

HUNSPACH - BÂTIMENT EXISTANT

Étude thermique et énergétique



SOMMAIRE

1	BESOIN DE CHAUFFAGE	3
1.1	HYPOTHESES	3
1.2	TORCHIS LOURD : $\lambda = 1,05 \text{ W/M.K}$	3
1.3	TORCHIS ALLEGE : $\lambda = 0,15 \text{ W/M.K}$	4
1.4	TORCHIS DE COMPOSITION MOYENNE : $\lambda = 0,6 \text{ W/M.K}$	4
2	CONSOMMATIONS	5
2.1	TEMPERATURE DE CONSIGNE MOYENNE : 20°C	5
2.2	TEMPERATURE DE CONSIGNE MOYENNE : 13°C	6
3	ETUDE WUFI	7
3.1	SITUATION ETUDIEE	7
3.2	RESULTATS	10
4	SIMULATION DYNAMIQUE POUR LE CONFORT D'ETE	17
4.1	CONTEXTE DE L'ETUDE	17
4.2	RESULTATS	20

1 BESOIN DE CHAUFFAGE

1.1 HYPOTHESES

Selon l'Association nationale des professionnels de la Terre crue AsTerre, la conductivité thermique du torchis varie fortement avec la proportion de ses composants :

	Torchis lourd : Beaucoup de terre, peu de paille	Torchis allégé : Peu de terre, beaucoup de paille
Conductivité thermique (W/m.K)	1,05	0,15

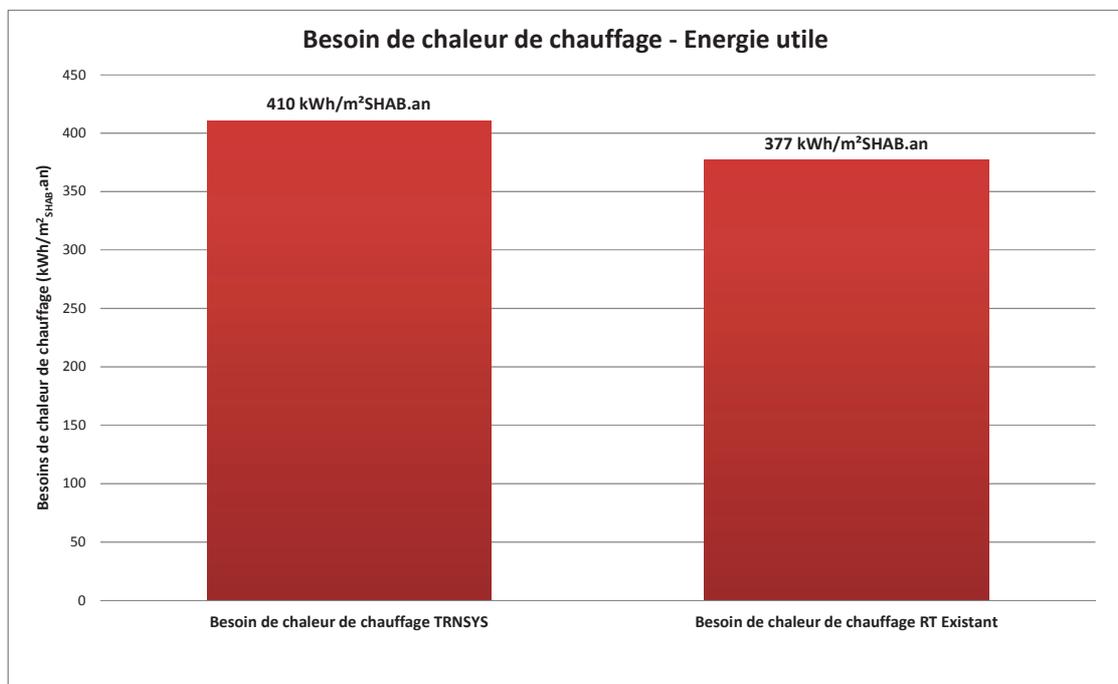
Le second cas correspond au type de torchis testé dans l'étude du CRIT. La conductivité thermique obtenue dans l'étude est sensiblement du même ordre de grandeur.

Nous exposons les résultats de besoin de chaleur de chauffage pour différentes valeurs de la conductivité thermique du torchis. Les caractéristiques des autres parois prises en compte dans les calculs sont précisées en Annexe 1.

Les consommations qui suivent sont exprimées en kWh/m²_{SHAB}. La SHAB de la maison est de 180,1 m².

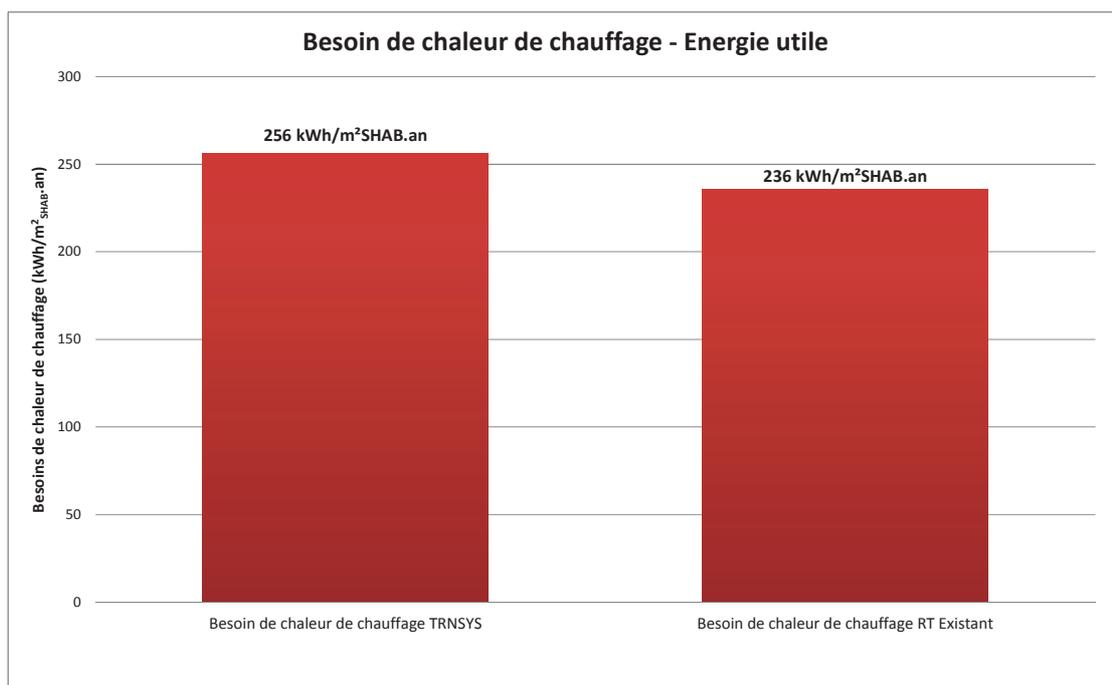
1.2 TORCHIS LOURD : $\lambda = 1,05$ W/M.K

Le diagramme ci-dessous présente les résultats du besoin de chaleur de chauffage obtenus par le programme de simulation dynamique TRNSYS et le module U48 du logiciel de calcul réglementaire Perrenoud.



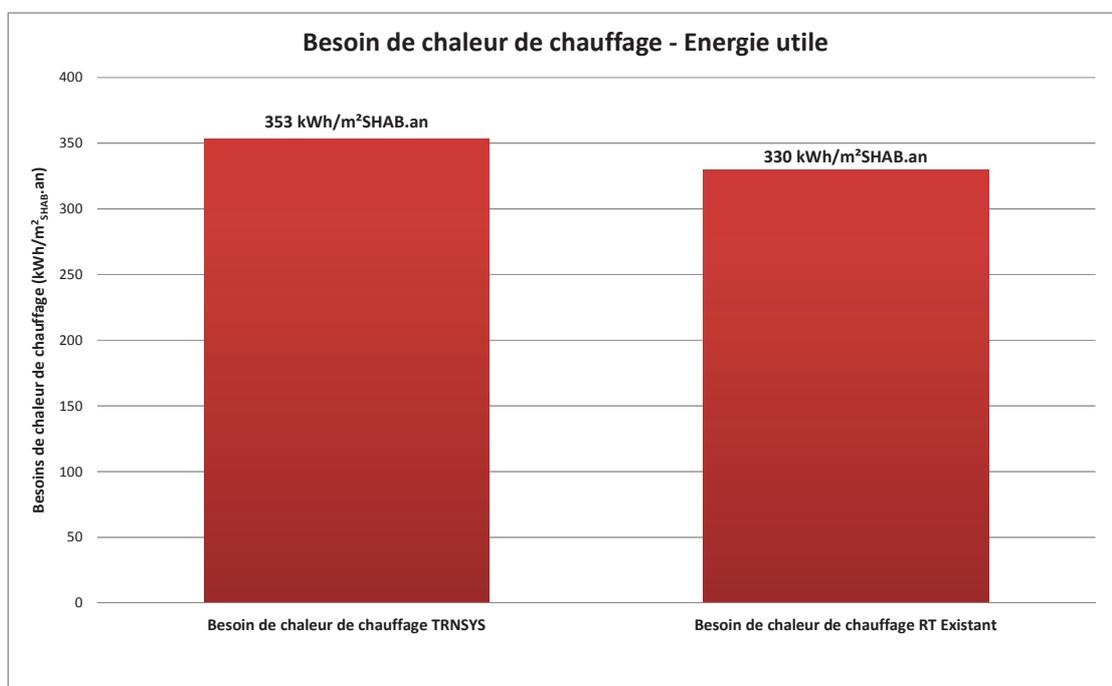
Pour les deux outils, le besoin de chaleur de chauffage s'élève à environ 390 kWh/m²_{SHAB}.an. L'écart entre les deux méthodes s'élève à 8%.

1.3 TORCHIS ALLEGE : $\lambda = 0,15 \text{ W/M.K}$



Le besoin de chaleur de chauffage de la maison avoisine les 250 kWh/m²_{SHAB.an}. L'écart entre les deux méthodes reste de 8%. Le torchis allégé, 7 fois plus isolant que le torchis lourd, permet une baisse du besoin de chaleur de chauffage de 150 kWh/m²_{SHAB.an}.

1.4 TORCHIS DE COMPOSITION MOYENNE : $\lambda = 0,6 \text{ W/M.K}$



En moyenne pour les deux outils, le besoin de chaleur de chauffage s'élève à environ 340 kWh/m²_{SHAB.an}.

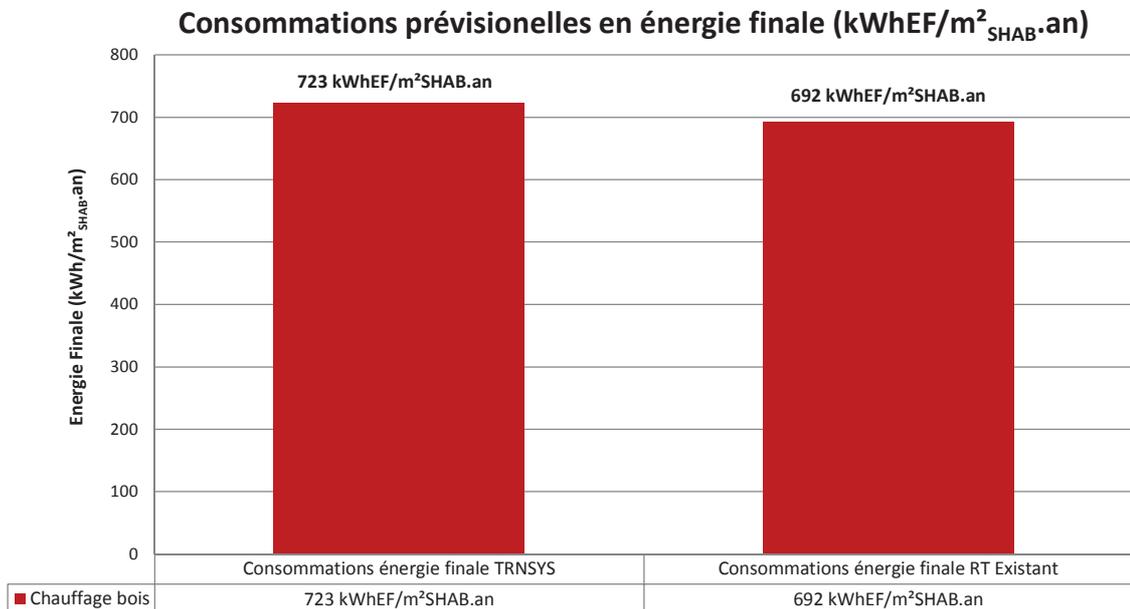
2 CONSOMMATIONS

Les consommations ci-dessous ont été calculées avec un torchis de composition moyenne ($\lambda = 0,6 \text{ W/m.K}$), et avec les mêmes caractéristiques que précédemment pour les autres parois, précisées en Annexe 1.

2.1 TEMPERATURE DE CONSIGNE MOYENNE : 20°C

Cette hypothèse a été prise pour les calculs avec TRNSYS. Cela correspond à une consigne de 16°C en réduit pendant la journée (9 heures par jour) et 22°C en occupation. La température de consigne des calculs RT est fixée à 16°C en réduit et 19°C sinon.

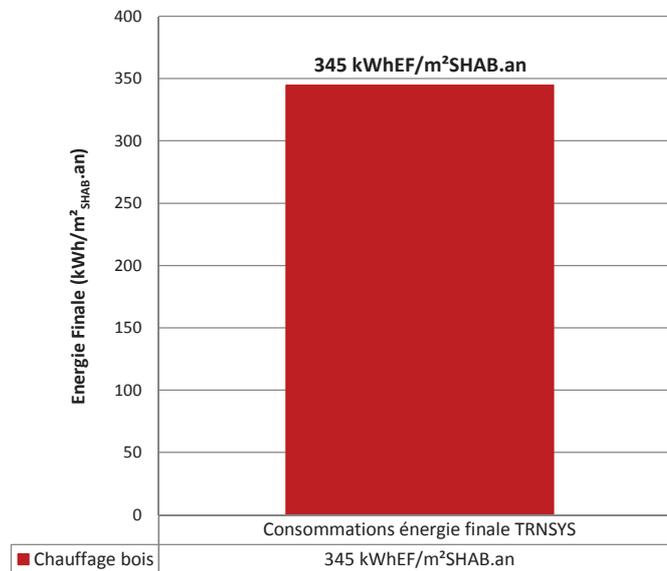
Le diagramme ci-dessous résume les consommations de chauffage en énergie finale obtenues par TRNSYS et par le calcul réglementaire. Nous avons pris l'hypothèse d'un usage traditionnel du bâtiment, avec chauffage bois uniquement.



2.2 TEMPERATURE DE CONSIGNE MOYENNE : 13°C

On étudie les consommations dans le cas d'un mode de vie courant dans les fermes au début du siècle : la maison n'est pas chauffée au-delà de 13°C.

Consommations prévisionnelles en énergie finale (kWhEF/m²_{SHAB.an})



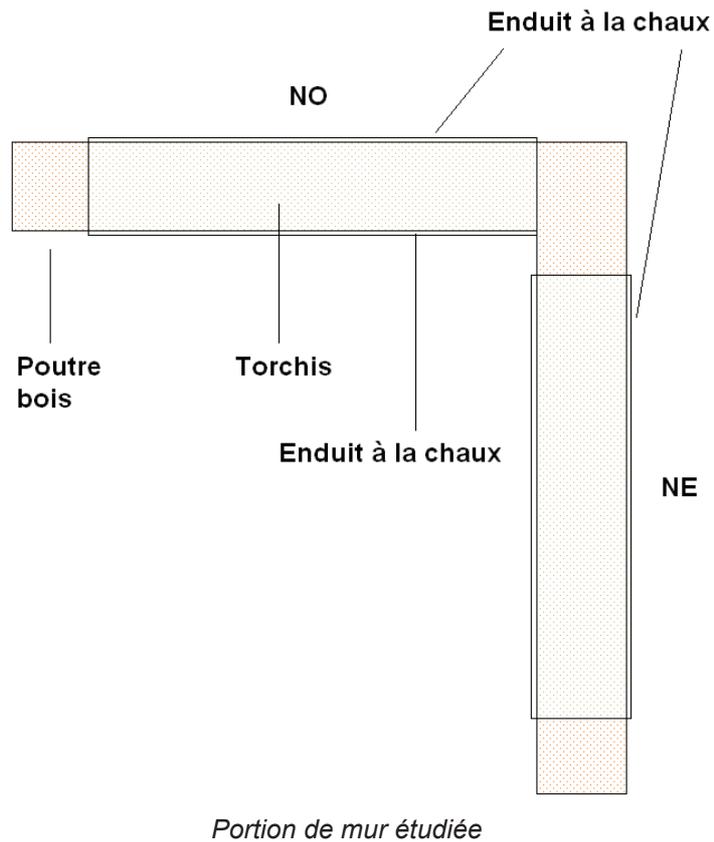
Dans ces conditions, les consommations en énergie finale passent à la moitié de leur valeur avec une consigne moyenne de 20°C.

3 ETUDE WUFI

3.1 SITUATION ETUDIEE

- **Portion de mur étudiée**

Nous avons considéré la jonction de deux murs extérieurs, orientés NO et NE. Ainsi nous nous plaçons dans le cas le plus défavorable. En effet une paroi orientée Nord met plus de temps à s'assécher en été.



- **Matériaux :**

Pour éviter d'avoir à créer un matériau, avec le risque que les caractéristiques entrées soient incomplètes, il est plus sûr de faire appel aux matériaux de la base de données du logiciel WUFI. Pour le torchis on trouve deux matériaux qui conviennent :

- le « Mud Plaster », enduit de terre (photo à gauche) : $\lambda = 0,6 \text{ W/(m.K)}$ et $\mu = 11$
- le « Clay Mortar », bauge (photo à droite) : $\lambda = 0,48 \text{ W/(m.K)}$ et $\mu = 11$



"Mud Plaster"



"Clay Mortar"

Les simulations ont été effectuées avec le premier des deux matériaux, sa conductivité thermique correspondant à la valeur moyenne prise en compte ci-dessus.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques des matériaux pris en compte :

Composition paroi	$\lambda \text{ (W/m.K)}$	$\mu \text{ (-)}$
Torchis	0,6	11
Bois (chêne)	0,13	140
Enduit chaux	0,7	7

- **Conditions initiales :**

Nous avons fixé une valeur initiale en eau telle que les matériaux soient en équilibre avec un air ayant une humidité relative de 80%. Ces conditions initiales sont défavorables et permettent de vérifier si les matériaux s'assèchent ou non au fil du temps.

- **Climat extérieur :**

Le logiciel WUFI est d'origine allemande, la base de données météorologiques concerne uniquement des villes allemandes. Nous avons choisi Mannheim comme climat extérieur de référence dont la latitude est voisine de celle de Strasbourg.

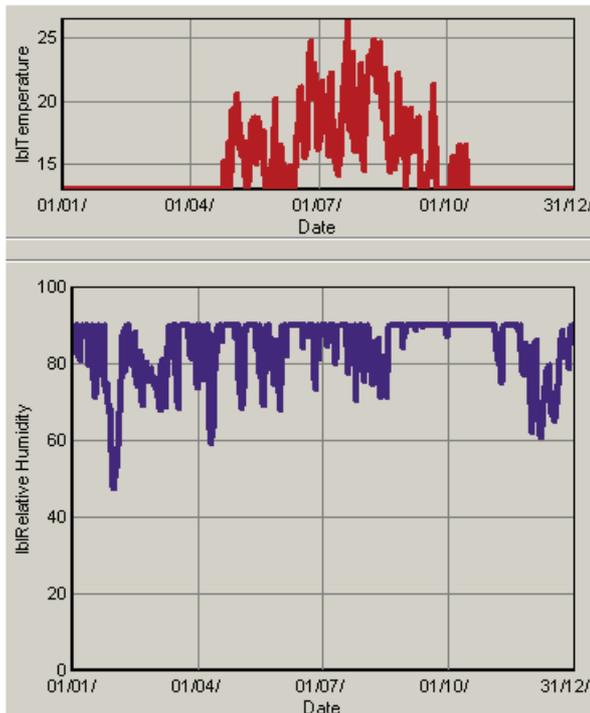
- **Climat intérieur :**

Il s'agit des valeurs d'humidité relative intérieure de la norme ASHRAE 160 mises en relation avec les fluctuations de l'humidité relative de lieu choisi (Mannheim). Cette norme permet également de faire varier l'évolution de l'humidité relative intérieure selon la température de consigne de chauffage de la maison en hiver.

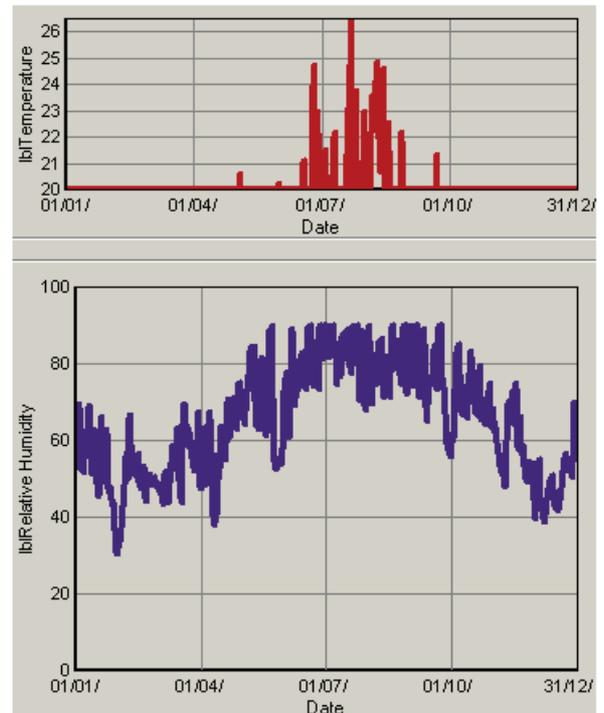
Les deux courbes rouges ci-dessous représentent l'évolution de la température intérieure sur l'année, dans le cas d'une température de consigne de chauffage de 13°C à gauche et de 20°C à droite.

Les deux courbes violettes représentent l'évolution correspondante de l'humidité relative de l'air intérieur. Pour une température de consigne hivernale de 13°C, l'humidité relative oscille entre 60 et 90%. Pour 20°C de consigne en hiver, elle est entre 40 et 90%.

13°C de consigne en hiver



20°C de consigne en hiver



- **Paramètres de simulation**

Les simulations ont été effectuées sur une période de 10 ans.

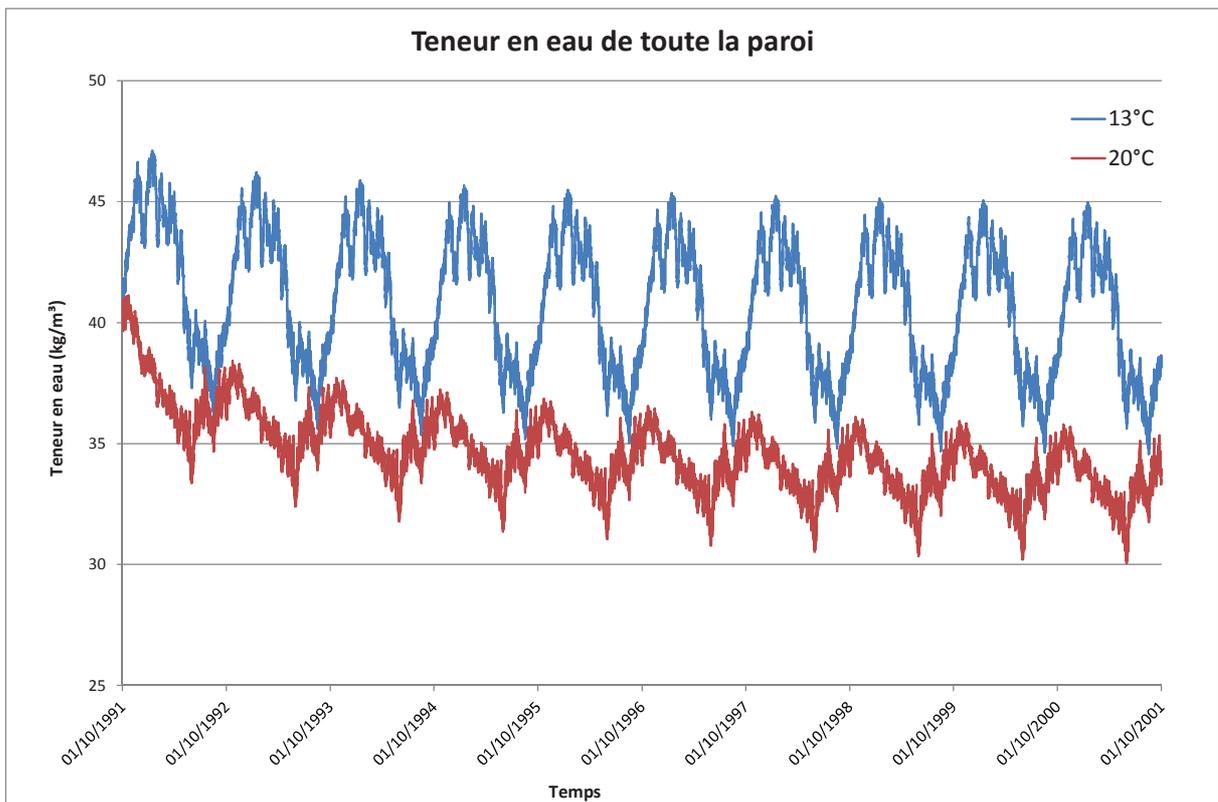
3.2 RESULTATS

Concernant l'interprétation des résultats, les valeurs seuils ne sont pas normées. Celles exploitées ici sont issues de différentes sources, dont le forum de l'éditeur du logiciel WUFI et les recommandations de la note technique d'ENERTECH. Les valeurs seuils considérées ici sont les suivantes :

- Teneur en eau des matériaux :
 - o Torchis : teneur en eau inférieure à la teneur en eau à l'équilibre avec un air à 85% d'humidité relative
 - o Bois : teneur en eau inférieure à 20% de la masse sèche.
- Teneur en eau aux interfaces entre matériaux :
 - o Torchis/enduit : il est conseillé de ne pas dépasser 85 à 90% d'humidité relative

• Teneur en eau globale de la paroi

Pour s'assurer de la pérennité des composants d'une paroi, la teneur en eau dans la paroi globale doit se stabiliser au fil des ans. Ainsi on saura si la paroi accumule de l'eau au fil des années ou si au contraire elle évacue l'eau qu'elle contient et parvient chaque année à sécher.

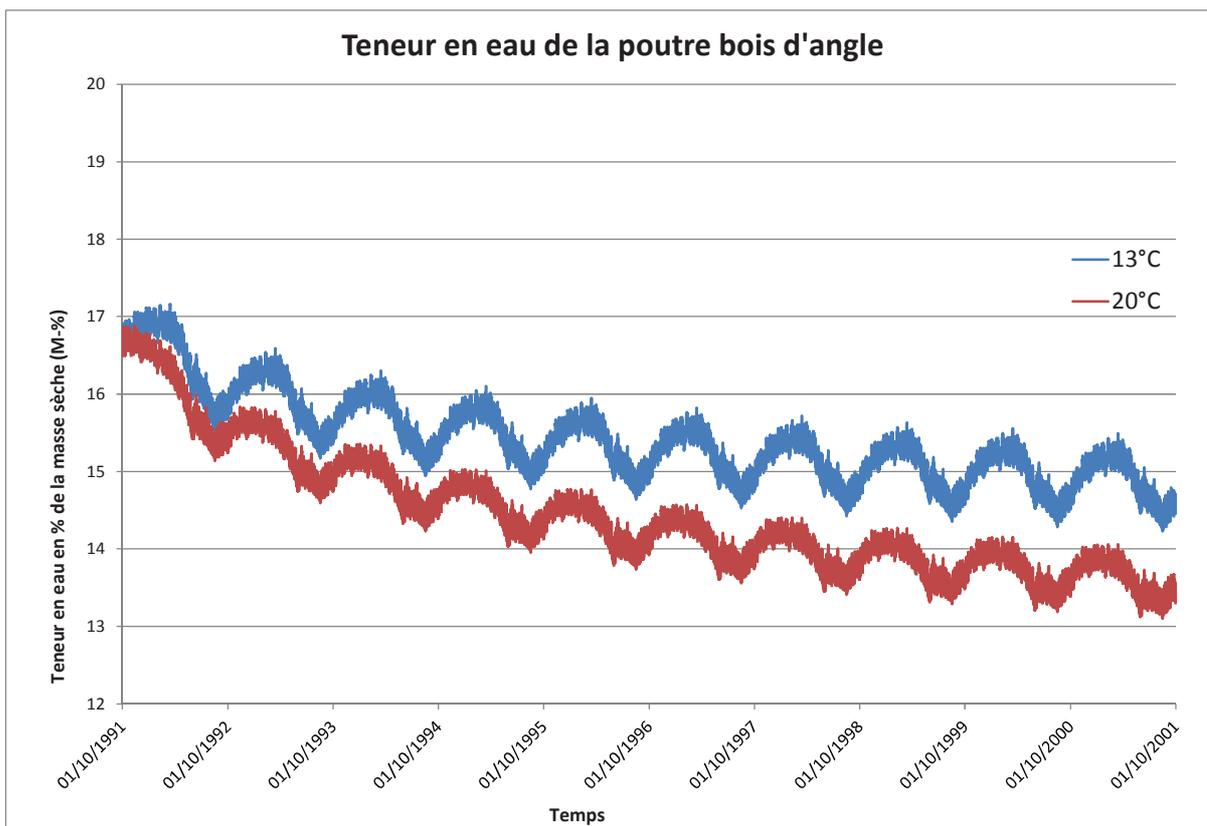
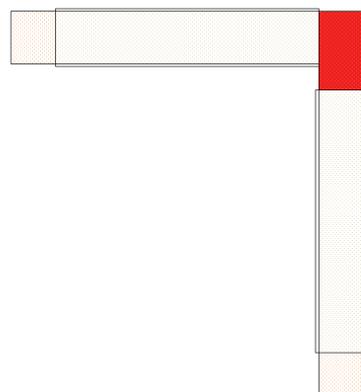


Dans les deux cas, que la température de consigne en hiver soit de 13°C ou de 20°C, la paroi n'accumule pas d'eau et parvient à s'assécher d'année en année. En revanche, elle contient en moyenne plus d'eau dans le cas d'une température de consigne de 13°C : 40 kg/m³ contre 33 kg/m³ pour 20°C, à la fin des 10 années.

Avec une température de consigne de 20°C, la paroi commence par s'assécher pour parvenir à l'équilibre avec l'air ambiant, par contre avec une température ambiante de 13°C, l'humidité relative de l'air intérieur est plus élevée que celle de la paroi lors du début du calcul, ce qui entraîne une augmentation de cette dernière dans la paroi pour parvenir à l'équilibre avec l'air de la pièce.

- **Teneur en eau globale du bois**

On a pris la poutre d'angle, comme indiqué sur le schéma ci-contre.

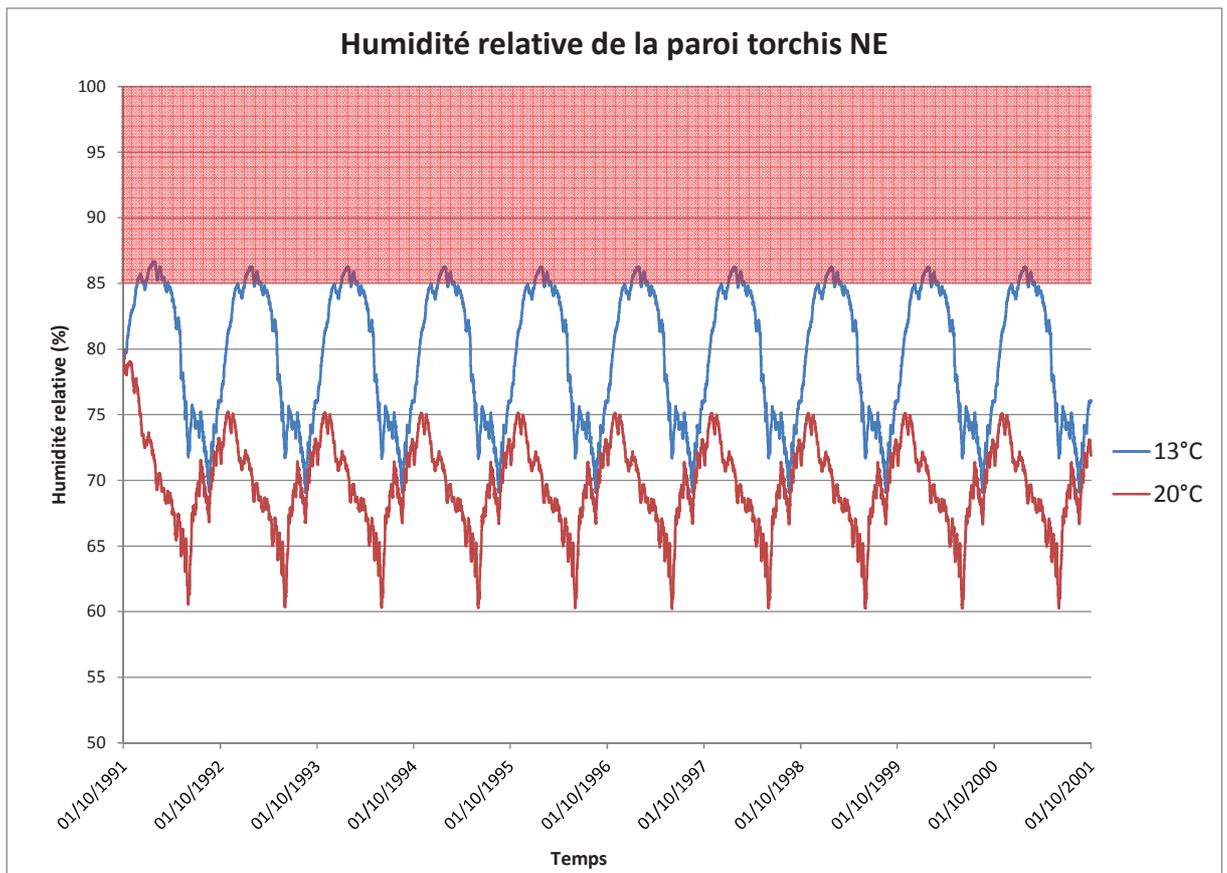
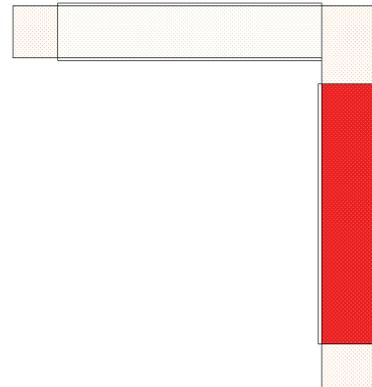


Dans les deux cas de température de consigne de chauffage, la teneur en eau de la poutre d'angle reste en dessous de 20% de sa masse sèche. De même que précédemment, la quantité d'eau dans la poutre est en moyenne plus élevée pour une température de consigne en hiver de 13°C : 14,7% de la masse sèche à la fin des 10 ans, contre 13,5% pour 20°C de consigne.

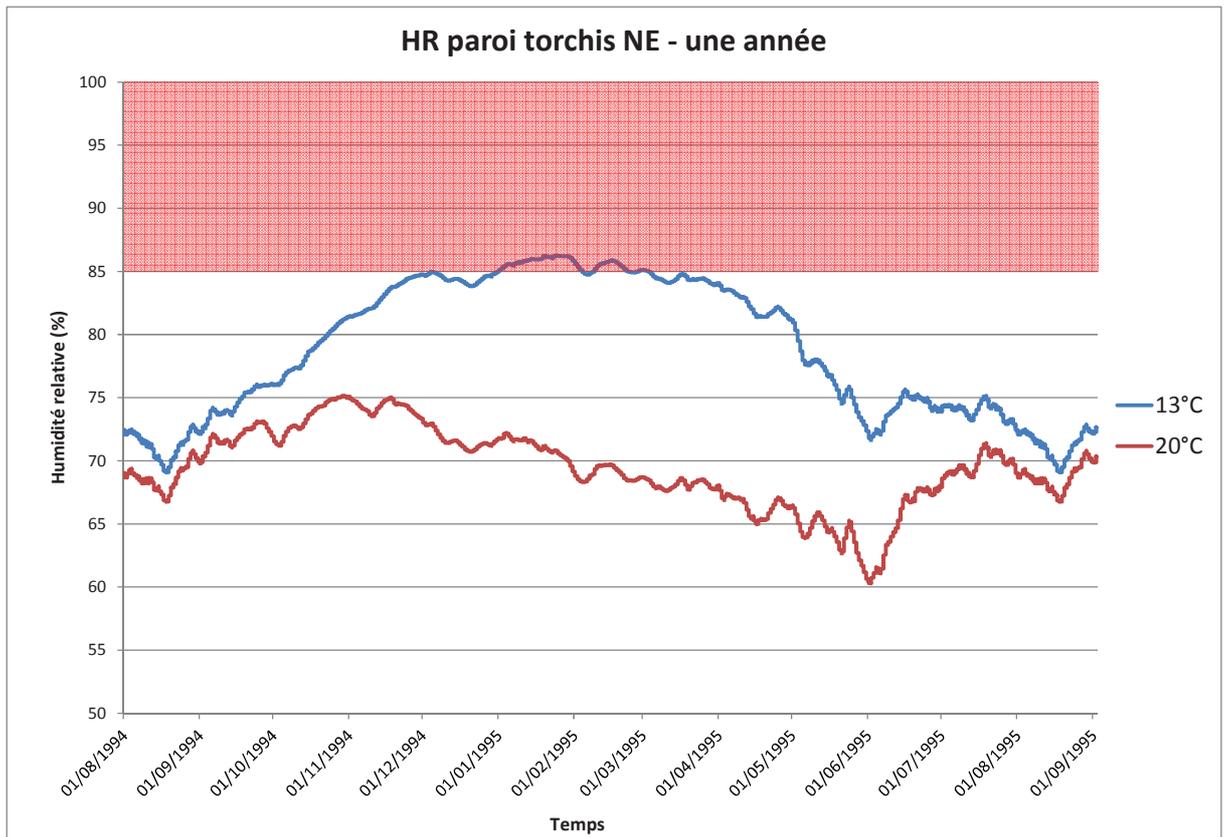
- **Teneur en eau du torchis**

- **Teneur en eau globale de la paroi torchis**

On a pris la paroi en torchis orientée Nord-Est, comme indiqué sur le schéma ci-contre.



On voit de nouveau que la paroi n'accumule pas d'eau au fil des années. En revanche, avec une température intérieure hivernale de 13°C, la paroi en torchis atteint la limite de 85% d'humidité relative tous les hivers, ce qui n'est pas le cas avec 20°C de consigne. On examine donc en détail ce point à la page suivante.

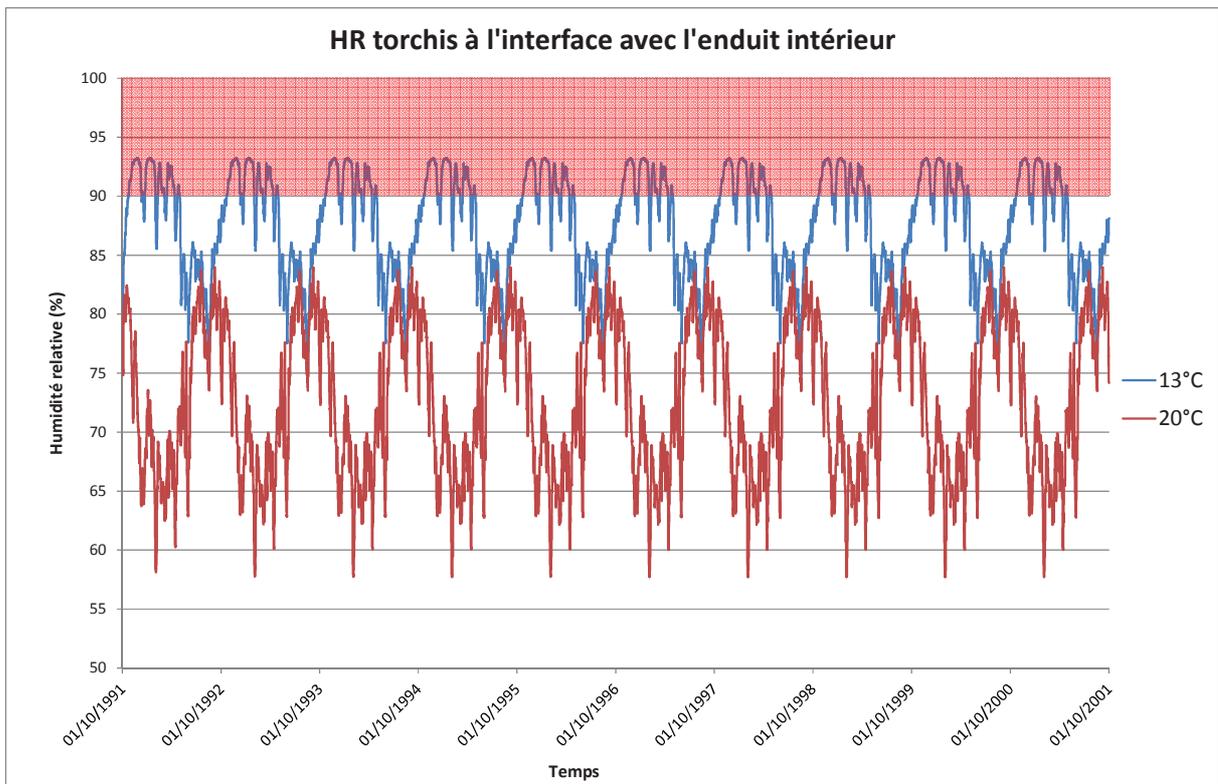
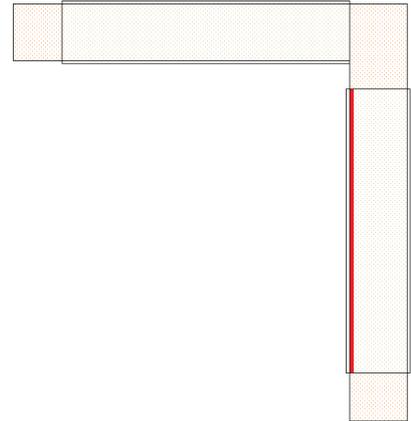


Sur le graphique précédent, on observe l'évolution de la teneur en eau de la paroi en torchis sur une année. Pour 13°C de consigne, les 85% d'HR sont dépassés de peu mais sur une durée d'un mois, ce qui peut conduire à des dommages de la paroi. On peut donc considérer que cette valeur (13°C) est une limite inférieure raisonnable pour la température de chauffe en hiver; une température inférieure engendrerait probablement des dégradations du torchis.

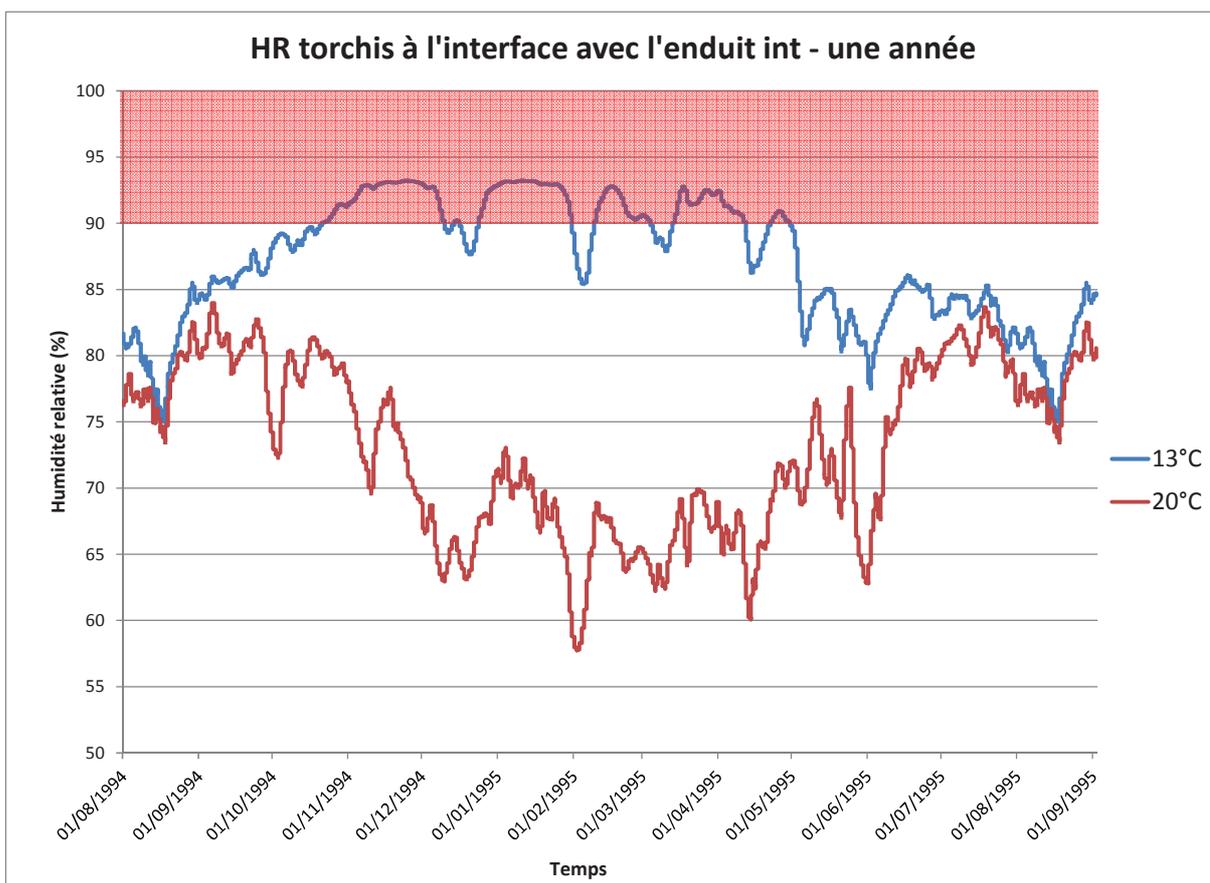
L'humidité relative dans la paroi est comme prévisible encore largement inférieure avec une température de chauffe plus élevée.

○ **Teneur en eau à l'interface torchis / enduit**

On a pris une couche limite de 2 centimètres dans le torchis au contact de l'enduit intérieur, au niveau de la paroi orientée Nord-Est, comme indiqué sur le schéma ci-contre.



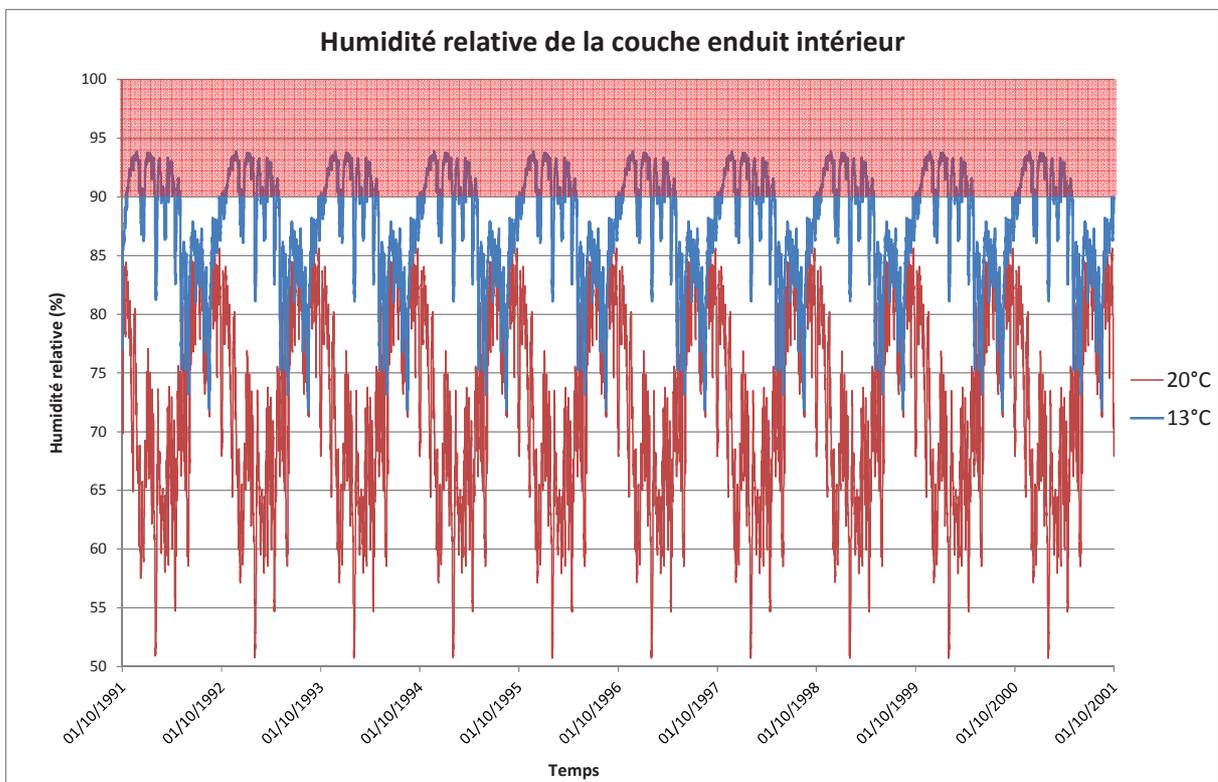
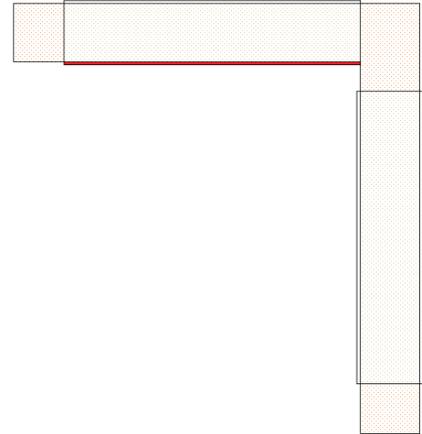
Sous une température de consigne de 13°C, le torchis atteint tous les hivers 90% d'HR à l'interface avec l'enduit intérieur. Avec 20°C de consigne, il n'y a aucun problème.



Sur le détail sur une année de la teneur en eau à l'interface torchis/enduit intérieur, on voit que pour 13°C de consigne, les 90% d'HR sont atteints sur de relativement longues périodes : parfois plus d'un mois. Cela va sûrement mener à la détérioration de l'enduit intérieur. Comme dans la partie précédente, on peut considérer cette valeur comme seuil minimal de la température de chauffe.

- **Teneur en eau de l'enduit intérieur**

On a pris toute la couche d'enduit intérieur de la paroi orientée Nord-Ouest, comme indiqué sur le schéma ci-contre.



L'évolution de la teneur en eau dans la couche d'enduit intérieur est très similaire à celle du torchis à l'interface avec l'enduit. On voit de même qu'il n'y a pas de problème avec 20°C de consigne intérieure, mais qu'à 13°C, la limite des 90% d'HR est régulièrement atteinte et sur de longues périodes.

4 SIMULATION DYNAMIQUE POUR LE CONFORT D'ETE

4.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

- **Données météorologiques**

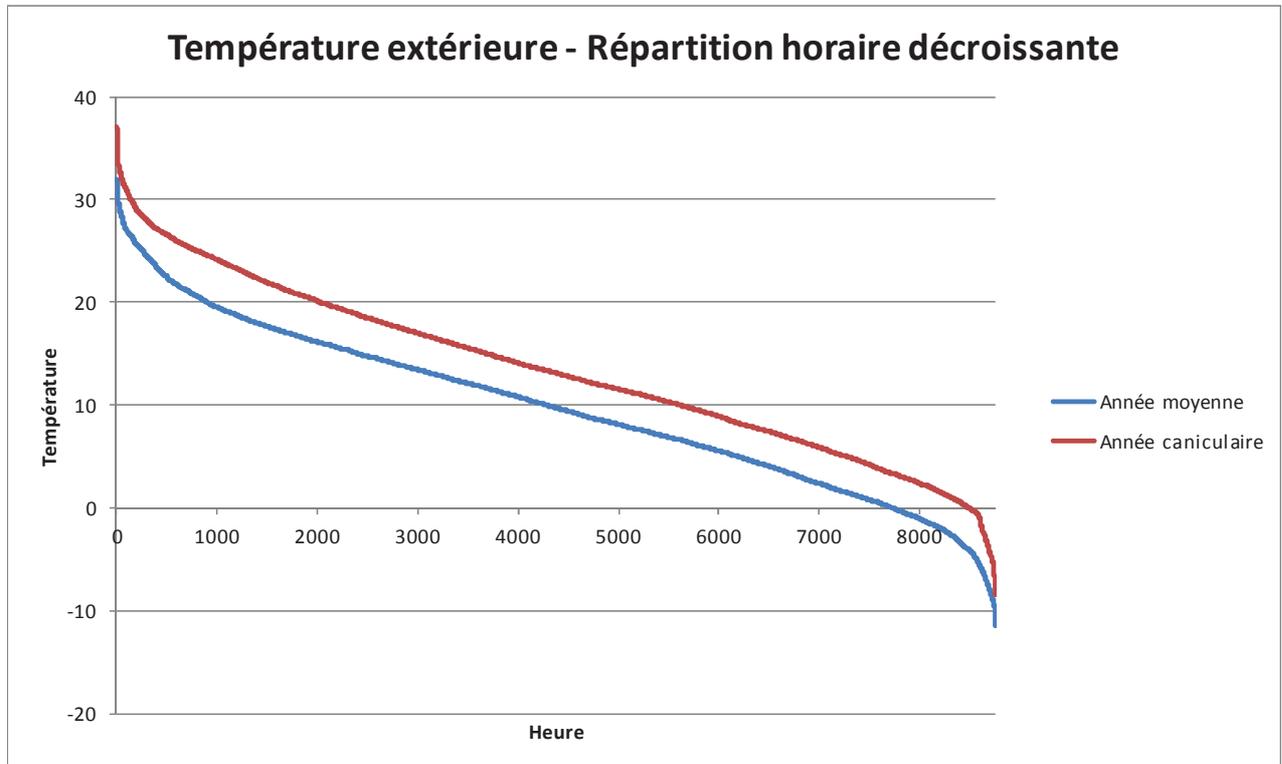


Diagramme de répartition des températures annuelles

Les données météorologiques utilisées sont celles de Strasbourg, pour une année moyenne et une année caniculaire (2003).

Le diagramme représente les températures extérieures en ordonnée et les heures de l'année en abscisse. Les températures ont un pas de temps d'une heure. Il y a 8760 heures par an. Les températures sont classées dans l'ordre décroissant afin de lire les températures maximales ainsi que la fréquence de chaque niveau de température.

Par exemple, on peut lire sur le graphique que la température extérieure est supérieure à 20 degrés pendant environ 1000 heures pendant une année moyenne et pendant environ 2000 heures pendant une année caniculaire.

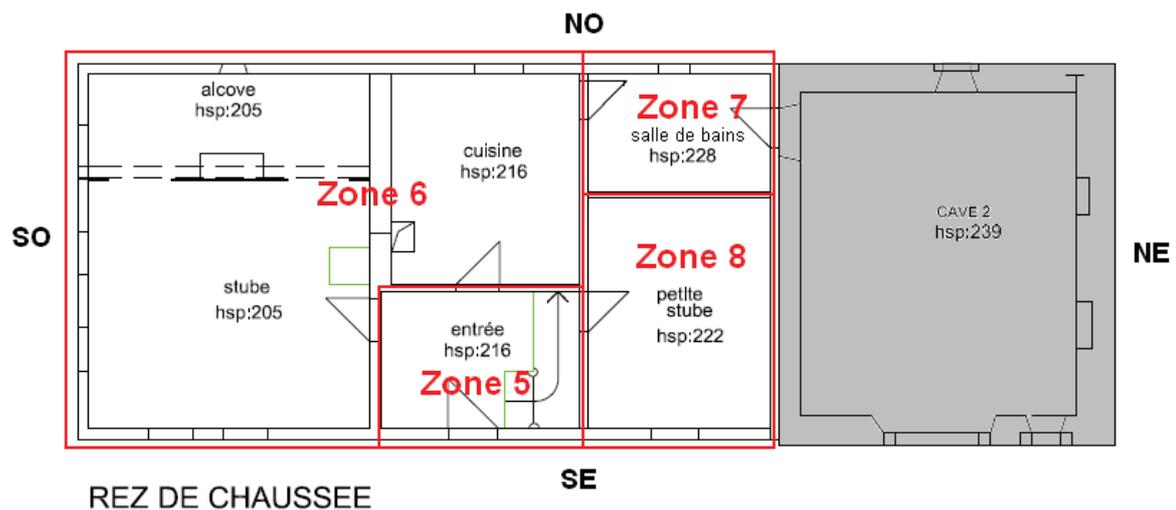
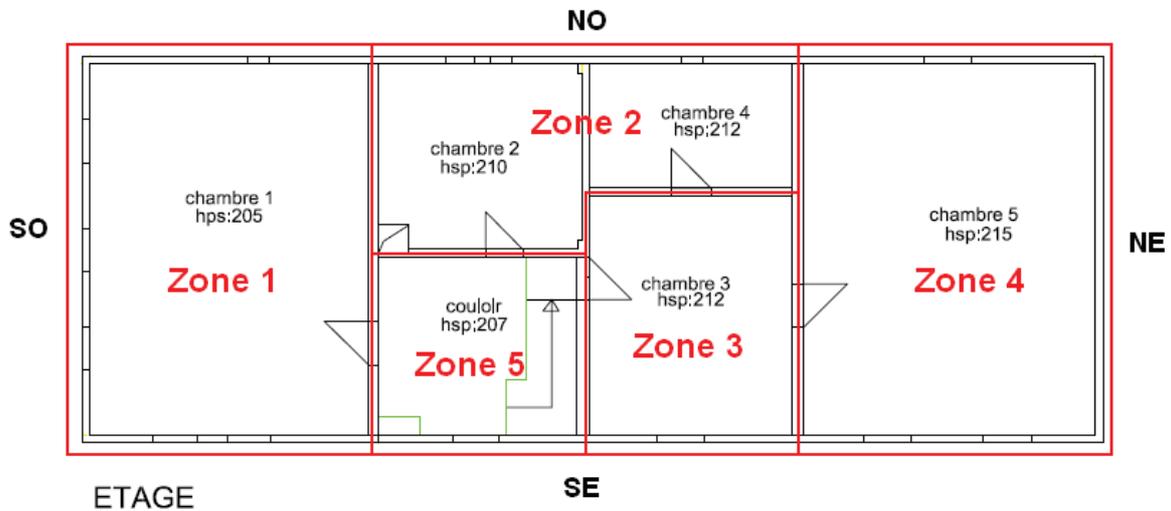
- **Zones d'étude**

Huit zones sont étudiées selon leur usage, leur orientation et leur scénario d'occupation :

- Les zones 1 à 4 sont des chambres, donc zones de nuit, avec chacune des orientations différentes.
- La zone 5 rassemble l'entrée et le couloir, c'est une zone de passage sans occupation réelle.
- La zone 6 est composée de la cuisine et de la grande pièce de séjour, des pièces de jour. Il n'y a pas de séparation entre les deux.
- La zone 7 se compose uniquement de la salle de bains, à l'occupation particulière (2 heures dans la journée).
- Enfin la zone 8 est constituée de la petite pièce de séjour.

Les scénarios d'occupation et d'apport interne sont présentés en annexe.

ETAT EXISTANT



• Fermeture des volets :

Toutes les fenêtres des façades Sud-Est et Sud-Ouest sont équipées de volets en bois, qui occultent 100% des rayonnements quand ils sont fermés. Dans certaines des modélisations effectuées, on considère que les habitants les ferment en journée lorsque l'ensoleillement incident dépasse 200 W/m^2 . C'est un des paramètres dont on étudie l'influence sur le confort d'été dans les simulations suivantes.

• Ouverture des fenêtres :

- Ventilation habituelle par ouverture des fenêtres :

La maison ne dispose pas de ventilation mécanique. Nous avons considéré les scénarios d'ouverture des fenêtres suivants :

- chambres (zones 1 à 4) : ouverture complète des fenêtres pendant une demi-heure le matin (7h-7h30)
- cuisine et séjour (donc zone 6) : entrebâillement des fenêtres une demi-heure à midi et le soir au moment de la cuisine (12h-12h30 et 19h-19h30)
- séjour (zone 8) et salle de bains (zone 7) : entrebâillement des fenêtres une demie heure le soir (19h-19h30)

Ce type d'ouverture de fenêtres quotidienne, indépendante des conditions de température intérieures et extérieures, est prise en compte dans toutes les simulations effectuées.

- **Ventilation supplémentaire par ouverture des fenêtres pour le rafraîchissement:**

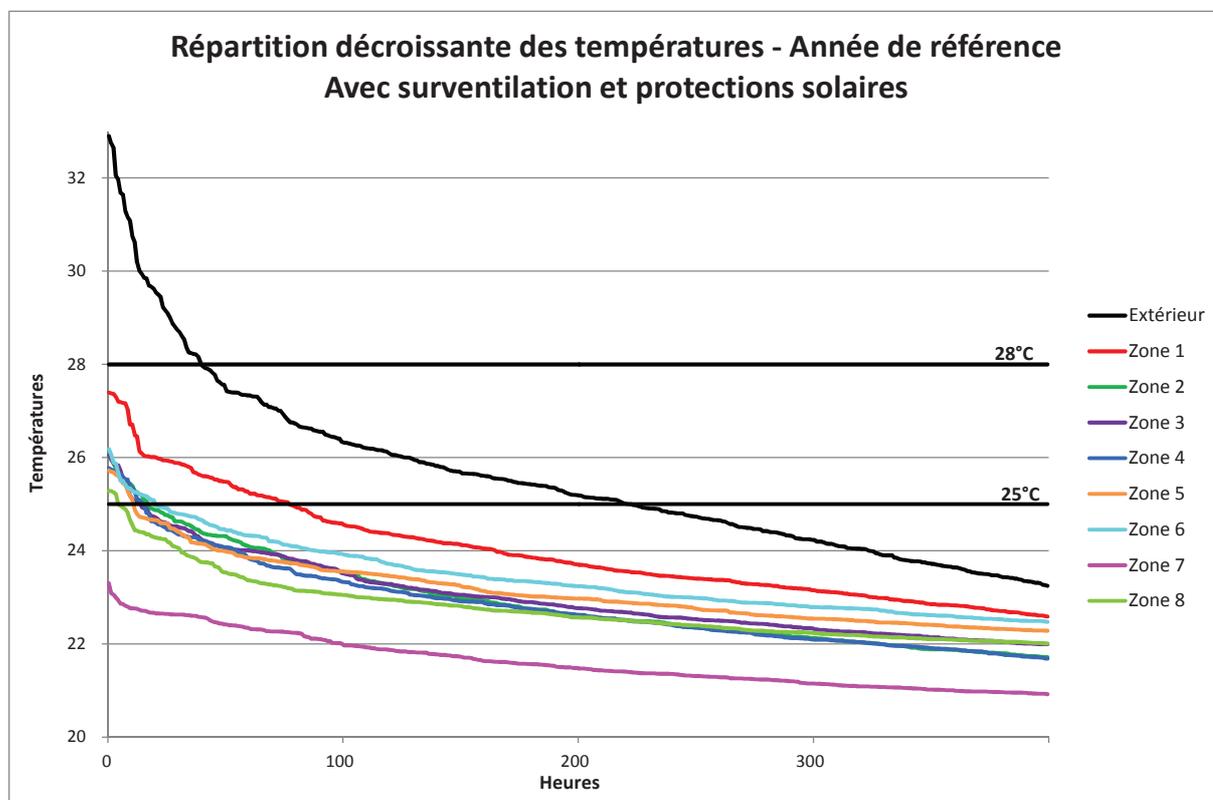
L'ouverture supplémentaire des fenêtres pour le rafraîchissement en cas de surchauffe est un des paramètres dont on étudie l'influence sur le confort d'été. Cette ventilation supplémentaire a été programmée de cette façon :

- Dans les zones de jour (zones 5 à 8), lorsqu'elles sont occupées et si la température intérieure est supérieure à la température extérieure, alors les utilisateurs ouvrent les fenêtres et profitent de la fraîcheur extérieure.
- Dans les zones de nuit (zones 1 à 4), on considère que les habitants ouvrent un pan de leur fenêtre et le laissent ouvert toute la nuit.

4.2 RESULTATS

- Année de référence

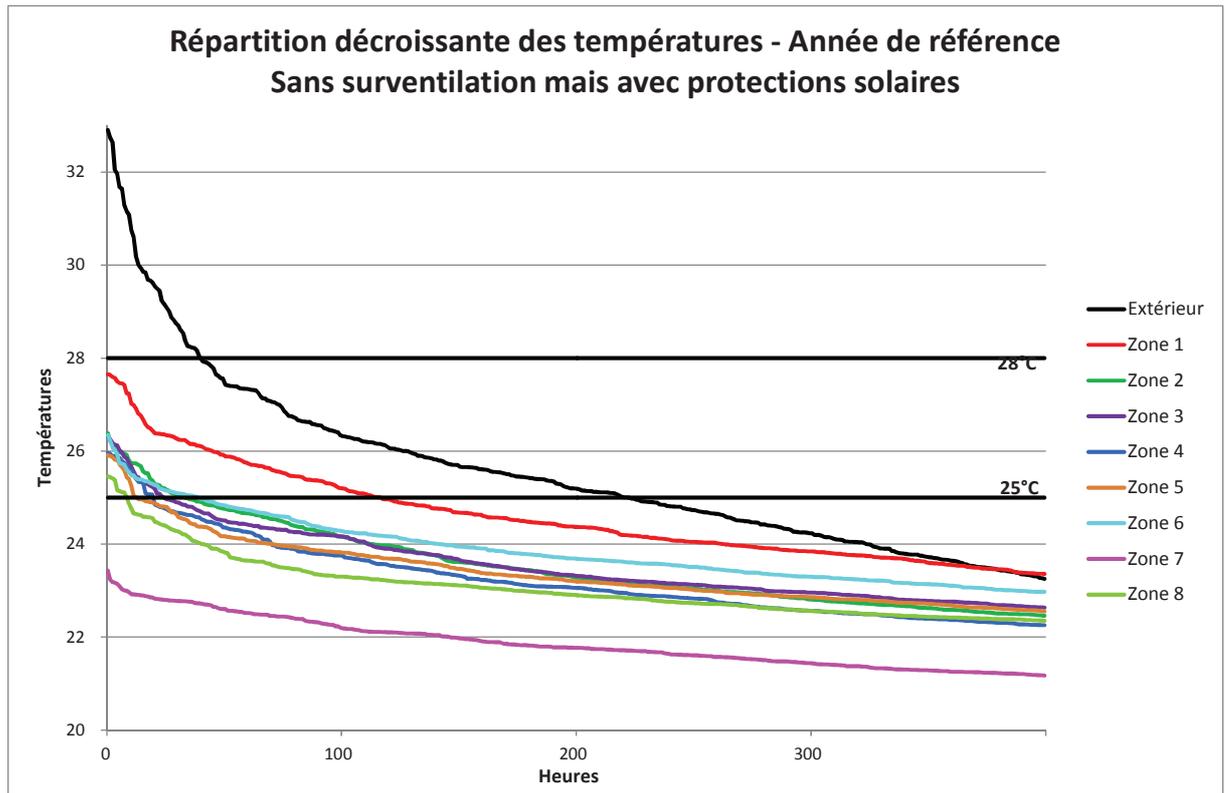
- Avec surventilation naturelle et fermeture des volets :



Avec une surventilation par les fenêtres et la fermeture des volets au-delà de 200 W/m^2 d'ensoleillement, le confort d'été est satisfaisant : il n'y a pas de surchauffes au-delà de 28°C .

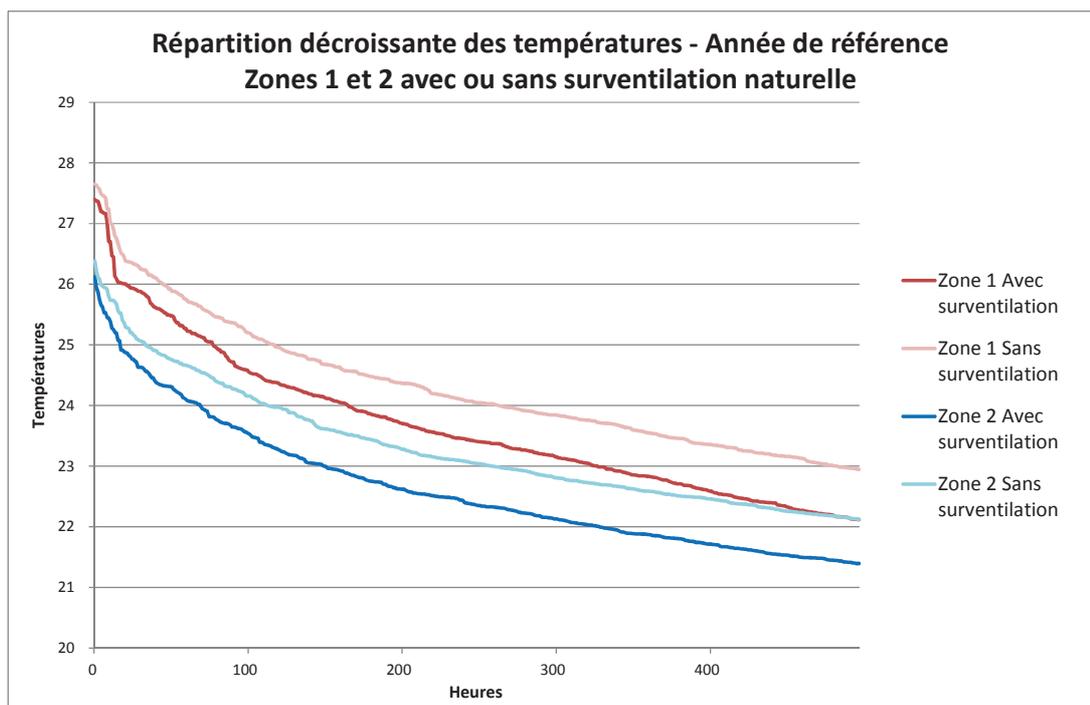
La zone 1 est la zone la plus chaude car elle est orientée Sud-Ouest. Sa température est au-dessus de 25°C pendant 80 heures de l'été.

○ Sans surventilation naturelle mais avec fermeture des volets :



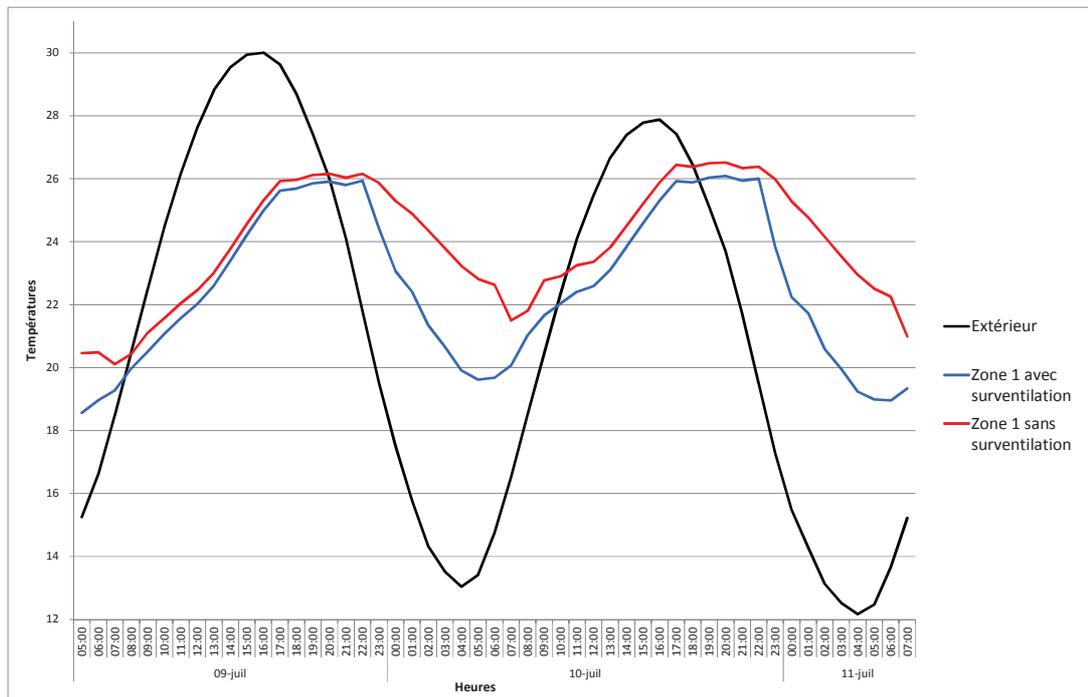
La surventilation naturelle par ouverture des fenêtres participe au confort d'été. Elle a une faible influence sur la température maximale atteinte, mais plutôt sur la fréquence des températures atteintes.

Dans la zone 1 par exemple, l'absence de surventilation naturelle fait passer de 80 à 120 le nombre d'heures où la température est au-dessus de 25°C. Le diagramme ci-dessous présente la répartition des températures dans les zones 1 et 2 avec et sans surventilation naturelle.



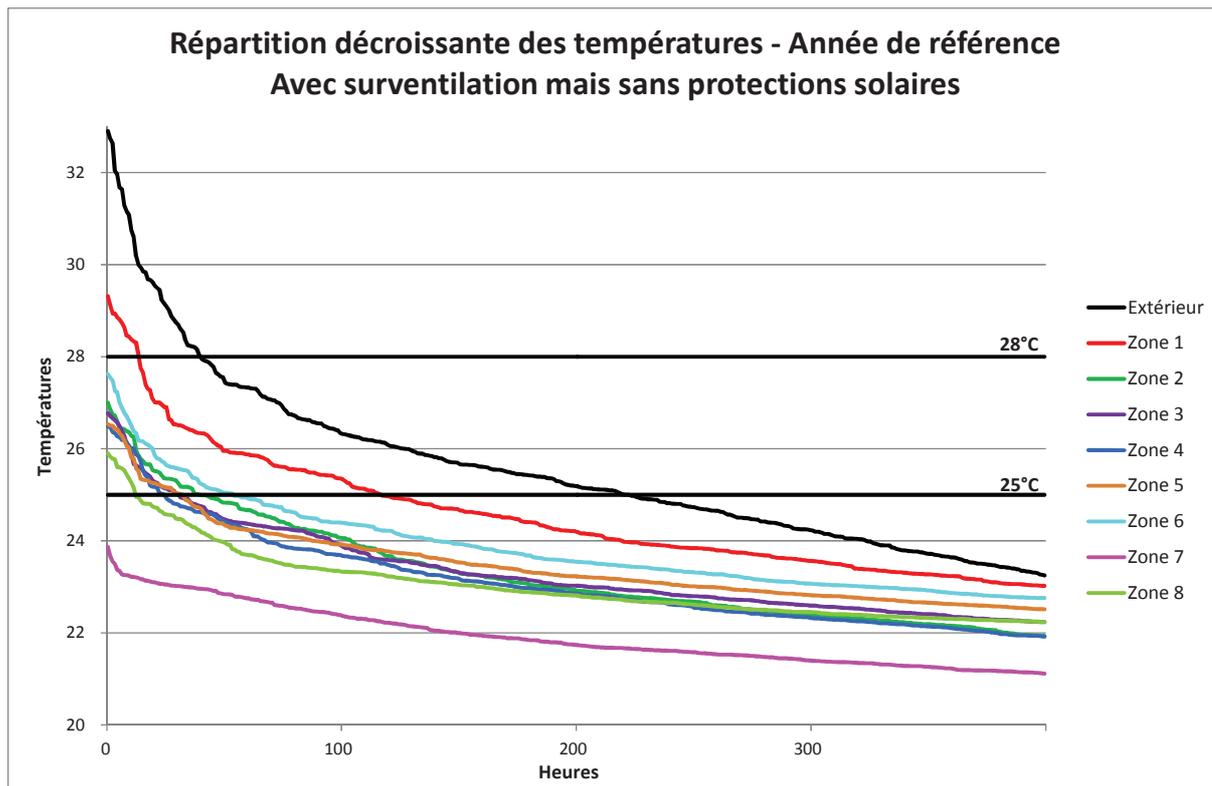
On voit que l'ouverture supplémentaire des fenêtres fait moins baisser la fréquence des températures les plus élevées que la fréquence des températures moins élevées. Cela est

dû au fait que c'est principalement l'ouverture des fenêtres la nuit qui rafraîchit l'ambiance, car dans ce cas la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est plus grande que lorsqu'on ouvre les fenêtres pendant la journée. Or le soir et la nuit, lors de l'ouverture des fenêtres, la température intérieure a déjà baissé, on ne fait donc pas diminuer le pic de température. Cela est illustré par le graphique ci-dessous.



La surventilation nocturne permet d'atteindre de nouveau une température agréable dans les chambres.

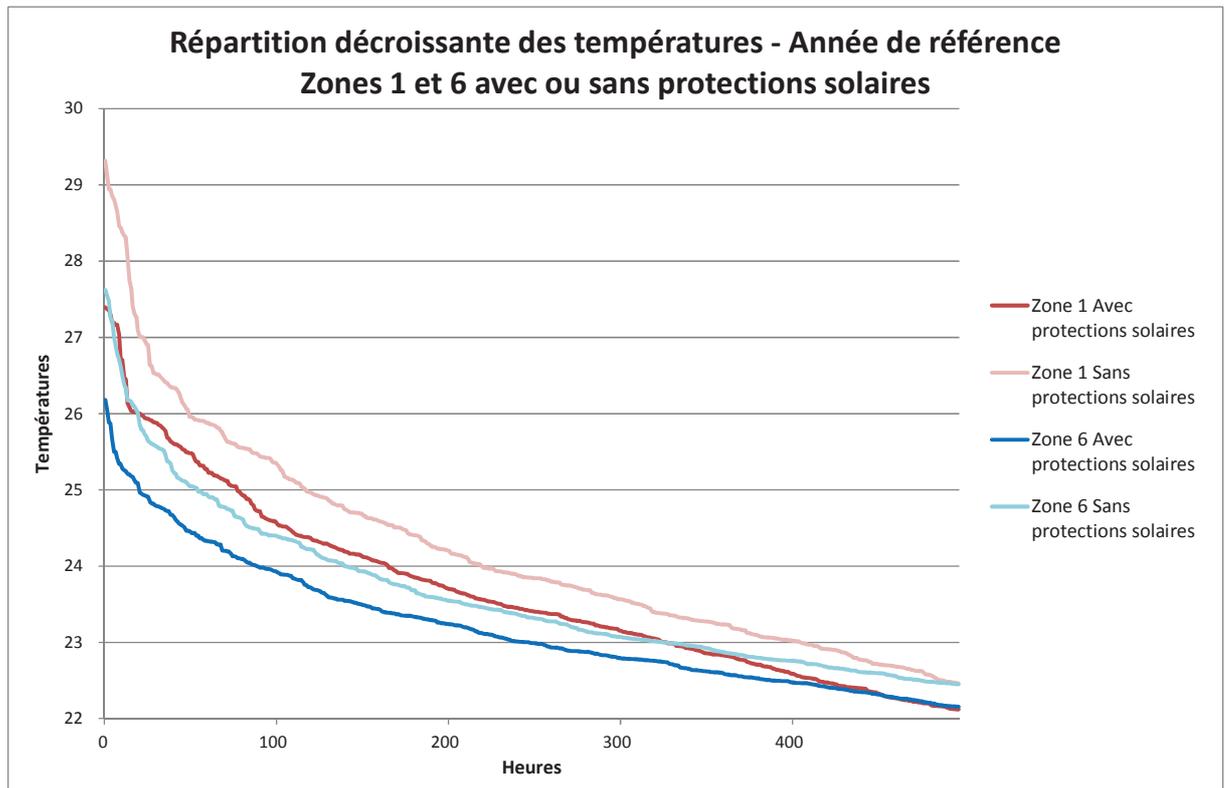
- Avec surventilation naturelle mais sans fermeture des volets :



La fermeture des volets pendant la journée au-delà de 200 W/m² d'ensoleillement participe aussi beaucoup au confort d'été. Ce paramètre agit sur la température maximale atteinte et sur la fréquence des températures élevées atteintes. Le tableau suivant présente les températures maximales atteintes pour chaque zone, avec et sans fermeture des volets pendant la journée.

	Max T1	Max T2	Max T3	Max T4	Max T5	Max T6	Max T7	Max T8
Sans fermeture volets	29,3	27	26,8	26,5	26,5	27,6	23,9	25,9
Avec fermeture volets	27,4	26,1	26,1	25,8	25,7	26,2	23,3	23,3

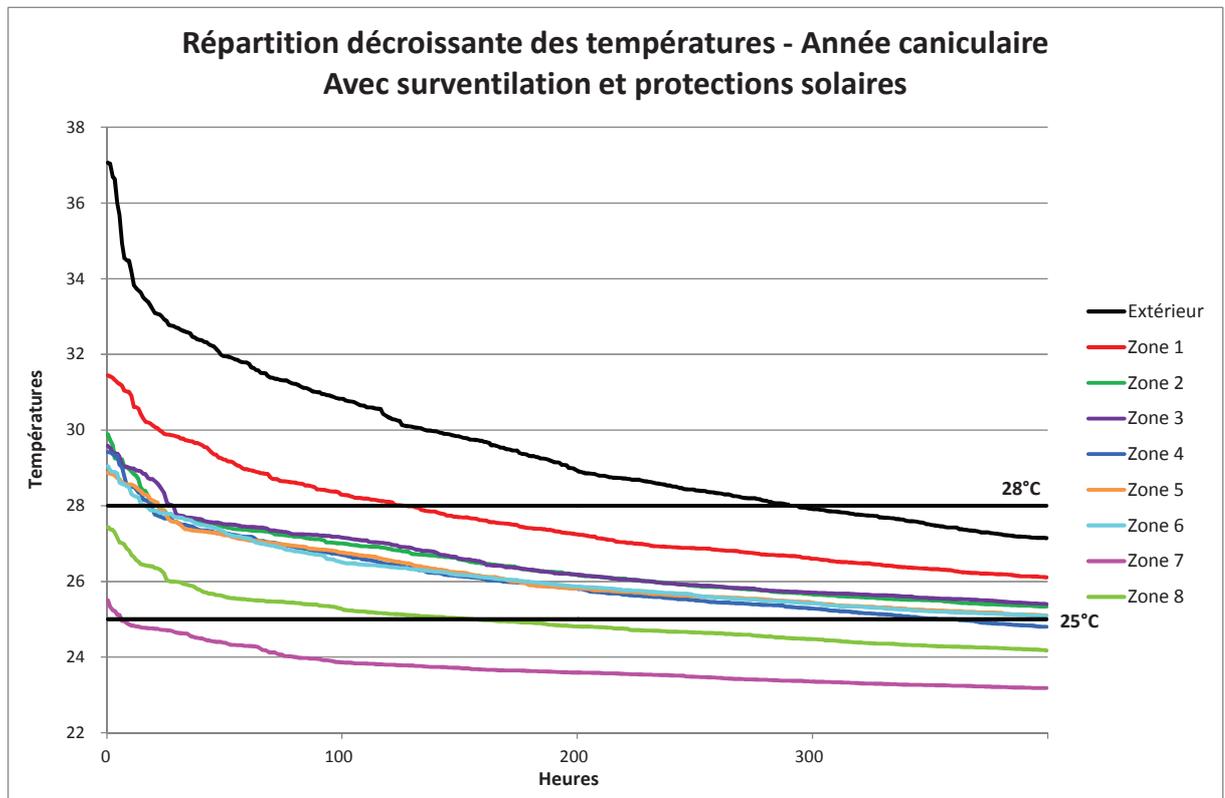
L'influence est la plus grande sur la zone 1 (1,9°C de différence) et la zone 6 (1,4°C). C'est logique avec le fait que ces deux zones sont orientées Sud-Ouest.



Fermer les volets en journée pour un ensoleillement dépassant 200 W/m² permet de baisser la fréquence des heures au-dessus de 25°C d'une quarantaine d'heures dans les deux zones.

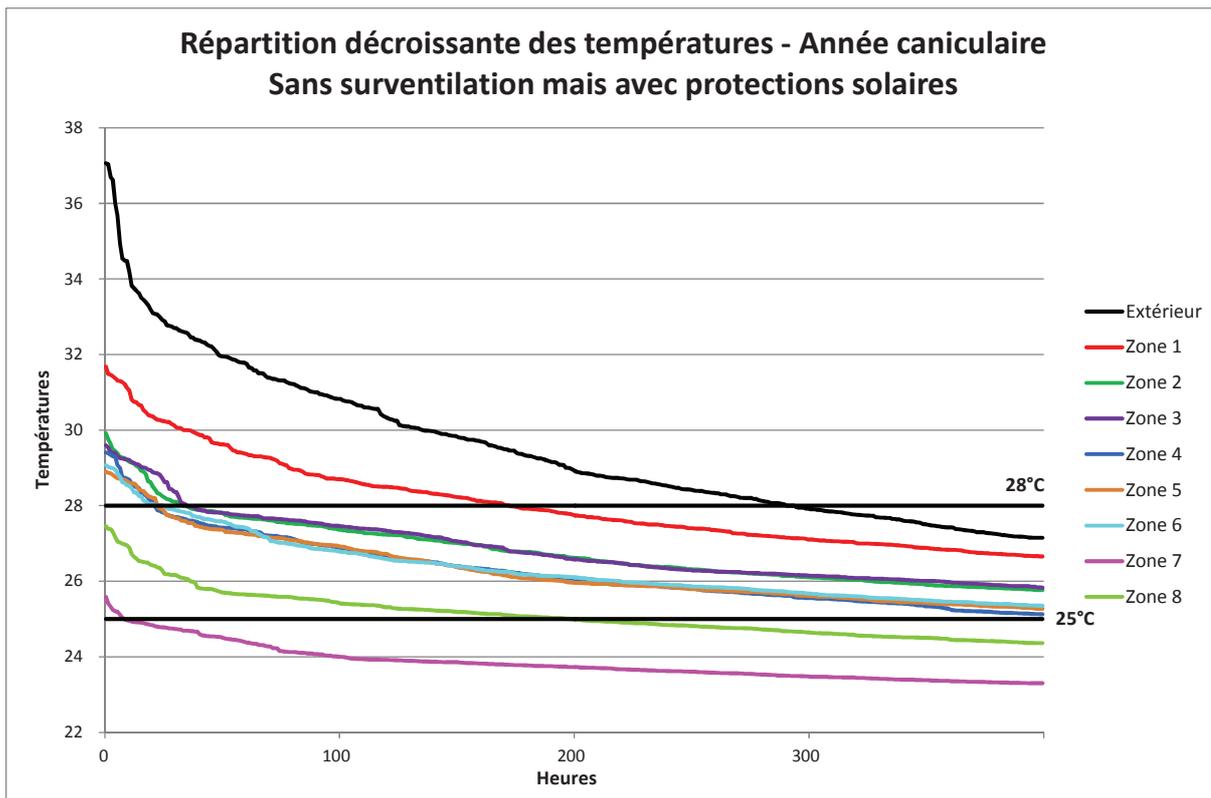
- **Année caniculaire**

- Avec surventilation naturelle et fermeture des volets

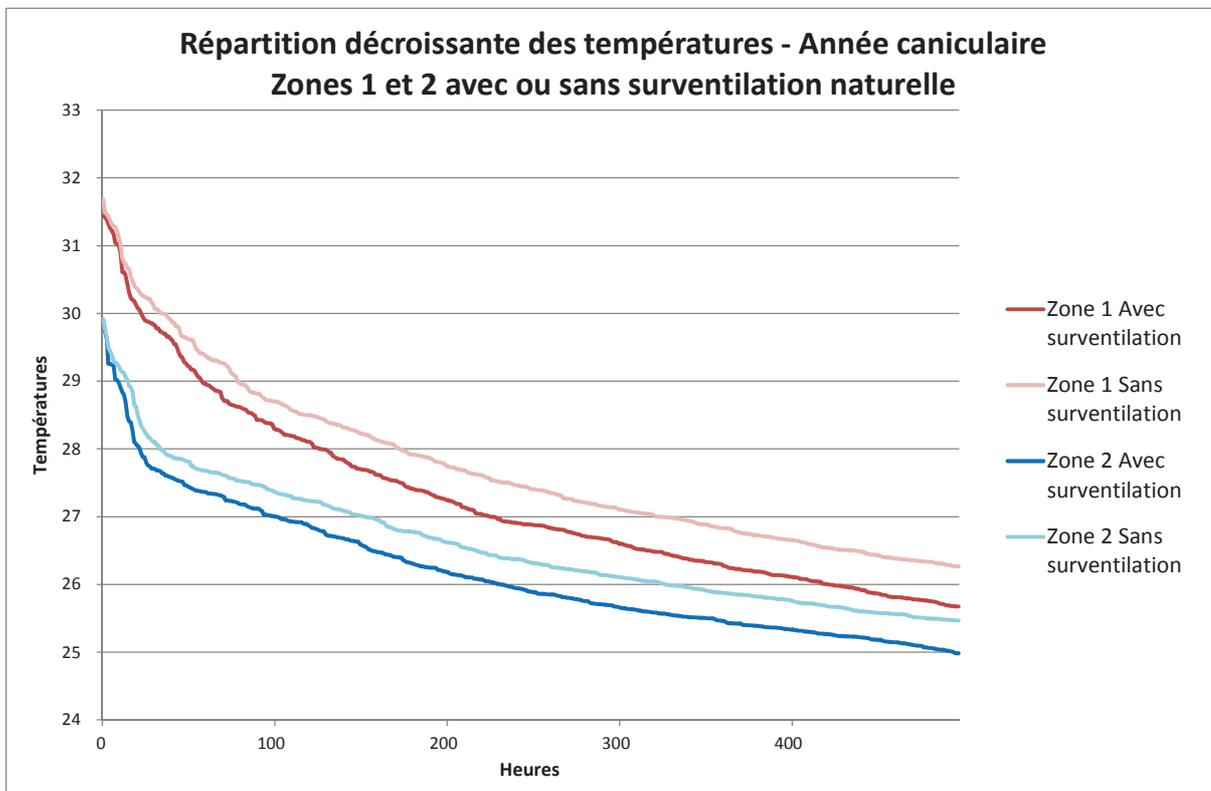


En dehors de la zone 1, le confort d'été reste satisfaisant en fermant les volets pendant la journée et en ouvrant les fenêtres selon les conditions énoncées plus haut. En effet, le nombre d'heures où la température intérieure est au-dessus de 28°C ne dépasse pas une trentaine d'heures pour la zone 3 et une vingtaine pour les autres. En revanche, il fait 28°C dans la zone 1 pendant un peu plus de 120 heures de l'été.

○ Sans surventilation naturelle mais avec fermeture des volets

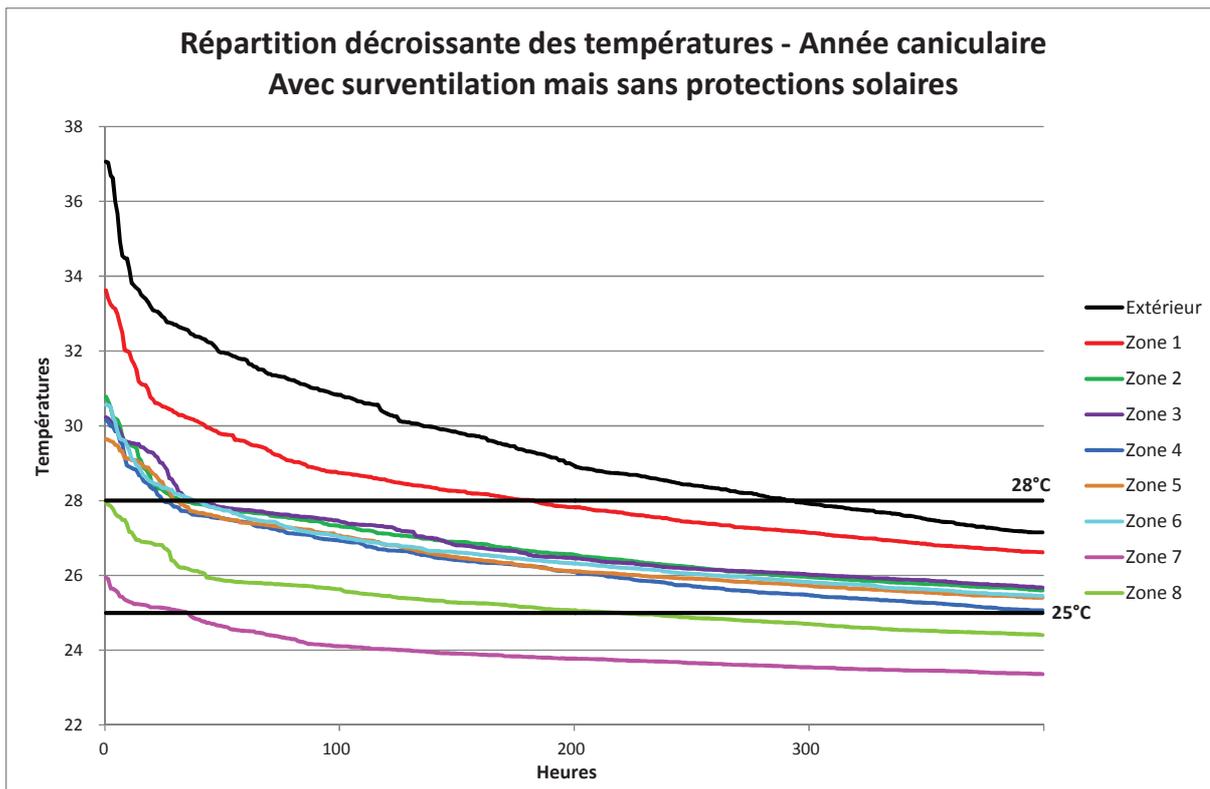


Sans ouverture des fenêtres supplémentaire à l'ouverture quotidienne habituelle, le nombre d'heures au-dessus de 28°C de la zone 1 passe à 170 heures. Pour les autres zones, on voit l'augmentation de la fréquence des températures sur les valeurs de température un peu moins élevées.

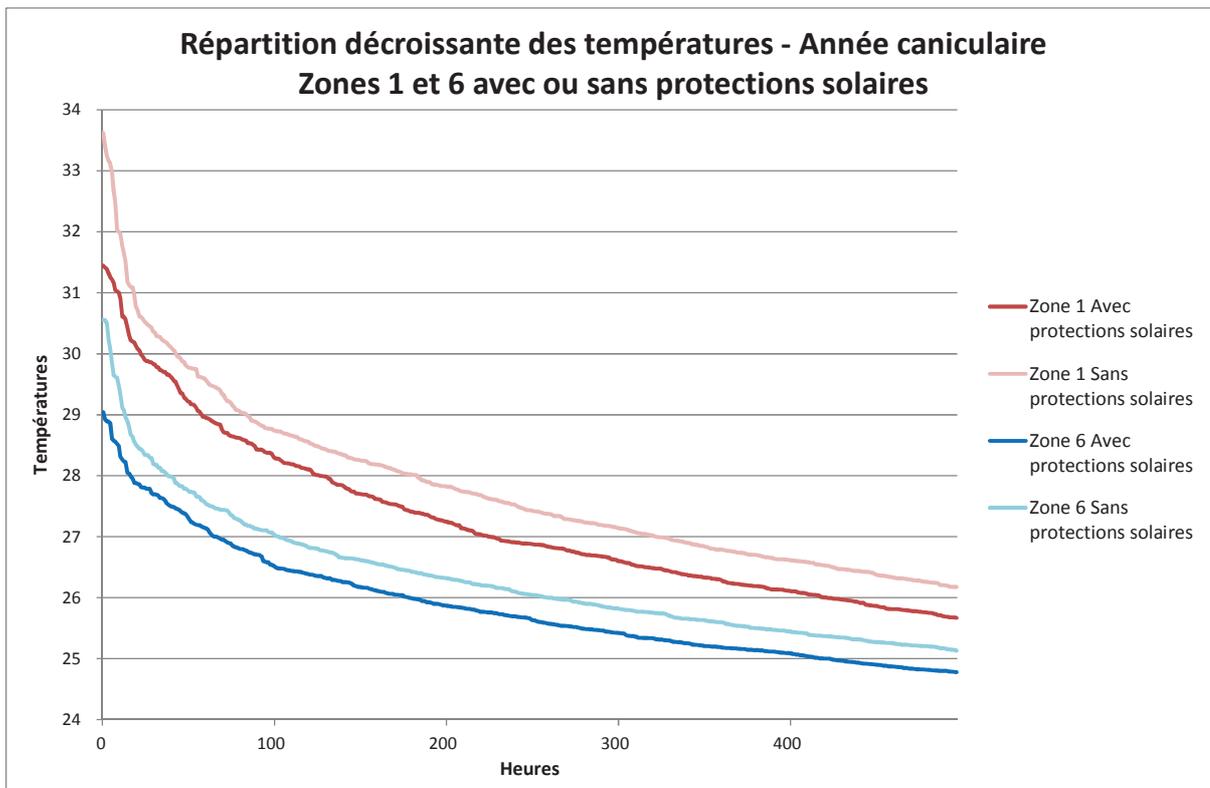


Pour la zone 2 par exemple, la fréquence des températures au-dessus de 26°C passe de 230 à 330 heures. Il est donc recommandé d'ouvrir les fenêtres en plus de l'ouverture quotidienne habituelle, selon les conditions précisées avant.

○ Avec surventilation naturelle mais sans fermeture des volets



Sans fermeture des volets au-delà de 200 W/m² d'ensoleillement, la température maximale atteinte en zone 1 augmente de 2,2°C et de 1,5 en zone 6.



La fréquence des températures au-dessus de 28°C augmente de 20 heures en zone 6 et de 60 heures en zone 1. La fermeture des volets participe grandement au confort d'été.