPÉENS

Confort et basse consommation d'énergie

## Partie 2. Détail des propositions nationales

### *Passivhaus France*



Textes rédigés et rassemblés par : Brian Ford, Rosa Schiano-Phan et Duan Zhongcheng, School of the Built Environment, Université de Nottingham.  
Pour la proposition française, Auteur : Juergen Schnieders, Passivhaus Institut ; Traduction : Sophie Attali, ICE/sowatt and Dominique Maigrot, DoMEEnE

Le travail présenté dans cette étude a été réalisé dans le cadre du projet Passive-On soutenu par la Communauté Européenne ("Marketable Passive Homes for Winter and Summer Comfort" IEE-2003-091). Le contenu de ce document n'engage que la responsabilité de ses auteurs et ne représente pas nécessairement l'opinion de la Communauté européenne. La commission européenne n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y figurent

**RÉFÉRENTIEL PASSIVHAUS POUR LES CLIMATS CHAUDS EUROPÉENS**

Confort et basse consommation d'énergie. Partie 2. Détail des propositions nationales - Passivhaus France

Juillet 2007

**PARTENAIRES**

Politecnico di Milano, Italia  
Dipartimento di Energetica (e-ERG)  
Piazza Leonardo da Vinci 32  
20133 Milano  
*Andrew Pindar (Coordinateur)*  
*Lorenzo Pagliano*

University of Nottingham, Royaume Uni  
School of the Built Environment  
University Park  
Nottingham NG7 2RD  
*Brian Ford*  
*Rosa Schiano-Phan*

AICIA, Espagne  
Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía  
Escuela Superior de Ingenieros. Camino de los Descubrimientos s/n  
E-41092, Sevilla  
*Servando Alvarez*  
*Jose' Manuel Salmeron Lissen*

Natural Works, Portugal  
Projectos de Engenharia  
Caldada Marques de Abrantes N48 2D  
1200-719 Lisboa  
*Maria Malato Leller*  
*Guilherme Carrilho da Graca*

INETI, Portugal  
National Institute of Engineering Technology and Innovation  
Estrada do Paço do Lumiar  
1648-038 Lisboa  
*Helder Gonçalves*  
*Luisa Brotas*

ICE, France  
International Conseil Énergie  
6 rue de Verdun  
93450 Ile-Saint-Denis  
*Sophie Attali - sowatt*  
*Dominique Maigrot - DoMEne*

**CONSULTANT TECHNIQUE**

Passivhaus Institut  
Rheinstraße 44/46  
D-64283 Darmstadt  
*Juergen Schneiders*

**REMERCIEMENTS**

Ce document a été établi à partir des travaux des différents partenaires du projet Passive-On. Nous voudrions également remercier les partenaires industriels pour leur précieuse contribution à ce projet : Nicola Agnoli, Rockwool Italia; Daniela Origi, BASF; Massimo Gattolin, Province de Venise.

**PASSIVHAUS : PROPOSITION FRANÇAISE**

1. PLAN DU BÂTIMENT.....	6
2. DONNEES CLIMATIQUES .....	7
3. CONSTRUCTION.....	9
4. APPORTS INTERNES.....	10
5. VENTILATION.....	10
6. CHAUFFAGE .....	12
7. CONTRÔLE DES APPORTS SOLAIRES.....	13
8. RAFRAÎCHISSEMENT DE L'AIR.....	13
9. ÉCLAIRAGE NATUREL .....	15
10. PERFORMANCE.....	15
11. DÉBAT : MASSE THERMIQUE .....	19
12. DÉBAT : VENTILATION AVEC RÉCUPÉRATEUR DE CHALEUR.....	20
13. BIBLIOGRAPHIE.....	20

## PASSIVHAUS : LA PROPOSITION FRANÇAISE

### 1 - PLAN DU BÂTIMENT

Pour la proposition française, le Passivhaus Institut a réalisé les simulations, en choisissant de transposer une maison construite en Allemagne selon le référentiel Passivhaus pour l'Europe Centrale dans deux localités du Sud de la France – Carpentras et Nice – de façon à analyser le comportement de ce bâtiment spécifique dans un contexte climatique plus chaud. Il s'agit de la dernière maison d'une rangée, en R+1, comprenant un sous-sol et un toit incliné (voir les croquis). L'enveloppe thermique comprend le rez-de-chaussée, l'étage, et le local technique dans les combles. Le sous-sol n'est ni chauffé ni climatisé ; le plancher bas du rez-de-chaussée est isolé en sous face, au niveau du plafond du sous-sol. La surface habitable est de 120 m<sup>2</sup> - dans ce document, toutes les données concernant la performance du bâtiment se réfèrent à cette surface. En comparaison, la surface utile brute des trois étages est de 220 m<sup>2</sup>.



Figure 1 : Plans du premier étage, du rez-de-chaussée et du sous sol

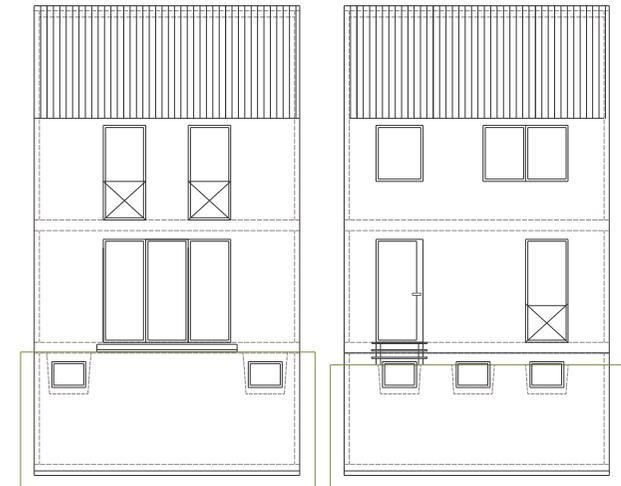


Figure 2 : Façades Sud et Nord

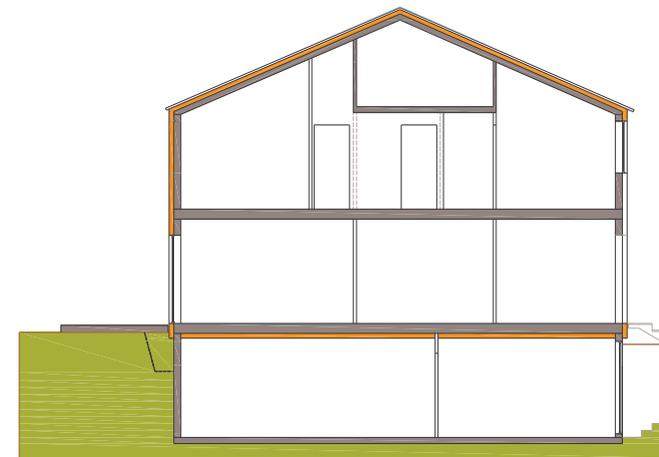
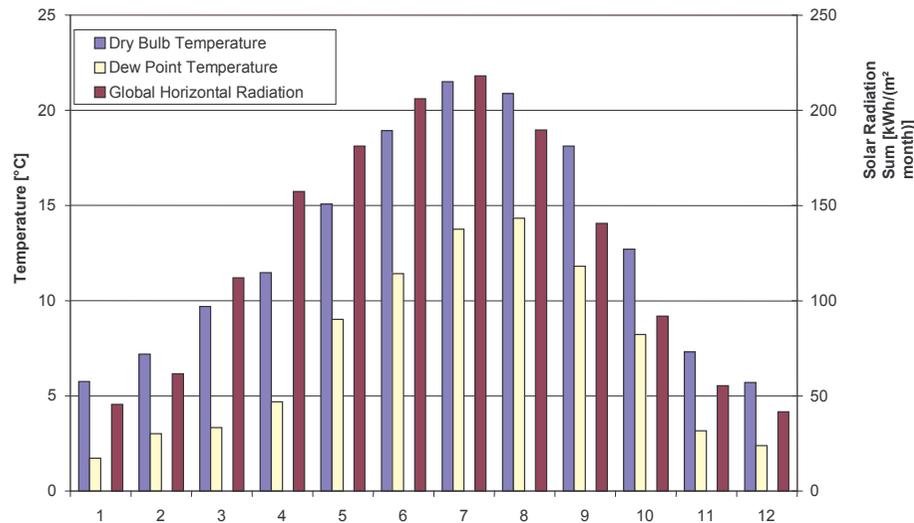


Figure 3 : Coupe vue de l'Est

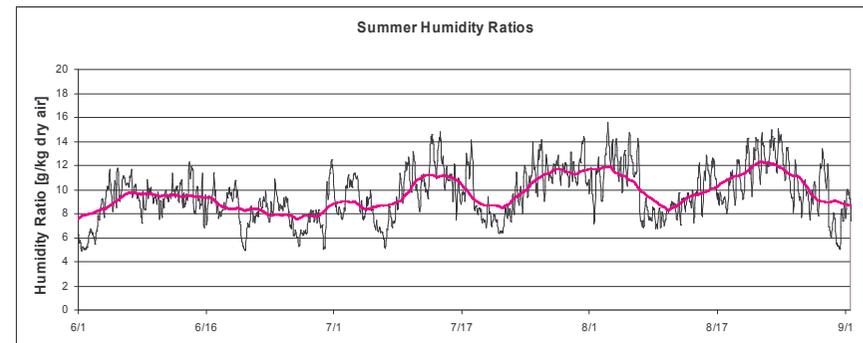
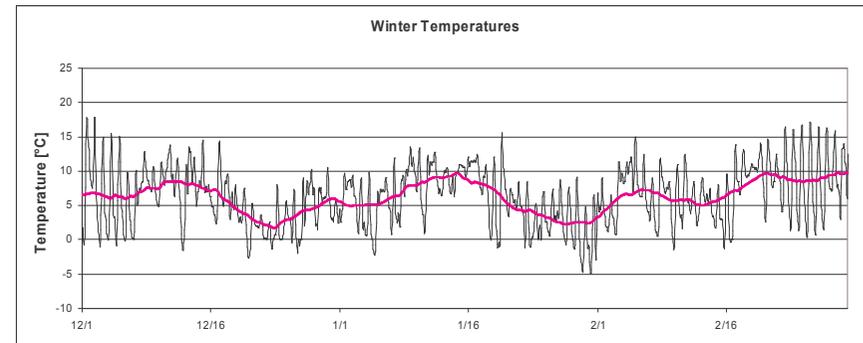
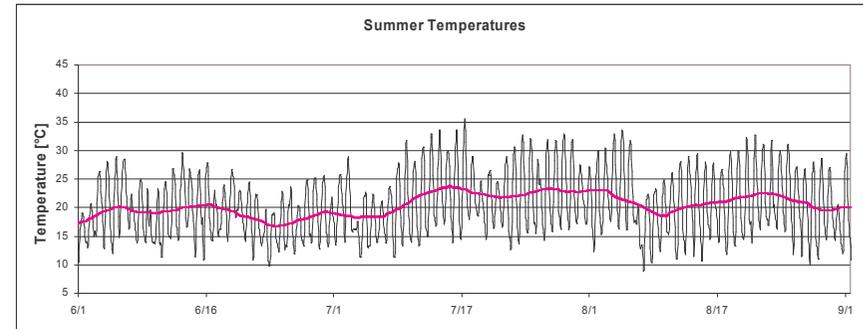
## 2. DONNÉES CLIMATIQUES

Pour les simulations, nous avons utilisé les données climatiques de Carpentras et Nice dans le Sud de la France.

**Carpentras** (Vaucluse) est situé dans le Sud de la vallée du Rhône, près d'Avignon, à une altitude de 95 m au dessus du niveau de la mer. Comparé au Nord de la France, le climat y est doux et ensoleillé, influencé par la mer Méditerranée. La température la plus basse dans les données climatiques est de  $-5^{\circ}\text{C}$ . En hiver, la température moyenne quotidienne descend rarement en dessous de  $0^{\circ}\text{C}$  et le rayonnement solaire disponible peut contribuer sensiblement au chauffage, par apports passifs. La température extérieure la plus élevée est de  $35^{\circ}\text{C}$  mais la température moyenne quotidienne en été ne dépasse pas  $25^{\circ}\text{C}$ . Il existe donc un bon potentiel pour assurer le rafraîchissement par ventilation nocturne, bien que la température du point de rosée puisse atteindre  $20^{\circ}\text{C}$  pendant quelques heures durant l'année.



**Figure 4 :** Paramètres climatiques pour Carpentras – moyennes mensuelles. Bleu : température sèche ; Jaune : température du point de rosée ; Violet : rayonnement solaire global pour une surface horizontale

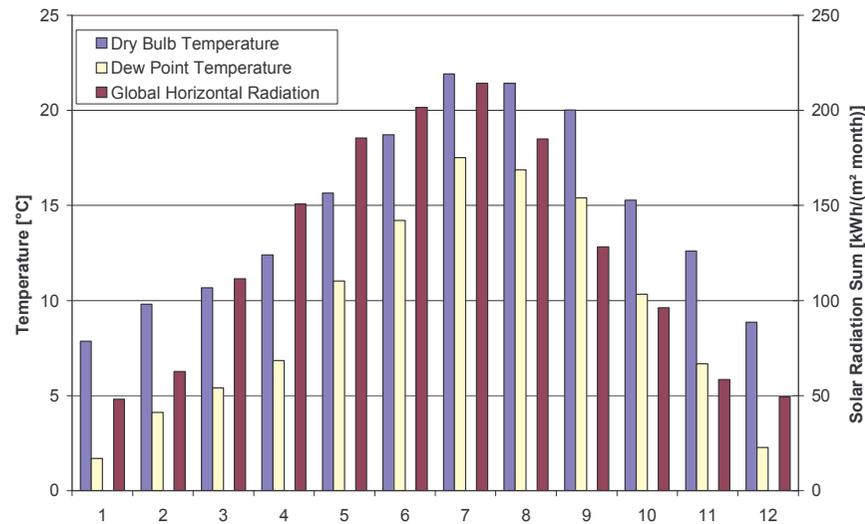


**Figure 5 :** Température horaire (été et hiver) et taux d'humidité pendant l'été à Carpentras

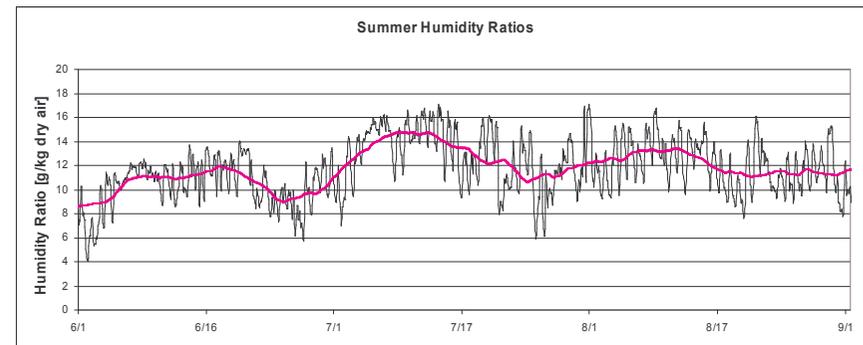
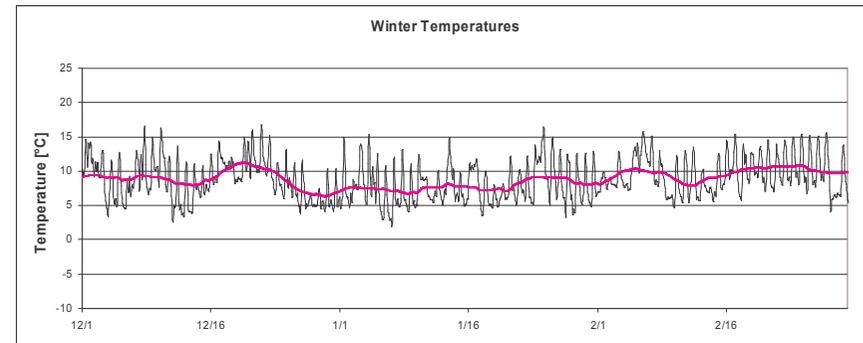
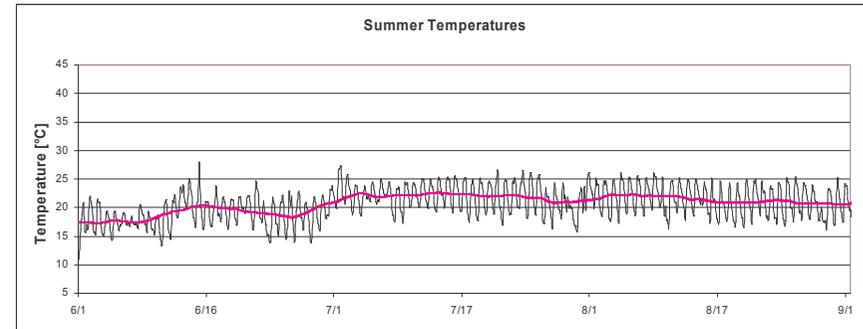
**Nice** est un centre touristique majeur de la côte d'Azur. Grâce à sa localisation protégée, c'est un des endroits les plus chauds du littoral français en Méditerranée. Les températures en dessous de 0°C sont très rares, la température la plus basse dans les données climatiques est de 1,8°C. Les températures moyennes mensuelles d'hiver sont de 2 ou 3 °C plus élevées qu'à Carpentras. Le rayonnement solaire est similaire dans les deux localisations.

L'influence de la mer réduit les variations de températures, quotidiennes et annuelles. La température extérieure la plus élevée est de 28°C, la température moyenne quotidienne maximale en été est de 23,7°C. D'un autre côté, les températures ne baissent pas considérablement pendant la nuit.

La mer influence également le taux d'humidité. Comparé à Carpentras, le climat y est beaucoup plus humide en été. Le point de rosée est au dessus de 17°C, ce qui indique un taux d'humidité élevé et inconfortable pendant 14% de l'année.



**Figure 6** : Paramètres climatiques pour Nice – moyennes mensuelles. Bleu : température sèche ; Jaune : température du point de rosée ; Violet : rayonnement solaire global sur une surface horizontale

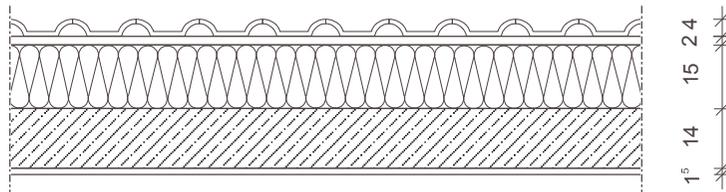


**Figure 7** : Température horaire (été et hiver) et taux d'humidité pendant l'été à Nice

### 3. CONSTRUCTION

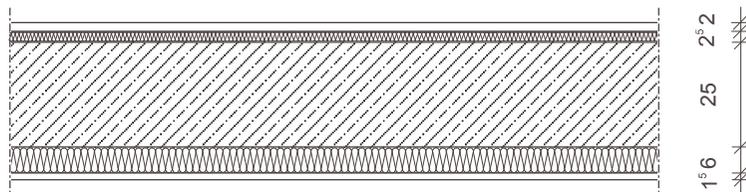
Les croquis suivants montrent les choix constructifs pour Carpentras. A Nice, grâce au climat plus doux, l'épaisseur de l'isolant est réduit à 10 cm pour le toit, 6 cm pour les murs et 2 cm pour le plancher bas du rez-de-chaussée (c'est à dire légèrement en dessous des niveaux fixés par la réglementation thermique en vigueur - RT 2005 - pour ce qui concerne l'isolation du sol).

Les valeurs du coefficient U sont légèrement inférieures aux valeurs maximales exigées par la RT 2005 en ce qui concerne les parois verticales et le plancher haut. Le coefficient U choisi pour le toit est légèrement au dessus du U de référence (Uref) mais cela ne devrait pas affecter le résultat global exigé par la réglementation thermique.



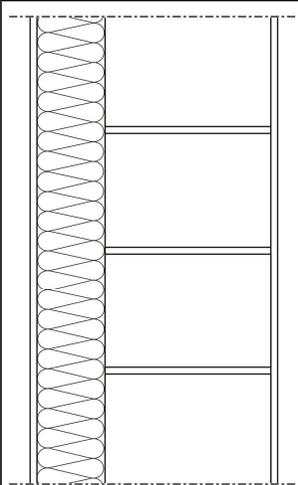
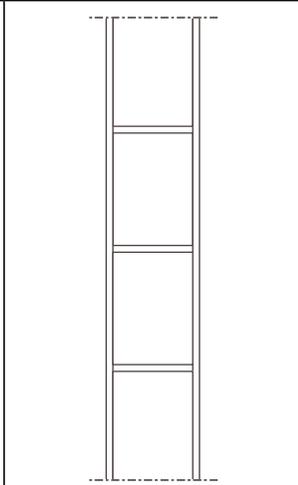
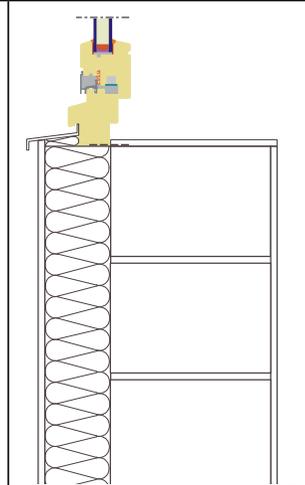
**Figure 8 :** Toit en béton, de l'extérieur vers l'intérieur : tuiles foncées (absorption solaire 72%), lame d'air, isolant, panneau porteur béton, plâtre. Une solution plus légère peut également être utilisée – l'impact est comparativement faible.

Bien que les maisons du Sud de la France aient rarement des toits inclinés en béton et que leur tuiles aient un coefficient d'absorption moins élevé, il a été décidé de conserver ces caractéristiques car elles ne changent pas fondamentalement les résultats (cf. paragraphe 11).



**Figure 9 :** Plancher entre le rez-de-chaussée et le sous-sol, de l'intérieur vers l'extérieur : parquet en bois, isolant phonique, béton, isolant thermique, plâtre.

Grâce au climat doux, les ponts thermiques au rez-de-chaussée sont acceptables ( $\Psi = 0.6 \text{ W}/(\text{mK})$ ). A part réduire légèrement les coûts de construction et les efforts de conception, cela entraîne une légère hausse de la liaison thermique entre le sous-sol et l'intérieur. Dans une moindre mesure, cela nécessite plus de chauffage mais les besoins de climatisation l'été sont réduits. Les ponts thermiques sont traités pour toutes les autres liaisons entre les différents éléments du bâtiment (voir la Partie 3 du guide).

		
1 <sup>s</sup> 15 36 <sup>s</sup> 1 <sup>s</sup>	1 <sup>s</sup> 17 <sup>s</sup> 1 <sup>s</sup>	1 <sup>s</sup> 15 36 <sup>s</sup> 1 <sup>s</sup>
Mur extérieur (extérieur vers intérieur) : isolation (enduit extérieur avec absorption solaire de 60% + polystyrène), maçonnerie en brique (1 400 kg/m <sup>3</sup> ), enduit au plâtre	Mur intérieur : Enduit au plâtre, maçonnerie en brique (1 400 kg/m <sup>3</sup> ), enduit au plâtre	Fixation des fenêtres à l'intérieur de la couche d'isolant afin de réduire les ponts thermiques. Recouvrir le cadre d'isolant sur les côtés et linteaux réduit les pertes de chaleur.

Fenêtres : Cadre en bois, 68 mm d'épaisseur,  $U_f = 1.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , double vitrage basse émissivité,  $U_g = 1.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , Facteur solaire 64%, profilé en aluminium  $\Psi_g = 0.08 \text{ W}/(\text{mK})$ , coefficient linéique de pont thermique dû à la fixation  $0.01 \text{ W}/(\text{mK})$ .

#### 4. APPORTS INTERNES

Nous détaillons ci-dessous les apports internes de chaleur dans le bâtiment. Comme les températures à l'intérieur du bâtiment ne varient pas beaucoup entre les zones thermiques, les données ne sont pas renseignées par zone, mais pour l'ensemble du bâtiment en tant que base.

**Tableau 1 :** Apports internes (moyenne de 24 heures)

Apports	Unité	Valeur
Infiltration	ach <sup>-1</sup>	0.07
Ventilation	ach <sup>-1</sup>	0.3
Occupation (sensible)	W/m <sup>2</sup>	2.2
Occupation (latente)	W/m <sup>2</sup>	1.1
Appareils et éclairage (sensible)	W/m <sup>2</sup>	1.5
Pertes de chaleur (sensible)	W/m <sup>2</sup>	-0.7
Appareils (latente)	W/m <sup>2</sup>	0.2

Le taux d'infiltration correspond à des fuites et courants d'air réduits à une valeur de 1.0 h<sup>-1</sup> à n<sub>50</sub>. Le système de ventilation a été conçu de manière à assurer un taux de renouvellement d'air pour une bonne qualité d'air intérieur sans créer de courants d'air excessifs dans les pièces. Cela permet d'éviter des taux d'humidité relative en dessous de 30% l'hiver, des nuisances sonores et des consommations importantes d'électricité pour les ventilateurs.

La chaleur sensible due aux occupants et aux appareils est dégagée dans les pièces communes et la chambre des enfants pendant la journée (de 7h00 à 22h00) et dans les chambres à l'étage pendant la nuit. Les pertes de chaleur sensible dues à l'évaporation, le chauffage de l'eau froide, l'écoulement de l'eau chaude, etc. sont distribuées de manière égale dans toutes les pièces situées au dessus du sous-sol.

Les apports internes sensibles s'élèvent à une moyenne de 3 W/m<sup>2</sup>. C'est une valeur assez élevée – pour les études de conception de locaux chauffés, on utilise une valeur typique de 2,1 W/m<sup>2</sup> [1]. L'objectif principal de notre recherche étant de décrire des solutions efficaces en énergie pour la climatisation, nous conservons cette valeur élevée concernant les apports internes, de façon à démontrer que les solutions choisies sont vraiment efficaces.

#### 5. VENTILATION

On utilise un système de ventilation mécanique contrôlée avec récupérateur de chaleur (rendement de 80%) pour approvisionner le bâtiment en air neuf et réduire les déperditions thermiques par renouvellement d'air. L'air neuf est distribué dans les pièces occupées en permanence, traverse les couloirs et est extrait dans les pièces de fonction. Nous avons utilisé les données de circulation d'air présentées au tableau 2.

**Tableau 2 :** Taux de circulation d'air du système de ventilation mécanique.

Pièce	Air neuf [m <sup>3</sup> /h]	Air extrait [m <sup>3</sup> /h]
Salon	50	
Cuisine		33
WC		33
Chambre des enfants	25	
Chambre	25	
Salle de bain		34



**Figure 10 :** Système de ventilation ayant un récupérateur de chaleur (rendement de 78%) et une faible consommation d'électricité – mesurés sur le terrain [2].

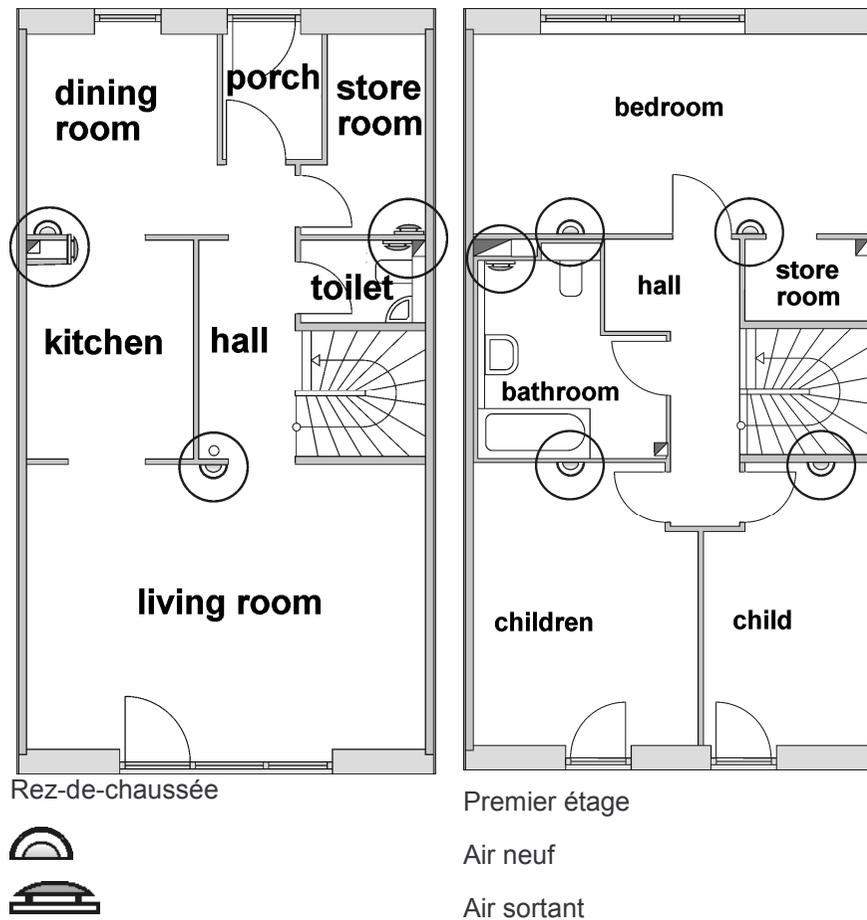


Figure 11 : Positionnement des arrivées et sorties d'air et embouts respectifs sur les deux niveaux (plan similaires au bâtiment simulé, voir [2]).

Les habitants peuvent ouvrir les fenêtres comme dans n'importe quelle maison traditionnelle. En général, ce n'est pas nécessaire en hiver parce que le système de ventilation assure l'arrivée d'air neuf dans toutes les pièces en continu. Nous considérons que les fenêtres sont fermées pendant la période de chauffe.

## 6. CHAUFFAGE

Le point de consigne pour le chauffage est fixé à 20°C sans réduit de nuit car cela ne présente pas un grand intérêt dans les bâtiments très bien isolés. En effet, cela n'a pas d'effet significatif sur la consommation d'énergie ou sur la température, mais impliquerait au contraire un appel de puissance plus important pour le chauffage dans la journée, empêchant l'utilisation de systèmes de chauffage de faible puissance. Pour le calcul de la demande d'énergie pour le chauffage, on s'est basé sur un cas "idéal" de chauffage de l'air, capable de maintenir la température au niveau désiré, dans toutes les pièces individuellement, sans limite de puissance.

Le besoin moyen quotidien en chaleur est de 8,8 W/m<sup>2</sup> à Carpentras et de 10,3 W/m<sup>2</sup> à Nice. Ce besoin relativement bas peut être couvert par un simple préchauffage de l'air entrant, sans recours à des radiateurs ou un système de distribution de chaleur. Le choix du système de production de chaleur n'est pas fondamental. Il existe de nombreux moyens efficaces de satisfaire ce besoin : chaudière à gaz à condensation, pompes à chaleur, poêle à bois (granulés), réseau de chauffage urbain, etc. Le chauffage par effet joule doit cependant être évité parce que le facteur de conversion de l'électricité en énergie primaire varie entre 2,5 et 3, ce qui signifie qu'il faut 3 kWh de combustible pour produire 1 kWh d'électricité (en France, le facteur de conversion officiel est de 2,58).

Une pompe à chaleur peut contrebalancer cette situation, dans la mesure où la demande en énergie primaire pour ce type de chauffage électrique s'avère presque la même que pour d'autres combustibles.

Le besoin en chaleur étant faible, et par conséquent les puissances en jeu faibles, le système de chauffage du bâtiment peut être significativement simplifié. Ceci réduit l'investissement global et justifie un investissement plus important dans une enveloppe plus performante. Les coûts sont souvent réduits grâce à l'utilisation d'une pompe à chaleur compacte. Ces pompes utilisent comme source de chaleur l'air sortant après qu'il soit passé par l'échangeur de chaleur. La pompe à chaleur chauffe également l'eau chaude sanitaire.

Tous les services climatiques nécessaires au fonctionnement du bâtiment sont fournis par le même système, avec son propre contrôle intégré et testé, qui peut être simplement branché sans avoir besoin de manier des réfrigérants sur place. Aucun raccordement extérieur n'est nécessaire, sauf pour l'électricité. Les prix de ces pompes à chaleur varient en Allemagne de 6 000 à 10 000 Euros (10 000 Euros en France) – avec quelques marges de négociation. On peut s'attendre à des baisses de prix lorsque ces produits seront plus largement distribués. Il est parfois possible de coupler le dispositif avec des capteurs solaires pour l'eau chaude.

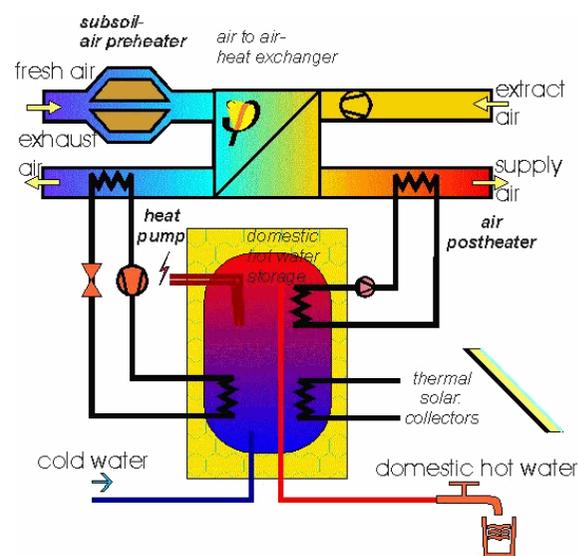
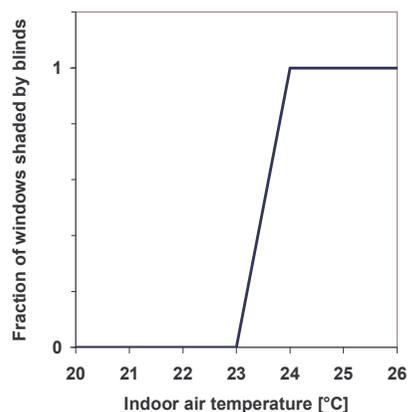


Figure 12 : Principe de base et dessin représentant une pompe à chaleur compacte

## 7. CONTROLE DES APPORTS SOLAIRES

Pour un bon confort d'été, la réduction des apports solaires est primordiale. Dans notre exemple, des volets persiennes de couleur sombre sont utilisées pour réduire le facteur solaire des ouvertures de 64 à 8%. D'avril à octobre, les volets sont fermés si la température intérieure monte au dessus de 23 à 24 °C (voir le croquis).



**Figure 13 :** Stratégie de protection solaire employée pendant l'été (part de la fenêtre protégée par des volets)



**Figure 14 :** Persiennes (voir [3]).

## 8. RAFRAÏCHISSEMENT DE L'AIR

Les stratégies de climatisation diffèrent selon les localités. A Carpentras, la ventilation nocturne obtenue par l'ouverture des fenêtres suffit à maintenir les températures et le taux d'humidité à des niveaux confortables.

A Nice, les températures peuvent également rester confortables en utilisant des solutions passives de climatisation mais il faut déshumidifier pour atteindre un niveau optimal de confort. L'exemple de Nice utilise donc moins l'ouverture des fenêtres, et le rafraîchissement est assurée en partie par le traitement de l'air entrant et sa déshumidification.

Dans les climats étudiés, la récupération de chaleur pour réduire les températures internes serait contreproductive pendant la plus grande partie de l'été. L'échangeur de chaleur n'est pas utilisé pendant la saison chaude, fixée par souci de simplicité du 1<sup>er</sup> mai au 30 septembre.

Les différentes stratégies de rafraîchissement pour les deux localités sont décrites ci-dessous séparément.

### Carpentras

A Carpentras, grâce aux températures relativement basses la nuit et au taux acceptable d'humidité, on utilise un système passif de climatisation. Le système de ventilation mécanique apporte déjà un certain niveau de rafraîchissement. Il est également possible d'éteindre le système de ventilation mécanique en été et assurer la ventilation naturellement par une utilisation appropriée des fenêtres.

Dans tous les cas, on suppose une ouverture des fenêtres pour le rafraîchissement l'été. Deux des fenêtres oscillo-battantes, respectivement dans le salon et la chambre des enfants et une fenêtre dans la chambre sont grandes ouvertes au dessus d'une température intérieure de 22°C – si la température ambiante extérieure est inférieure à la température intérieure.

L'air entrant par les fenêtres est limité à un taux de renouvellement d'air dans chacune des trois chambres de 8 h<sup>-1</sup>, ce qui équivaut à un total de 2 200 m<sup>3</sup>/h. On suppose que la circulation de l'air est entièrement due aux phénomènes thermiques. Dans une hypothèse conservatrice, nous n'avons pas considéré la ventilation naturelle traversante, le tirage thermique entre différentes pièces ou encore les effets du vent.

Tous ces moyens peuvent augmenter considérablement la ventilation nocturne mais également créer des nuisances dues aux transferts acoustiques et de lumière entre les différentes pièces. Cependant, grâce aux ouvertures grandes et hautes, le taux maximum de renouvellement d'air est atteint même avec des faibles différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur – entre 1 et 3,5 K.

L'utilisation combinée de protection solaire et de la ventilation nocturne est suffisante pour garantir un confort d'été sans système actif de climatisation.

### Nice

L'été, la différence type de température entre le maximum et le minimum d'une journée est autour de 6 K. Bien que les températures restent modérées les taux d'humidité relativement élevés nécessitent un certain degré de déshumidification. C'est pourquoi dans l'exemple de Nice nous avons inclus un système de rafraîchissement de l'air entrant.



Figure 15 : Fenêtre inclinée pour la ventilation d'été.

Un système de climatisation rafraîchit l'air entrant avec une puissance maximale de 1 200 W ( $10\text{W/m}^2$ ), prenant en compte également la chaleur latente. Une commande de type PI limite la température moyenne du salon et des chambres à  $24^\circ\text{C}$ , ou le taux d'humidité à  $11,5\text{ g/kg}$ , indépendamment des conditions précédentes.

Certaines pompes à chaleur compactes peuvent être réversibles. Dans ce cas, l'air neuf entrant est utilisé comme source chaude et le stockage d'eau chaude ou l'air sortant peuvent être utilisés comme source froide.

Techniquement, il est possible de réduire la température de l'air entrant jusqu'à autour de  $0^\circ\text{C}$ . Si le débit d'air est limité aux seuls besoins hygiéniques, cette température résulte en une charge thermique sensible de climatisation de l'ordre de  $7\text{ W/m}^2$ , qui peut être distribuée dans le bâtiment. Les conduits et les entrées d'air doivent être conçus avec attention pour éviter des phénomènes de condensation de surface ou de courants d'air inconfortables.

Pour des bâtiments bénéficiant d'une bonne protection solaire, d'une certaine masse thermique et d'un bon niveau d'isolation, le renouvellement d'air est suffisant pour répondre aux besoins moyens journaliers en rafraîchissement. L'exemple de Nice présente une charge sensible moyenne de  $4,4\text{ W/m}^2$ .

En prévoyant qu'une part du rafraîchissement provient de l'ouverture des fenêtres, la simulation prend en compte le fait que les habitants ne souhaiteront pas rester dans un bâtiment fermé alors que la température ambiante est agréable. On utilise les mêmes fenêtres qu'à Carpentras, mais comme il n'y a pas ici de ventilation nocturne importante prévue, elles sont seulement partiellement ouvertes, étant oscillantes, quand la température des pièces dépasse  $22^\circ\text{C}$ , dès lors que les températures ambiantes extérieures sont plus de 3 K inférieure à la température intérieure. A 4 K de différence de température, le débit d'air supplémentaire due à l'ouverture des fenêtres est de  $290\text{ m}^3/\text{h}$ .

## 9. ÉCLAIRAGE NATUREL

L'éclairage naturel n'est pas étudié en détail parce qu'il n'est pas considéré comme particulièrement important pour les bâtiments. On dit souvent que les volets fermés augmentent l'utilisation de l'éclairage artificiel pendant la journée, réduisant les effets du contrôle des apports solaires. Dans les cas d'un rayonnement solaire direct, les protections solaires peuvent généralement être utilisées de façon à laisser entrer assez de lumière du jour dans les pièces tout en évitant les apports thermiques. Même si ce n'était pas le cas, l'utilisation d'un éclairage artificiel relativement performant résulterait dans une charge thermique de moins de  $1 \text{ W/m}^2$ , uniquement dans les zones occupées, augmentant moins la température des pièces que ne le ferait la lumière naturelle (voir également [4]).

## 10. PERFORMANCE

A Carpentras, la demande annuelle de chauffage du bâtiment est de  $14,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  pour une température de consigne de  $20^\circ\text{C}$ . Les jours d'hiver ensoleillés, la température augmentera occasionnellement de 1 à 2 K au dessus de cette valeur. L'exemple de Nice présente une demande de chauffage légèrement plus basse. Les températures au dessus de la valeur de consigne en hiver sont un peu moins prononcées.

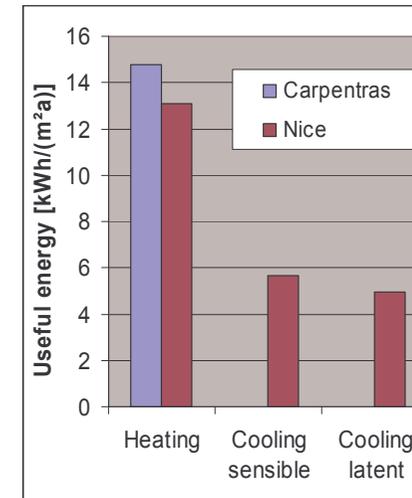


Figure 16 : Demande annuelle pour le chauffage et la climatisation (chauffage, climatisation sensible, climatisation latente)

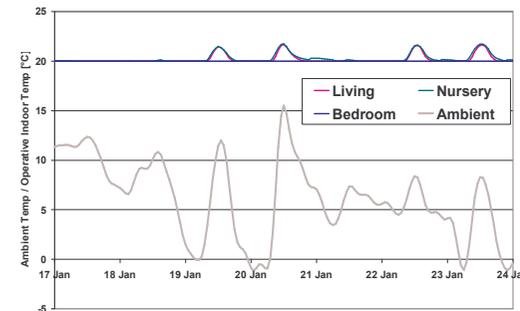
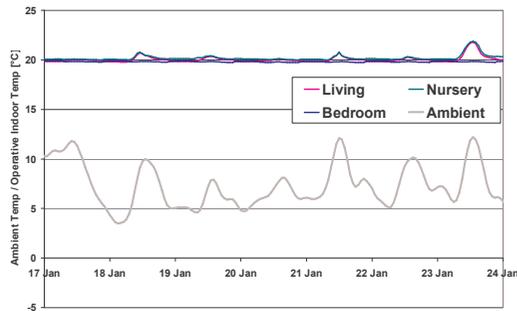
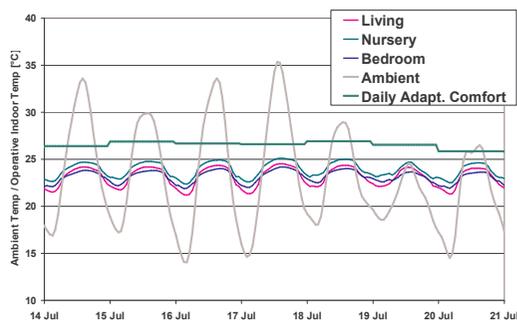


Figure 17 : Carpentras : températures pour une semaine en hiver (salon, chambre des enfants, chambre, temp. ambiante)

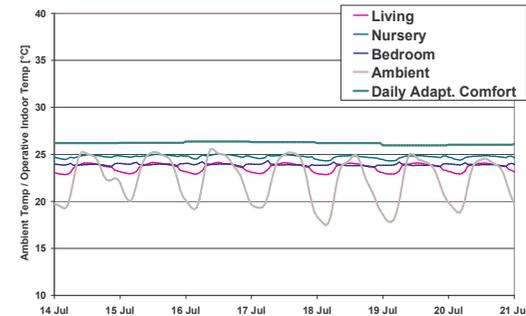


**Figure 18** : Nice : températures pour une semaine en hiver (salon, chambre des enfants, chambre, temp. ambiante)

Comme décrit plus haut, les exemples de Nice et Carpentras suivent différentes stratégies pour le rafraîchissement l'été. A Carpentras, grâce au concept de climatisation passive, il n'y a besoin d'aucune énergie pour assurer le confort d'été. Le contrôle des apports solaires et l'utilisation des fenêtres pour la ventilation aux moments favorables (principalement la nuit) permettent de maintenir les températures en dessous de 25°C pendant 99% de l'année dans toutes les pièces. A Nice, un résultat similaire est atteint par le rafraîchissement de l'air entrant et une utilisation modérée des fenêtres pour la ventilation. Dans les deux cas, les températures résultantes sont bien en dessous des températures telles que définie par le modèle de Confort Adaptatif pour l'été (voir le chapitre 2 de la partie 1).



**Figure 19** : Carpentras : températures pour une semaine en été (salon, chambre des enfants, chambre, temp. ambiante, temp. quotidienne de Confort Adaptatif)



**Figure 20** : Nice : températures pour une semaine en été (salon, chambre des enfants, chambre, temp. ambiante, temp. quotidienne de Confort Adaptatif)

La question de l'humidité mérite d'être considérée plus en détail. Plusieurs références, ex. [5] et [6], indiquent qu'il existe un taux d'humidité au dessus duquel les gens ne se sentent pas confortables, quelle que soit la température. Bien que les niveaux dépendent des régions, les habitants des tropiques étant moins sensibles, la valeur limite rapportée pour les pays industrialisés est de 12 g/kg. Ceci correspond à une température de rosée de 17°C. De plus, [7] implique que l'humidité relative reste dans une fourchette de 30 à 70%. Dans le cas de Carpentras, ces conditions peuvent être satisfaites par un système passif de climatisation pendant la plupart du temps. La limite supérieure d'humidité relative est dépassée pendant moins de 4% de l'année dans le salon. Pour toutes les autres pièces ainsi que pour le taux d'humidité spécifique, cette proportion est inférieure à 4% du temps.

A Nice au contraire, les taux d'humidité de l'air ambiant sont significativement plus élevés que dans les zones éloignées du littoral. Si on ne prenait en compte que les températures, des solutions passives de climatisation pourraient être mises en œuvre pour ce climat similaire à celui de Carpentras. Pourtant, sans déshumidification, les limites supérieures d'humidité seraient dépassées pendant 13 à 15% de l'année, dans toutes les pièces. Le rafraîchissement de l'air et la déshumidification qui s'en suit permet de maintenir des conditions confortables.

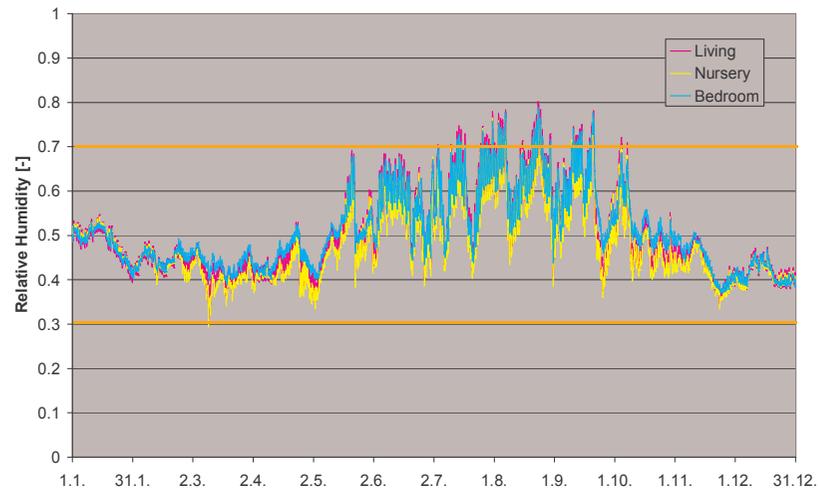


Figure 21 : Carpentras : Humidité relative dans les pièces les plus importantes (salon, chambre des enfants, chambre)

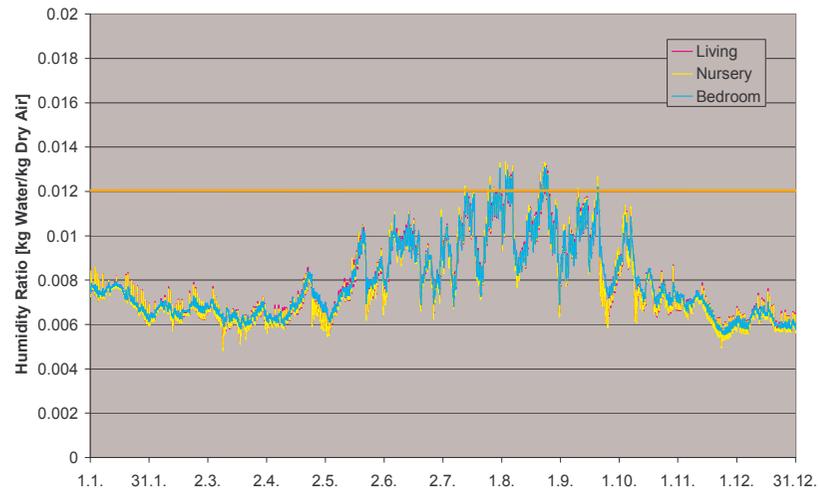


Figure 22 : Carpentras : Taux d'humidité dans les pièces principales (salon, chambre des enfants, chambre)



Figure 23 : Nice : Humidité relative dans les pièces principales (salon, chambre des enfants, chambre) dans le cas d'un système de climatisation totalement passif (non recommandé)

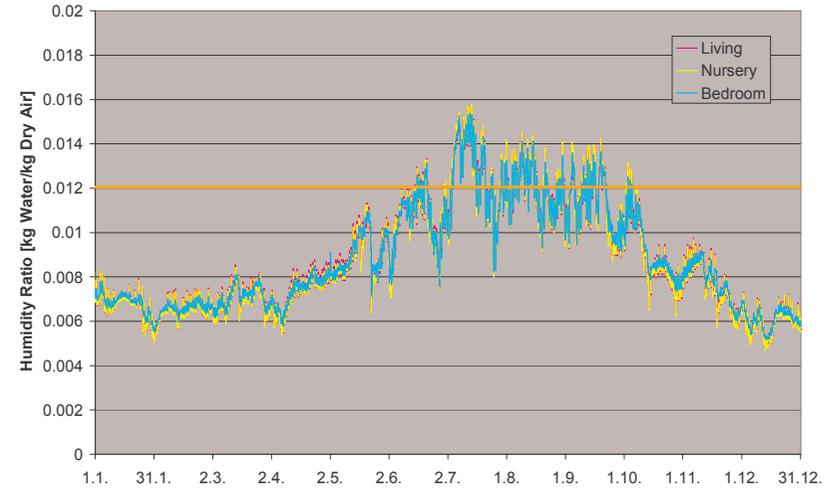
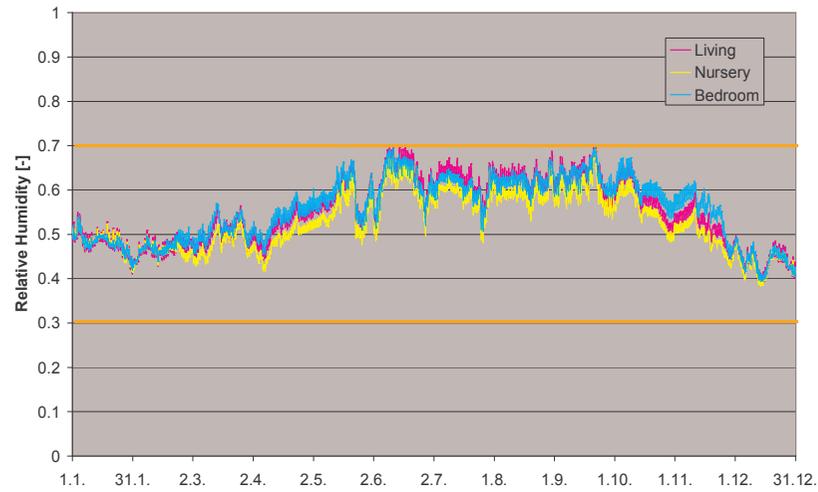


Figure 24 : Nice : Taux d'humidité dans les pièces principales (salon, chambre des enfants, chambre) dans le cas d'un système de climatisation totalement passif (non recommandé)



**Figure 25 :** Nice : Humidité relative dans les pièces principales (salon, chambre des enfants, chambre) dans le cas d'un système de rafraîchissement de l'air.



**Figure 26 :** Nice : Taux d'humidité dans les pièces principales (salon, chambre des enfants, chambre) dans le cas d'un système de rafraîchissement de l'air.

## 11. DÉBAT : MASSE THERMIQUE

Pour les climats chauds, particulièrement lorsque la ventilation nocturne est une option considérée, il est conseillé d'utiliser un minimum de masse thermique. Contrairement à la pratique française, l'isolation devrait être placée à l'extérieur du bâtiment. Trois raisons justifient cela :

En hiver, les matériaux de construction des murs et du toit restent chauds et le risque de condensation à l'intérieur des murs et les désordres que cela génère s'en trouvent grandement réduits.

Les ponts thermiques sont plus faciles à éviter, alors qu'avec une l'isolation par l'intérieur, les plafonds et les refends traversent la couche d'isolant et réduisent l'efficacité de l'isolation.

Enfin, le confort d'été est amélioré quand la masse thermique des composants extérieurs du bâtiment est accessible dans les pièces, et peut stocker la chaleur.

Ce dernier point est souvent surestimé. L'exemple suivant pour Carpentras montre les effets d'une masse thermique réduite. La figure 27 montre la même semaine d'été que celle du paragraphe 10 afin de pouvoir comparer avec une structure légère. Nous avons remplacé non seulement les murs extérieurs mais aussi les cloisons séparatives intérieures et les planchers hauts par des composants légers. La variation de température est plus prononcée pour la version légère et les températures maximums sont d'environ 1 K plus élevées que pour la version lourde – mais elles ne dépassent pas les températures du confort adaptatif.

Il faut noter que l'impact des composants lourds devient plus important lorsque les bâtiments ne bénéficient pas de protections solaires, sont mal isolés ou présentent des apports internes importants, et nécessitent donc de stocker plus d'énergie à travers la structure du bâtiment.

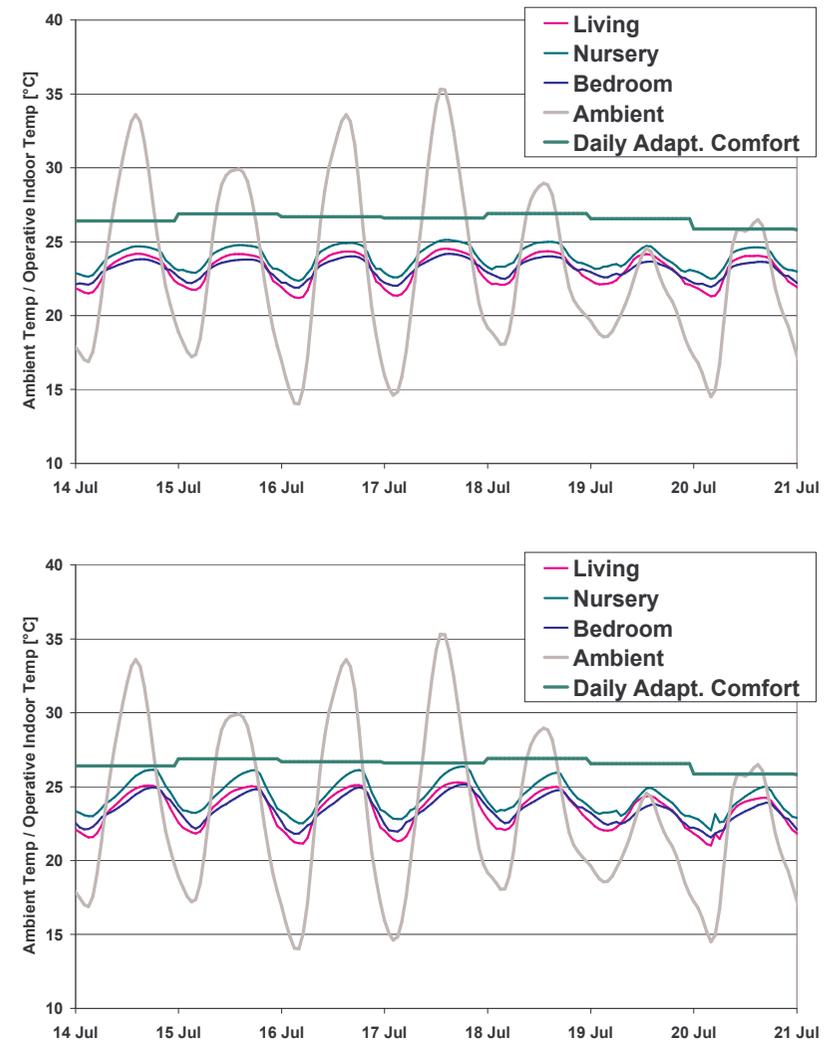


Figure 27 : Carpentras : températures pour une semaine d'été en utilisant une construction lourde (en haut) et une construction légère.

## 12. DÉBAT : VENTILATION AVEC RÉCUPÉRATEUR DE CHALEUR

Les deux exemples du Sud de la France utilisent des systèmes de ventilation avec récupérateurs de chaleur. Ces systèmes, lorsqu'ils sont accompagnés d'une enveloppe de bâtiment qui réduit les déperditions, assurent une excellente qualité de l'air et réduisent substantiellement les déperditions par renouvellement d'air. Les bons systèmes de ventilation avec récupérateurs de chaleur permettent d'économiser beaucoup plus d'énergie qu'ils n'en consomment pour la circulation de l'air et ne créent pas de problèmes acoustiques.

En admettant que les utilisateurs soient prêts à accepter une moins bonne qualité de l'air et/ou un risque plus élevé de courants d'air, serait-il possible d'atteindre des niveaux de besoin en énergie similaires sans un système de ventilation avec récupérateur de chaleur ? A Carpentras, pour atteindre une demande de 18,1 kWh/(m<sup>2</sup>a) sans récupérateur de chaleur, la configuration suivante serait nécessaire : 30 cm de polystyrène pour isoler les murs et le toit, correspondant à des coefficients U de respectivement 0,10 et 0,12 W/(m<sup>2</sup>K). Le plancher haut du sous-sol devrait être isolé avec 20 cm de polystyrène (U = 0,14 W/(m<sup>2</sup>K)). Enfin, il faudrait installer des fenêtres comme celles utilisées pour les Passivhaus en Allemagne (U<sub>f</sub> = 0.72 W/(m<sup>2</sup>K), Ψ = 0.035 W/(mK)). Pour réduire la demande de chauffage à 15 kWh/(m<sup>2</sup>a), l'enveloppe devrait être encore améliorée. On peut en conclure que l'utilisation d'un système de ventilation avec récupérateur de chaleur est une solution appropriée pour la Passivhaus de Carpentras.

A Nice, grâce au climat plus doux, une épaisseur d'isolant entre 10 et 20 cm serait suffisante pour réduire la demande de chauffage à 15 kWh/(m<sup>2</sup>a). Ici, le recours à un récupérateur de chaleur ne semble pas obligatoire. Mais comme il faut de toutes les façons déshumidifier, le choix d'un système de ventilation avec récupérateur de chaleur se justifie parce qu'il peut simultanément apporter de l'air neuf, ajuster les niveaux d'humidité et réduire la consommation d'énergie.

## 13. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Feist, Wolfgang, Rainer Pfluger, Berthold Kaufmann, Jürgen Schnieders, Oliver Kah: Passivhaus Projektierungs Paket 2004, Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser, Darmstadt, Passivhaus Institut, April 2004
- [2] Feist, Wolfgang, Søren Peper, Oliver Kah, Matthias von Oesen: Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-Kronsberg: Construction and Measurement Results. PEP Project Information No. 1. proKlima, Hannover, 2005.
- [3] Schnieders, Jürgen: Passive-On, Work Package 1: Review of Existing Low Energy and Passive Best Practice. Darmstadt, Passivhaus Institut, April 2006
- [4] Zimmermann, Mark u.a.: Handbuch der passiven Kühlung. EMPA ZEN, Dübendorf 1999
- [5] Schramek, Ernst-Rudolf (Hrsg.): Recknagel Sprenger Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik, Oldenbourg Industrieverlag, München 2003
- [6] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers: BSR/ASHRAE Standard 55P, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Third Public Review, Atlanta, May 2003
- [7] DIN EN ISO 7730: 1995-09, Gemäßigtes Umgebungsklima, Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit. Beuth-Verlag, Berlin 1995

Voir aussi dans la littérature française

- La conception bioclimatique, Jean-Pierre Oliva & Samuel Courgey, Editions Terre Vivante, 2006
- Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, Sous la direction d'Alain Liébard et de André De Herde, Editions Observ'ER, 2005