# Rapport action tuffeau

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

# CAHIER n°4

Gîte collectif - Lerné



Figure 1-1 : Façade Ouest réhabilitée



Date de visite : 6 avril 2011 Mesures : juin 2011 – mars 2012

### 1 Présentation du bâtiment

Il s'agit d'une construction datant de 1909, ancien bâtiment agricole non occupé, composé d'une écurie, d'une étable au rez-de-chaussée et d'un grenier à l'étage. Les murs épais de 50 cm sont en moellons de tuffeau assisés et maçonnés à la terre.

Le plancher de l'écurie est composé d'une dalle de béton récente alors que celui de l'étable est un mélange de terre et de pierres. Les murs de l'étable sont recouverts de salpêtre.

Certaines pierres utilisées lors de la construction proviendraient du Château de Chavigny, déconstruit dans la seconde partie du XIXème siècle à proximité de ce bâtiment.



Figure 1-1: Façade Est avant travaux



Figure 1-2 : Rez-de-chaussée (écurie) non restauré. Salpêtre visible sur les murs

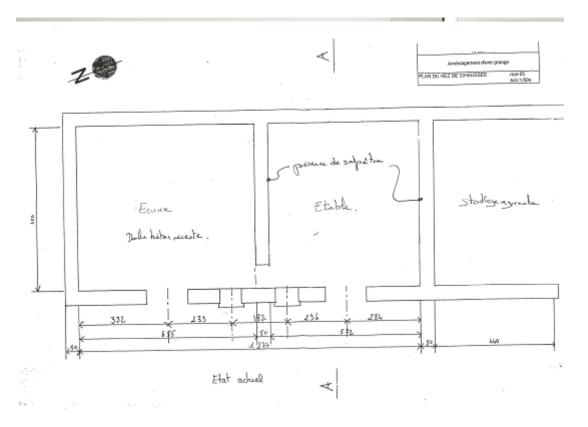


Figure 1-3 : plan du rez de chaussé avant travaux

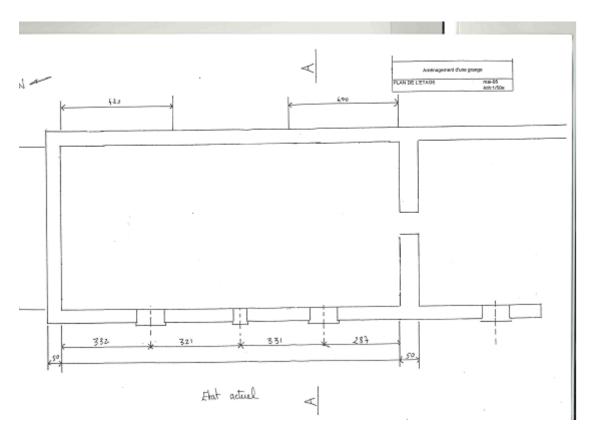


Figure 1-4 : plan de l'étage avant travaux

### 1.1 Objet de la rénovation

Le projet a consisté à créer un éco-gîte d'étape et de séjour, d'une capacité de 22 personnes, sur 3 niveaux. Par le biais d'une démarche de Haute Qualité Environnementale (HQE), une attention toute particulière a été apportée à la gestion de l'énergie, de l'eau et des déchets, ainsi qu'à l'utilisation de matériaux écologiques.

La rénovation a débutée en 2006 et a durée 3 ans. Des travaux sont actuellement en cours pour mettre à disposition des locataires une salle de séminaire dans une grange non encore rénovée.

Pour une description complète du bâti et des travaux de réhabilitation effectués, consulter : "les fiches techniques du Parc, un bâti en Tuffeau pour aujourd'hui", PNRLAT

http://planclimat.alkante.com/accueil\_plan\_climat\_territorial/habitat/habitat\_\_fic hes\_techniques

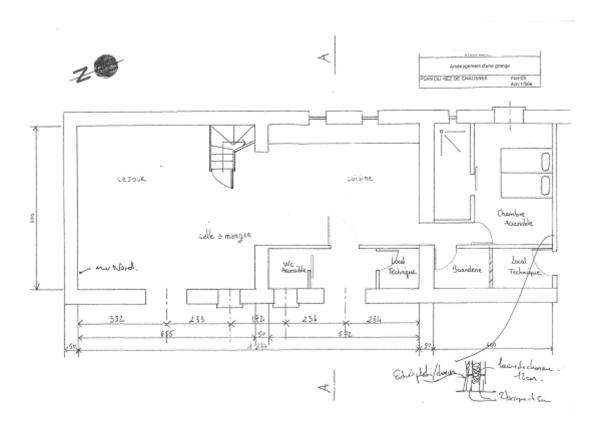


Figure 1-5 : plan du rez de chaussé après travaux

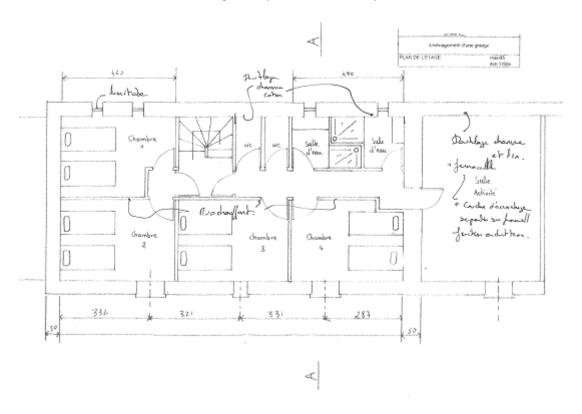


Figure 1-6 : plan de l'étage après travaux

### 1.2 Traitement de l'enveloppe

Certaines pierres trop détériorées ont été remplacées. Tout le bâtiment a été rejointoyé (sauf parois Nord), intérieurement et extérieurement, afin de le rendre plus imperméable à l'air et de le renforcer. Une technique chaux-sable a été employée. Sur les parois intérieures doublées, un simple gobetis a été appliqué.



Figure 1-7 : Gobetis chaux-sable de la façade Ouest intérieure (1er étage)

Au Nord, le mur a été isolé par un parement de briques plâtrières alvéolées d'une épaisseur de 5 cm et de chènevotte en vrac, entre 5 à 10 cm selon la planéité, non tassée. Un enduit terre-sable-paille, qui joue un double rôle de finition et d'isolation, a été posé.

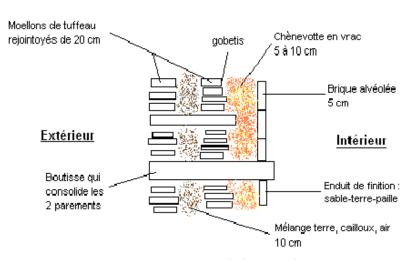




Figure 1-9 : Pose des briques alvéolées et de la chènevotte sur le mur intérieur

Figure 1-8 : Coupe verticale du mur Nord

A l'Est, le mur de tuffeau est doublé d'une plaque de Fermacell de 13 mm. Entre ces deux matériaux, des panneaux de laine naturelle manufacturés et d'une épaisseur de 10 cm ont été mis en œuvre sur rails (diverses compositions : chanvre seul, chanvre et coton ou de chanvre et lin).

NB : Le chanvre ou le chanvre et coton contiendrait du polyester alors que chanvre/lin non. De plus il présenterait l'avantage d'avoir une meilleure inertie.

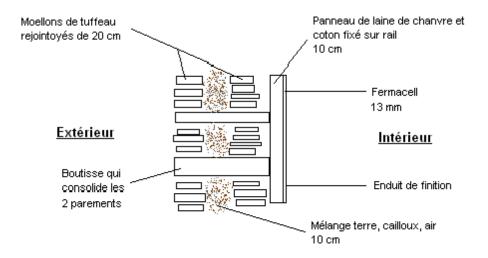


Figure 1-10 : Coupe verticale du mur Est

Les façades Sud et Ouest ne sont pas doublées.

Toutes les ouvertures sont restées à l'identique. Des fenêtres de toit ont été ajoutées au dernier niveau. Une fenêtre a été ouverte sur la façade Est au rez-de-chaussée (chambre accessible aux handicapés).



Figure 1-11 : Fenêtre accessible aux personnes handicapées (façade Est)

En raison des dispositions d'urbanisme applicables, des lumitubes de mur font offices d'ouvertures sur la façade Est.



Figure 1-12 : Lumitubes de la façade Est



Figure 1-13 : Lumitubes vus de l'intérieur

Toutes les fenêtres sont en double vitrage 4 12 4 Argon, les menuiseries en bois exotique et les anciens volets ont été conservés.

La charpente a été traitée au sel de bore.

Une isolation mince multicouche (Triso Super 9) sur chevrons a été mise en œuvre en veillant à laisser une lame d'air entre les liteaux et l'isolant et entre l'isolant et les plaques de BA13 fixés sur rails.

### 1.3 Traitement des cloisons et planchers intérieurs

Les cloisons légères sont en fermacell recouvert de stuc (enduit naturel teinté dans la masse, à base de chaux) et sont isolées de laine de chanvre en vrac tenue par des cordeaux en osier. Les types de stuc varient selon les pièces.



Figure 1-14: Laine tenue par les cordeaux

Le mur chauffant central du premier étage est constitué de briques plâtrières doubles alvéoles, d'une épaisseur de 7 cm et rainurées sur chaque pan. Les rainures accueillent les serpentins d'eau chaude fixés avec de la terre crue. Le tout est recouvert d'un enduit terresable de 2 à 3 cm (75-20% respectivement).

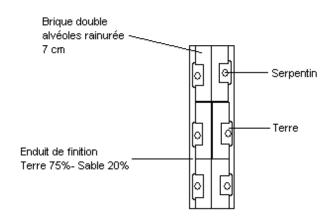


Figure 1-15 : Coupe verticale du mur central du 1er étage



Figure 1-16 : Briques double alvéole avec serpentins recouverts de terre avant la pose de l'enduit

La dalle dans l'écurie a tout d'abord été supprimée.

Un décaissement de 30 cm du sol du rez-de-chaussée a été nécessaire. Avant d'effectuer une chape chaux-chanvre de 15 cm, un hérisson de 15 cm de cailloux (non ventilé) est réalisé. De plus, sur le pourtour des murs, des briques de plâtre de 5 cm ont été posées sur leur flan. Outre le rôle de coffrage de dalle, ces briques favorisent l'assèchement des pieds de murs.



Figure 1-17 : Mortier chaux-chanvre avant application sur hérisson



Figure 1-18 : Chape chaux-sable en cours de réalisation laissant apparaître les serpentins

Une fois la dalle chaux-chanvre sèche (3-4 mois), un lait de chaux est appliqué pour l'assainissement du sol. Les serpentins du plancher chauffant fixés sur cavaliers sont recouverts d'une chape chaux-sable (5 cm).

Enfin la pose des carreaux, en terre cuite, recouverts d'un imprégnant bouche-pores et d'huile dure de lin au confit d'orange, est effectuée.

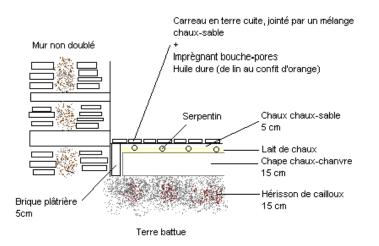




Figure 1-20 : Coupe de démonstration du plancher bas pour sensibiliser le grand public

Figure 1-19: Coupe verticale du plancher bas



Figure 1-21 : Enduit plâtre-sable sur plafonnets

Les poutres en chêne du plancher du premier étage sont conservées et traitées à l'huile de lin. Entre elles, un mélange sable-plâtre a été appliqué sur des plafonnettes de 3-4 cm d'épaisseur posées sur les poutres.

Puis des lambourdes sont fixées au plâtre gratté sur les plafonnettes pour accueillir un plancher en plaque d'OSB classe 3 sans formaldéhyde.

Les lambourdes permettent de palier la différence de niveaux et créent un coffre rempli de laine de chanvre en vrac (5 à 15 cm d'épaisseur). Enfin un feutre en fibre de bois haute densité et le parquet chêne massif clouté sont ajoutés comme finition.

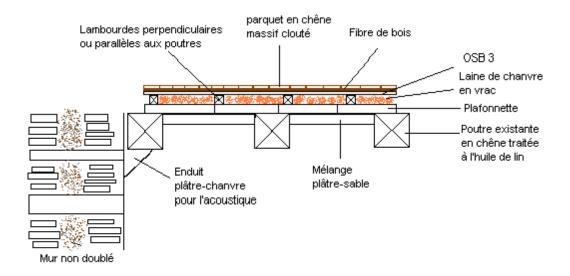


Figure 1-22 : Coupe verticale du plancher du 1er étage

Des rouleaux de laine de chanvre et coton ont été mis en œuvre en sous face du plancher du second étage, entre les poutres en pin du Nord. Des plaques de fermacell fixées sur rail constituent le plafond du 1er niveau.

Ces poutres sont recouvertes de plaques d'OSB, d'un feutre de fibre de bois et d'un plancher de finition en sapin huilé et ciré avec des produits biologiques.

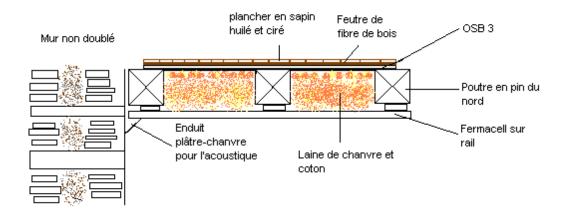


Figure 1-23 : Coupe verticale du plancher du 2ème étage

Les liaisons entre les murs et les planchers des deux étages, sont constitués d'un mélange chanvre-plâtre (épaisseur des poutres), pour améliorer l'isolation acoustique.



Figure 1-24 : Enduit plâtre-chanvre entre le rez-de-chaussée et l'étage

### 1.4 Traitement des systèmes de chauffage et de ventilation

Une ventilation double-flux avec un rendement allant jusqu'à 95% a été installée (débit nominal : 325 m3/h). Des gaines souples, isolées par de la laine de verre, débouchent dans la cuisine, les salles de bain et les chambres du premier étage.



Figure 1-25 : Bouche d'aération d'une chambre au dernier niveau



Figure 1-26 : Bouche d'aération de l'autre chambre du dernier niveau

La production de chaleur est réalisée à partir de deux sources :

- En base : 20m² de panneaux solaires thermiques (inclinaison de 35°)
- En appoint : une chaudière bois à granulés (35 kW, rendement nominal de 95%)



Figure 1-27 : Panneaux solaires exposés plein Sud

Le stockage des pellets se fait dans un silo de  $12~\text{m}^3$ , volume suffisant pour un hiver de chauffe. Deux ballons (100~L + 600~L) permettent de stocker l'eau chaude produite et d'éviter les surchauffes des panneaux solaires l'été.







Figure 1-29 : Silo à pellets

Les générateurs alimentent le gîte et la maison des propriétaires. La distribution de chaleur dans le gîte se fait par l'intermédiaire :

- d'un plancher chauffant au rez-de-chaussée
- d'un mur central chauffant au premier étage
- de radiateurs basse température au dernier niveau

Le conduit de fumée du four à pain, recouvert d'un enduit de terre crue permet également de chauffer les chambres des étages.







Figure 1-31: Conduit du four au dernier niveau



Figure 1-32: Rez-de-chaussée après travaux

### 2 Bioclimatisme et techniques décarbonées sur ce projet

Le bio-climatisme consiste à trouver le point d'équilibre entre une construction, le comportement de ses occupants et le contexte géographique, pour réduire au maximum l'emploi de ressources énergétiques :

- en se protégeant des aléas naturels (vents dominants, intempéries, ...)
- en profitant des apports gratuits disponibles (apports solaires, rafraichissement naturel, biomasse, ...)

Côté Ouest, la forêt de Fontevraudl'Abbaye permet de protéger le bâtiment des vents d'Ouest dominants.



Figure 2-1 : Vue du 1er étage

Aucune ouverture n'est réalisée au Nord. De plus, un lourd mur de pierre protège la façade Nord.



Figure 2-2 : Mur Nord



Figure 2-3 : Toilettes sèches du 1er étage

Les toilettes sèches de l'étage économisent de l'eau.



Figure 2-4 : Four à pain

Le four à pain permet un apport de chaleur supplémentaire dans la pièce à vivre et dans les étages.

Grâce aux panneaux solaires, les calories gratuites du soleil sont récupérées pour le chauffage.



Figure 2-5: Panneaux solaires

L'utilisation de matériaux performants naturels de proximité (chanvre, fibre de bois, lin, etc.) pour éviter les déperditions thermiques augmente l'isolation des murs, de la toiture, du sol,, des portes et du vitrage.



Figure 2-6 : Stockage de chanvre



Figure 2-7 : Poutres existantes, mangeoire en guise de décoration

Récupération de matériaux : des pierres du château, des mangeoires, des poutres, des volets, etc.



Figure 2-8 : Fermeture vitrée

Les lumitubes de la façade Est et la serre solaire de l'entrée permettent de profiter de l'éclairage naturel.

## 3 Retour d'expérience

Le gîte est ouvert depuis avril 2010 et occupé les week-ends et les vacances scolaires.

Cependant, la première année, le bâtiment a été chauffé tout l'hiver sans interruption par soucis de séchage des matériaux, comme le chanvre. Aucun désordre n'a été observé, à part les fissures apparues sur la grande plaque de fermacell au plafond du premier étage.

Le problème majeur rencontré réside dans la difficulté de trouver ces matériaux spécifiques sur le marché.

Un inconfort thermique d'été a été constaté au dernier étage. Les améliorations à apporter pourraient consister en la pose de panneaux de fibre de bois, qui pallierait l'absence d'inertie de la toiture du fait de l'utilisation d'une isolation fine. Il est aussi envisagé d'installer des volets intérieurs.

En outre, il est prévu de restaurer la toiture.

Les consommations énergétiques totales du site (maison des propriétaires + gîte) n'ont pas évolué depuis l'ouverture, grâce à l'installation des chauffes-eau solaires.

# 4 Instrumentation légère

## 4.1 Plans d'instrumentation

Voici les emplacements des capteurs dans le bâtiment.

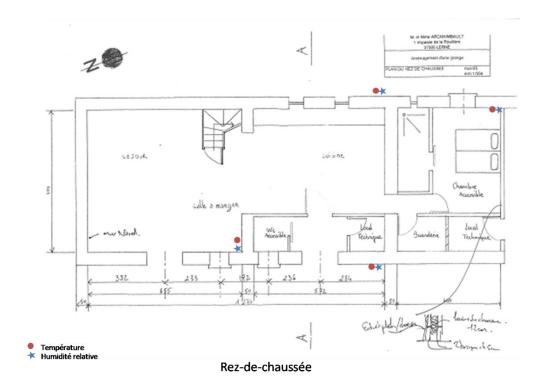


Figure 4-1: Plan d'instrumentation du rez-de-chaussée - Lerné

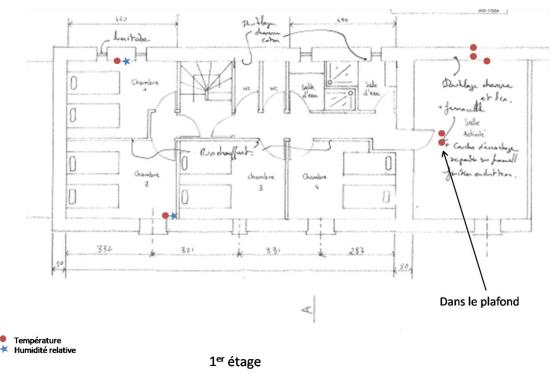


Figure 4-2 : Plan d'instrumentation du 1er étage - Lerné

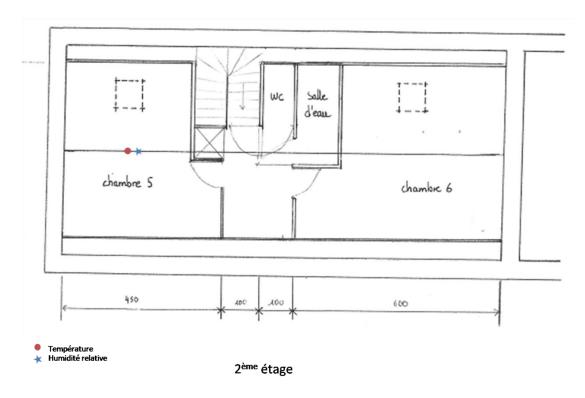


Figure 4-3: Plan d'instrumentation du 2ème étage - Lerné

A noter que les mesures de température et hygrométrie en extérieur n'ont pas été effectuées dans des conditions "station météo". Les mesures de température peuvent donc être surestimées lorsqu'il y a un rayonnement solaire important. C'est à dire pour les jours de fort ensoleillement et de forte chaleur.

#### 4.2 Résultats des mesures

La campagne de mesure s'est étendue du 10 juin 2011 au 23 mars 2012 pour l'extérieur, et du 10 juin 2011 au 30 avril 2012 pour l'intérieur.

### 4.2.1 Les conditions extérieures

La température extérieure a été mesurée sur les parois Est et Ouest. Des écarts sont constatés entre les deux points de mesures. Ceux-ci sont maximum à midi et 18h, ce qui correspond aux heures où le rayonnement solaire arrive respectivement sur les parois.

Voici une synthèse des conditions extérieures mesurées entre juin 2011 et mars 2012 :

	façade est	façade ouest
Température moyenne	13,3 °C	12,9°C
Maximum de température	41,5 °C	43,7°C
Minimum de température	-10,7°C	-10,2°C
Journée la plus froide	12/02/2012	12/02/2012
Journée la plus chaude	26/06/2011	26/06/2011

Tableau n°2.1 : récapitulatif des conditions extérieures sur la période de mesure

#### Conditions extérieures - Lerné

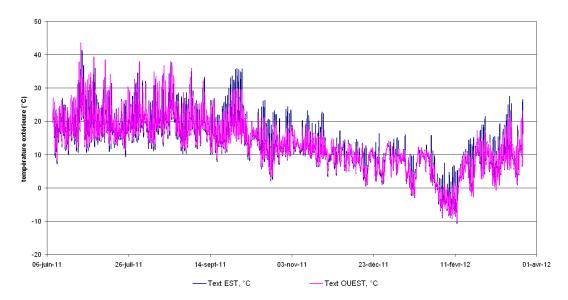


Figure 4-4 : Évolution des températures mesurées sur les façades Est et Ouest de juin 2011 à mars 2012

La Figure 4-4 présente les températures extérieures à l'Est et à l'Ouest sur la période de mesure. On note des différences dans les températures relevées entre les deux orientations. Le matin, principalement à partir de septembre, la température est plus élevée à l'Est alors qu'elle est plus élevée le soir à l'Ouest, notamment l'été soit lorsque le soleil illumine les capteurs.

### 4.2.2 La température moyenne intérieure et son amplitude

La Figure 4-5 récapitule les températures mesurées à l'extérieur et dans les différentes pièces du gîte. Le graphique fait apparaître que le gîte n'est pas toujours chauffé l'hiver, en fonction de son occupation.

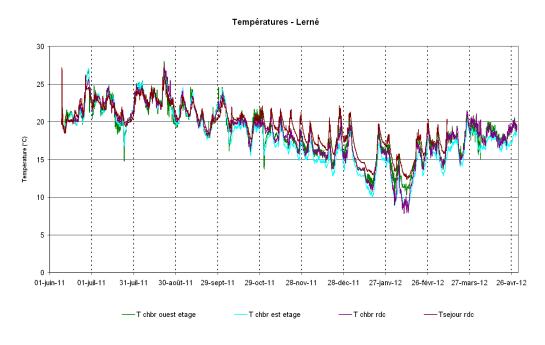


Figure 4-5 : Évolution des températures intérieures suivant les pièces de juin 2011 à avril 2012

#### Température moyenne

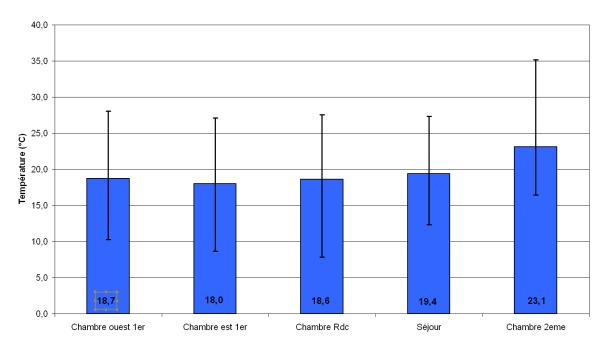


Figure 4-6 : Amplitude et moyenne de températures suivant les pièces sur la période de mesures (juin 2011 à avril 2012)

Sur la Figure 4-6 , les histogrammes représentent la moyenne sur l'ensemble de la période de mesure et les barres noires correspondent à l'amplitude de température observée dans la pièce.

Entre le rez-de-chaussée et le 1<sup>er</sup> étage, la moyenne de température est sensiblement la même. Le second étage se distingue par une moyenne de température nettement plus élevée (4 à 5°C par rapport aux autres pièces).

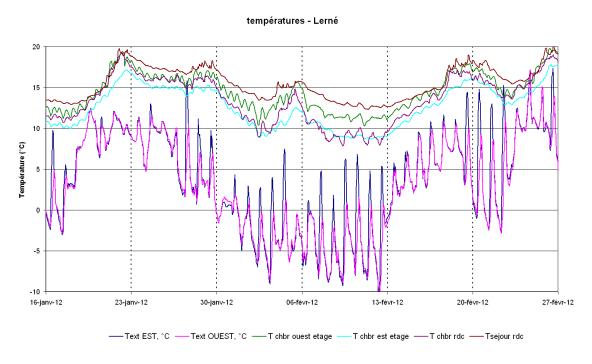


Figure 4-7 : Températures intérieures en période hivernale

L'occupation du gîte n'est pas constante au cours de l'année. En hiver, il n'est donc pas toujours chauffé. Nous voyons apparaître les périodes de chauffe sur la Figure 4-7 :

- Week-end du 21 et 22 janvier et semaine suivante,
- Week-end du 4 et 5 février,
- Week-end du 18 et 19 février et semaine à suivre.

Nous pouvons donc observer le comportement du gite lorsqu'il n'est pas chauffé. Ainsi, même lorsque la température extérieure descend sous les -5°C (du 6 février au 13 février), la température intérieure se stabilise autour de 8 °C dans les chambres à l'Est (étage et rez-dechaussée), à 13 °C dans le séjour.

### 4.2.3 Le déphasage et l'amortissement

Le déphasage est calculé sur la journée la plus chaude : soit le 26/06/11 dans ce cas. Le tableau suivant présente les résultats dans les différentes pièces (Tableau 4-1).

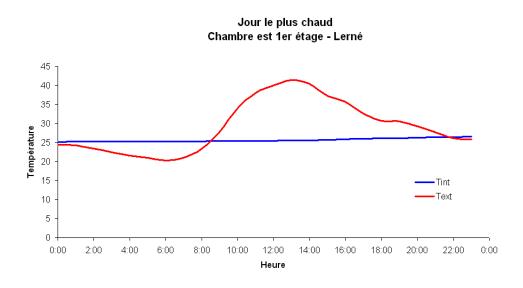


Tableau 4-1 : Déphasage et amortissement suivant les pièces

Pièce	Amortissement	Déphasage de température
Séjour	>40	-
Chambre rez-de-chaussée	26	9h
Chambre Est 1 <sup>er</sup> étage	15	10h
Chambre Ouest 1 <sup>er</sup> étage	13	6h
Chambre 2 <sup>ème</sup> étage	3	3h

Aucun déphasage n'a été calculable dans le séjour car la température intérieure a une amplitude trop faible pour conclure quant à un maximum.

La pièce du 2<sup>ème</sup> étage présente le plus faible amortissement et le plus faible déphasage. Il s'agit d'une pièce sous toiture au contraire des autres pièces instrumentées.

### 4.2.4 Le confort intérieur

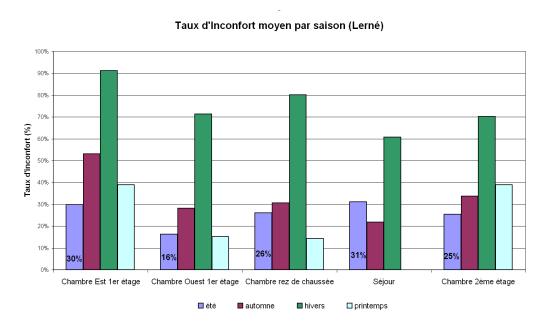


Figure 4-8: Taux d'inconfort dans les différentes pièces suivant les saisons

La Figure 4-8 présente les taux d'inconfort dans les différentes pièces du gîte en fonction des saisons. Les pièces peuvent être confortables sur certaines saisons et ne pas l'être sur d'autres.

Le confort hygrothermique est représenté dans plusieurs pièces instrumentées 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 la zone de confort sont tracées en rouge.

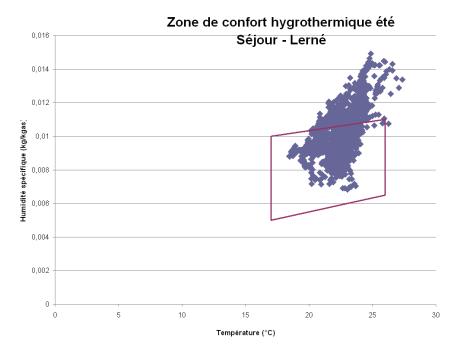


Figure 4-9 : Zone de confort hygrothermique du Séjour en été

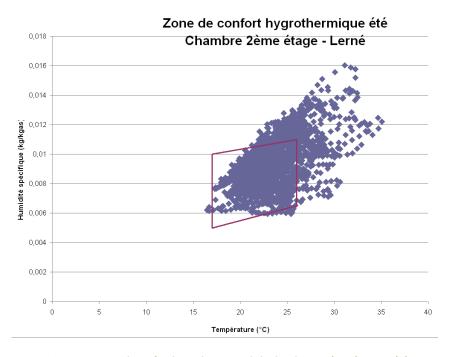


Figure 4-10 : Zone de confort hygrothermique de la chambre au 2ème étage en été

Les Figure 4-9 et Figure 4-10 présentent les zones de confort hygrothermique du séjour et de la chambre au 2<sup>ème</sup> étage en été. Les taux d'inconfort sont de 31% pour le séjour et de 25% pour la chambre au 2<sup>ème</sup> étage.

Les causes de l'inconfort sont différentes dans les deux pièces. Le séjour présente une humidité élevée qui rend la pièce inconfortable. La chambre quant à elle souffre d'une température intérieure variable et chaude (pouvant atteindre 35°C).

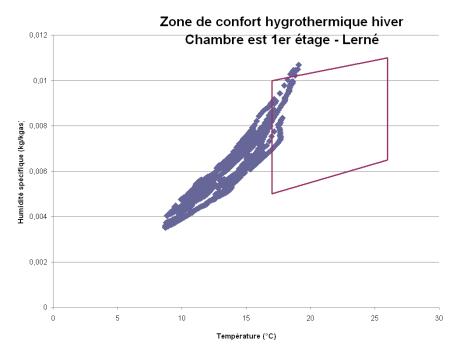


Figure 4-11 : Zone de confort hygrothermique de la chambre à l'Est au 1er étage en hiver

La chambre à l'Est au 1<sup>er</sup> étage présente le taux d'inconfort le plus élevé en hiver (>90%). La Figure 4-11 permet de voir qu'il s'agit de températures trop basses qui causent cet inconfort. Ceci est à mettre en lien avec l'occupation du gîte en hiver. Celui-ci n'est pas chauffé en permanence et totalement.

### 4.3 Conclusion

Le séjour bénéficie d'un amortissement de la température élevé. Pourtant, il ne s'agit pas de la pièce la plus confortable en été. L'inconfort de cette pièce n'est pas lié à la température mais à un air trop humide. La chambre au 2<sup>ème</sup> étage est quant à elle plus chaude mais plus sèche en été ce qui lui permet d'être considérée comme relativement confortable.