

Suivi de la construction - rapport final



Auteurs :

Philippe CHIFFOLLEAU - Parc du Luberon/ECP 92  
Cecile BARRAS - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat

Avec la collaboration de :

Eric CHAISSE – Directeur du CRIEPPAM  
Laurence MUNDLER – Architecte HR Alpes Méditerranée  
Michel COLLACHE – Architecte HR Alpes Méditerranée  
Et les entreprises BCB et SCAB 04

CONSTRUCTION D'UN BÂTIMENT  
PILOTE OSSATURE BOIS ET PAILLE  
DE LAVANDE

Mars – Novembre 2009



**SOMMAIRE**

[Introduction][Remerciements].....

|     |  |           |
|-----|--|-----------|
| 1.  | Le projet du CRIEPPAM- contexte et objectifs ..... | 6         |
| 1.1 | - L'origine du projet.....                         | 6         |
| 1.2 | - Les objectifs.....                               | 6         |
| 1.3 | - Les acteurs .....                                | 7         |
| 1.4 | - Bilan financier .....                            | 8         |
| 2.  | Conception et principes constructifs .....         | 9         |
| 2.1 | - Le site du projet .....                          | 9         |
| 2.2 | - Les principes constructifs .....                 | 9         |
| 2.3 | - Le matériau paille de lavande                    |           |
| 10  |  |           |
| a.  | La ressource                                       |           |
| 10  |  |           |
| b.  | Caractéristiques physico chimiques                 |           |
| 11  |  |           |
| c.  | Propriétés   |           |
| 12  |  |           |
| 2.4 | - Les plans du bâtiment                            |           |
| 14  |  |           |
| 3.  | La constitution de l'enveloppe .....               | 179       |
| 3.1 | - Les parois opaques verticales.....               | 20        |
|     | <b>a.Les murs en béton banché .....</b>            | <b>20</b> |
|     | <b>b.Les murs caissons-paille en vrac .....</b>    | <b>21</b> |
|     | <b>c.Les parois du hangar .....</b>                | <b>21</b> |
|     | <b>d.Les cloisons intérieures.....</b>             | <b>21</b> |
| 3.2 | Parois opaques horizontales.....                   | 22        |
|     | <b>a. Le plancher intermédiaire.....</b>           | <b>22</b> |
|     | <b>b. Plancher bas sur terre-plein .....</b>       | <b>23</b> |
|     | <b>c . La toiture .....</b>                        | <b>23</b> |
| 3.3 | - Les menuiseries .....                            | 24        |
| 3.4 | - Equipement de chauffage/rafraichissement .....   | 24        |
|     | <b>a. Génération .....</b>                         | <b>24</b> |
|     | <b>b. Emetteurs.....</b>                           | <b>25</b> |
| 3.5 | - La ventilation .....                             | 25        |
| 3.6 | - Eau chaude sanitaire.....                        | 25        |
| 4.  | Simulation thermique du bâtiment.....              | 26        |
| 4.1 | Valeurs thermiques .....                           | 26        |
| 4.2 | - Les menuiseries .....                            | 29        |
| 4.3 | - Les ponts thermiques .....                       | 310       |
| 4.4 | - Le confort d'été .....                           | 320       |
| 4.5 | - Permeabilité à l'air de l'enveloppe .....        | 341       |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.6 - Les déperditions  | 31        |
| 4.7 - La consommation énergétique                                     | 32        |
| 4.8 - Instrumentation in situ du bâtiment                             | 34        |
| <b>a.Les relevés de hygrothermiques :</b>                             | <b>34</b> |
| <b>b.Les données climatologiques</b>                                  | <b>35</b> |
| <b>c.Le relevé des débits de ventilation</b>                          | <b>35</b> |
| <b>d.Le relevé des consommations en énergie</b>                       | <b>35</b> |
| <b>e.La mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe</b>          | <b>35</b> |
| <b>f.La caractérisation thermique des parois</b>                      | <b>36</b> |
| <b>g.Le ressenti des occupants</b>                                    | <b>36</b> |
| 5. Le suivi de la construction  | 37        |
| 5.1- Le déroulement du chantier                                       | 37        |
| <b>Phase 1 : terrassement, fondations et dalle du rez-de-chaussée</b> | <b>37</b> |
| <b>Phase 2 : Le hangar</b>  | <b>38</b> |
| <b>Phase 3 : le bâtiment administratif (les bureaux)</b>              | <b>39</b> |
| <b>a.L'ossature principale</b>  | <b>40</b> |
| <b>b.Le banchage</b>  | <b>41</b> |
| <b>c.Le cloisonnement intérieur</b>                                   | <b>50</b> |
| <b>d.L'isolation par voie sèche en vrac</b>                           | <b>51</b> |
| <b>e.Le plancher intermédiaire</b>                                    | <b>54</b> |
| <b>f. Les enduits</b>   | <b>57</b> |
| 5.2. .... Principaux enseignements                                    | 58        |
| <b>a.L'approvisionnement et le séchage de la paille</b>               | <b>58</b> |
| <b>b.Le coût du matériau :</b>  | <b>59</b> |
| <b>c.Les assurances :</b>   | <b>59</b> |
| <b>d.Le béton banché</b>  | <b>59</b> |
| <b>e.La paille en vrac</b>  | <b>60</b> |
| [Conclusion]  | 60        |
| [Bibliographie]   | 62        |

## [Acronymes]

**CPPARM** : comité économique des plantes à parfum aromatiques et médicinales

**CIHEF** : comité interprofessionnel des huiles essentielles de France

**CRIEPPAM** : Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales

**FNADT** : Fonds National pour l'Aménagement et le Développement du Territoire

**PER** : Pôle d'excellence rural

**PNRL** : parc naturel régional du Luberon

**PPAM** : plantes à parfum aromatique et médicinales

## Introduction

Si le secteur du bâtiment est responsable de 43% des consommations d'énergie et de 25% des émissions de gaz à effet de serre, c'est aussi un secteur qui offre des possibilités d'évolution importante. Conscient de cet enjeu et soucieux des problématiques environnementales actuelles, le Parc Naturel Régional du Luberon a décidé de lancer un programme sur la conception-réalisation de bâtiments « basse consommation », utilisant des matériaux locaux.

Ces matériaux dont les filières sont en émergence, sont au nombre de 4 :

- le cèdre comme bois d'œuvre (environ 200 m<sup>3</sup> par an),
- la brique de terre crue en association avec "le village" pour l'inertie (objectif de production en 2010 : 35000 briques),
- le chanvre textile pour l'isolation en vrac et les enduits (36 ha en 2010),
- les pailles de lavande pour l'isolation en vrac et les enduits,

Ces matériaux possèdent les points communs suivants :

- une faible énergie grise,
- un prix compétitif,
- la capacité de stocker du CO<sub>2</sub>,
- une nouvelle voie de diversification pour le secteur agricole (chimie verte),
- une relation directe entre le producteur et le consommateur.

La mise en œuvre et la promotion de ces matériaux s'appuient sur l'engagement du secteur privé et public. Pour ce dernier, trois projets pilotes ont été retenus dans le cadre du Pôle d'excellence rural « bio-ressources en Luberon ».

La construction des nouveaux bureaux du CRIEPPAM à Manosque, est un de ces projets pilotes. Il s'agit d'un bâtiment à ossature bois, isolé en paille de lavande et lavandin. Le suivi du chantier, était l'occasion de fournir des éléments d'illustration indispensables à la valorisation de la filière.

Le présent rapport rend compte des principaux éléments du projet ainsi que des différents enseignements qui ont pu être tirés de cette expérience

## Remerciements

Ce bâtiment expérimental n'aurait pu voir le jour sans la volonté des administrateurs et du Directeur du CRIEPPAM, sans le professionnalisme des architectes et des entreprises. Qu'ils en soient remerciés car, par leur action, ils participent à l'essor et à la reconnaissance progressive de systèmes constructifs innovants à faible impact environnemental et au développement de matériaux écologiques issus de ressources renouvelables.

De par sa réalisation, ce chantier vient enrichir les retours d'expériences qui se font jour sur le territoire national et dont le nombre ouvre une large brèche dans l'acte de construire, et bien au-delà, sur la façon dont nous concevons le monde de demain.

## 1. [LE PROJET DU CRIEPPAM- contexte et objectifs]

### 1.1 - L'origine du projet

Le CRIEPPAM est un centre d'expérimentation sur les plantes à parfums, aromatiques et médicinales, reconnu depuis plus de 15 ans pour l'ensemble de ses activités techniques destinées à maintenir une activité agricole dans les zones de montagne sèche.

Depuis 1998, le CRIEPPAM dispose d'une station expérimentale située à Manosque où seul 3 techniciens étaient présents. Le reste du personnel étant situé à 5 Km dans la zone industrielle Saint-Joseph, ne facilitant ni la gestion ni la cohésion de l'équipe.

Ce projet est donc né de la volonté de rassembler toute la filière PPAM (CRIEPPAM, CIHEF et CEPPARM) sur la station expérimentale afin de créer un lieu unique de travail des techniciens. Par la même occasion ce projet se voulait être une vitrine auprès des producteurs. En effet, en tant que centre technique, le CRIEPPAM se doit de donner des conseils sur les cultures, mais il doit aujourd'hui élargir son intervention vers d'autres conseils plus environnementaux et écologiques. La réalisation d'un bâtiment témoin à ossature bois, isolé en paille de lavande, était l'occasion de montrer aux producteurs qu'il est possible de réaliser des constructions écologiques, avec des matériaux, issus de sous produits agricoles locaux.

A la recherche de financements pour cette opération, le CRIEPPAM s'est tourné vers le Parc Naturel Régional du Luberon, qui a retenu le projet pour son programme de conception-réalisation de bâtiment basse consommation. C'est donc dans le cadre du pôle d'excellence rurale « bio-ressources en Luberon » que le CRIEPPAM, s'est vu attribué au titre du FNADT, une subvention de l'Etat équivalent à 40% du coût de l'opération, pour la construction de ce bâtiment témoin.

Le Conseil Régional de PACA, et le Conseil Général des Alpes de Haute-Provence ont également assuré une large partie du financement de la construction.

### 1.2- Les objectifs

Le projet comprend la construction d'un bâtiment administratif de 257m<sup>2</sup> (avec étage) et d'un hangar agricole de 70 m<sup>2</sup>.

La volonté du CRIEPPAM étant de valoriser les sous-produits des lavandiculteurs, l'utilisation de la paille de lavande comme matériau isolant est apparue comme une évidence.

Il s'agit de réaliser un bâtiment qui soit :

- agréable à vivre pour les salariés,
- s'intègre parfaitement à l'existant et dans le paysage ,
- soit une vitrine pour la production,
- intègre des matériaux naturels et recyclables, une parfaite isolation des murs et des plafonds, un maximum de lumière naturelle et une excellente isolation phonique.

Le programme dans lequel s'inscrit le projet, porte sur la conception-réalisation d'un bâtiment basse consommation. L'objectif fixé pour les bureaux du CRIEPPAM est d'atteindre des performances énergétiques équivalentes à celles imposées par le label BBC-Effinergie (Consommation d'énergie primaire < 50 Kwhep/m<sup>2</sup>/an).

Le choix des matériaux et une attention particulière portée sur la conception et la mise en œuvre pour limiter les déperditions et la consommation énergétique du bâtiment, sont donc primordiaux.

### 1.3- Les acteurs

**Maîtrise d'ouvrage :** Le CRIEPPAM, représenté par le directeur du centre, Eric CHAISSE

**Maîtrise d'œuvre :** Les plans initiaux avaient été réalisés pour un bâtiment métallique avec bardage métallique. Les administrateurs actuels du CRIEPPAM souhaitant que ce bâtiment soit une vitrine pour la filière, ont donc demandé de travailler sur un projet le plus écologique possible. Un nouveau bureau d'architecte a alors été retenu : la SICA HR Alpes-méditerranée de Manosque représenté par Laurence MUNDLER et Michel COLACHE.

#### Entreprises

|                                    |                      |                                |
|------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Terrassement / VRD                 | GIORDANO Pierre-Jean | 04860 Pierrevert               |
| Gros œuvre /cloisonnement          | SCAB O4              | 04230 Saint Etienne les orgues |
| Charpente/ossature bois/menuiserie | BCB                  | 26310 Beaurières               |
| Chauffage /plomberie               | Eco-systèmes         | 04300 MANE                     |
| Electricité/réseaux                | DE LUCA              | 04230 Saint Etienne les orgues |
| Chappe et carrelage                | SPC                  |                                |

L'entreprise de charpente BCB, s'est fait accompagner sur le projet par le bureau d'étude BET GAUJARD TECHNOLOGIES.

Si les entreprises retenues devaient bénéficier d'un savoir-faire technique spécifique, elles devaient surtout être prêtes à s'engager dans l'expérimentation et les aléas qui pouvaient ce faire jour.

#### Partenaires

Intégrant le projet à son PER « valorisation des bio-ressources », le parc naturel régional du Luberon, a été partenaire de cette opération. Faisant à la fois profiter de ses compétences en matière d'éco-construction, d'utilisation de matériaux locaux et d'optimisation thermique des bâtiments. Philippe Chiffolleau, chargé de mission Eco-développement, assisté de Cécile Barras, élève ingénieur à l'Ecole Nationale des Travaux Public de l'Etat en ont été les représentants.

## 1.4- Bilan financier

### Les dépenses

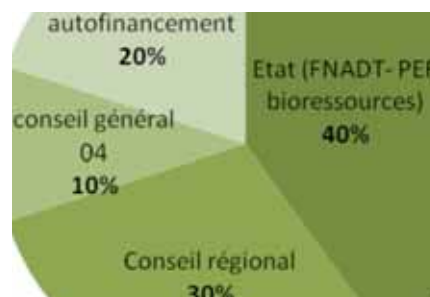
| DEPENSES                     |  |                     |
|------------------------------|--|---------------------|
| SICA Alpes Méditerranée      | Architecte   | 9 316,00 €          |
| Luroforage                   | Forage pour géothermie   | 10 130,00 €         |
| SCAB 04                      | Maçonnerie, plâtres  | 90 713,80 €         |
| BCB                          | Charpente bois, paille lavande, isolation, toiture, menuiseries extérieures, ... | 191 141,65 €<br>(1) |
| EARL Roussin + STMF          | Séchage et transport paille lavande  | 1 758,40 €          |
| Ecosystèmes 04               | Chauffage, plomberie   | 44 657,62 €         |
| SPC                          | Carrelage, faïences  | 20 271,00 €         |
| M.MAWSON et L'effet du temps | Peintures murs, portes, fenêtres et volets                                       | 8 310,00 €          |
| GIORDANO                     | Terrassements, aménagements, réseaux, ...  | 30 237,40 €         |
| SICMA 04                     | Escalier   | 6 200,00 €          |
| Deluca Marc                  | Electricité  | 33 360,30 €         |
| SCAB 04                      | Créations de bordures et trottoirs   | 5 100,00 €          |
| VIAL Menuiseries             | Menuiseries intérieures  | 1 677,28 €          |
| TOTAL                        |  | 452 873,45 €        |

(1) 150 224 pour la bâtiment administratif et 40 917 pour le hangar

**Soit un coût pour le bâtiment administratif de 1 602.94€Ht/m<sup>2</sup>.**

### Les ressources

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| Etat (PER bio-ressources) | 160835,14 |
| Conseil régional          | 160835,16 |
| Conseil général AHP       | 40208,78  |
| autofinancement           | 90994.35  |



La Mairie de Manosque s'est portée caution de l'emprunt contracté par le CRIEPPAM.



## 2. [Conception et principes constructifs]

### 2.1- Le site du projet

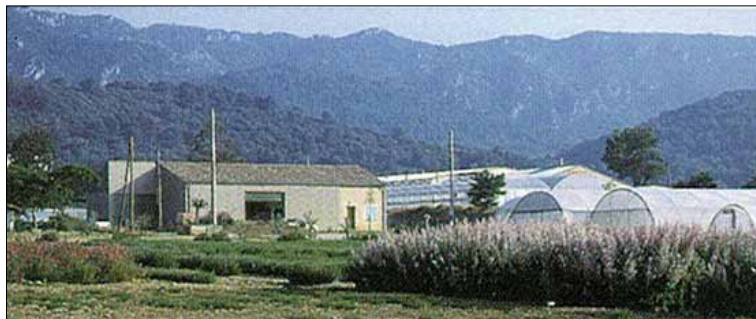
Situation géographique

- Département : Alpes de haute-Provence
- Localisation : Manosque
- Altitude : 350m
- Zone climatique : H2d



Le terrain est propriété de la commune de Manosque avec un bail à construction de 25 ans.

Un hangar de 250m<sup>2</sup> (propriété du CRIEPPAM), étant déjà présent sur le site. Il s'agissait donc d'intégrer de façon harmonieuse la nouvelle construction à l'existant.



La station expérimentale du CRIEPPAM

### 2.2- Les principes constructifs

Le bâtiment administratif et le hangar agricole sont composés d'une structure bois. Dans la partie bureaux, la paille de lavande est mise en œuvre, en tant que matériau isolant, de différentes manières :

- Au sud : des murs à ossature bois porteuse, avec remplissage en banché d'un béton léger composé de paille de lavande broyée mélangée à de la chaux aérienne, du plâtre briqueteur et de la pierre ponce.
- Au nord : des murs à ossature bois et caissons remplis en vrac à l'atelier avec de la paille de lavande broyée

Le plancher intermédiaire et la toiture ont également été isolés avec de la paille de lavande broyée. La toiture a été remplie à l'atelier, la plancher sur le chantier.

## 2.3- Le matériau paille de lavande

### *a – La ressource*

La culture de la lavande et du lavandin occupe une place importante dans l'économie locale des départements du Vaucluse, des Alpes de Haute Provence, de la Drome et des Hautes Alpes. Ces quatre départements du Sud-est de la France, concentrent 94% de la production française de lavande et lavandin (1).

| Superficie en hectares                        | lavandin     | lavande     |
|---|--------------|-------------|
| Alpes de haute Provence                       | 9420         | 920         |
| Hautes alpes                                  | 40           | 105         |
| Drôme   | 3915         | 1245        |
| Vaucluse                                      | 2560         | 1730        |
| Autres (Ardèche, Gard, lot, bouches du Rhône) | 1065         | -           |
| <b>Total</b>                                  | <b>17000</b> | <b>4000</b> |

Tableau 1- superficie des cultures de lavande et lavandin - source CEPPARM



Après distillation, il ne reste de la lavande récoltée qu'une masse compacte de pailles. Cette paille était jusqu'à peu, recyclée pour alimenter le feu des alambics dans les distilleries. Mais peu à peu celles-ci se sont équipées de chaudières à gaz. Inutilisées en tant que combustible, les pailles sont devenues des déchets végétaux, aujourd'hui majoritairement brûlés à l'air libre.

Pourtant, ce matériau présente des propriétés intéressantes qui en font un excellent isolant thermique. Riche en silice la paille de lavande a une résistance naturelle aux micro-organismes. Même après distillation, elle comporte encore 2 à 3% d'huile essentielle qui en fait un excellent insectifuge.



D'autre part ce matériau naturel est disponible en grande quantité dans les exploitations lavandicoles : 21 000 tonnes de paille produites/an, dont 94% sur les départements du Vaucluse, des Alpes de Haute Provence, de la Drôme et des Hautes Alpes. L'emploi de cette matière première locale, en tant qu'isolant pourrait être une source de valorisation intéressante pour les producteurs de lavande et de lavandin.

Les pailles de distillation ne peuvent être utilisées en l'état. Elles doivent être utilisées comme isolant.

A la sortie de la distillerie, la paille possède un taux d'humidité de l'ordre de 55 à 65%. Sa mise en œuvre pour l'isolation impose un taux d'humidité inférieur à 15%. Avant d'être utilisée comme matériau isolant, la paille doit donc finir de sécher.

Les fibres de la paille issues de la récolte traditionnelle (en gerbe) étant trop longues pour être mises en œuvre directement, il était nécessaire de les broyer préalablement.



Paille issue de la récolte



Essai de broyage



La paille

**La paille de lavande séchée et broyée peut alors être mise en œuvre selon différents procédés :**

- **La mise en œuvre par voie sèche :** Cette voie exclue tout type de liant : il s'agit du produit en vrac utilisé en remplissage, à l'atelier ou sur le chantier, dans des caissons préfabriqués, ou emprisonné dans la double peau de l'enveloppe du bâtiment. La paille peut également être mise en œuvre sous forme de bottes carrées (uniquement en cas de récolte traditionnelle en gerbe, méthode testée pour le futur bâtiment communal d'Aubenas les Alpes).
- **La mise en œuvre par voie humide :** Comme pour le chanvre, les particules isolantes sont incorporées dans la fabrication d'un béton léger ou d'un enduit isolant.

*b - Caractéristiques physico-chimiques de la paille de lavandin*

|  | unité        | Vallée du Rhône | Plateau de Valensole | Plateau d'Albion |
|--|--------------|-----------------|----------------------|------------------|
| <b>Analyse élémentaire</b>                               |              |                 |                      |                  |
| Azote  | en % sur sec | 1,277           | 1,217                | 1,273            |
| Carbone  | en % sur sec | 47,455          | 47,641               | 49,080           |
| Chlore   | en % sur sec | 0,21            | 0,17                 | 0,13             |
| Hydrogène  | en % sur sec | 5,576           | 5,876                | 6,043            |
| Oxygène  | en % sur sec | 36,32           | 39,00                | 38,14            |
| Soufre   | en % sur sec | 0,10            | 0,11                 | 0,14             |
| <b>Détermination du taux de cendres</b>                  |              |                 |                      |                  |
| Cendres sur sec  | en %         | 9,06            | 5,99                 | 5,19             |
| <b>Fusibilité des cendres</b>                            |              |                 |                      |                  |
| Fusibilité en atm. réductrice                            | en °C        | > 1450          | > 1450               | > 1450           |
| <b>Détermination de l'humidité</b>                       |              |                 |                      |                  |
| Humidité   | en %         | 64,6            | 60,8                 | 58,3             |
| <b>Éléments dans les cendres</b>                         |              |                 |                      |                  |
| Silice (Si) exprimé en SiO <sub>2</sub>                  | en %         | 37,77           | 19,39                | 9,05             |
| Fer (Fe) exprimé en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | en %         | 7,95            | 3,57                 | 26,35            |
| Aluminium (Al) exprimé en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | en %         | 5,08            | 3,41                 | 23,63            |
| Phosphore (P) exprimé en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | en %         | 3,73            | 8,87                 | 0,76             |
| Calcium (Ca) exprimé en CaO                              | en %         | 28,12           | 39,11                | 5,17             |
| Magnésium (Mg) exprimé en MgO                            | en %         | 5,03            | 7,18                 | 2,19             |

|  |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Potassium (K) exprimé en K <sub>2</sub> O                | en %  | 9,59  | 14,65 | 1,72  |
| Sodium (Na) exprimé en Na <sub>2</sub> O                 | en %  | 0,80  | 0,54  | 0,50  |
| Manganèse (Mn) exprimé en Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | en %  | 0,09  | 0,13  | 0,09  |
| Titane (Ti) exprimé en TiO <sub>2</sub>                  | en %  | 0,26  | 0,21  | 1,26  |
| <b>Détermination du pouvoir calorifique</b>              |       |       |       |       |
| Pouvoir calorifique inférieur sur sec                    | kJ/kg | 17609 | 17493 | 18314 |

La paille de lavande est une fibre végétale très riche en silice qui lui confère une bonne carbonatation en présence de chaux aérienne, et une résistance naturelle aux micro-organismes. Après distillation, la paille de lavande comporte encore 2 à 3% d'huile essentielle qui en fait un répulsif naturel contre les insectes.

La paille de lavande est également un très bon régulateur hygrothermique, qui contribue à un environnement sain. Elle ne présente pas de dégagements toxiques en cours d'utilisation ou en cas d'incendie.

C'est une ressource renouvelable et locale présente en grande quantité. Il s'agit de plus, d'un matériau à puits de carbone (500 kg eq. Carbone se trouve stocké dans 1 tonne de paille de lavande).

### C – Propriétés

Afin de pouvoir simuler correctement les déperditions thermiques du projet, il convenait de disposer des caractéristiques thermiques du matériau. Pour le vrac, nous nous sommes servis des données produites par la société Thermolavande; Pour le béton léger de paille de lavande (murs banchés), nous avons fait réaliser une série de mesures par le laboratoire Thermoconcept.

Source Thermolavande

| Conditionnement                 | vrac                                    | mortier/toiture                          | brique                                   |
|---------------------------------|---|--|--|
| λ en W/m.K                      | 0,055                                   | 0,027                                    | 0,075                                    |
| prix indicatif                  | 40 €/m <sup>3</sup>                     | –  | –  |
| capacité thermique              | 200 KJ/m <sup>3</sup> .C°               | –  | 817 KJ/m <sup>3</sup> .C°                |
| μ: résistance à la vapeur d'eau | 1 à 2                                   | 1 à 2                                    | 1 à 2                                    |
| densité                         | 110 Kg/m <sup>3</sup>                   | 160 à 450 Kg/m <sup>3</sup>              | 450 Kg/m <sup>3</sup>                    |
| Bilan CO <sub>2</sub>           | 1 Kg eq CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | 21 Kg eq CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | 30 Kg eq CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> |
| energie grise                   | 4,5 Kwh/m <sup>3</sup>                  | 70Kwh/m <sup>3</sup>                     | 100 Kwh/m <sup>3</sup>                   |

Mesures effectuées par le laboratoire Thermoconcept pour le compte du Parc du Luberon et du CRIEPPAM

Plusieurs échantillons ont été réalisés avant le démarrage du chantier contenant diverses proportions de fibres. Il s'agissait de connaître et de retenir le mélange qui apportait la meilleure performance thermique au regard de la tenue mécanique du produit.



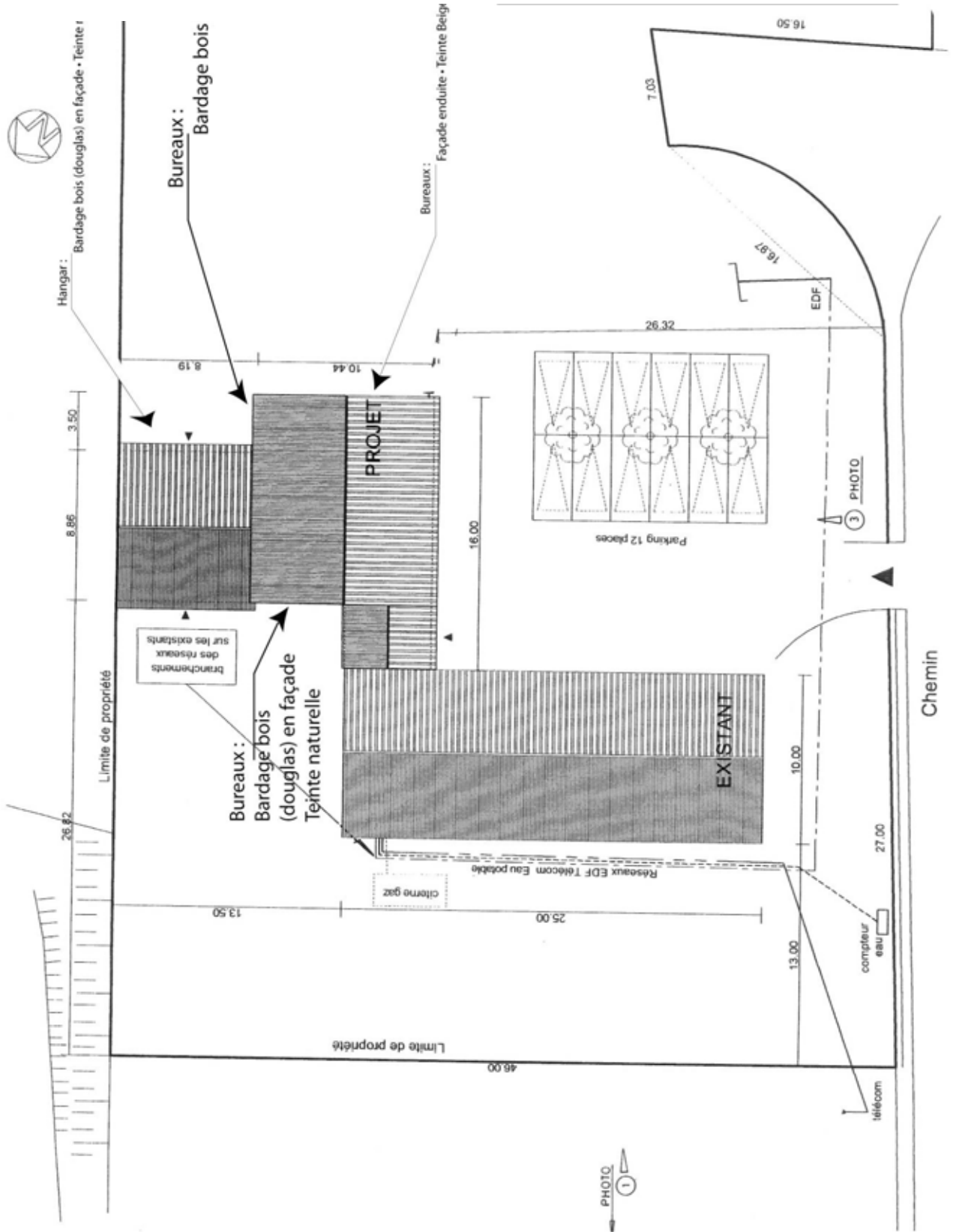
Crédit photos : Thermoconcept

| <b>Composition de l'échantillon:</b><br>65% de paille, 20% de pierre ponce, 10% de chaux, 5% de plaque briqueteur        |                              |                            |
|--|------------------------------|----------------------------|
| <b><math>\lambda</math> en W/m.K</b>   | <b>a en mm<sup>2</sup>/s</b> | <b>Capacité thermique</b>  |
| 0,10   | 8,2                          | 0,012 MJ/m <sup>3</sup> /K |
| <b>Composition de l'échantillon:</b><br>50% de paille, 16,6% de pierre ponce, 16,6% de chaux, 16,6% de plaque briqueteur |                              |                            |
| <b><math>\lambda</math> en W/m.K</b>   | <b>a en mm<sup>2</sup>/s</b> | <b>Capacité thermique</b>  |
| 0,310  | 6,4                          | 0,049 MJ/m <sup>3</sup> /K |

Les résultats obtenus ont permis de choisir l'échantillon n°1 comprenant 65% de fibres. Ainsi un mur de 30 cm d'épaisseur avec cette composition dispose d'une résistance thermique équivalente à celle d'une brique monomur de 37.5 cm d'épaisseur (R=3).

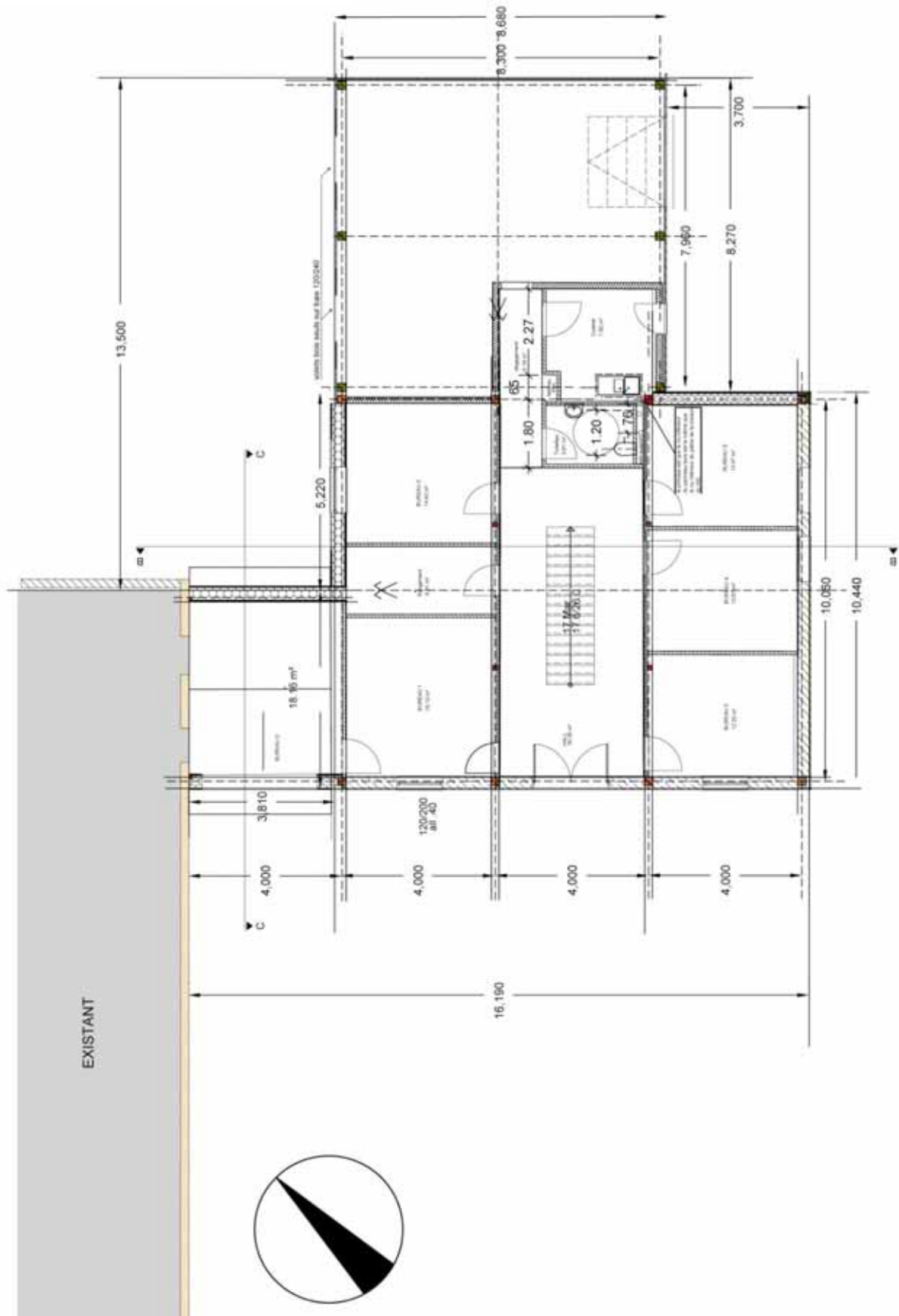
2.4- les plans du bâtiment

[PLAN DE MASSE]

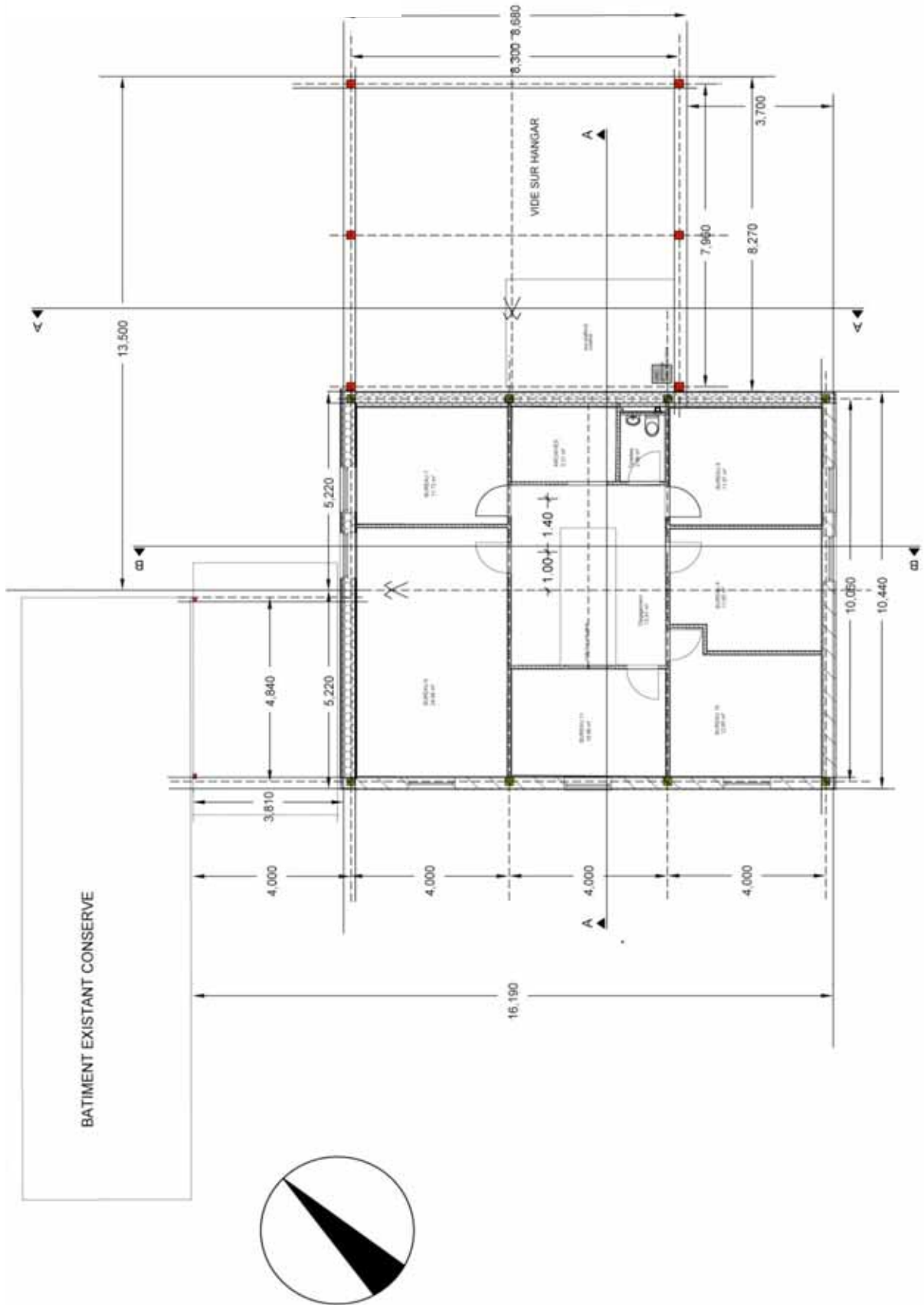




[PLAN DU REZ-DE-CHAUSSEE]

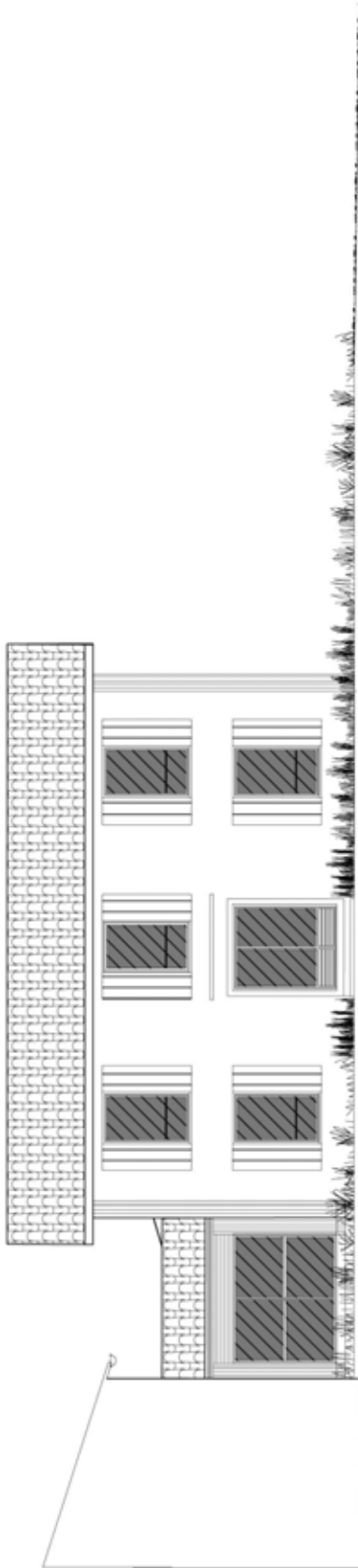


[PLAN DE L'ETAGE]

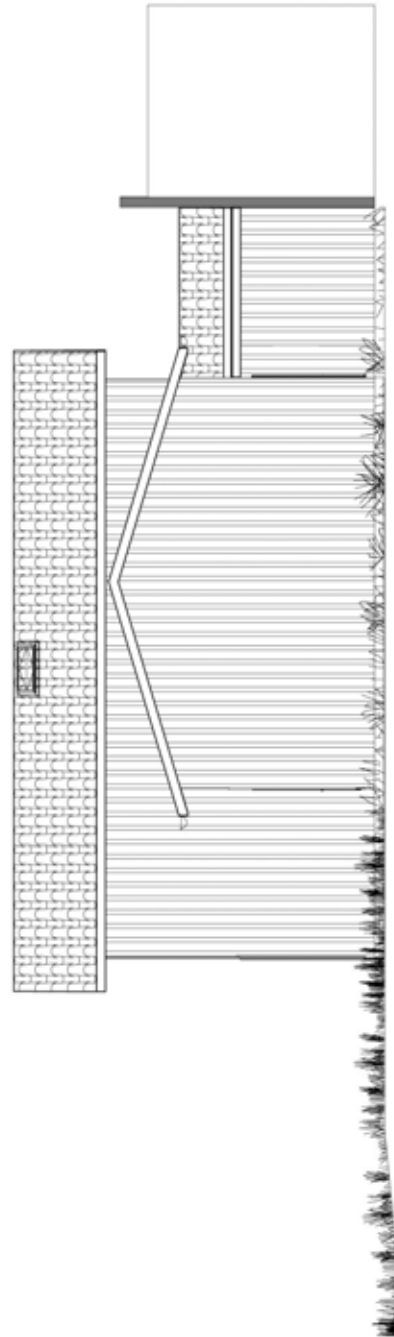


[LES FACADES]





façade sud-ouest

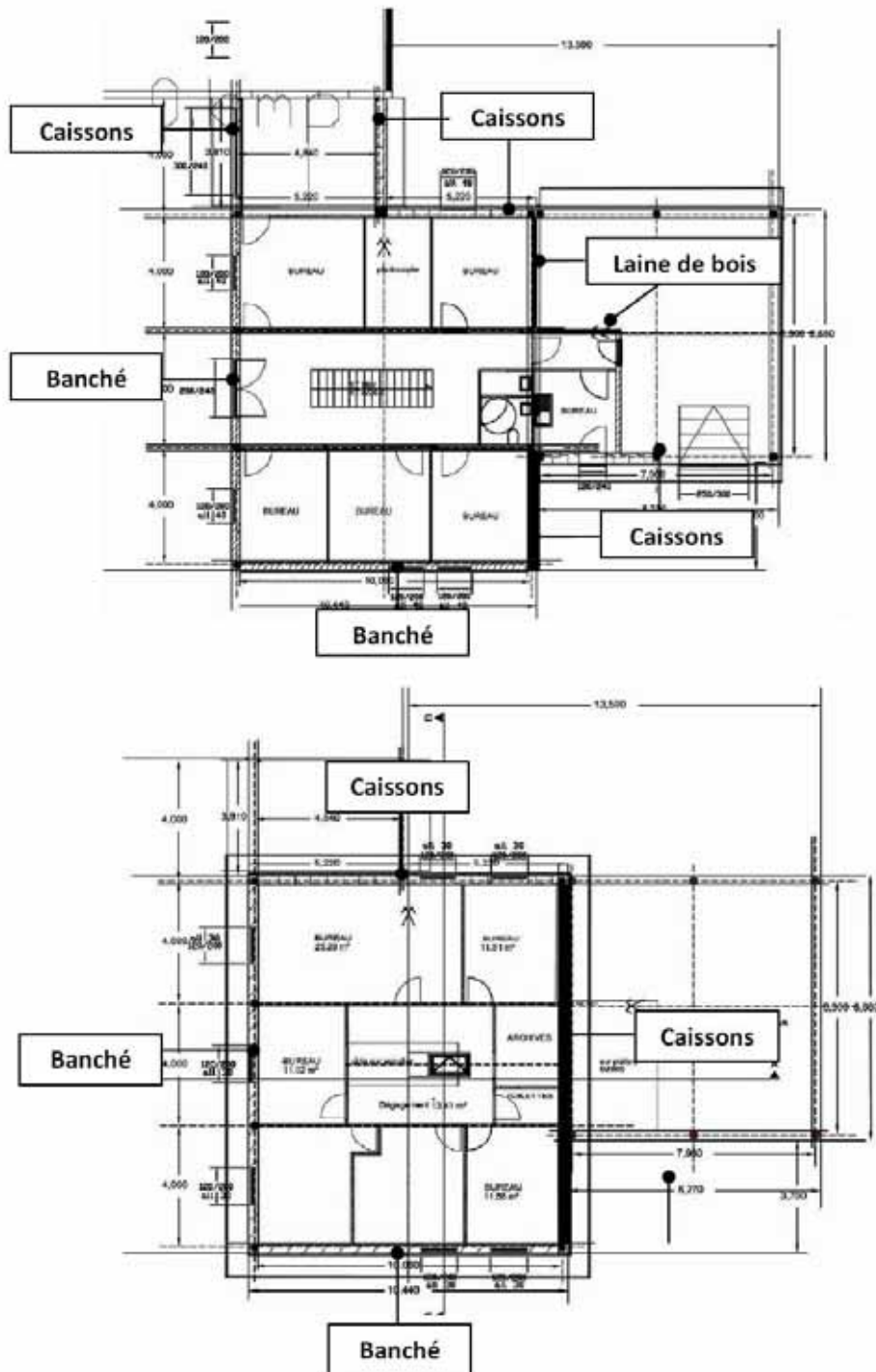


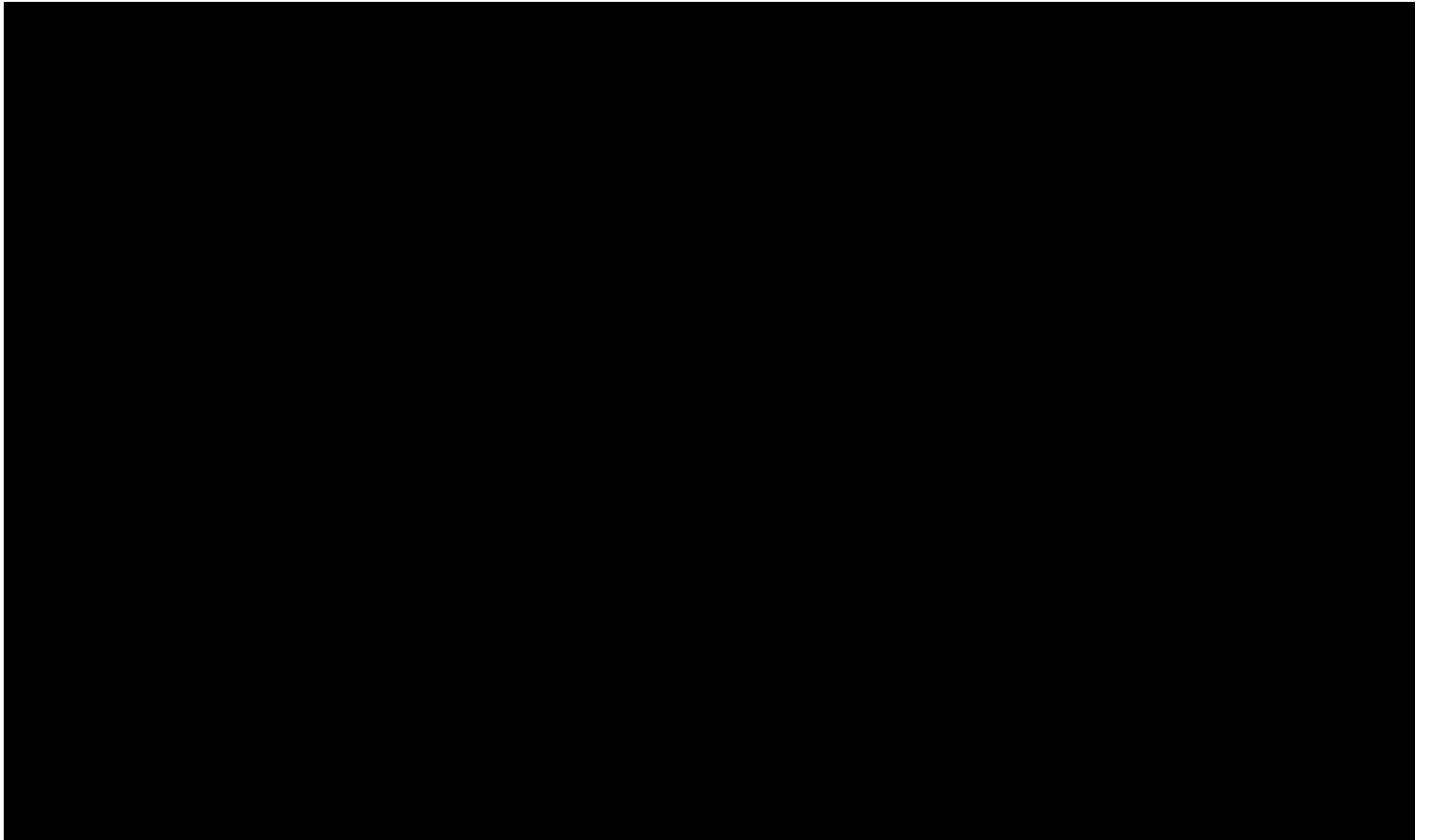
façade nord-est

### 3.[La constitution de l'enveloppe]

Le bâtiment est composé d'une ossature bois porteuse. La paille de lavande y est mise en œuvre, en tant que matériau isolant, soit sous forme de béton léger, soit en vrac dans des caissons préfabriqués selon que l'on privilégie l'inertie et l'isolation (murs exposés au Sud) ou uniquement l'isolation.

Ce premier point dont l'importance n'est pas à démontrer, montre qu'il convient en fonction de leur place occupée dans l'enveloppe, de combiner plusieurs emplois d'un même matériau ou plusieurs matériaux selon les performances recherchées (isolation, inertie, confort d'été,.....). C'est finalement le somme des qualités intrinsèques de chaque matériau utilisé (ou de mise en œuvre d'un même matériau) qui contribue à la performance globale d'un bâtiment.





**Coupe transversale du bâtiment administratif**

### 3.1- Les parois opaques verticales



#### a. Les murs en béton banché



} Epaisseur de la paroi : **35 cm**

} R de la paroi : **3,28 m<sup>2</sup>.K/w**

Au sud-est et sud-ouest, l'ossature bois porteuse, est remplie d'un béton léger de paille de lavande sur une épaisseur de 30 cm.

En respectant scrupuleusement les proportions de l'échantillon n°1, les pailles sont malaxées avec de la chaux aérienne, du plâtre briqueteur, de la pierre ponce et de l'eau pour former une pâte qui est déversée puis compactée manuellement entre des banches.

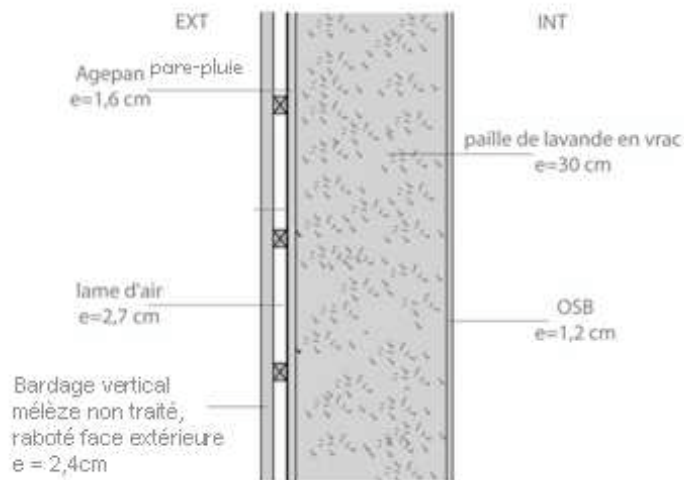
Rappel de la composition et des propriétés thermiques de l'échantillon test retenu (n°1)

| Composition de l'échantillon :  |                        |                            |
|---|------------------------|----------------------------|
| 65% de paille, 20% de pierre ponce, 10% de chaux, 5% de plaque briqueteur |                        |                            |
| Conductivité ( )  | Diffusivité (a)        | Capacité thermique         |
| 0,10 w/m.k  | 8,2 mm <sup>2</sup> /s | 0,012 Mj/m <sup>3</sup> /k |

Après séchage le mur a été enduit sur ses deux faces.



### b. Les murs caissons-paille en vrac des bureaux (bâtiment administratif)



} Epaisseur de la paroi : **38 cm**

} R de la paroi : **6,21 m<sup>2</sup>.K/w**

Au nord-est et nord-ouest, ce sont des caissons préfabriqués, remplis en atelier de paille de lavande en vrac sur une épaisseur de 30 cm et qui viennent s'insérer dans la structure bois porteuse.



### c. Les parois du hangar

Comme pour le bâtiment administratif, la structure porteuse du hangar est une ossature bois, avec insertion des panneaux-caissons. Les caissons ne sont pas fermés côté intérieur car le local n'étant pas chauffé, ne nécessite pas d'isolation. Si par la suite le hangar venait à changer de destination, les caissons des murs et de toiture sont prêts à recevoir un isolant.

En ce qui concerne les parois de liaison entre le hangar et la partie chauffée des bureaux, une épaisseur de 14 cm de laine de bois a été mise en oeuvre.



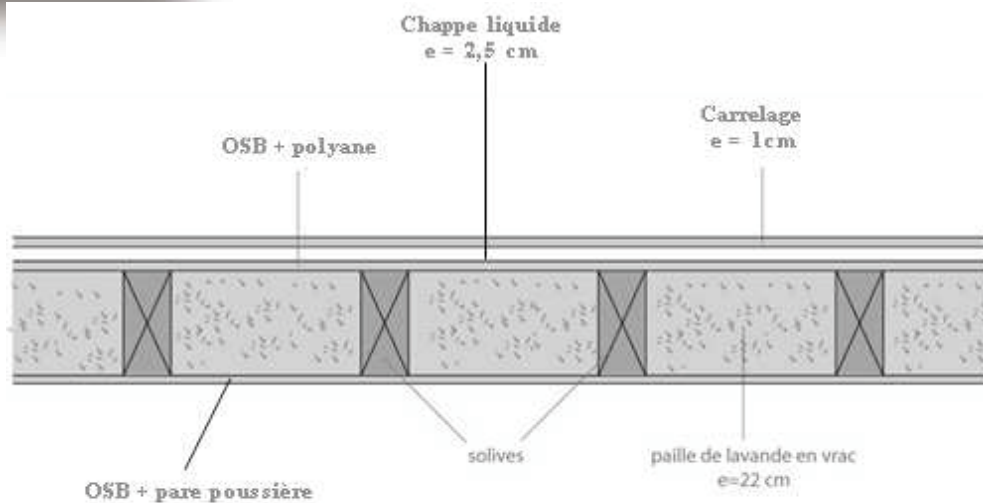
### d. Les cloisons intérieures

Le cloisonnement intérieur est réalisé en brique de 7cm d'épaisseur, recevant un enduit plâtre. Un effort de mise en oeuvre a été apporté afin d'optimiser le confort acoustique des locaux. (pose d'une semelle résiliente, montage des cloisons avant coulage de la chape....).

### 3.2 Parois opaques horizontales



#### a. Le plancher intermédiaire

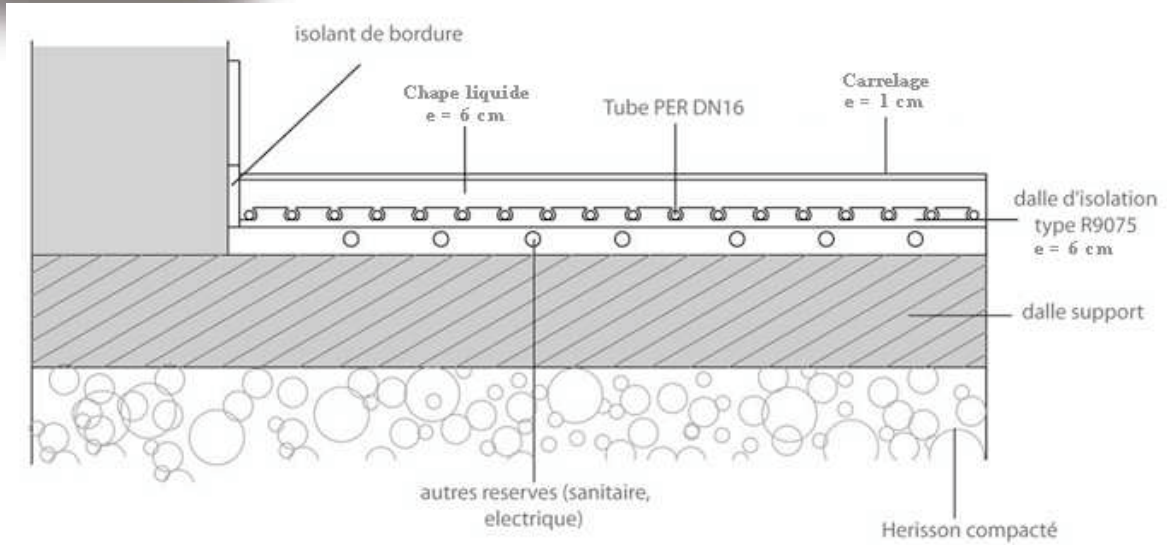


Composition du plancher intermédiaire

Le plancher intermédiaire est un plancher bois sur solives. L'isolation phonique étant le souci prioritaire puisqu'il sépare deux étages chauffés. La paille de lavande en vrac est donc utilisée ici pour ses propriétés acoustiques. Elle est déversée entre les solives sur une épaisseur de 22cm. Un pare-poussière est mis en place en sous face du plancher. Le carrelage est finalement le revêtement de sol choisi pour l'étage.



### b. Plancher bas sur terre-plein



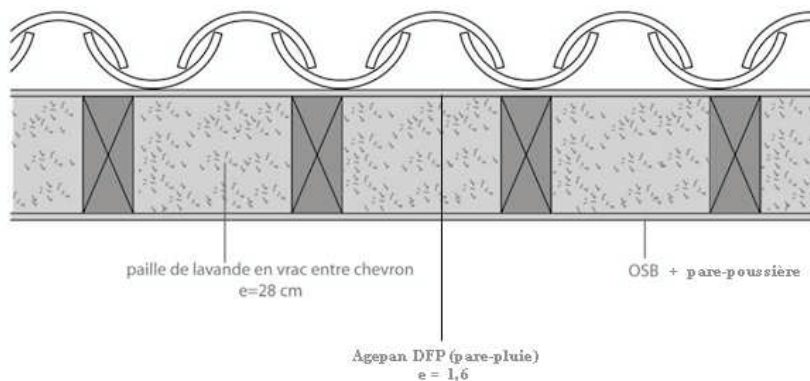
Composition plancher bas (plancher chauffant basse température)

Epaisseur: **32 cm**      R: **2,98 m².K/w**

La dalle du rez-de-chaussée a été coulée sur des longrines et hérisson compacté. Le plancher bas, est constitué de 10mm de carrelage collé, sur une chape d'enrobage de 60 mm. Les tubes de 16mm du plancher chauffant/rafraichissant reposent sur 60 mm d'isolant.



### c . La toiture



Epaisseur: **35 cm**      R: **6,05 m².K/w**

L'isolation de la toiture est également réalisée avec de la paille de lavande en vrac, selon le même procédé que pour les panneaux muraux (fabrication et remplissage en atelier). Une fois mis en place dans l'ossature, les caissons sont prêts à recevoir la couverture.

### 3.3- Les menuiseries

Les fenêtres et portes vitrées sont en menuiserie bois et double vitrage 4/16/4mm faible émissivité. Elles sont équipées de volets persiennes en bois (protection l'été, isolation l'hiver).



Les baies vitrées représentent une surface de 40,8m<sup>2</sup>. Environ 80% de cette surface est située en façade sud.

Répartition :

- Nord-est : 0%
- Nord-ouest : 18%
- Sud-est : 23%
- Sud-ouest : 59%

### 3.4- Equipement de chauffage/rafraîchissement

|                    |                        |  |
|--------------------|------------------------|--|
| Type de générateur |                        | PAC eau/eau  |
| Type d'émetteur    | <i>Rez de chaussée</i> | <i>Plancher chauffant/rafraîchissant</i>                   |
|                    | <i>étage</i>           | <i>Ventilo-convecteur</i>                                  |
| Type de régulation |                        | <i>Thermostat central d'ambiance dans le hall d'entrée</i> |

#### a. Génération

La génération est de type Pompe à chaleur (Eau glycolée / Eau sur sondes verticales) type STIEBEL ELTRON. La solution proposée s'articule autour d'une pompe à chaleur géothermique sur sondes verticales sèches capable de produire le chauffage mais aussi le rafraîchissement "écologique" grâce à sa fonction NATURAL COOLING.

La pompe à chaleur géothermique a été dimensionnée en tenant compte de l'objectif de la performance énergétique attendue : < 50 kWh/m<sup>2</sup>/an. Une puissance de 12 KW suffit amplement.



## **b. Emetteurs**

Les émetteurs de chauffage et de refroidissement sont de type plancher chauffant/rafraichissant basse température au Rez-de-chaussée. Et de type ventilo-convecteur à l'étage régulé en fonction des besoins (8 ventilo-convecteurs muraux de type F100 ACCORRONI).

### **3.5- La ventilation**

Le bâtiment est naturellement perspirant notamment par la présence des murs banchés qui assurent une régulation hygrothermique. Par ailleurs, il n'y a pas de pollution spécifique dans les bureaux. Dans les bureaux, la ventilation se fera de manière naturelle par ouverture manuelle des ouvrants.

Par contre le local des archives situé à l'étage ne possède pas de fenêtre. Abrisant l'imprimante, le copieur, le serveur téléphonique et le serveur CEPPARM, il est indispensable de prévoir la ventilation mécanique de ce local. Il a donc été décidé la mise en place d'une ventilation simple flux, sur le plafond de la cuisine, qui permettra la ventilation des archives, des deux toilettes et de la cuisine. L'air vicié est évacué à l'extérieur du bâtiment.

La ventilation sera réglée au débit le plus faible et fonctionnera dans les toilettes en fonction de l'allumage, pour limiter au maximum les déperditions. La solution ventilation double-flux n'a pas été retenue pour des raisons budgétaires.

### **3.6- Eau chaude sanitaire**

La solution vitrage solaire Robin Sun avait été abordée, mais compte tenu de la quantité réduite d'eau chaude sanitaire à produire seul un ballon électrique de 50 litres a été installé.

## 4. [Simulation thermique du bâtiment]

Les performances énergétiques du projet ont été estimées à l'aide des logiciels Alcyone et Pleiade+Comfie. Cette simulation a permis de comparer les résultats attendus pour le projet, au regard des exigences de la RT2005 et du label BBC-Effinergie et d'orienter ainsi certains choix de conception (épaisseur d'isolation, choix des vitrages, présence des volets...).

La partie ci-après rend compte des principaux résultats de cette modélisation informatique. Il est prévu une fois le bâtiment livré de comparer ces résultats à ceux qui seront relevés lors de son fonctionnement effectif.

### 4.1 Valeurs thermiques des parois

R : résistance thermique en  $m^2.k/w$

U : coefficient de déperditions en  $w/m^2.k$

$U=1/R$

| Mur extérieur<br>béton banché<br>Sud-est<br>et Sud-ouest | U projet | RT 2005   |      | BBC-Effinergie |      |
|--|----------|-----------|------|----------------|------|
|  |          | U RT 2005 | Gain | U BBC          | Gain |
|  | 0,305    | 0,45      | 32%  | 0,32           | 4%   |

|                             | épaisseur<br>En cm | P<br>En Kg/n |
|-----------------------------|--------------------|--------------|
| Enduit extérieur à la chaux | 2,5                | 1400         |
| Béton de paille             | 30                 | 400          |
| Enduit intérieur plâtre     | 2,5                | 1500         |
| Résistance superficielle    |                    |              |
| <b>Total</b>                | <b>35</b>          |              |

| Mur extérieur paille en vrac<br>Nord-est et Nord-ouest | U projet | U RT 2005 | Gain | U BBC | Gain |
|--|----------|-----------|------|-------|------|
|  | 0,161    | 0,45      | 64 % | 0,32  | 49%  |

|                           | <b>épaisseur</b><br><i>En cm</i> | <b><math>\rho</math></b><br><i>En Kg/m<sup>3</sup></i> | <b><math>\lambda</math></b><br><i>En w/m.k</i> | <b>R</b><br><i>En m<sup>2</sup>.k/w</i> |
|---------------------------|----------------------------------|--|--|---|
| Bardage douglas vertical  | 2,4                              | 500  | 0,15   | 0,16                                    |
| Lame d'air                | 2,7                              | -  | 0,17   | 0,16                                    |
| Pare-pluie                | -                                | -  | -  | -                                       |
| Agepan                    | 1,6                              | 550  | 0,09   | 0,18                                    |
| Paille de lavande en vrac | 30                               | 110  | 0,055  | 5,45                                    |
| OSB                       | 1,2                              | 650  | 0,13   | 0,09                                    |
| Resistance superficielle  |                                  |  |  | 0,17                                    |
| <b>Total</b>              | <b>38</b>                        |  |  | <b>6,21</b>                             |

| Mur de liaisons entre le hangar et les bureaux | U projet | U RT 2005 | Gain | U BBC | Gain |
|--|----------|-----------|------|-------|------|
|  | 0,248    | 0,45      | 44%  | 0,32  | 22%  |

|                          | <i>épaisseur</i><br>En cm | $\rho$<br>En Kg/m <sup>3</sup> | $\lambda$<br>En w/m.k | R<br>En m <sup>2</sup> .k/w |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Agepan                   | 1,6                       | 550                            | 0,09                  | 0,18                        |
| Laine de bois            | 14                        |                                | 0,04                  | 3,5                         |
| OSB                      | 1,2                       | 650                            | 0,13                  | 0,09                        |
| Resistance superficielle |                           |                                |                       | 0,26                        |
| <b>Total</b>             | <b>16,8 cm</b>            |                                |                       | <b>4,03</b>                 |

| Plancher bas | U projet | U RT 2005 | Gain | U BBC | Gain |
|--------------|----------|-----------|------|-------|------|
|              | 0,333    | 0,58      | 42%  | 0,41  | 18%  |

|                                 | <i>épaisseur</i><br>En cm | $\rho$<br>En Kg/m <sup>3</sup> | $\lambda$<br>En w/m.k | R<br>En m <sup>2</sup> .k/w |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| carrelage                       | 1                         |                                | 1,70                  | 0,005                       |
| Chape fluide                    | 6                         |                                | 1,15                  | 0,052                       |
| Dalle isolante (type R9075)     | 6                         | 25                             | 0,026                 | 2,6                         |
| Ravaillage pour autres réserves | 5                         |                                | 1,15                  | 0,043                       |
| Support dalle béton             | 15                        |                                | 1,75                  | 0,086                       |
| Hérisson compacté               | -                         | -                              | --                    | -                           |
| Resistance superficielle        |                           |                                |                       | 0,21                        |
| <b>Total</b>                    | <b>32</b>                 |                                |                       | <b>2,996</b>                |

| Toiture | U projet | U RT 2005 | Gain | U BBC | Gain   |
|---------|----------|-----------|------|-------|--------|
|         | 0,169    | 0,28      | 40%  | 0,14  | -2,07% |

|                               | <i>épaisseur</i><br>En cm | $\rho$<br>En Kg/m <sup>3</sup> | $\lambda$<br>En w/m.k | $R$<br>En m <sup>2</sup> .k/w |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| tuile                         | 2                         | 1900                           | 1,15                  | 0,02                          |
| (tasseaux) lame d'air         | 1,5                       | 0                              | 0,09                  | 0,16                          |
| Laine de bois                 | 1,6                       | 140                            | 0,04                  | 0,4                           |
| Paille en vrac entre chevrons | 28                        | 110                            | 0,055                 | 5,09                          |
| OSB                           | 1,2                       | 650                            | 0,13                  | 0,09                          |
| Resistance superficielle      |                           |                                |                       | 0,14                          |
| <b>Total</b>                  | <b>34,4</b>               |                                |                       | <b>5,9</b>                    |

#### 4-2- Les menuiseries

Les caractéristiques d'un vitrage :

**Le facteur solaire (g)** : représente la proportion du flux énergétique que le vitrage laisse passer.

**Le coefficient de transmission thermique (U)** : exprime la capacité d'un vitrage à s'opposer à la fuite des calories. Plus le coefficient thermique est faible, plus le vitrage est isolant. Il s'exprime en w/m<sup>2</sup>.k

La simulation a été réalisée avec un double vitrage (4/16/4 mm Saint Gobain-climalit) et des volets persiennes en bois.

|                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| <b>Menuiserie</b>              | bois                     |
| <b>Uf</b>                      | 2,4 w/m <sup>2</sup> .k  |
| <b>Vitrage</b>                 | Double vitrage 4/16/4 mm |
| <b>Ug</b>                      | 2,7 w/m <sup>2</sup> .k  |
| <b>Facteur solaire vitrage</b> | 0,5 w/m <sup>2</sup> .k  |
| <b>Uw</b>                      | 2,60 w/m <sup>2</sup> .k |
| <b>occultation</b>             | Volets battants bois     |

**Avec :**

**Uf** : coefficient de transmission moyen de l'huissierie (en w/m<sup>2</sup>.k)

**Ug** : coefficient de transmission moyen du vitrage

**Uw** : coefficient de transmission moyen de l'ensemble de la baie

D'après les simulations, la présence de volets battants bois permettra de réduire en hiver les déperditions liées au vitrage d'environ 30%. Le projet se positionne de la façon suivante :

|               |               |                     |                           |
|---------------|---------------|---------------------|---------------------------|
| Baies vitrées | <i>projet</i> | <i>Ref RT2005</i>   | <i>Ref BBC-effinergie</i> |
|               |               | Mars- Novembre 2009 | 29                        |

|                           |             |         |           |
|---------------------------|-------------|---------|-----------|
| Uw en w/m <sup>2</sup> .k | <b>1,81</b> | 1,6 à 2 | 0,7 à 1,7 |
|---------------------------|-------------|---------|-----------|

Les parois vitrées du projet

| Désignation                              | Quantité | Descriptif   | Largeur | Haut. | Surf.               | Uw                       |
|--|----------|--|---------|-------|---------------------|--------------------------|
| Porte d'entrée                           | 1        | 2 battants :<br>un ouvrant et un semi-fixe                                 | 2,00m   | 2,40m | 4,8m <sup>2</sup>   | 1,81 w/m <sup>2</sup> .k |
| Panneau vitré bureau liaison neuf/ancien | 1        | ½ coulissant et ½ fixe<br>allège pleine isolée sur le fixe                 | 3,00m   | 2,40m | 7,2m <sup>2</sup>   | 1,81 w/m <sup>2</sup> .k |
| Portail garage                           | 1        |  | 2,50m   | 3,00m | 7,5 m <sup>2</sup>  | 3 w/m <sup>2</sup> .k    |
| Porte cuisine                            | 1        | Porte bois extérieure  | 1,20m   | 2,40m | 2,88m <sup>2</sup>  | 2,4 w/m <sup>2</sup> .k  |
| Baies garages                            | 2        | Volets bois seuls en attente de menuiserie                                 | 1,20m   | 2,40m | 2,88 m <sup>2</sup> | 2,4 w/m <sup>2</sup> .k  |
| Autres fenêtres Rdc                      | 5        | Allège 40cm<br>Vitrage fixe en allège<br>2 ouvrants à la française en haut | 1,20m   | 2,00m | 2,4m <sup>2</sup>   | 1,81 w/m <sup>2</sup> .k |
| Autres fenêtres étage                    | 7        | Allège 30cm<br>Vitrage fixe en allège<br>2 ouvrants à la française en haut | 1,20m   | 2,00m | 2,4m <sup>2</sup>   | 1,81 w/m <sup>2</sup> .k |

Si les baies vitrées permettent de maximiser les apports solaires gratuits en hiver, elles risquent de constituer un point sensible en ce qui concerne le confort d'été. Les volets devront être fermés la journée pour limiter le rayonnement et donc les surchauffes.

### 4.3- Les ponts thermiques

Une attention particulière a été portée sur la conception des détails des différentes liaisons (jonction des murs banchés, bancher/caisson, caisson/existant...). Il a donc été considéré pour la modélisation informatique l'absence de ponts thermiques.

### 4-4- Le confort d'été

#### a. Inertie :

La forte masse d'une paroi (inertie élevée) permet de conserver, même les jours très chauds, une ambiance fraîche et confortable en tirant parti de la fraîcheur de la nuit. L'utilité de l'inertie n'est avérée que si l'on peut ventiler très largement pendant la nuit pour évacuer les calories accumulées la journée et stocker la fraîcheur de la nuit.

L'inertie thermique aura également un rôle positif l'hiver en permettant de stocker la chaleur du soleil.

#### Référence RT2005

**Inertie quotidienne** : moyenne

**Inertie séquentielle** : inertie très légère

La protection doit permettre de réduire l'apport de chaleur tout en permettant un éclairage naturel suffisant aux heures de jour. Les solutions à privilégier sont, en plus des «casquettes» adaptées en façade sud, des protections extérieures mobiles telles que des volets ou stores qui peuvent être complétées par des protections solaires végétales à feuilles caduques.

Dans le projet, des volets battants bois permettent de limiter les déperditions par les parois vitrées l'hiver (fermeture la nuit) alors que l'été ils permettront d'occulter le rayonnement solaire afin de limiter les surchauffes et l'inconfort pour ses occupants.

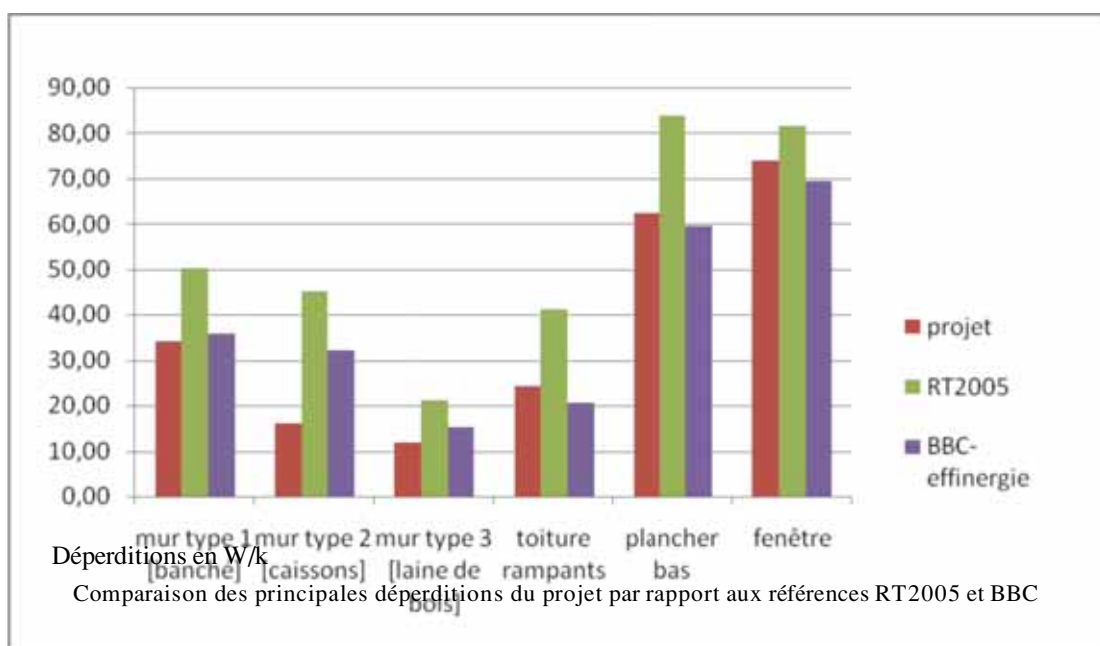
## b. Protection solaire :

### 4.5 - Perméabilité à l'air de l'enveloppe

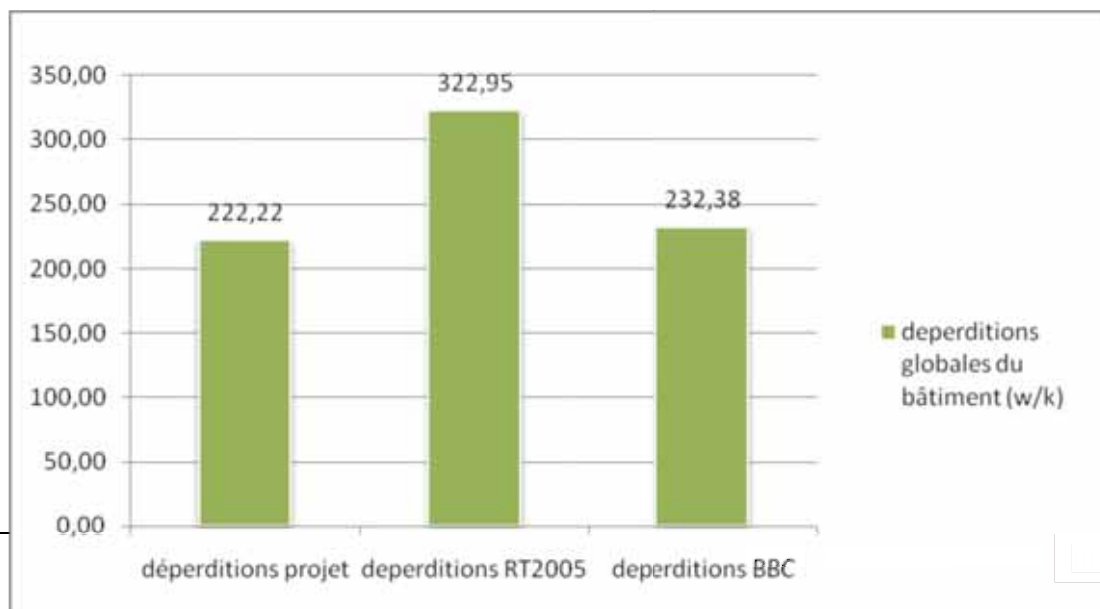
Les défauts d'étanchéité se traduisent par des infiltrations d'air parasite et ont un impact en termes de déperditions, de confort, de santé, d'acoustique et d'efficacité des systèmes de ventilation. Ils se situent principalement au niveau des jonctions : menuiseries extérieures, passages des câbles et appareillages électriques, trappes et éléments traversant les parois, liaisons façades-planchers, façades-toitures et insertion des coffres de volets roulants.

A noter que le label BBC-Effinergie impose une valeur de référence inférieure ou égale à  $1,0\text{m}^3/\text{h.m}^2$  sous 4Pa de dépression. Il est possible de mesurer la perméabilité à l'air d'un bâtiment par le principe de la porte soufflante («blower door») – (cf chapitre 4-8 instrumentation in situ).

### 4.6- Les déperditions



L'isolation de la toiture et du plancher bas ne permet pas d'atteindre les exigences BBC-Effinergie mais est bien meilleure que les exigences de la RT2005. Cette légère faiblesse est compensée par la très bonne performance des parois verticales.



De manière globale, en termes de déperditions, le bâtiment se situe au dessous des préconisations BBC-Efficacité :  $U_{projet} = U_{RT2005} - 31\%$  et  $U_{projet} = U_{BBC} - 4\%$

#### 4.7 – La consommation énergétique

Le calcul du coefficient C exprimé en  $Kwh/m^2/an$  représente la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment. Il inclut les paramètres suivant :

- Les besoins en chauffage
- Les besoins en rafraichissement
- L'eau chaude sanitaire
- L'éclairage
- La ventilation

Le résultat de la modélisation sous Pleiade+Comfie indique que les besoins en chauffage et en rafraichissement seront de l'ordre de **40 Kwh/m<sup>2</sup>/an**.

Ceci dans l'hypothèse où les volets seront bien fermés la nuit en hiver pour limiter les déperditions et qu'ils limiteront l'entrée du rayonnement l'été, en journée, pour éviter les surchauffes.

Ces résultats attendus restent théoriques. Il est prévu de les comparer avec des relevés effectués au cours du fonctionnement du bâtiment, grâce à la mise en place d'une instrumentation appropriée.



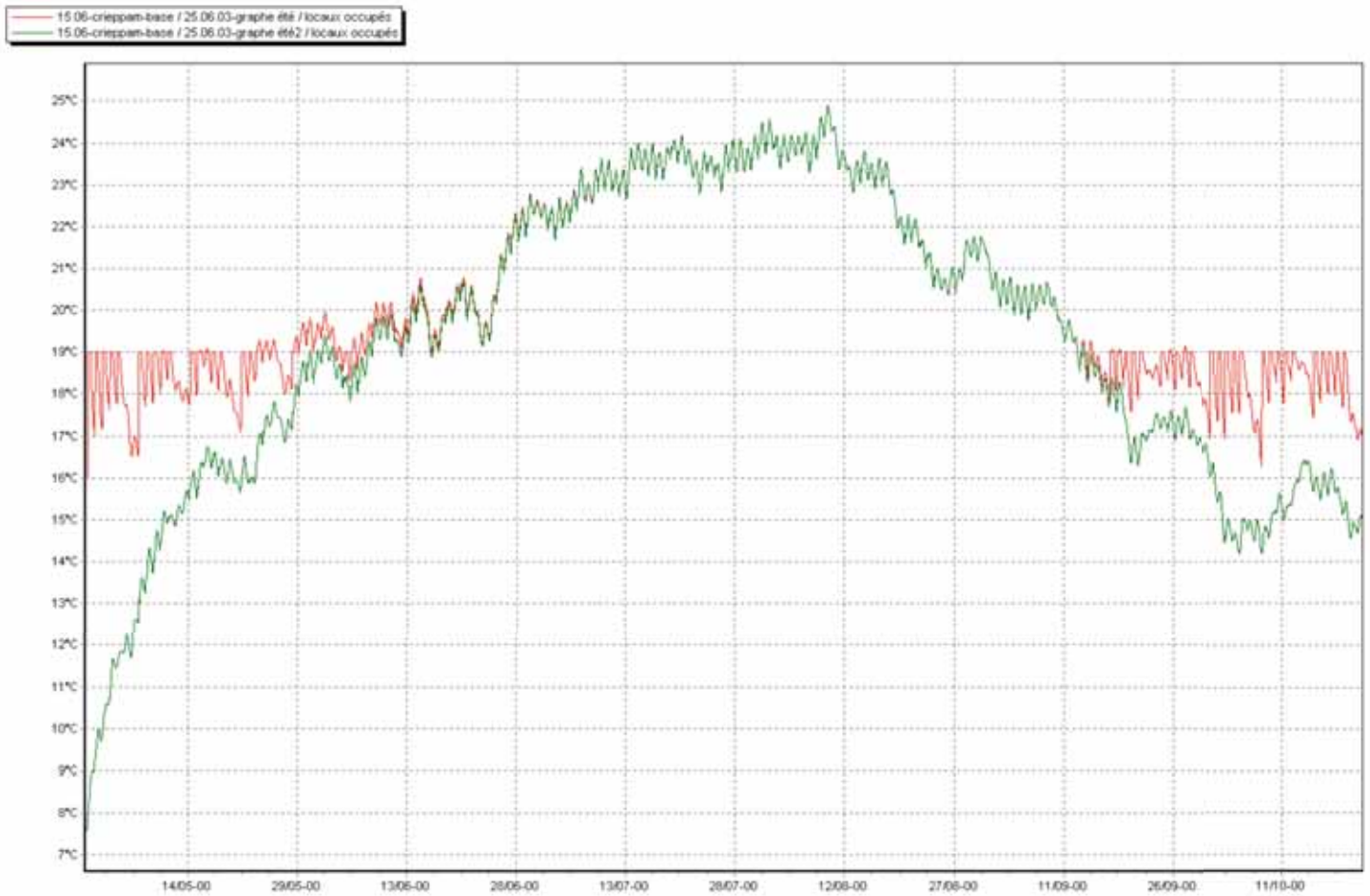
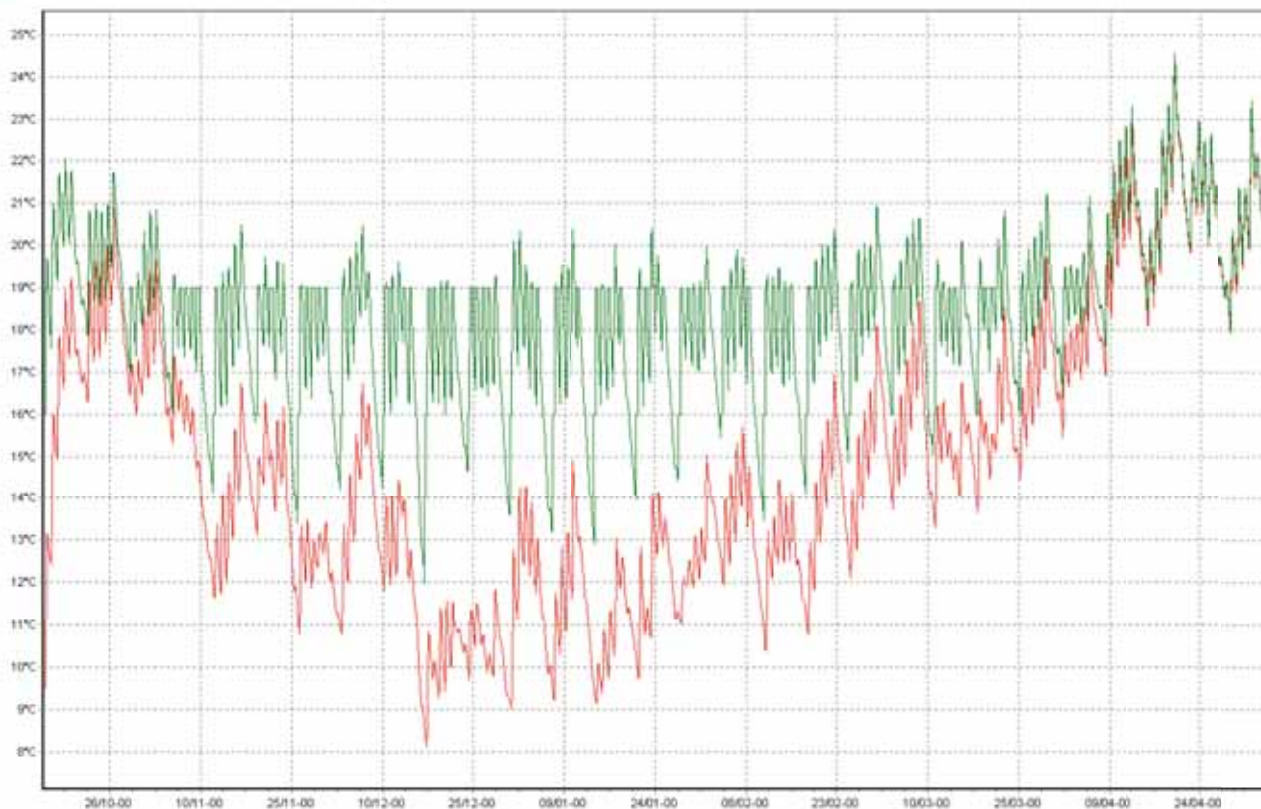




Figure 1-courbe de température moyenne dans les locaux occupés de Mai à Octobre

- Evolution de la température— **sans** auxiliaires de chauffage et de rafraîchissement
- Evolution de la température— **avec** auxiliaires de chauffage et de rafraîchissement

Figure 3-courbe de température moyenne dans les locaux occupés d'Octobre à Mai



-  Evolution de la température— **sans** auxiliaires de chauffage et de rafraichissement
-  Evolution de la température— **avec** auxiliaires de chauffage et de rafraichissement

#### 4.8- Instrumentation in situ du bâtiment

Divers relevés pourront être effectués à diverses périodes de l'année afin d'évaluer les performances du bâtiment tant en terme d'isolation que de confort d'été.

##### a. Les relevés hygrothermiques (humidité ambiante et température) :

Il s'agit de mesurer la température et l'humidité relative ambiante. Ces mesures se feront à l'aide de capteurs de température et d'humidité appropriés. Afin d'évaluer le comportement des locaux selon leur orientation, les points de mesure pourront être fait dans les pièces suivantes :

- Bureau1 (rdc- ouverture SO- paroi banché)
- Bureau4 (rdc –ouverture SE-paroi banché)
- Bureau2 (rdc- ouverture NO –paroi caisson)
- Hall (uniquement la température)
- Bureau6 (étage- ouverture SO – paroi banché et caisson)
- Bureau9 (étage – ouverture SE – paroi banché)
- Bureau7 (étage – ouverture NO- paroi caisson)

Les données pourront être comparées aux courbes de température obtenue sous Pleiade+Comfie. Quant à la mesure de l'hygrométrie, elle permettra de rendre compte de la qualité de l'air ambiant, et d'observer si les « parois respirantes » jouent effectivement leur rôle de régulateur hygrométrique.

## **b. Les données climatologiques**

La prise en compte de ces données passera notamment par des relevés de température et d'hygrométrie extérieure.

## **c. Le relevé des débits de ventilation**

Ceux-ci pourront être connus par les relevés de consommation électrique (et donc de fonctionnement) de la ventilation mécanique.

## **d. Le relevé des consommations en énergie**

Si l'on veut relever les consommations séparément selon les postes (ECS, ventilation, chauffage/rafraîchissement, autres usages), il conviendra de placer des compteurs sur les différents équipements. Les factures énergétiques peuvent également être utiles.

## **e. La mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe**

Une excellente étanchéité à l'air est absolument nécessaire pour des bâtiments à faible consommation énergétique (le contrôle est par ailleurs obligatoire dans le cadre de labellisation BBC Effinergie).

### **Les objectifs :**

Il s'agit de limiter les infiltrations d'air parasite et les fuites.

### **Les enjeux**

- hygiène et santé,
- qualité de l'air ambiant,
- confort thermique et acoustique,
- économies d'énergies,
- conservation du bâti.

### **Cadre réglementaire**

L'article 20 de la RT2005 fixe les performances à atteindre :

« La perméabilité à l'air sous 4 Pa de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment prise en référence et rapportée à la surface de l'enveloppe est fixée de la manière suivante :

- 0,8 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) pour les maisons individuelles ;
- 1,2 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) pour les autres bâtiments d'habitation, ou à usage de bureaux, d'hôtellerie, de restauration et d'enseignement ainsi que les établissements sanitaires ;
- 2,5 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) pour les autres usages. »

### **Principes de contrôle**

Une approche préalable consistera à localiser les points critiques.

Les fuites se situant principalement au niveau :

- des liaisons de façade et de plancher,
- des menuiseries extérieures,
- des équipements électriques,
- des trappes et éléments traversant les parois.

L'utilisation d'une poire à fumée et/ou une analyse thermographique Infra Rouge permettront d'identifier et de localiser les anomalies de l'enveloppe du bâtiment et les infiltrations parasites.

Dans un deuxième temps, une infiltrométrie ou test de la porte soufflante (blowerdoor) pourra être effectué pour vérifier la perméabilité à l'air de l'enveloppe.

Elle consiste à détecter, visualiser et mesurer les flux d'air qui s'infiltreront à travers l'enveloppe d'un bâtiment.

Pour effectuer le test, tous les orifices volontaires du bâtiment sont obturés. Le bâtiment est ensuite pressurisé artificiellement à l'aide d'un ventilateur. L'air injecté par le ventilateur est alors contraint de quitter le bâtiment par les fuites.  
Le CETE d'Aix pourra être sollicité pour réaliser ce type de mesure.

**f. La caractérisation thermique des parois**

Le calcul de la résistance thermique des parois pourra se faire à l'aide d'un fluxmètre et de capteurs thermiques placés en surface des parois. Si la conductivité des matériaux de surface est connue il sera possible d'en déduire les caractéristiques de l'isolant.

**g. Le ressenti des occupants**

Le questionnement des occupants, sur la sensation de confort qu'ils éprouvent et leur façon d'utiliser le bâtiment pourra également se révéler intéressant.

## 5.[ Le suivi de la construction]

### 5.1- Le déroulement du chantier

Le permis de construire a été accordé par la mairie de Manosque le 14 août 2006. Les plans initiaux avaient été réalisés pour un bâtiment métallique avec bardage métallique. Les administrateurs du CRIEPPAM souhaitant un projet plus écologique, un nouvel architecte a été retenu. Une modification de permis de construire a donc été déposée pour un bâtiment à ossature bois et isolation paille de lavande.

En octobre 2008 les financements de l'état ont été accordés. Le chantier a démarré en février 2009 et s'est achevé en novembre 2009..

Le planning du chantier est donné à titre indicatif :

| TRAVAUX                                | jan | fév | mar | avr | mai | juin | juil | août | sept | oct | nov | déc |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| terrassement                           |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| fondation (longrines)                  |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| coulage dalle rez de chaussée          |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| hangar - ossature                      |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| hangar - panneaux de toiture           |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| hangar- panneaux muraux                |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| hangar- couverture                     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| hangar - pose des descente EP          |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux- ossature                      |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - solivage                     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - supports de menuiseries      |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - préparation pour le banché   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux- remplissage banché            |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - pose des portes intérieures  |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - cloisons rez de chaussée     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - pose du plancher             |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - cloisons étage               |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - pose des caissons de toiture |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |
| bureaux - plâtre et enduit de façade   |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |     |     |



Intervention de la SCAB



Intervention de BCB

Mi Août, la structure et le remplissage sont achevés. Il restait encore à réaliser les enduits de façade en tenant compte du temps de séchage des murs banchés, la finition plâtre du cloisonnement intérieur, le plancher chauffant, la pose du carrelage, l'électricité et la ventilation, ainsi que diverses finitions intérieures. Le chantier s'est achevé en Novembre 2009 et l'emménagement des locaux s'est effectué en Décembre 2009.



#### **Phase 1 : terrassement, fondations et dalle du rez-de-chaussée**

Les travaux de terrassement, le bétonnage des longrines et le compactage du hériçon ont été effectués courant mars. La dalle du rez-de-chaussée a été coulée début avril.



### **Phase 2 : Le hangar (non isolé)**

C'est par le montage du hangar que la construction s'est poursuivie.

L'ossature et les caissons formant les murs et la toiture (01-02) sont entièrement découpés et préparés en atelier, de manière à être assemblés rapidement sur le chantier.



01- mai 2009



02- 10 juin 2009

Après la mise en place des 3 fermes (ou portiques moisés), les panneaux de murs bardés et les panneaux de toiture, sont assemblés et fixés à l'ossature bois porteuse (03-04).



03- 10 juin 2009



04- 10 juin 2009

Si la préfabrication permet de limiter la durée du chantier, elle demande une rigueur dans la conception et la fabrication pour être sûr que chaque élément s'assemble parfaitement.



Des joints Butyl sont posés entre les panneaux (05), afin de limiter au maximum les possibles défauts d'étanchéité à l'air.



Une fois les panneaux assemblés, la couverture peut être posée (07) et le bardage du pignon nord achevé (08).



Le montage du bâtiment administratif peut alors démarrer.



### **Phase 3 : le bâtiment administratif**

Comme pour le hangar la structure porteuse est une ossature bois. Le remplissage se fait ensuite, selon les façades, en béton banché ou avec des caissons remplis de paille en vrac compactée.



### a. L'ossature principale

L'ossature principale est composée de 4 portiques moisés (09). Les caissons formant les murs et la toiture permettront de rigidifier l'ossature, qui est fixée à la dalle par des équerres. (10)



09- 12 juin 2009



10- 12 juin 2009

Une fois l'ossature principale montée, les poutres et solives du plancher intermédiaire sont fixées (11). S'ensuit la mise en place des supports de menuiseries (12).



11- 19 juin 2009



12- 19 juin 2009



13- 19 juin 2009

Le hangar achevé, la charpente des bureaux montée, le solivage du plancher intermédiaire fixé et les supports de menuiseries en place, la préparation du banchage peut alors démarrer.

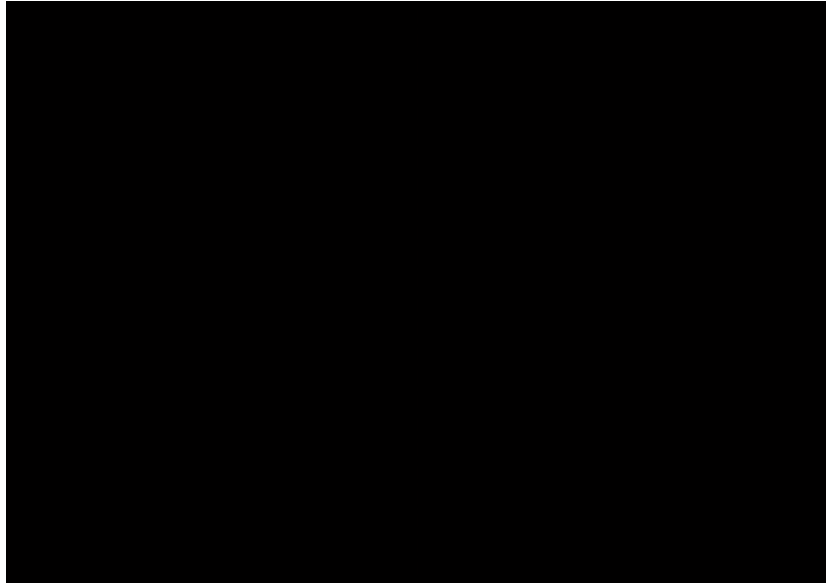




### b. Le banchage

Le béton de paille de lavande (ou lavandin) est utilisé comme matériau de remplissage isolant et inertiel au niveau des parois Sud-est et Sud-ouest

#### Schéma de principe de la technique du banchage



#### La préparation :

Avant de pouvoir démarrer le remplissage de l'ossature, il convient de préparer le béton de paille de lavande.

Dans un premier temps, une ossature bois secondaire, qui sera noyée dans la maçonnerie, est mise en place entre les poteaux de la structure, avec un espacement de 45 cm environ. Ces pièces de bois sont fixées sur une lisse basse (14). Lisse basse qui est préalablement posée sur une bande de joint évitant les éventuelles remontées capillaires. L'ossature secondaire comprend également la pose des cadres sur lesquels viendront se fixer les menuiseries (15).



Une bavette basse galvanisée (16) est également mise en place. Elle permettra de former la « goutte d'eau » et constitue également un dispositif rendant visible la présence d'éventuelles termites dont le déplacement prend la forme d'un cordon.



16- 22 juin 2009

17- 25 juin 2009

Une fois le montage de l'ossature secondaire terminée, les banches peuvent être mises en place. Des vis sont fixées sur l'ossature et permettent de laisser un espace suffisant entre les banches et les pièces de bois (18). La paroi devra avoir une épaisseur finale de 30 cm (19).



18- 25 juin 2009



19-25 juin 2009

Après avoir adapté le contreventement de la structure, les banches ont pu être mises en place (19). Celles-ci sont vissées sur des supports en bois placés côté intérieur et extérieur.

Côté intérieur, les banches sont mises en place sur toute la hauteur de la façade (22). Un premier rang de banche est également fixé côté extérieur (23).



22- 06 juillet 2009



23- 06 juillet 2009



Avant de commencer le remplissage, de l'huile flamande est passée sur les tableaux et linteaux de menuiseries, afin de les protéger des tâches de chaux.

Les banches fixées, le remplissage peut commencer.

24- 06 juillet 2009

### **Le mélange :**

Le mélange paille/chaux est réalisé au fur et à mesure sur le chantier dans un malaxeur (25.1 et 25.2).

Au démarrage, la paille a eu tendance à s'amasser en boule au fond du malaxeur.



La SCAB a du alors modifier les pales pour que le malaxeur puisse fonctionner correctement. La paille a également été broyée plus finement. Issue d'une récolte en vert-broyé, les brins de paille faisaient environ 70 mm. Le passage d'un rotavator dans la masse végétale a permis d'obtenir un broyat de l'ordre de 40 à 50 mm (26), facilitant ainsi la réalisation du béton et le fonctionnement du malaxeur.

Une fois le malaxeur adapté et la paille broyée, le béton a pu être préparé.

Béton léger qui est formé à partir d'un mélange de paille de lavande, de chaux aérienne, de plâtre briqueteur, de pierre ponce et d'eau.



- **La paille de lavande**



La paille utilisée pour le banché vient d'une distillerie située dans la vallée du Rhône. Il s'agit de vert-broyé, issu de la récolte 2009. Pour atteindre un taux d'humidité inférieur à 15%, le

séchage de la paille s'est fait sur un séchoir à plantes aromatiques.

Les 70m<sup>3</sup> (sortie distillerie) de paille ont ensuite été livrés sur le chantier (27 en arrière plan).

26- 8 juillet 2009

Approche financière :

- 5 /m<sup>3</sup> pour le vert broyé sortie de la distillerie (produit à 65% d'humidité)
- 1750 TTC pour le séchage et le transport des 70 m<sup>3</sup> de vert broyé
- Au total la paille utilisée pour le banché revient à 30 /m<sup>3</sup>

- **La chaux aérienne et la pierre ponce**

La chaux aérienne, fabriquée à partir de calcaire très pur, est appelée ainsi parce qu'elle ne fait pas de prise dans l'eau comme la chaux hydraulique, mais uniquement sous l'action de l'air.

L'utilisation de la chaux aérienne a été préférée à la chaux hydraulique pour plusieurs raisons.



La chaux aérienne est étanche à l'eau, mais elle ne fait pas de barrière à la migration des vapeurs d'eaux vers l'extérieur. Elle est de plus, insensible aux variations thermiques.

La prise se faisant au contact de l'air, la chaux aérienne met beaucoup de temps à faire sa prise, la résistance mécanique va donc progresser dans le temps. Cette mise en œuvre souple et progressive va lui permettre de s'adapter à l'ossature bois qui travaille au cours du temps.

Mais la prise très lente de la chaux aérienne la rend aussi fragile à court terme. Pour palier à cette faiblesse, une première méthode consiste à ajouter du plâtre. La prise de ce dernier assure très rapidement une bonne résistance mécanique. Une autre méthode est d'utiliser la prise pouzzolanique (réaction chimique naturelle permettant d'accélérer la carbonatation), c'est-à-dire que l'on ajoute des matières qui ne font pas prises seules mais qui, en présence de chaux, font prise comme la pouzzolane ou la pierre ponce utilisée ici (27 au premier plan).

Cet ajout permet d'obtenir une meilleure résistance mécanique sans altérer les propriétés de la chaux aérienne : respiration, souplesse, insensibilité aux variations thermiques.

Le mélange utilisé sur le chantier, intègre à la fois plâtre briqueteur et pierre ponce.

- **Le dosage :**

En amont du projet, des analyses ont été effectuées sur des échantillons de béton de paille afin d'en déterminer les caractéristiques thermiques (voir chapitre 2-3 : le matériau paille de lavande).

La composition retenue était la suivante :

- 65% de paille
- 20% de pierre ponce
- 10% de chaux
- 5% de plâtre

Le remplissage des premières banches, façade Sud-est, s'est fait avec un mélange contenant les proportions suivantes : Paille 78% + ponce 8%+ chaux 8% + plâtre 6%



Les quantités utilisées pour un malaxeur étant les suivantes :

- 400L de paille
- 40L de pierre ponce
- 40L de chaux
- 30L de plâtre gros

1,5 m3 de béton fini tassé, nécessitent 8 malaxeurs soit :

- 3200 L de paille (3,2m<sup>3</sup>)
- 320 L de pierre ponce
- 320L de chaux
- 240 L de plâtre gros

Mais il est à noter qu'une proportion trop importante de fibres ne facilite pas la mise en œuvre. Le mélange devient friable, et l'état de surface au débranchage peu homogène (28 et 29).



Pour la suite des opérations la proportion de paille a été réduite dans le mélange pour revenir au dosage initialement prévu, soit 65% de paille.

### Le remplissage

Le béton sorti du malaxeur est déversé manuellement entre les banches par couche de 10 à 20 cm. Chaque couche est tassée le long des banches et autour de l'ossature bois secondaire (30-31).



Avant de remplir la couche supérieure, un nouveau rang de banches est fixé (33). Toujours pour palier aux possibles défauts d'étanchéité, des joints Butyl et Compriband sont mis en place à l'avancement, entre les tableaux des menuiseries et le banché.



**32- 08 juillet 2009**

En termes de productivité, avec une équipe de 5 personnes en moyenne, une semaine de travail a été nécessaire pour réaliser 65m<sup>2</sup> de surface de mur (le rez-de-chaussée de la façade Sud-est et les 2/3 de la façade Sud-ouest). La surface totale de mur à bancher étant de 110m<sup>2</sup> soit 33m<sup>3</sup>.

**33- 08 juillet 2009**

Le débranchage des éléments de paroi est effectué entre 24 et 48h après le coulage. Les banches sont simplement dévissées de leur support. Le matériau est alors déjà résistant en surface.



Les photos montrent les murs avant et après le débranchage.



Les états de surface au débranchage ne sont pas homogènes : la façade Sud-est (38) qui a été réalisée la première, présente un aspect moins satisfaisant que la façade Sud-ouest (39).

Une marque importante apparaît sur la façade Sud-est, au droit du plancher intermédiaire.



38- 28 juillet 2009

39- 28 juillet 2009

Il est également à noter la présence de fissures horizontales, principalement en tête de mur (40 et 41).



40- 10 juillet 2009



41- 28 juillet 2009

On peut supposer que c'est l'enrobage de l'ossature moins important à cet endroit en raison de la présence de l'ossature supportant le plancher qui est la cause du développement des fissures



La présence de la poutre maîtresse du plancher réduit l'épaisseur du béton banché

Toutes les fentes (42) ont été rebouchées avec un mélange chaux paille (43).





42- 17 juillet 2009

43- 17 juillet 2009

Les strates sont beaucoup plus marquées sur la façade Sud-est (44). L'état de surface côté sud-ouest est beaucoup plus homogène (45).



44- 10 juillet 2009



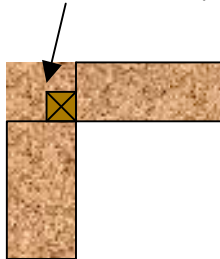
45- 28 juillet 2009

### Le traitement des angles

Lors de la conception une attention particulière avait été portée sur les jonctions entre les différents éléments de l'enveloppe afin d'éviter au maximum l'existence de ponts thermiques. Le traitement des angles du bâtiment représentait un point particulièrement sensible. Ceux-ci ont été traités avec une isolation recouvrant par l'extérieur le poteau d'angle.

Schéma de principe

chevron + laine de bois + pare pluie + bardage



47- 10 août 2009



46- 10 août 2009



Que ce soit au niveau des jonctions, banché-banché(46) ou banché-caissons (47) il a été choisi de compléter l'isolation par de la laine de bois puis d'habiller les angles avec un bardage bois.

Les zones inaccessibles après banchage ainsi que le pignon Sud ont été isolés en laine de bois. (48)





**48- 10 août 2009**

**49- 10 août 2009**

Vu du bâtiment entièrement « débranché » (49),



### c. Le cloisonnement intérieur

Le cloisonnement intérieur du rez-de-chaussée s'est fait avant la mise en place des caissons des murs et de toiture. Après avoir positionné les portes intérieures. Les cloisons en « brique de 7 » sont montées.



50- 10 juillet 2009



51- 17 juillet 2009

Une semelle résiliente est préalablement mise en place pour éviter la transmission des vibrations par la dalle.



52- 17 juillet 2009



53- 17 juillet 2009

Les cloisons du rez-de-chaussée ne doivent pas être ancrées aux éléments de structure de la charpente amenés à se mettre en charge lors de la pose du plancher des caissons muraux et de la toiture.



54- 17 juillet 2009



55- 17 juillet 2009



#### d. L'isolation par voie sèche en vrac

L'isolation des façades Nord-Ouest et Nord-est et de la toiture s'est fait par remplissage en caissons préfabriqués à l'intérieur desquels a été compactée la paille de lavande en vrac.

- **La fabrication des panneaux**

Comme pour les parois du hangar, les caissons de murs (56, 58) et de toiture (57, 59) sont entièrement découpés et préparés en atelier, de manière à être montés rapidement sur le chantier.



La paille en vrac y est déversée. La technique à adopter pour le remplissage des panneaux, a soulevé un certain nombre de questions.

L'idée de départ, était de mettre la paille en vrac dans les caissons sur le chantier. Il a ensuite été préconisé par le bureau d'étude, la mise en œuvre de la paille sous forme de ballots de 35 par 45 sur 100 cm à l'intérieur des caissons, ceci dans le but de limiter les risques de tassement. La mise en œuvre sous formes de bottes impliquant d'une part une manutention supplémentaire de la paille et l'exigence d'une régularité pour que la taille des bottes corresponde vraiment à la taille des caissons.

Les diverses soucis rencontrés face à l'approvisionnement et au séchage de la paille on finalement impliquer de revenir à la solution initiale c'est-à-dire le remplissage en vrac.

- **La paille de lavande**

La paille utilisée pour le remplissage des caissons, est issue d'une récolte traditionnelle datant de 2008. Elle a été préalablement broyée au moyen d'un broyeur forestier (60, 61), pour obtenir des brins de 70 à 90mm environ (63).





60- mai 2009

61- mai 2009

Cette paille, représentant un volume de l'ordre de 100 m<sup>3</sup>, a été livrée et stockée chez BCB fin mai (62). La paille avait encore un taux d'humidité moyen de l'ordre de 35%.



Elle a été étalée puis brassée afin de sécher correctement pour permettre d'atteindre un taux d'humidité à 15%.

- **Le remplissage**



Le remplissage des panneaux s'est fait à l'atelier, courant juillet, juste avant leur livraison sur le chantier.

Le même principe a été utilisé pour le remplissage des caissons de murs et de toiture.

La paille est déversée à l'aide d'une pelle mécanique dans les caissons. (64)

Chaque panneau constituant la paroi reçoit environ 9m<sup>3</sup> de paille et pèse 1 tonne.

La paille est ensuite répartie (65) sur une couche homogène d'environ 10 cm, puis elle est tassée manuellement (66).



Entre chaque couche est saupoudrée de la chaux (67), d'une part pour limiter les risques de condensation liée à l'humidité mais également pour éloigner les insectes et autres rongeurs.



Une fois remplis les panneaux ne sont pas fermés immédiatement pour permettre à la paille de continuer à sécher (68).



Les panneaux sont ensuite livrés sur le chantier (69 et 70). Ils sont alors montés et assemblés à l'ossature bois porteuse selon le même procédé que pour le montage du hangar.

- **L'assemblage :**

Mais contrairement aux panneaux du hangar qui ne sont pas remplis de paille, les éléments de toiture et de mur pèsent environ une tonne. Ce qui rend la manutention et la mise en place relativement délicate.

L'assemblage commence par les panneaux de mur. Des trappes de visite ont été prévues dans la partie supérieure (71) afin de pouvoir surveiller le tassement et l'évolution de la paille au fil du temps. La jonction avec le hangar est complétée par des panneaux isolés en laine de bois (72).



Le montage se poursuit par la mise en place des panneaux de toiture (73 et 74).



Comme pour le reste de la construction, des joints Butyl sont mis en place à l'avancement entre les différents éléments. Les jonctions avec la charpente seront complétées par de la laine de bois.

Les photos montrent la partie des bureaux avant et après la mise en place des caissons.



**e. Le plancher intermédiaire**



Pendant la mise en place des panneaux de murs et de toiture le plancher intermédiaire est préparé pour recevoir la paille de lavande en vrac (77) (remplissage sur chantier). Il a été choisi d'isoler le plancher intermédiaire avec de la paille de lavande en vrac non pas pour des raisons thermiques, puisque les deux étages sont chauffés, mais pour l'isolation phonique.

la



L'électricien a du intervenir préalablement pour passer les gaines électriques destinées aux luminaires. Les câbles sont passés dans l'épaisseur du plancher avant pose par les charpentiers d'un film pare-poussière continu. Chaque perçage inévitable doit être colmatée afin d'éviter que le percement ne se transforme en déchirure, entraînant une « fuite » de la paille.

Au niveau de la toiture, les gaines électriques sont passées dans les membrures des caissons.

Après avoir fixé le pare-poussière en sous face du solivage, un triply (OSB) est mis en place (78 et 79). La paille en vrac est ensuite déversée entre les solives sur une épaisseur de 22 cm.



La pose d'un carrelage sur une chape anhydrite mince a été choisie comme revêtement de sol à l'étage. Chape qui sera coulée sur l'OSB de 22mm de la face supérieure du plancher préalablement revêtu d'un film polyane de 150 micron.

La paille utilisée pour le plancher est également issue d'une récolte en vert broyé datant de 2009. Le séchage s'est fait directement sur le chantier (80). Les 35 m<sup>3</sup> livrés, ont été immédiatement étalés en une fine couche Une semaine et 4 brassages ont suffi pour sécher la paille correctement (81).



80- 10 août 2009

81- 10 août 2009

Elle a été simplement déversée en vrac entre les solives du plancher, il n'est pas nécessaire de la broyée. Les fibres de 70 à 90 mm conviennent pour ce type de mise en œuvre.



82- le bâtiment au 12 août 2009





## f – Les enduits

Les murs en banché ont reçu un enduit sur les deux faces.

La matière a été laissée apparente dans le hall d'entrée.

L'essentiel étant d'adopter un procédé qui permette aux murs de « respirer ».



83- 10 juillet 2009



84- 28 juillet 2009

Deux mois (Août et Septembre) se sont écoulés entre la fin de la réalisation des murs banchés et l'application des premiers enduits.

Ce sont les enduits intérieurs qui ont été réalisés les premiers avec du plâtre de mazan (85).

Certains ont été teintés dans la masse avec des ocres naturelles.

Différents problèmes sont apparus au cours du séchage :

- des cernes à certains endroits résultant probablement des remontées de tanin de la paille de lavande (86 et 87),
- des zones n'ont jamais séché et ont dû être habillées.



85



86



87

Le haut des pignons intérieurs a également été enduit avec du plâtre de mazan projeté sur nergalto.

Puis les enduits extérieurs, c'est un enduit traditionnel en 3 couches qui a été appliqué :

- un gobetis grossier projeté, composé de chaux aérienne, chaux hydraulique et sable,
- un corps d'enduit comprenant un mélange chaux hydraulique, chaux aérienne et sable au cœur duquel a été accrochée une maille synthétique (88),
- une couche de finition écrasée et grattée composée de chaux aérienne et de sable de Vaugines (89 et 90).



88



89



90

Le haut des pignons a été enduit sur fibralith fixé sur une structure secondaire fixée aux fermes (90).

L'épaisseur des enduits varie de 1,5 à 4 cm

## 5-2. Principaux enseignements

### a. L'approvisionnement et le séchage de la paille

La question de l'approvisionnement en paille est un des premiers points à souligner.

En effet, les pailles utilisées sur le chantier sont venues de trois sources différentes :

- 100m<sup>3</sup> pour le remplissage des caissons, récolte traditionnelle 2008, broyées au broyeur forestier, le séchage ne s'est pas fait sans mal et l'aspect de la paille lors de la mise en œuvre n'est pas des plus satisfaisants,
- 70 m<sup>3</sup> pour le banché-vert broyé récolte 2009, en provenance de la vallée du Rhône-Tricastin, broyage nécessaire au rotavator-séchage sur séchoir à plante aromatique (coût élevé),
- 50 m<sup>3</sup> pour le plancher – vert broyé- séchage correct sur le chantier, pas de broyage nécessaire pour la mise en œuvre en vrac.

L'idée étant de travailler avec un matériau local. Si la filière tend à se développer, la question de l'approvisionnement en paille de qualité, prête à l'emploi doit être impérativement réglée.

Un autre point délicat est celui du séchage, qui a d'ailleurs été à la source des problèmes d'approvisionnement pour le chantier. En effet, une partie de la paille utilisée datait de 2008 et était restée stockée au champ durant une année avec des conditions météorologiques peu favorables. Si l'aspect extérieur des balles semblait satisfaisant, le cœur très humide avait commencé à moisir.

En revanche la paille utilisée pour le banché et le plancher, datait de 2009, le séchage s'est fait aisément en étalement simplement la paille sur le chantier.

Il ressort donc que la paille doit être séchée directement après la distillation si l'on veut obtenir un produit de bonne qualité. Elle doit ensuite être stockée sans qu'elle puisse reprendre l'humidité.

Le Parc travaille en ce sens grâce à plusieurs essais déjà réalisés et à venir tant au niveau du broyage que du séchage. Afin d'éviter le déplacement de matière volumineuse, il semble souhaitable que ces étapes de transformation visant à la préparation de la fibre se fassent à l'échelle des distilleries.

### **b. Le coût du matériau :**

Le prix demandé en général par un distillateur pour de la paille vert-broyé sortie distillerie est de 5 /m<sup>3</sup> à 65% d'humidité. Prix auquel il faut rajouter le coût du séchage, du transport, et de l'éventuel broyage. Malgré toutes ces étapes, on reste sur des prix concurrentiels par rapport à d'autres matériaux écologiques présents sur le marché.

### **c. Les assurances :**

La question des assurances ne doit pas être négligée. En effet, le manque de retour d'expérience sur la mise en œuvre de ces matériaux naturels, pose aux assureurs un problème technique évident.

L'entreprise de charpente BCB a pu apporter sa garantie décennale sur l'ossature. La compagnie d'assurance de la SCAB 04 n'a pas accepté d'apporter sa garantie décennale sur ce chantier.

Rappelons que le Bureau Central de Tarification (BCT) autorité administrative indépendante, peut obliger une compagnie d'assurance choisie par l'entreprise, à lui accordée la garantie décennale ou à un maître d'ouvrage, à bénéficier d'une garantie assurance dommage ouvrage.

Le BCT fixe le montant de la prime dans les mêmes conditions de marché que pour une construction classique, moyennant quoi, la compagnie d'assurance choisie est tenue de garantir le risque qui lui a été proposé.

La compagnie d'assurance du CRIEPPAM n'a posé aucune difficulté pour couvrir les risques incendie, catastrophes naturelles et responsabilité civile.

Des chantiers expérimentaux comme celui du CRIEPPAM, sont pourtant l'occasion de tirer des enseignements et de fournir des éléments d'illustration nécessaires pour permettre d'apporter de la crédibilité à ce genre de construction.

L'expérimentation est pourtant indispensable, si l'on veut pouvoir établir à terme des « règles de l'art » pour la mise en œuvre de ces matériaux. C'est avec ce type de démarche que les filières chanvre dispose aujourd'hui de règles professionnelles.

### **d. Le béton banché**

En ce qui concerne le béton banché, il faut retenir qu'une proportion de fibres trop importante (>70%) n'est pas souhaitable : matériau friable, état de surface non homogène au débanchage.

La taille des fibres ne doit pas dépasser 50mm pour éviter la formation de boule lors de la réalisation du mélange avec la chaux. C'est pourquoi il est nécessaire de broyer la paille même si

elle est issue d'une récolte en vert broyé. L'adaptation du malaxeur peut s'avérer également nécessaire selon les modèles utilisés.

Enfin il semble qu'une certaine faiblesse au niveau des supports de banche et peut être du contreventement aient entraîné l'écartement des banches. Les affleurements aux niveaux des tableaux de menuiseries ont du être repris.

### e. La paille en vrac

Le problème du séchage déjà évoqué précédemment a été un des principaux problèmes.

On peut également soulever la question de la technique adoptée pour le remplissage des parois. L'observation du tassement de la paille au cours du temps permettra de valider la mise en œuvre par tassement de couches successives à l'horizontal. D'autres techniques pourront être expérimentées, comme la mise en œuvre sous forme de ballots comme cela avait été évoqué, mais qui ne peut se faire qu'avec une récolte en gerbe (cf herbier du diois et prochainement le bâtiment communal d'Aubenas les Alpes) ou encore le remplissage manuel ou mécanique à la vertical après que les caissons aient été dressés sur champ, ce qui faciliterait par ailleurs la manipulation des éléments de paroi et de toiture.

Il convient de noter que la manipulation de la paille de lavande entraîne une production de poussière abondante. Il est donc impératif que les ouvriers prennent les précautions nécessaires. (port de masque set de lunettes et éventuellement bouchons pour les oreilles).

## [Conclusion]

### Les chiffres clés

- d'un point de vue économique

Coût final de la construction : **452 873 €Ht soit 1 602,94€Ht/m<sup>2</sup>**.

- D'un point de vue technique

Les déperditions : **U<sub>projet</sub> = U<sub>RT2005</sub> – 31% et U<sub>projet</sub>=U<sub>BBC</sub> – 4%**

Les résistances thermiques des parois :

R<sub>paroi paille</sub> : 6,21 m<sup>2</sup>.k/w

R<sub>paroi béton</sub> : 3,28 m<sup>2</sup>.k/w

R<sub>toiture</sub> : 6,05 m<sup>2</sup>.k/w

Le chantier a bien sûr subi les aléas et péripéties liés à l'expérimentation. Mais ce sont aussi les difficultés rencontrées qui permettent de tirer des enseignements et d'éviter de les reproduire sur de futures constructions. De manière générale le résultat global de la construction est plutôt positif. Une instrumentation légère permettra de suivre l'évolution de la température et de l'hygrométrie ambiante.

Un test d'étanchéité pourra être réalisé tout comme un relevé infrarouge par caméra.

Construire avec des matériaux peu habituels comme la paille de lavande n'est pas un exercice simple. Cela représente une prise de risque que ce soit pour les entreprises, pour la maîtrise d'œuvre ou pour le maître d'ouvrage.

En contre partie chacun à beaucoup à y gagner, que ce soit dans l'acquisition de nouveaux savoir-faire, ou d'une approche différente de la conception et de la réalisation des bâtiments.

La volonté commune des acteurs de construire autrement et de faire bénéficier aux futurs constructeurs du fruit de leur expérience l'a emporté.

Enfin, la question de la reproductibilité semble importante à soulever. La mise en œuvre de matériaux naturels reste encore beaucoup de l'ordre de l'auto construction ou de professionnels visionnaires.

C'est par la multiplication de ce type de construction que la doctrine et les règles de mise en œuvre finiront par aboutir. C'est également l'objectif du réseau régional de la construction en paille animé par le Gabion.

Enfin la question de la durabilité sera à étudier par l'observation à court et à plus long terme de l'évolution du bâtiment (vieillesse des matériaux, fonctionnement, confort des usagers...)

Il est à espérer que cette expérience puisse apporter des éléments et donnent envie aux futurs constructeurs d'utiliser la paille de lavande ou autres matériaux d'origine végétale.



Rédaction achevée le 17 Mai 2010.



## [Bibliographie]

**Frederic Hanier –Nolwenn Weiler.** Le guide des isolants. La maison écologique, N°49 février-mars 2009, p 18-25

**Alain GRELAT.** Utilisation des matériaux renouvelables en parois de maisons individuelles à ossature bois, octobre 2005, 134p (rapport final du projet de Montholier)

**Jean-Pierre Oliva.** L'isolation écologique, conception matériaux et mise en œuvre, terre vivante, 2001

**Samuel Courgey et Jean-Pierre Oliva .**La conception bioclimatique, des maisons confortables et économes en neuf et en réhabilitation, terre vivante, 2001

Réussir un projet de bâtiment basse consommation, guide effinergie à destinations des professionnels du bâtiment 2008

### Reference réglementaire

GUIDE PRATIQUE DU REFERENTIEL POUR LA QUALITE ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS BUREAU/ENSEIGNEMENT Décembre 2008 Mise en application : 16/12/2008 édité par Certivéa groupe cstb

Réglementation thermique 2005

Solution technique confort d'été-RT 2005 bâtiment neuf- Solution technique pour l'application de la RT 2005

Documents disponibles à l'adresse suivante

[http://www.rt-Batiment.fr/fileadmin/documents/acceslibre/st\\_confortete%20finale.pdf](http://www.rt-Batiment.fr/fileadmin/documents/acceslibre/st_confortete%20finale.pdf)