

# Rapport action tuffeau

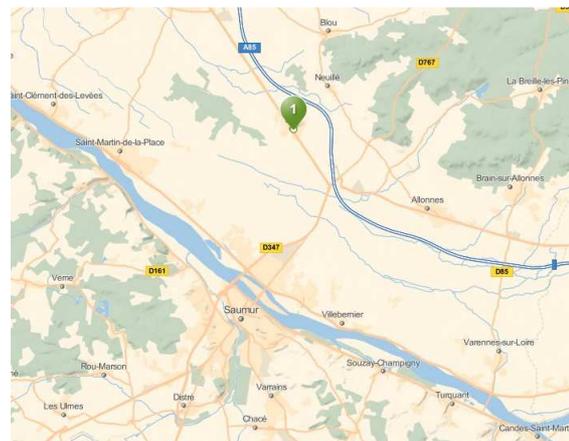
*Réhabilitation énergétique des bâtiments en tuffeau – Etat de l’art et retours d’expérience*

## CAHIER n°1

*Maison de maître – Vivy*



**Figure 1-1 : Façade Sud**



**Mesures : été 2011-été 2013**



Les parois de la partie plus ancienne sont constituées de 2 murs en pierre de taille de 22 cm au milieu duquel un blocage est constitué. Le mur fait au total 70 cm d'épaisseur, le tuffeau est apparent en intérieur comme en extérieur. Les menuiseries sont en double vitrage. Cette partie présente une surface au sol d'environ 90 m<sup>2</sup>.



Figure 1-3 : séjour

A l'étage, un doublage est présent. Sans qu'il eût été possible de le vérifier, une isolation en laine de roche a été mise en place en toiture. Son épaisseur réelle est inconnue.



Figure 1-4 : grande chambre

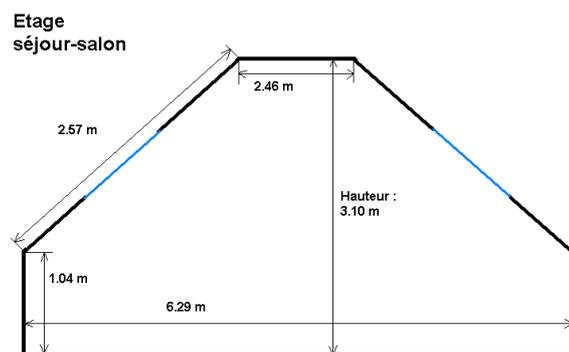


Figure 1-5 : Coupe de l'étage

Enfin, cette partie présente des caves voutées en sous-sol (figure 1-6).



Figure 1-6 : sous-sol de la partie XVI<sup>ème</sup> Siècle

Les murs de la partie XX<sup>ème</sup> siècle sont constitués de pierres de taille de 22cm non isolées. Les menuiseries sont en simple vitrage. La partie à l'étage présente une contre cloison en brique. Il n'a pas été possible de savoir si un isolant était présent entre le mur de tuffeau et cette contre cloison.

Le chauffage est assuré par une chaudière au gaz.

Une ventilation simple flux est présente et propose 2 bouches d'extraction dans la salle de bain et les toilettes.



Figure 1-7 : Bouche d'extraction dans la douche



Figure 1-8 : cuisine

## 2 Thermographie infrarouge

Un diagnostic thermographique a été réalisé le 9 mars 2012 sur cette maison en conditions favorables (0°C, le matin). Il a permis de relever les points suivants:



Figure 2-1 : Façade Nord :

En façade nord, le rayonnement est plus élevé sur le soubassement enduit à la chaux que sur les pierres de taille nues. Cela pourrait être lié à une différence d'émissivité ou à un pied de mur plus humide du fait des remontées capillaires et de la présence de l'enduit.

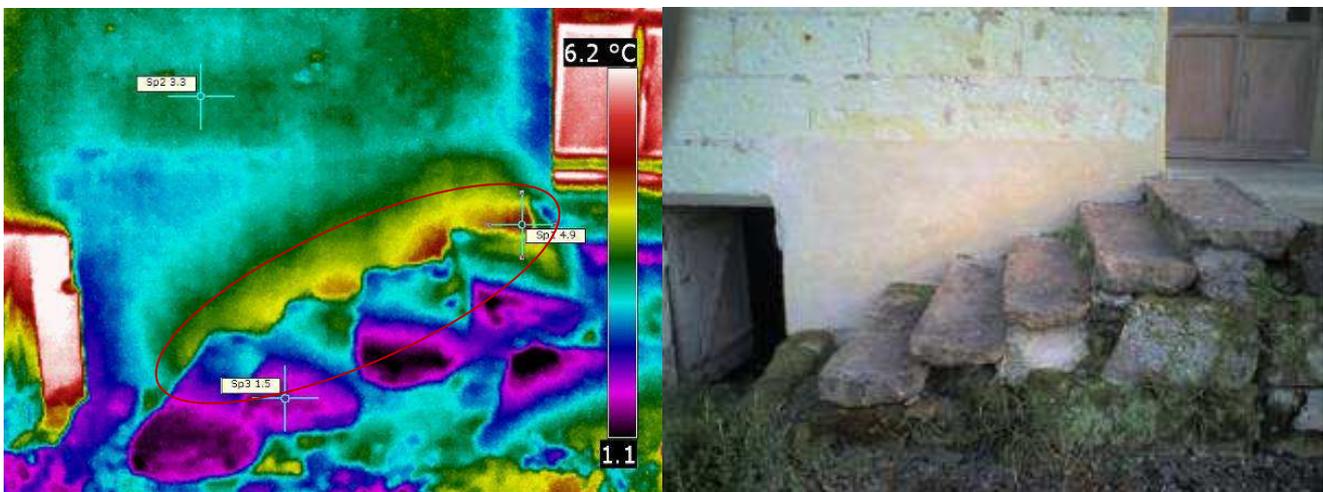


Figure 2-2 : Paroi sud

On constate une concentration d'humidité (cercle rouge) au niveau des marches d'escalier dans la paroi Sud enduite à la chaux.

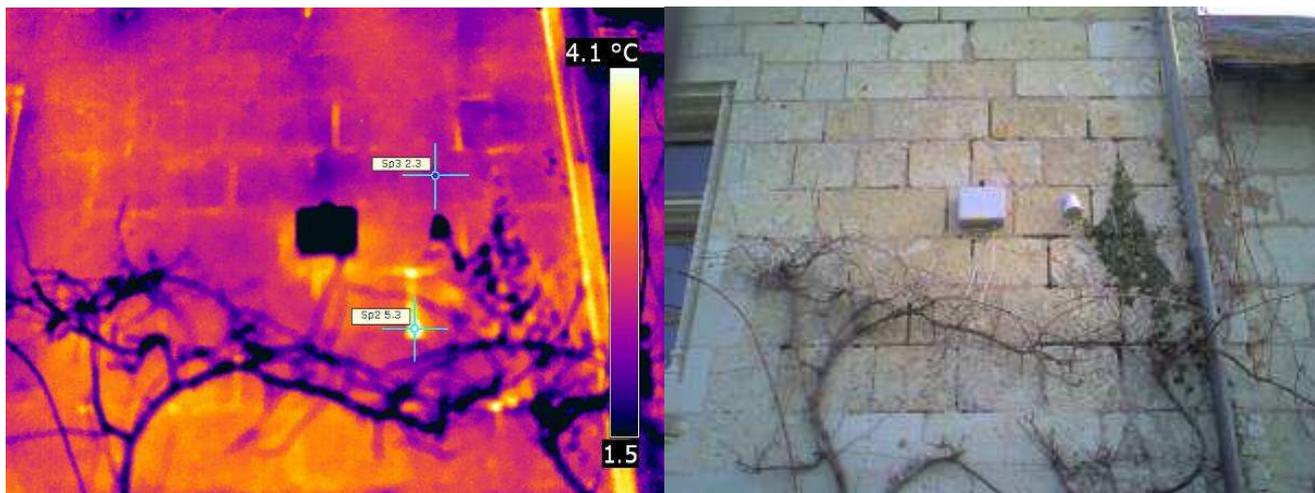


Figure 2-3 : Extérieur de la façade sud

On constate figure 2-3 des déperditions ponctuelles entre pierres de tuffeau créées par l'absence de joints ( $\Delta T$  de  $3^{\circ}\text{C}$ )



Figure 2-4 :Niche dans la façade sud

Affaiblissement de l'isolation du mur au niveau d'une niche ( $- 4^{\circ}\text{C}$ ) – La présence de la tapisserie augmente de  $2^{\circ}\text{C}$  la température de surface du mur et réduit ainsi légèrement la sensation de paroi froide.

### 3 Infiltrométrie

Un test d'infiltrométrie a été réalisé sur cette maison. La perméabilité à l'air  $Q_{4Pa\_surf}$  a été mesurée à 4,3 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> (contre 0.8 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> pour une maison BBC) : de nombreux défauts d'étanchéité ont été constatés :



Figure 3-1 : Fuite importante par four à pain et conduit de cheminée



Figure 3-2 : Fuite par lanterneau dans l'escalier, absence de plaque de plâtre dans salle de bain et WC



Figure 3-3 : Fuite entre dormant-ouvrant et dormant-mur au droit de plusieurs menuiseries (notamment dans la cuisine)

## 4 Instrumentation approfondie

Ce bâtiment a fait l'objet d'une instrumentation approfondie :

- Température et humidité ambiantes,
- Températures et humidité extérieures,
- Températures et humidité dans les parois,
- Comptage énergétique.

### 4.1 Instrumentation de l'ambiance

6 capteurs de température et humidité ambiant ont été positionnés dans les pièces principales de l'habitation.

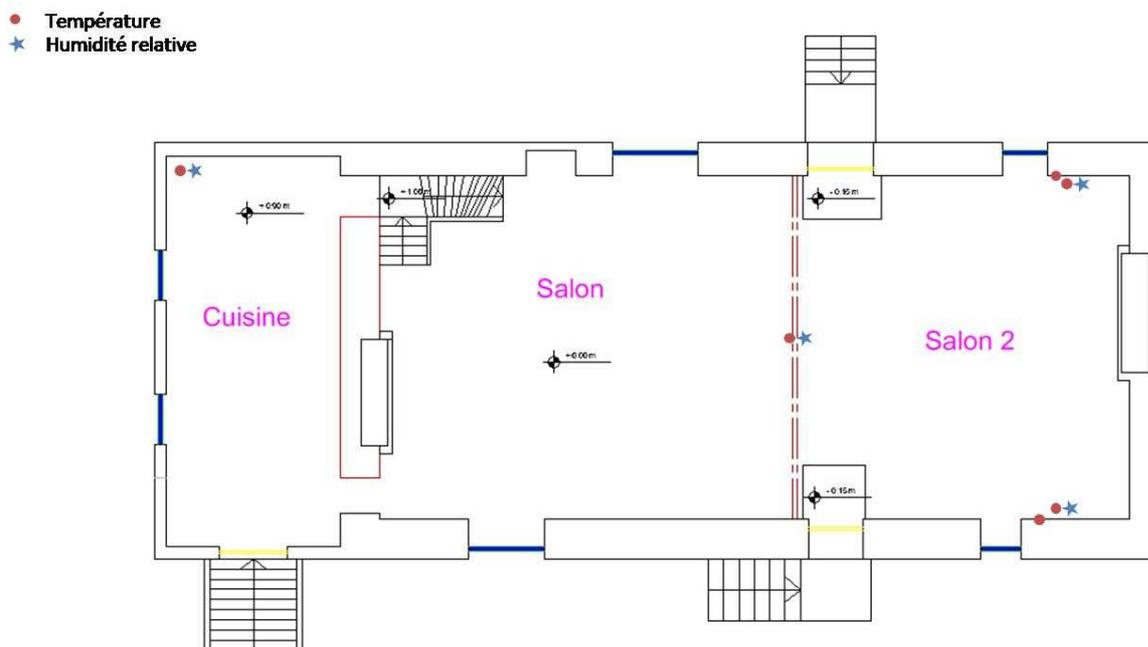


Figure 4-1 : Plan de l'instrumentation du rez-de-chaussée

- Température
- ★ Humidité relative

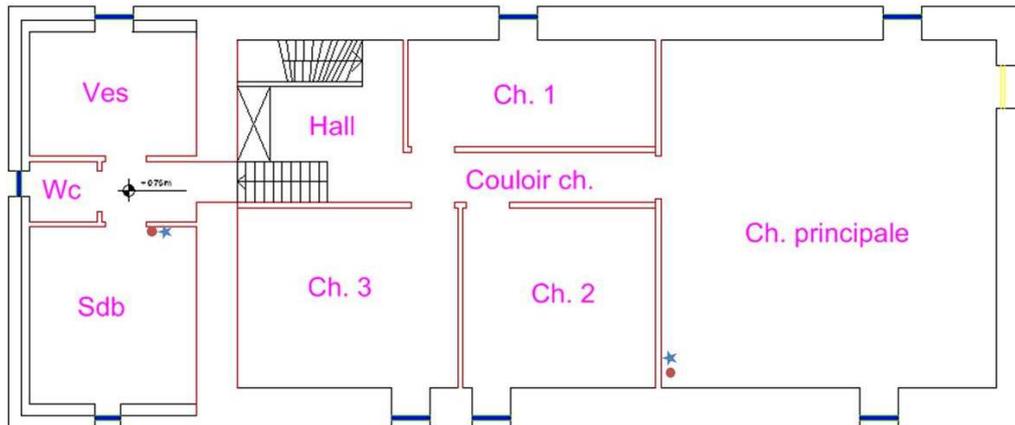


Figure 4-2 : Plan de l'instrumentation du 1er étage

## 4.2 Instrumentation des parois

Les parois ont été instrumentées en surface et en plusieurs profondeurs avec des sondes de températures et d'hygrométrie. Des sondes de températures et d'hygrométrie ont également été placées sur les parois sud et nord afin de déterminer les conditions extérieures (températures d'air).

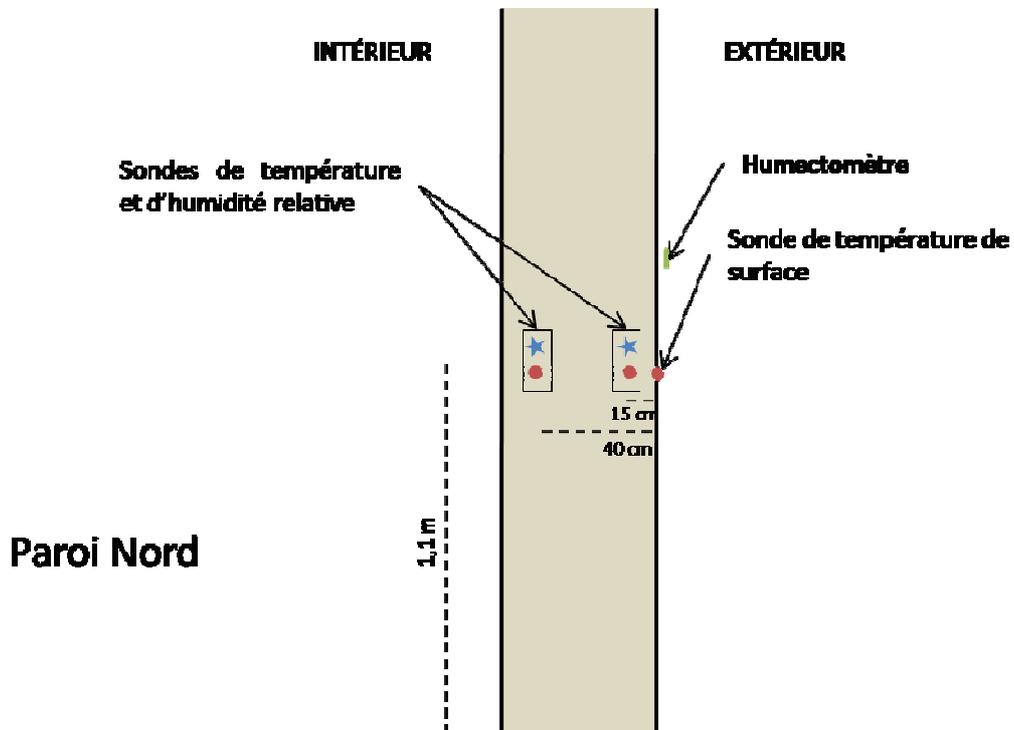


Figure 4-3 : Plan de l'instrumentation de la paroi Nord

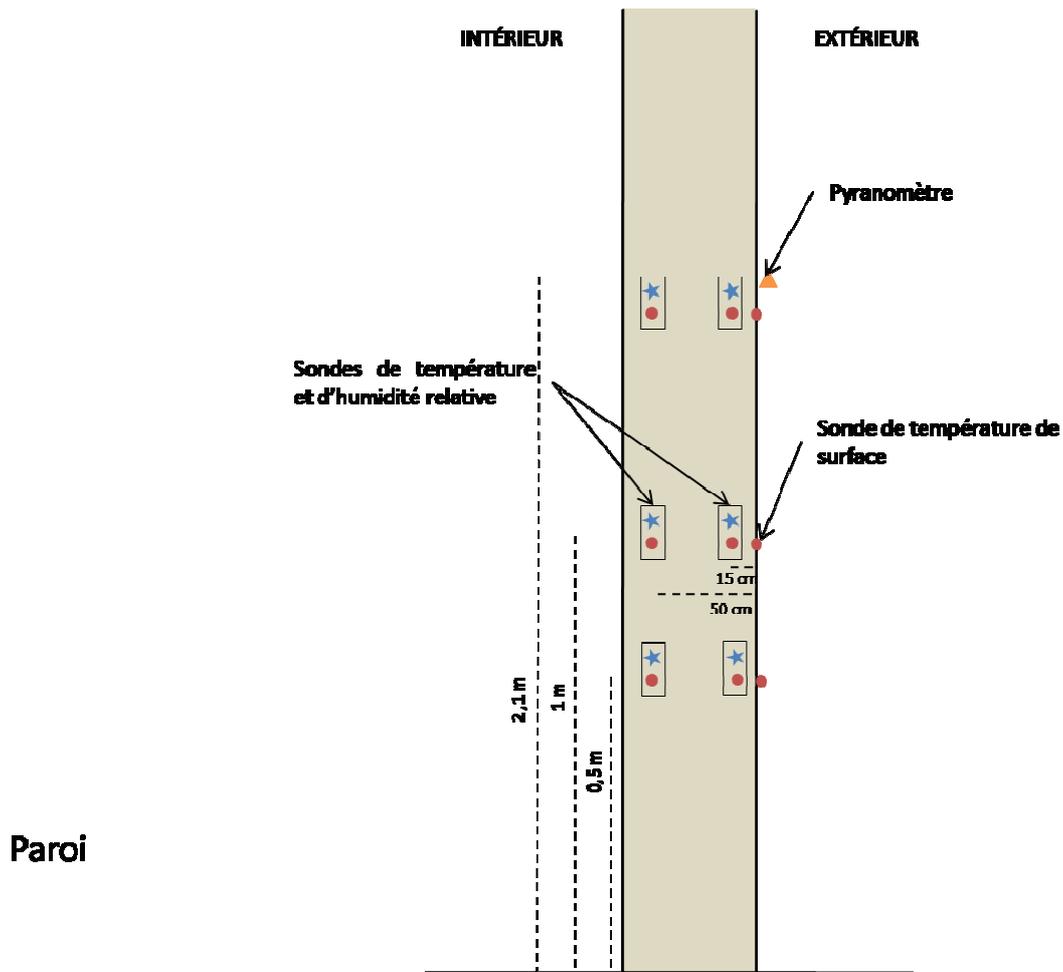


Figure 4-4 : Plan de l'instrumentation de la paroi Sud

### 4.3 Consommations énergétiques

Un compteur d'énergie calorifique a été mis en place en novembre 2012 en aval de la chaudière. Ce compteur enregistre l'énergie réellement utile au chauffage du bâtiment, s'affranchissant du rendement de la chaudière.

## 5 Résultats des mesures

La campagne de mesure a débuté lors de l'été 2011 par des mesures d'ambiance. Puis des sondes ont été placées dans les murs au mois de novembre 2011. Enfin, les consommations énergétiques sont relevées depuis décembre 2012.

### 5.1 Les conditions extérieures

Voici une synthèse des données extérieures mesurées entre le 12/12/2012 et le 25/07/13.

### Températures extérieures Vivy

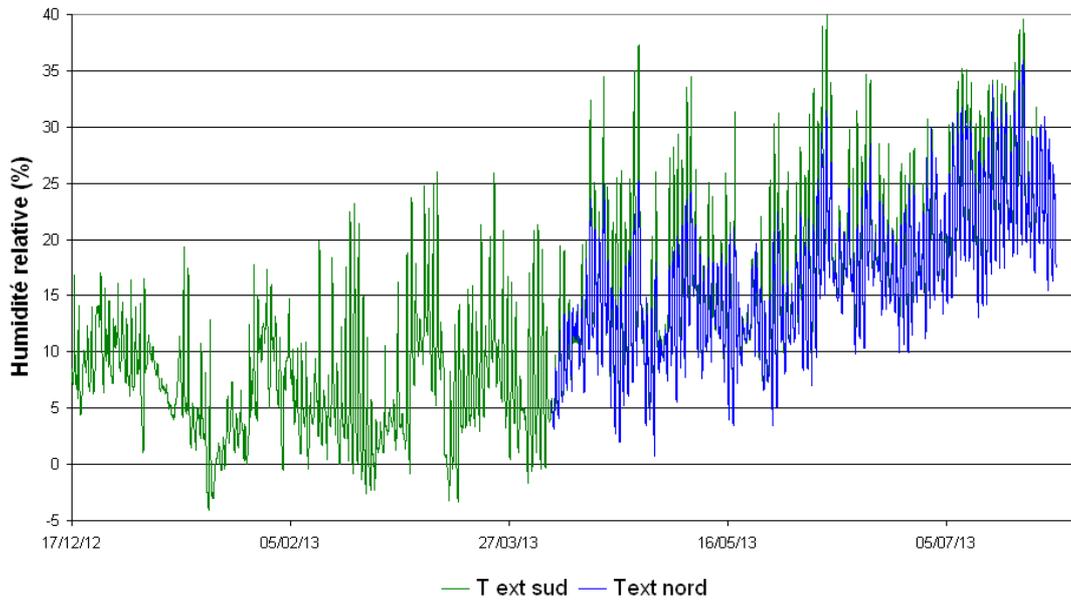


Figure 5-1 : Températures extérieures mesurées au Nord et au Sud sur la période de mesure

	sud	nord
Température moyenne	12	16,6
Maximum de température	41	36
Minimum de température	-4	1
Journée la plus chaude	22 /07/2013	

Tableau n°5-1 : Synthèse des conditions extérieures en température sur la période de mesure

La journée la plus chaude (22/07/13) sera utilisée pour le calcul du déphasage et de l'amortissement dans les différentes pièces.

## Humidité extérieure Vivy

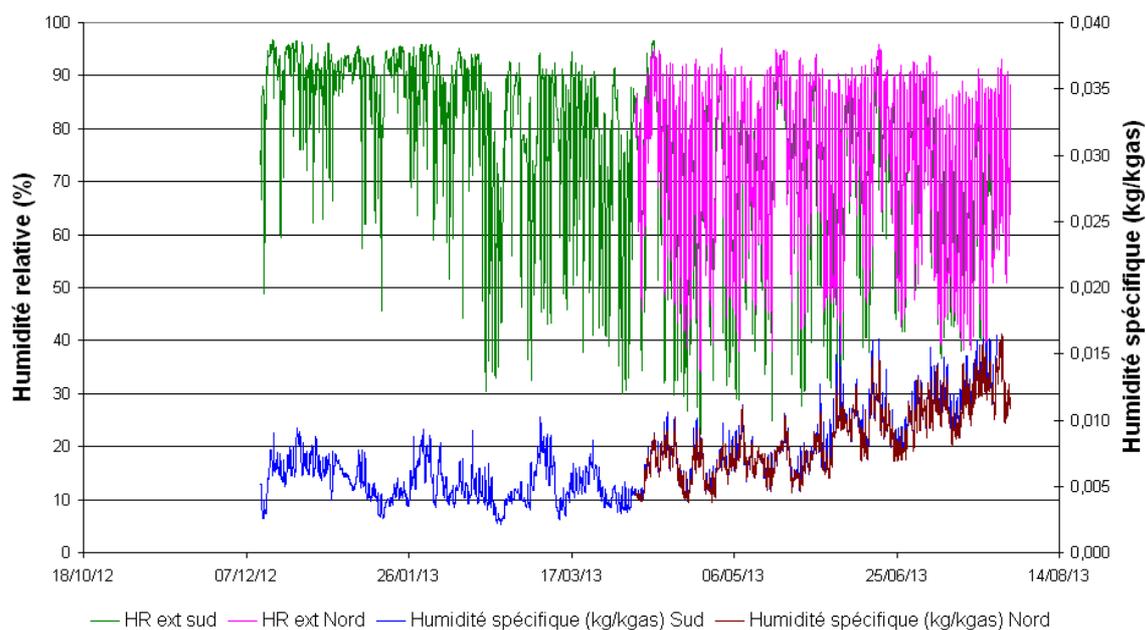


Figure 5-2 : Humidités relatives et spécifiques mesurées au Nord et au Sud sur la période de mesure

	sud	nord
Humidité relative moyenne	73%	76%
Minimum d'humidité relative	19%	25%
Maximum d'humidité relative	96%	96%

	sud	nord
Humidité spécifique moyenne (kg/kg <sub>as</sub> )	0,0069	0,0086
Maximum d'humidité spécifique (kg/kg <sub>as</sub> )	0,0171	0,0158
Minimum d'humidité spécifique (kg/kg <sub>as</sub> )	0,0021	0,0038

Tableau n°5-2 : Synthèse des conditions extérieures en humidité relative sur la période de mesure

## 5.2 La température intérieure moyenne et l'amplitude

### Températures VIVY

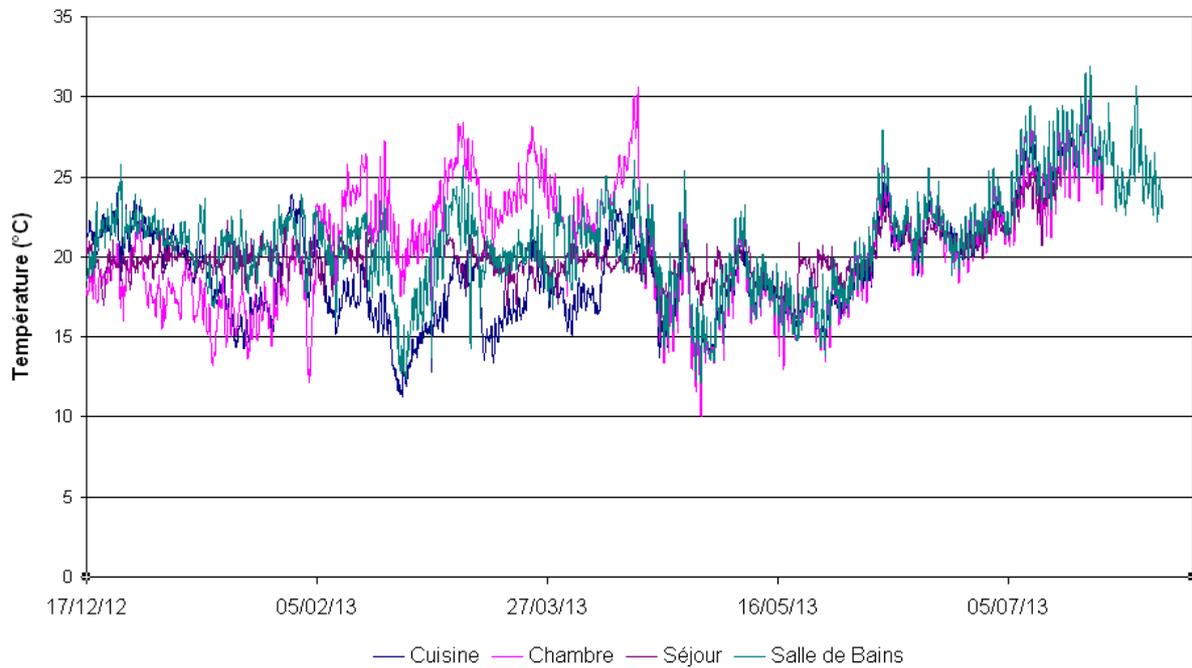


Figure 5-3 : Températures intérieures

La Figure 5-3 présente les températures intérieures sur l'ensemble de la période de mesure. Malgré des profils similaires, la chambre a une température inférieure aux autres pièces jusqu'en février, elle augmente ensuite. En été (à partir d'avril 2013), l'ensemble des pièces présentent une évolution de température proche.

### Températures Vivy, hivers 2012 - 2013

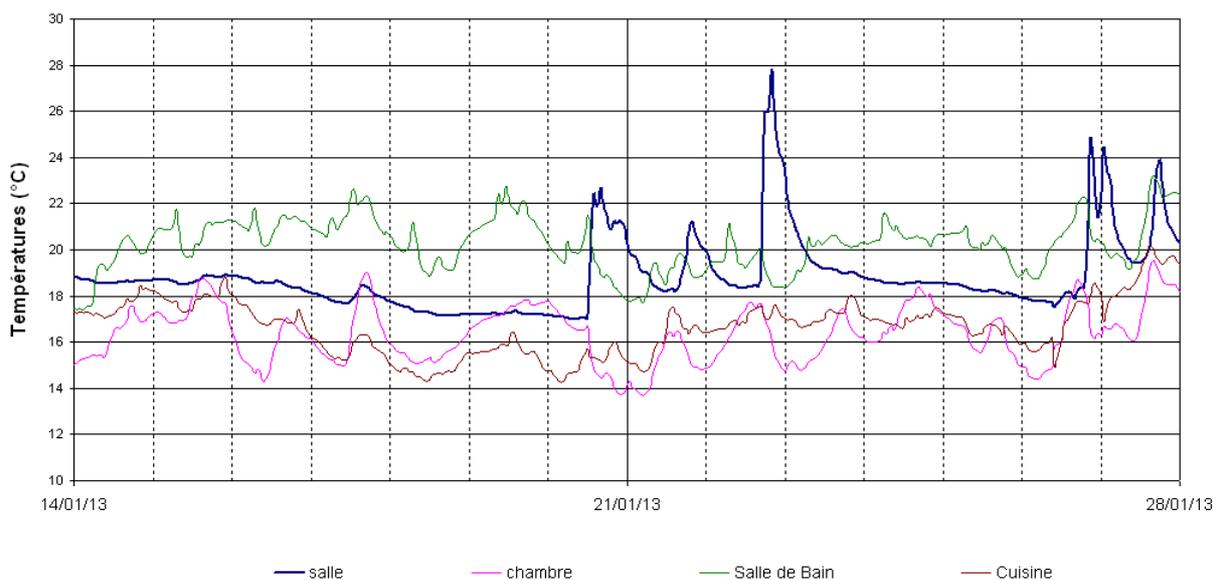
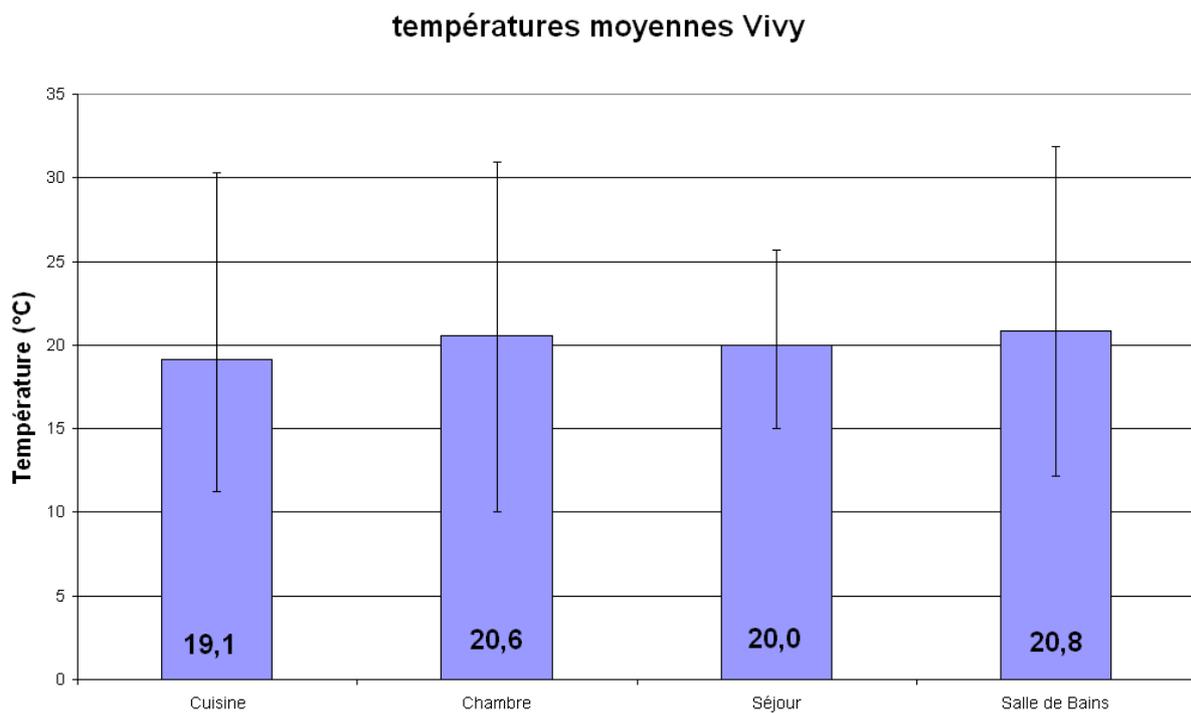


Figure 5-4 : Températures intérieures mesurées en janvier 2013

Un zoom sur l'hiver 2012/2013 permet d'étudier les températures de consignes des différentes pièces instrumentées. Des pics de température sont observés dans le séjour : ils correspondent à l'utilisation de la cheminée du dimanche 20/01/13 soir au mardi 22/01/13 et les samedi et dimanche 26 et 27/01/13.

Les températures de consigne de la chambre et de la salle de bain à cette période se situent autour de  $16^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Il faut toutefois faire attention à la température mesurée dans la cuisine, en effet le capteur est placé sur une paroi extérieure ce qui peut expliquer sa faible valeur.

Dans la salle de bain, la température de consigne est de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .



**Figure 5-5 : Températures moyennes et amplitude de variation sur la période de mesure**

La Figure 5-5 montre que sur la période de mesure, les pièces ont globalement une température moyenne proche. La différence notable vient de l'amplitude de variation qui est bien plus importante dans le séjour que dans les autres pièces.

### 5.3 Le déphasage et l'amortissement

#### Jour le plus chaud (22 juillet 2013)

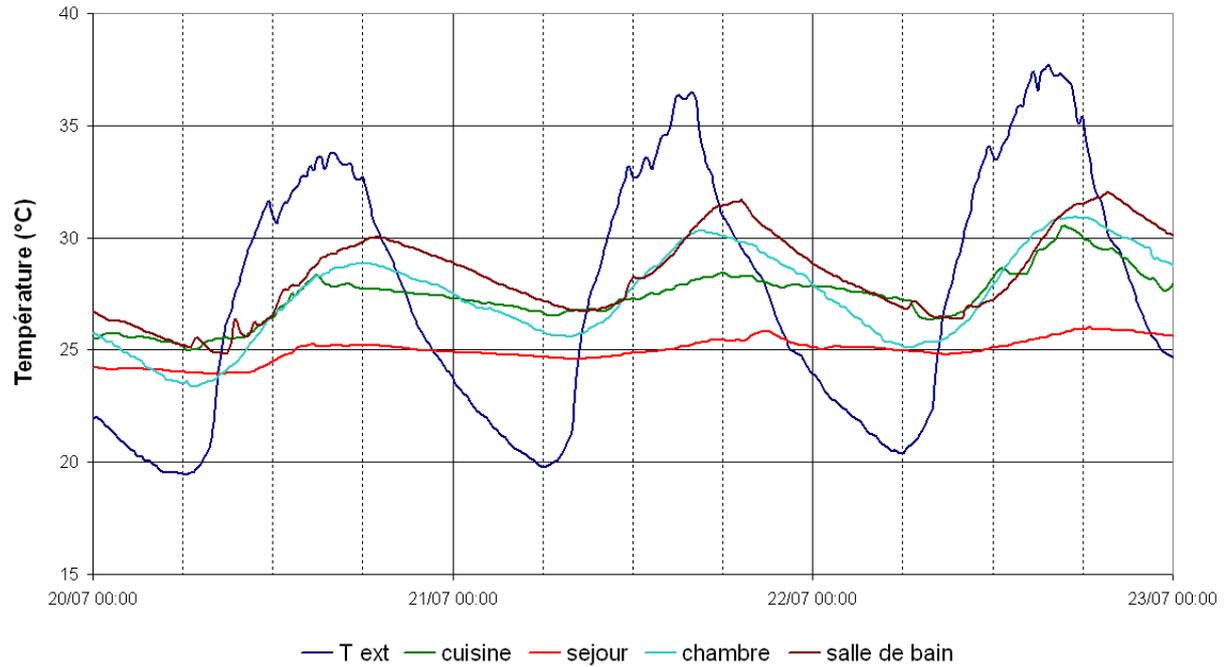


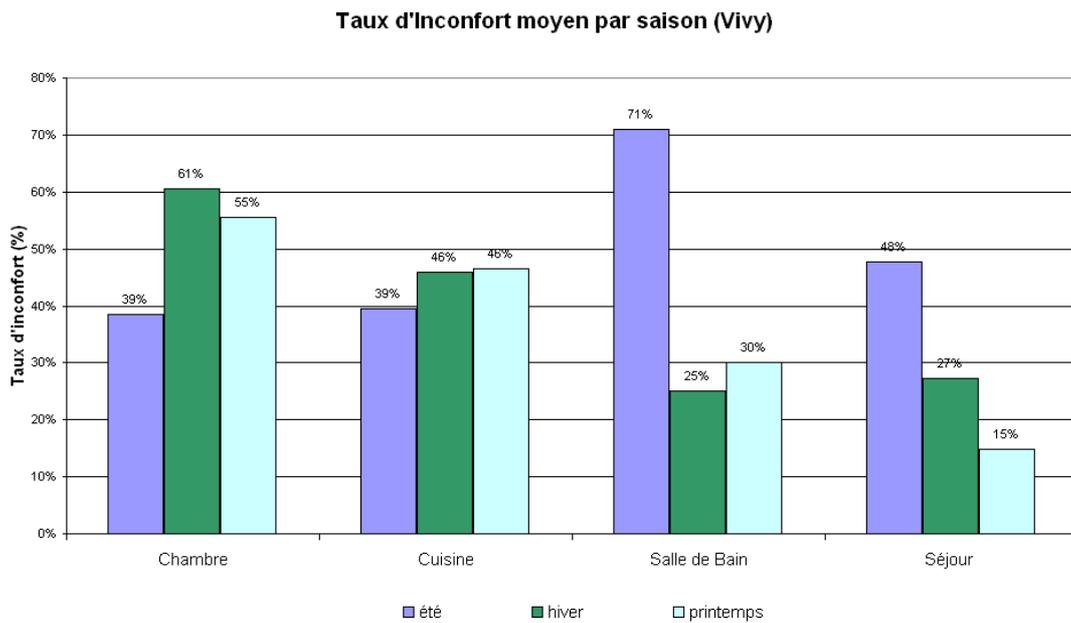
Figure 5-6 : Températures sur la journée la plus chaude (22/07/13)

Pièce	Amortissement	Déphasage
Séjour	14	2h30
Cuisine	4	1
Chambre	3	1h30
Salle de bains	3	4h

Tableau 5.3 : Déphasage et amortissement pour chaque pièce

Lors de la journée la plus chaude, la température dans le séjour est globalement inférieure à celle des autres pièces (Figure 5-6). C'est également dans cette pièce que l'amortissement est le plus important (Tableau 2-3).

## 5.4 Le confort hygrothermique



**Figure 5-7 : Taux d'inconfort par pièces et par saisons**

La Figure 5-7 présente les taux d'inconfort en fonction des pièces et des saisons. Les pièces ont des comportements différents entre elles et suivant les saisons. Un zoom est réalisé sur le séjour pour chacune des saisons et sur la salle de bain en été car elle présente le taux d'inconfort le plus élevé.

Le confort hygrothermique est représenté sur les graphiques suivants. Ils présentent l'humidité spécifique (quantité d'eau dans un kg d'air sec) en fonction de la température. Les limites de confort sont tracées en rouge.

Durant l'hiver, le séjour est plutôt confortable. La Figure 5-8 montre que l'inconfort est principalement lié à une humidité trop faible. Cependant, les mesures restent proches des limites de la zone. Quelques températures inférieures à 17°C sont aussi constatées.

### Zone de confort Hygro thermique Vivy, Séjour, Hivers 2012-2013

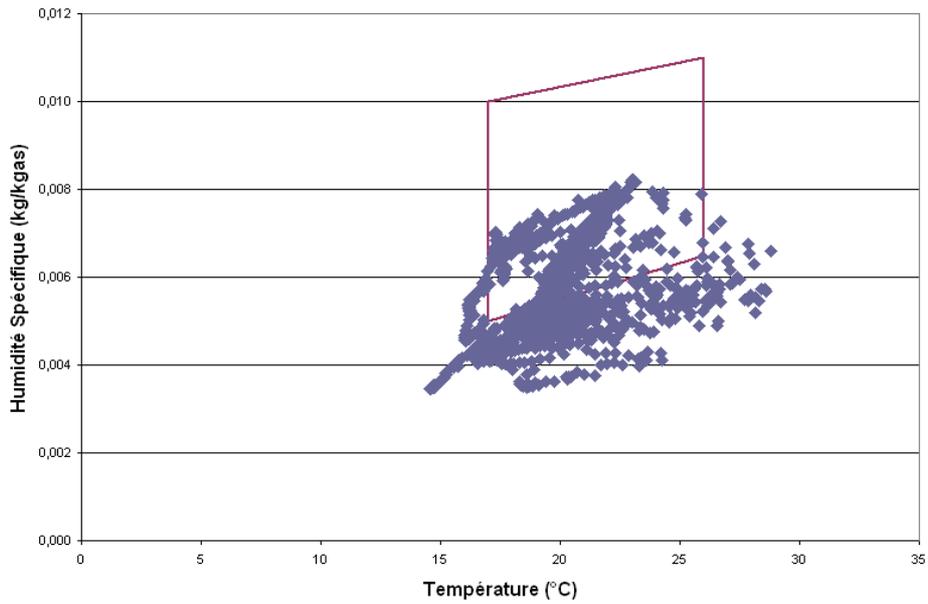


Figure 5-8 : Confort hygrothermique dans le séjour durant l'hiver 2012/2013 (taux d'inconfort : 27%)

### Zone de confort hygrothermique printemps Séjour - Vivy

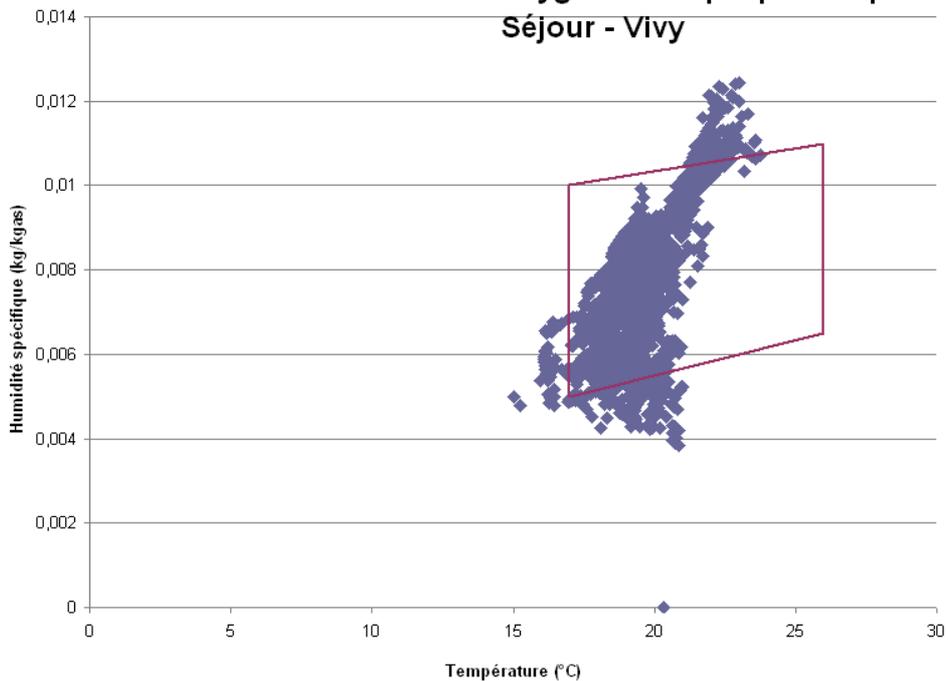


Figure 5-9 : Confort hygrothermique dans le séjour durant le printemps 2013 (taux d'inconfort : 15%)

Une évolution est constatée au printemps. En effet, l'humidité augmente et se situe alors en majorité dans la zone de confort. Au printemps, le séjour apparaît confortable que ce soit en terme d'humidité ou de température.

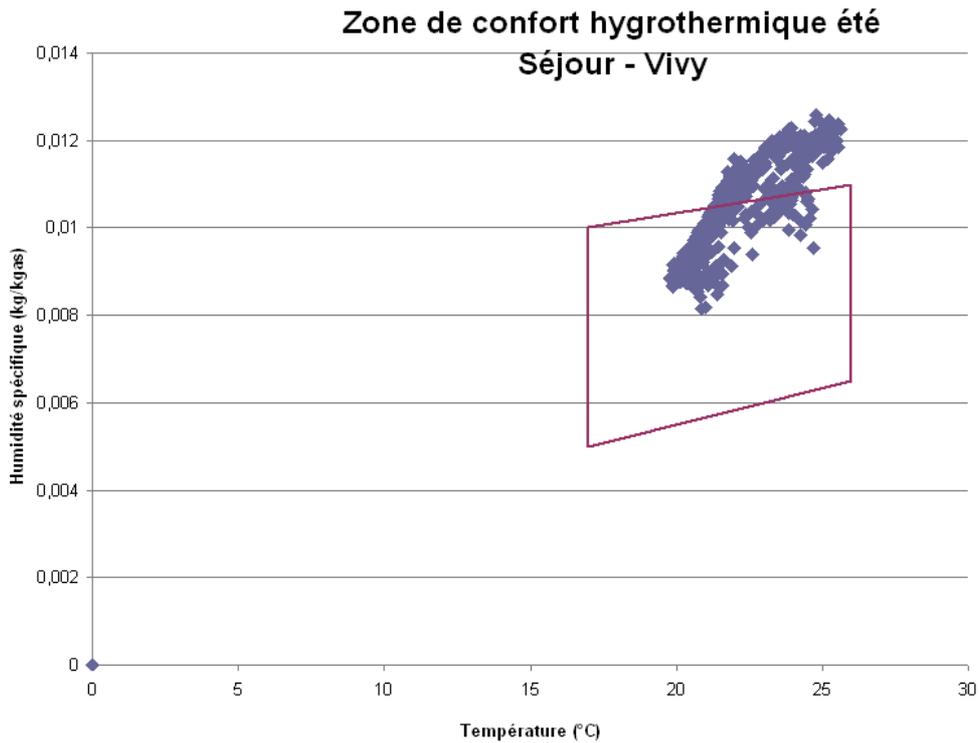


Figure 5-10 : Confort hygrothermique dans le séjour durant l'été 2013 (taux d'inconfort : 48%)

En été, le séjour est plus inconfortable que pendant les autres saisons. Cet inconfort est lié à une humidité élevée. Au fur et à mesure des saisons (de l'hiver à l'été), une augmentation de l'humidité a été constatée. Celle-ci est à mettre en lien avec l'humidité spécifique extérieure (Figure 5-2) qui augmente de janvier à juillet.

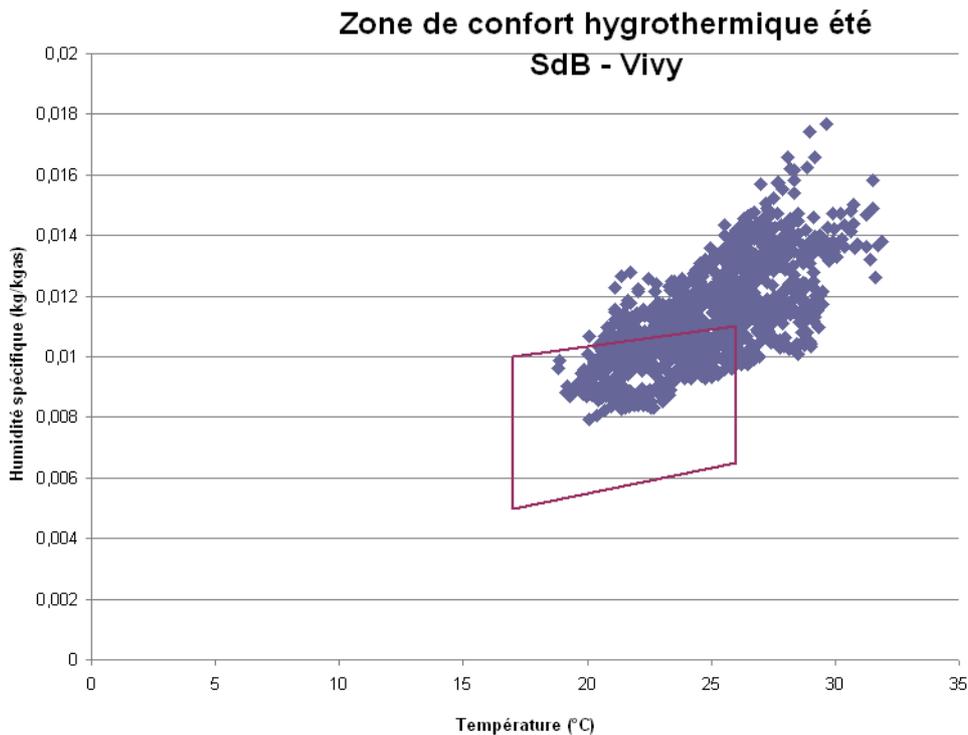
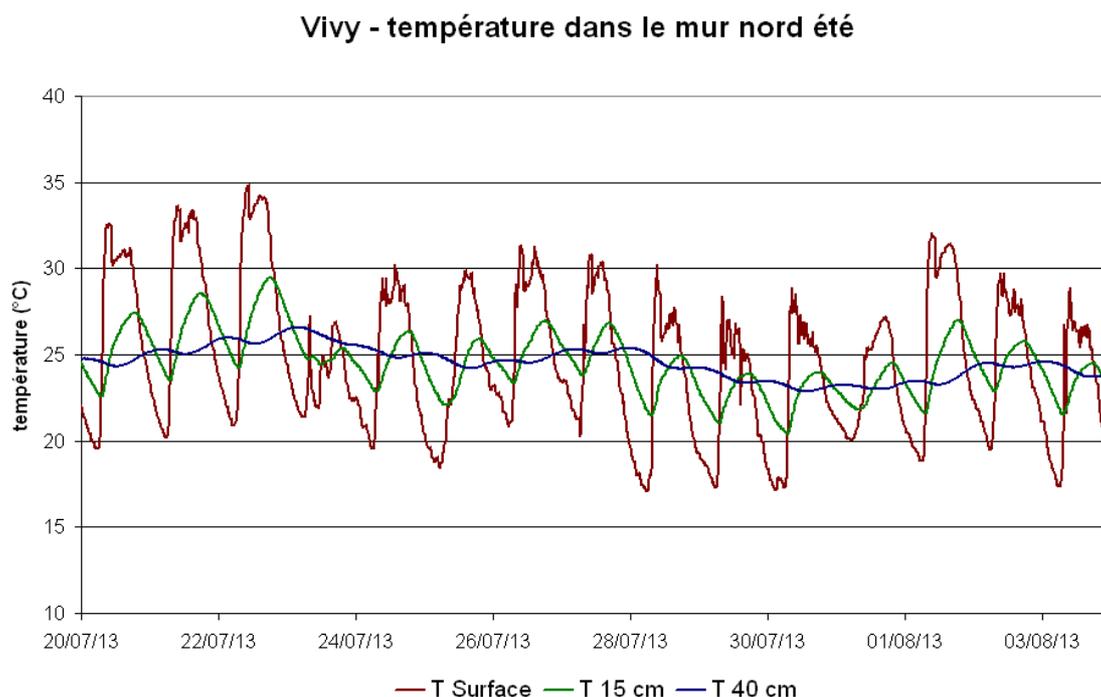


Figure 5-11 : Confort hygrothermique dans la salle de bain durant l'été 2013

La salle de bain est la pièce présentant le taux d'inconfort le plus élevé en été. La Figure 5-11 met en évidence les deux sources d'inconfort de cette pièce : la température dépasse la limite de 26°C pour atteindre les 33/34°C et l'humidité spécifique présente est nettement supérieure à la limite de la zone de confort. Cette pièce, placée sous toiture, a donc un inconfort d'origine thermique et hygrique.

## 5.5 Comportement des murs

La Figure 5-12 présente les températures dans le mur nord, en surface et à des profondeurs de 15 et 40 cm (depuis l'extérieur) lors de l'été 2013.



**Figure 5-12 : Évolution des températures au sein du mur Nord durant l'été 2013**

On constate un déphasage et un amortissement croissant avec l'épaisseur du mur entre la température extérieure et la température mesurée à 15 cm puis à 40 cm. L'amplitude à 40 cm est de 2°C maximum et le déphasage d'environ 12h.

Le tableau 5-4 présente les amortissements entre la température de surface extérieure et les températures à 15 et 40 cm dans le mur ainsi qu'à l'intérieur du bâtiment. Les calculs ont été effectués pour la journée du 14 juillet 2013 sur les maximums de températures relevées ainsi que sur les minimums.

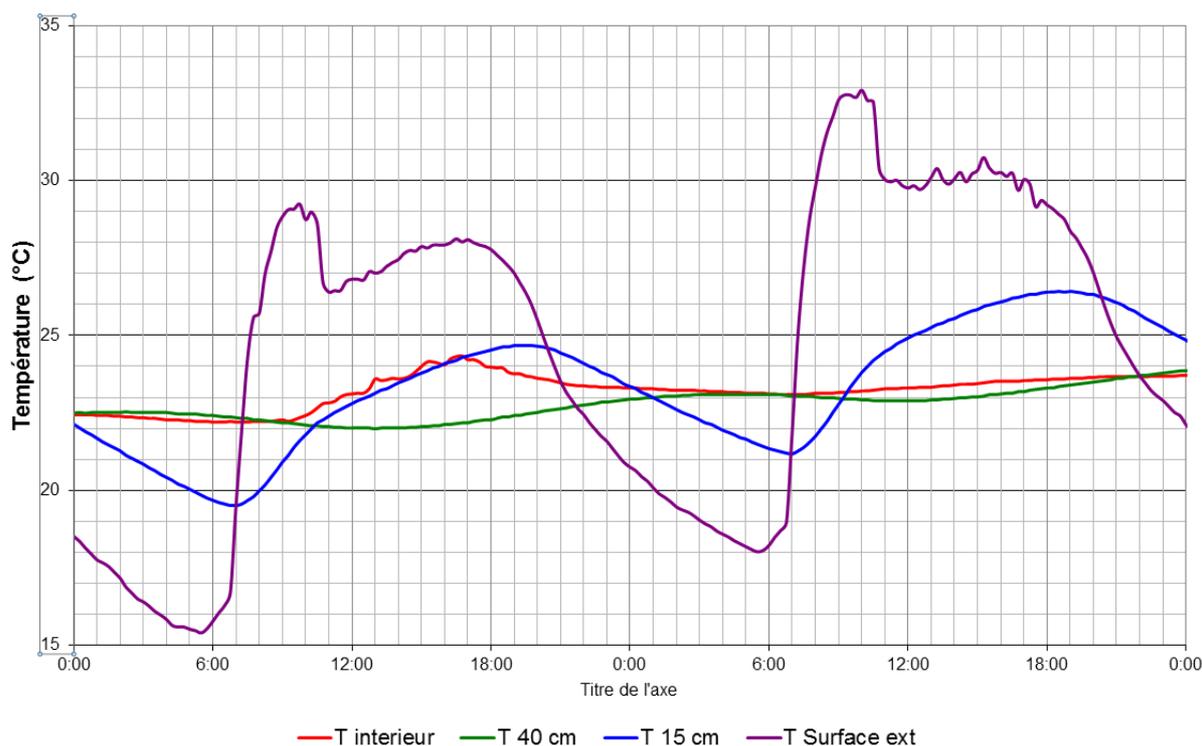


Figure 5-13 : Évolution des températures au sein du mur nord du séjour les 14 et 15 juillet 2013

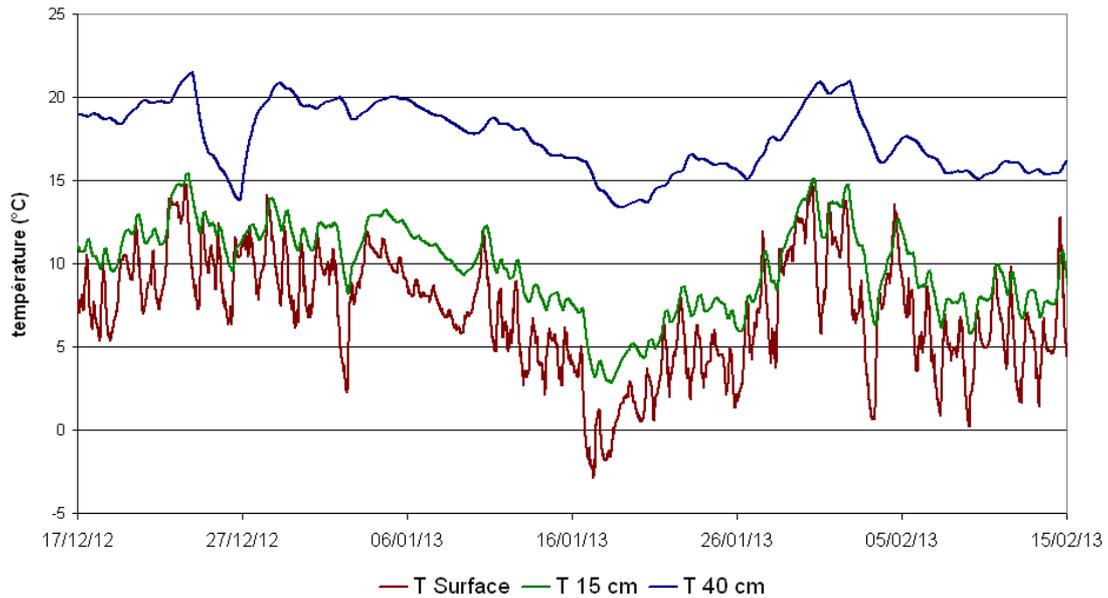
	T 15 cm	T 40 cm	T intérieur
Sur minimum	1h15	7h30	0h45
Sur maximum	2h30	10h	0h15

Tableau 5-4 : déphasage dans le mur nord les 14 et 15 juillet 2013

On observe que le déphasage augmente avec la profondeur du mur. Par contre, il est fortement réduit lorsque l'on considère la température d'air intérieure. . A noter qu'on ne retrouve pas exactement le déphasage de 2h30 du tableau 5.2, puisqu'il avait été calculé avec la température d'air extérieur et non la température de surface.

En effet, le phasage entre les températures d'air intérieur et extérieur provient d'une part de l'ensemble des déphasages de chaque paroi et éléments de parois (y compris les vitrages), des éléments de structures intérieurs et enfin du renouvellement d'air. Ainsi, à Vivy, le potentiel d'amortissement et de déphasage par la paroi nord est important, mais il est réduit par les menuiseries et un renouvellement d'air important et non maîtrisé.

### Vivy - température dans le mur nord hiver



### Températures dans le mur nord Vivy

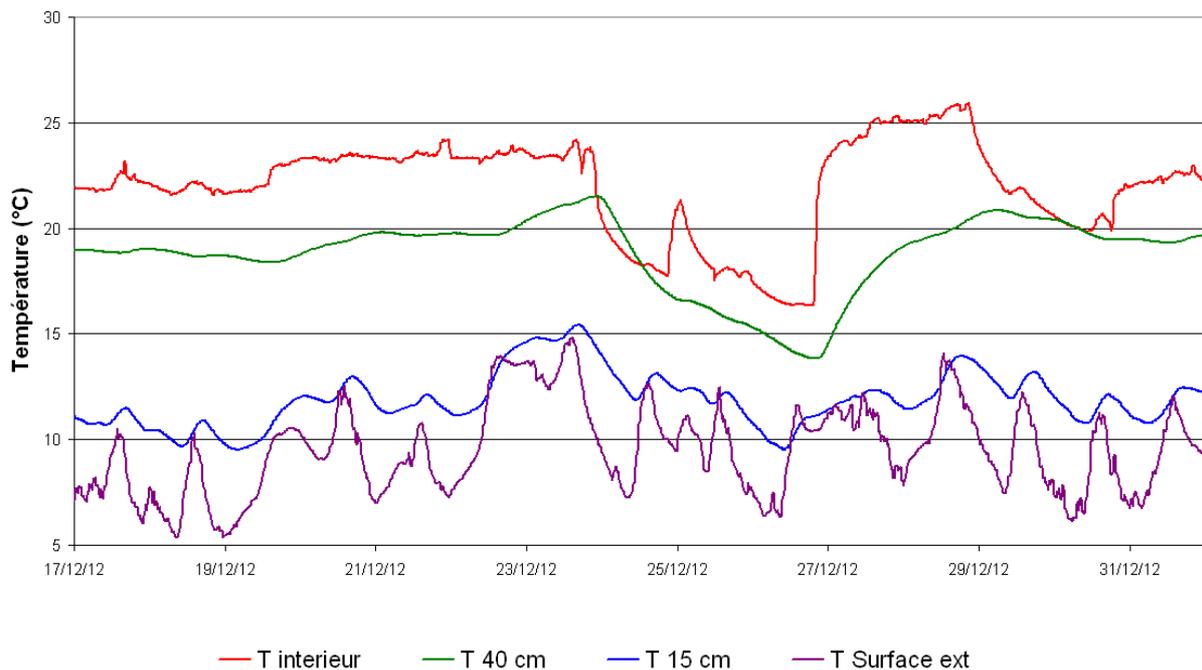


Figure 5-14 : Évolution des températures au sein du mur Nord durant l'hiver 2012/2013

En hiver (Figure 5-14), l'absence d'isolant implique une évolution progressive de la température au sein du mur entre la température extérieure, et la température intérieure au plus profond (40 cm). L'inertie du mur provoque un amortissement des variations de température extérieures dès 15 cm de profondeur. La température du mur à 40 cm est quant à elle plutôt influencée par les variations de température à l'intérieur du bâtiment (visible lors de l'arrêt du chauffage du 24/12 au 27/12) : sa moyenne est supérieure d'environ 10°C à

celle de l'extérieur. Toutefois, on peut noter que son évolution suit aussi les baisses de températures constatées à l'extérieur.

### Humidité spécifique du mur nord - Vivy

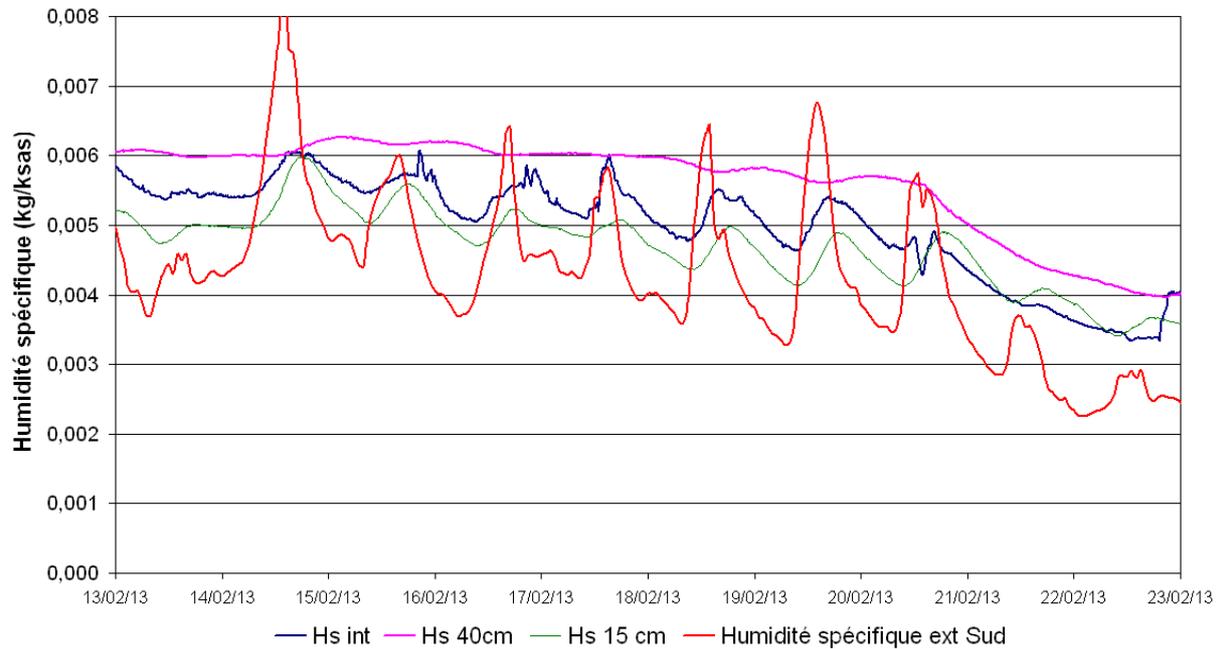


Figure 5-15: humidité spécifique dans le mur nord en hiver à Vivy

De même que pour la température, on constate une augmentation progressive de l'humidité dans le mur entre l'humidité extérieure et l'humidité à 40 cm de profondeur. Cette augmentation s'accompagne d'un amortissement et un déphasage des variations de l'humidité extérieure.

La figure 5-16 présente l'évolution de l'humidité au sein de la paroi au cours de l'année. On constate que jusqu'au printemps, l'humidité spécifique mesurée à proximité de l'air intérieur (40 cm) est supérieure à celle mesurée à proximité de l'extérieur (15 cm). Ce qui traduit un transfert de l'intérieur vers l'extérieur. A partir du mois de mars, les transferts d'humidité au sein de la paroi semble changer de sens.

### Humidité spécifique du mur nord - Vivy

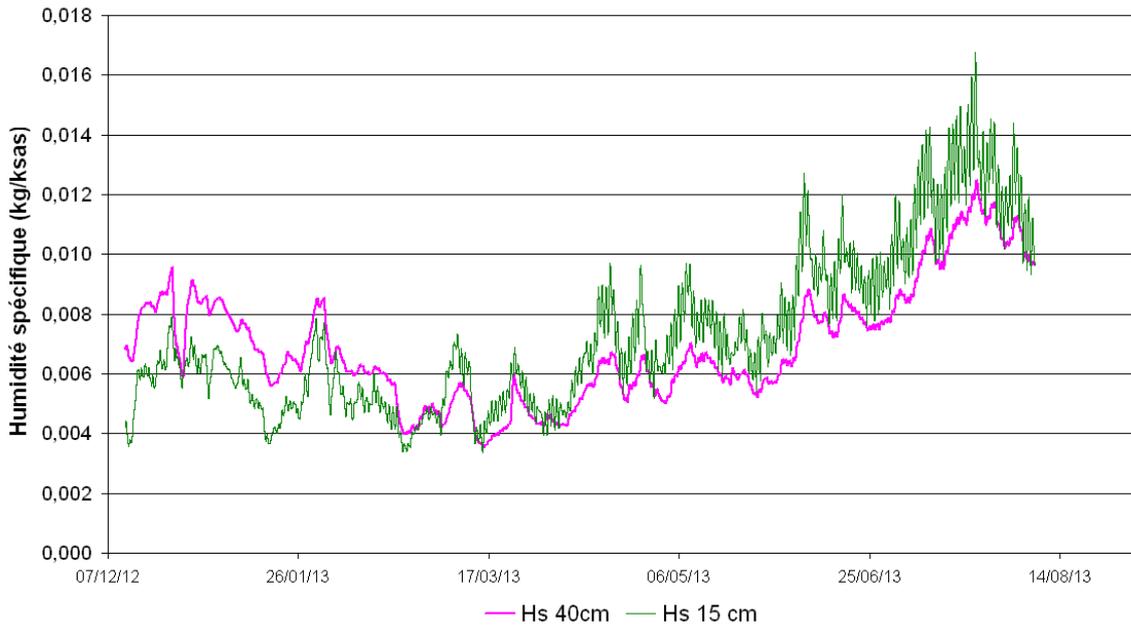


Figure 5-16 : Évolution des humidités spécifiques au sein du mur de décembre 2012 à août 2013

### 5.6 Besoins de chauffage

Les consommations énergétiques, ou plus exactement l'énergie fournie au bâtiment pour son chauffage, a été mesurée lors de l'hiver 2012-2013.

### Besoin de chauffage Vivy

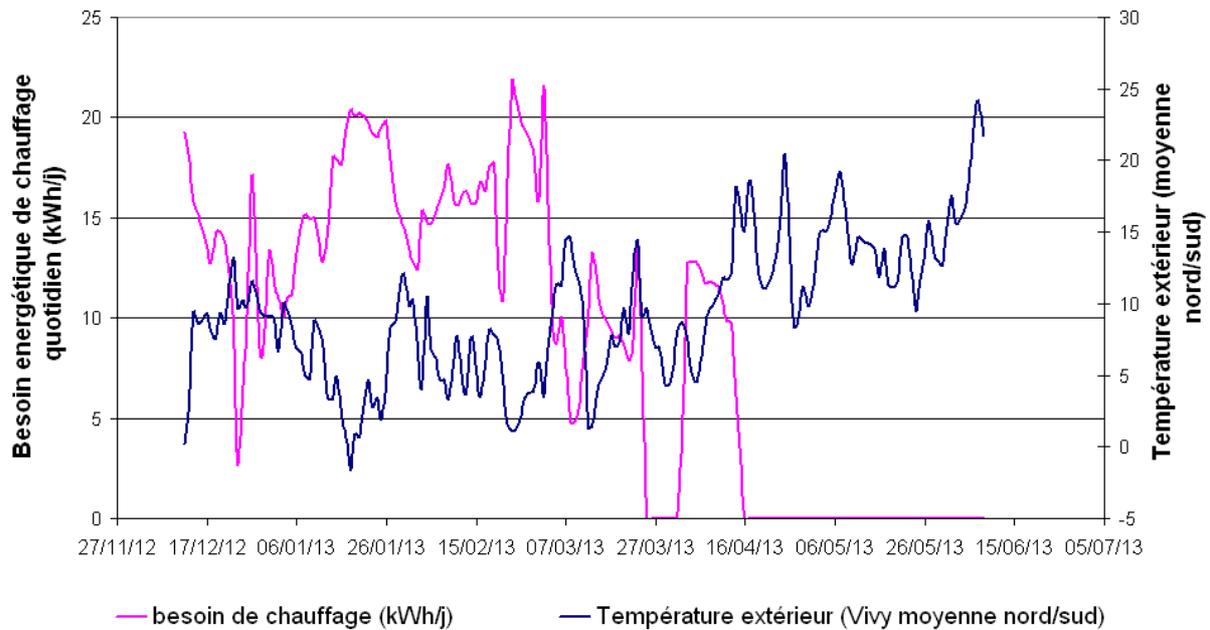


Figure 5-17 : Besoins de chauffage et température extérieure

La Figure 5-17 présente l'énergie mesurée chaque jour ainsi que la température extérieure moyenne de la journée. Lors du début de la mesure, le 12 décembre 2012, le chauffage était

déjà allumé. Celui-ci a été coupé le 16 avril 2013, alors que la température extérieure moyenne sur la journée est remontée au-dessus de 15°C.

A noter que lors de la période entre le 24 mars 2013 et le 2 avril 2013, les mesures n'ont pas été enregistrées.

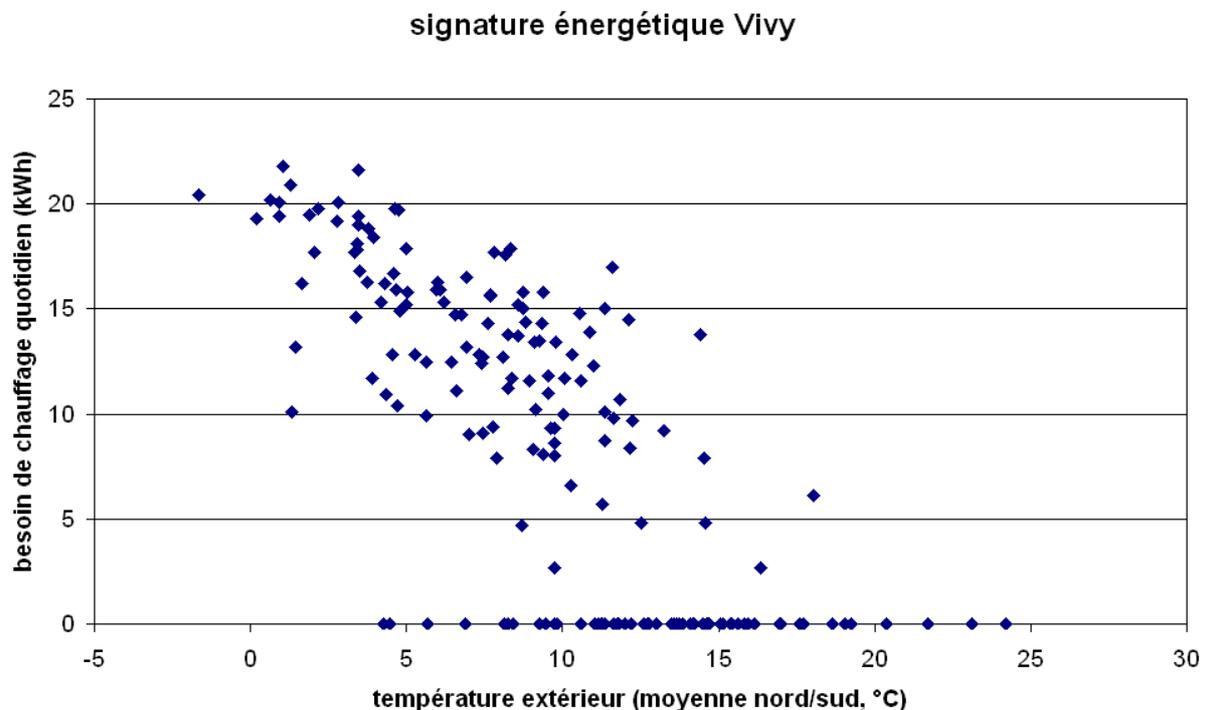


Figure 5-18 : Signature énergétique

La Figure 5-18 présente la signature énergétique de la maison, à savoir l'énergie mesurée pour le chauffage en fonction de la température extérieure. On note une bonne corrélation entre les 2 mesures. Ce graphique confirme que lorsque la température extérieure dépasse environ 15 °C, la chaudière n'a pas besoin de fonctionner.

Sur la période de mesure, nous avons relevé une énergie de chauffage de 1600 kWh environ.

## Besoin de chauffage Vivy

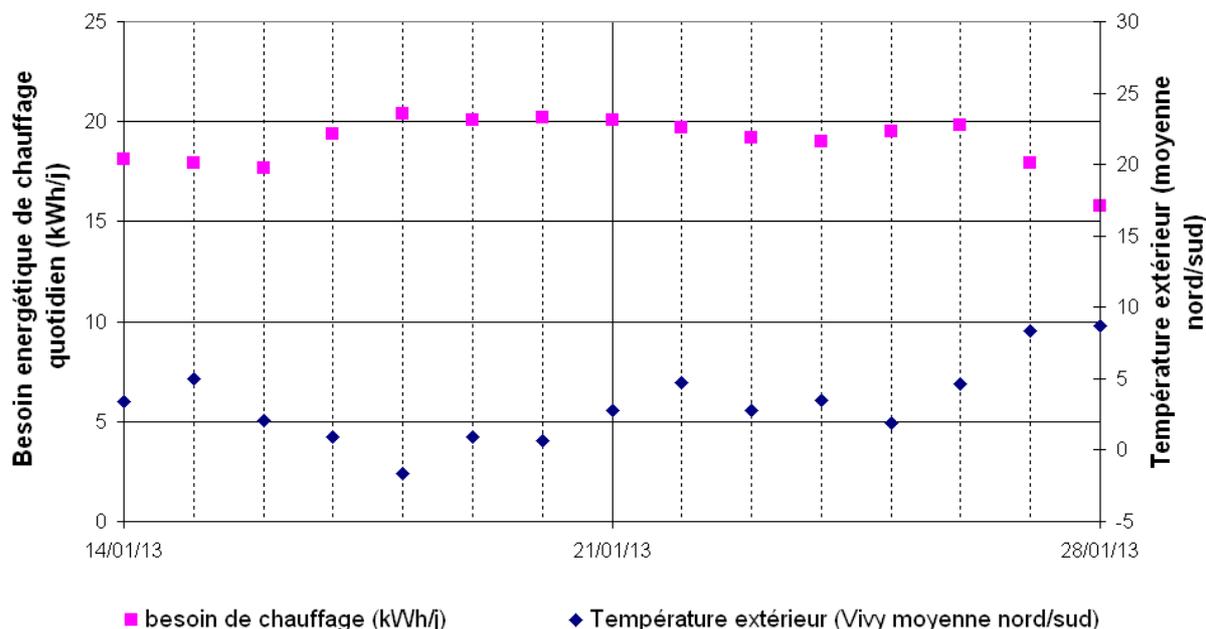


Figure 5-19 : Besoins de chauffage et température extérieure - zoom du 14/01/13 au 28/01/13

La Figure 5-19 présente la consommation de chauffage et la température extérieure sur deux semaines à la période la plus froide de l'année.

La Figure 5-4, (partie 4.2.2) a montré l'utilisation de la cheminée les 20, 21, 22, 26 et 27 janvier 2013. Les incidences de cet apport de chaleur sur la consommation n'est pas visible sur ce graphique, puisque à température extérieure équivalente, les consommations sont équivalentes. En effet, la cheminée utilisée est à foyer ouvert. Ce type de cheminée possède un rendement énergétique très faible.

Ainsi le confort est amélioré à proximité de cette cheminée, sans apport réel de chaleur pour le chauffage.

## 6 Conclusions

Si l'inertie thermique constatée dans cette maison de maître apporte des températures confortables au plus fort de l'été, l'inconfort moyen constaté est supérieur à 30 %. Cet inconfort provient de l'humidité.

Les transferts thermo hydriques au sein des parois sont ralentis par une inertie importante, nous avons constaté une inversion dans le sens des transferts d'eau (de l'intérieur vers l'extérieur l'hiver, dans l'autre sens l'été).