

Vincent RIGASSI  
Architecte DEAug  
14 rue Génissieu  
F-38000 GRENOBLE

Tél/Fax 04 76 47 11 72  
GSM 06 82 60 12 03  
vincent.rigassi@rigassi-architecte.com

**Le Gabion**  
**PRIDES Bâtiments Durables Méditerranéens**  
**et AB&C Filière Bois et construction**

**Développement de la filière**  
**Construction Paille/Ossature**  
**Bois en PACA**

***Évaluation de chantiers test, étude comparative  
et évaluation de l'action développement durable***

# SOMMAIRE

<b>AVANT-PROPOS.....</b>	<b>3</b>
<b>1 ENQUÊTES ET ANALYSE DE CHANTIERS REPRÉSENTATIFS.....</b>	<b>4</b>
<b>2 SYNTHÈSE DES RÉALISATIONS PAILLE .....</b>	<b>5</b>
PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....	5
TECHNIQUES UTILISÉES .....	5
MODES DE RÉALISATION .....	6
APPROVISIONNEMENT DE LA PAILLE .....	6
SYSTÈMES CONSTRUCTIFS.....	7
FINITIONS ET REVÊTEMENTS DES MURS PAILLE. ....	9
TRANSMISSION COMPÉTENCES.....	9
INSERTION TISSU PROFESSIONNEL .....	10
<b>3/ ÉVALUATION GLOBALE ET COMPARAISONS DES PRINCIPAUX INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX.....</b>	<b>11</b>
<b>4 CONCLUSIONS SUR LES AVANTAGES DU SECTEUR ET MODALITÉS DE RENFORCEMENTS.....</b>	<b>14</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>16</b>
ANNEXE 1: FICHES DÉTAILLÉES DES PROJETS ÉTUDIÉS .....	17
ANNEXE 2: FICHES DE SYNTHÈSE DES PROJETS ÉTUDIÉS .....	35
ANNEXE 3: DÉTAIL DES CALCULS DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE DIFFÉRENTS TYPES DE MURS.....	47

## AVANT-PROPOS

Le présent rapport s'intègre dans le programme d'action portée par Le Gabion et le PRIDES Bâtiments Durables Méditerranéens et AB&C Filière Bois et construction pour le Développement de la filière Construction Paille/Ossature Bois en Région PACA.

Ce programme a permis, notamment:

- de faire un état des lieux et de dresser un **inventaire** des réalisations paille en Région PACA
- de mettre en place différentes actions de **mise en réseau** des acteurs pour faire connaître les évolutions rapides des solutions constructives Paille/Ossature Bois
- d'étudier différents **chantiers tests** afin d'encourager les porteurs de projets et de montrer le professionnalisme des techniques mises en œuvre et leur intérêt environnemental

Les différentes actions réalisées et leur actualité sont détaillées sur le site internet: [constructionpaille.free.fr](http://constructionpaille.free.fr)

Ce rapport concerne plus particulièrement:

- l'évaluation et la synthèse des chantiers test sur les approvisionnements; les techniques utilisées, l'organisation de la réalisation et leur insertion dans le tissu professionnel
- l'évaluation et la comparaison des principaux indicateurs environnementaux des techniques de construction paille étudiées.

# 1 Enquêtes et analyse de chantiers représentatifs

Cette première étape à consister à mettre au point une fiche d'enquête qui a été testée sur deux projets tests, puis transmise aux intervenants des autres projets tests.

Ceux-ci ont ensuite été interviewés pour obtenir des compléments d'information sur la réalisation et échanger les avis sur les difficultés et atouts de leurs réalisations.

Les chantiers test étudiés sont les suivants:

1. Habitat collectif Bergerie Berdine
2. Salle polyvalente de Mazan
3. École Montessori à Avignon
4. Bureaux du CRIEPPAM à Manosque
5. Salle de spectacle de La Cartonnerie de la Belle de Mai à Marseille
6. Maison Raul à Eygliers
7. Maison Bruxer à Gap
8. Maison de Mathieu Beth à Embrun
9. Maison à Embrun
10. Projet expérimental Le Gabion à Embrun

Les enquêtes détaillées ont ensuite été synthétisée dans une fiche, puis l'ensemble des projets fait l'objet d'une synthèse globale.

Les fiches détaillées et les fiches de synthèse sont en annexe.

## 2 Synthèse des réalisations paille

*Les synthèses de projets ont permis d'identifier les différentes typologies des techniques utilisées au vu des principes structurels, notamment des modes de contreventement, puis de la position et du mode de pose de la paille comme isolant. Ces différentes techniques sont évaluées au vu de la facilité ou non de mise en œuvre, de la pérennité constructive (isolation, protection à l'eau, étanchéité à l'air, etc.). Ces observations permettent d'avoir de premières indications sur l'adéquation à leur application en entreprise avec les contraintes de temps et d'économie que cela suppose, mais également sur les niveaux de compétences nécessaires et l'adéquation aux techniques conventionnelles. Les conclusions permettent de voir quelles pourraient être les actions de soutien et de renforcement de la professionnalisation du secteur, notamment en termes de formation et d'information. Qu'il s'agisse de formation continue ou de prise en compte dans la formation initiale.*

Les projets que nous avons suivis et évalués sont en majorité des établissements recevant du public (ERP): salles de spectacles, enseignement, bureaux, hébergement collectif, etc. Ce choix correspond à l'ambition de ce programme d'évaluer les potentiels et modalités de développement de la professionnalisation de la construction en paille. Les ERP répondent à des exigences plus particulières de suivi des réglementations avec le recours à un contrôle technique des opérations. Ces conditions donnent donc un aspect d'exemplarité à ce type d'opérations et mettent en exergue leur reproductibilité dans des conditions "normales" du secteur.

Nous avons néanmoins suivi trois projets de construction de maisons individuelles (soit 1/3 des projets tests) en raison de l'intérêt de ces opérations au regard des techniques utilisées. Les projets individuels en auto-construction sont en effet souvent l'occasion d'expérimentation de techniques ou de procédés innovants qui sont plus difficiles à mettre en place dans des projets publics où le maître d'ouvrage peut plus difficilement prendre la responsabilité de s'écarter des obligations réglementaires.

### **Présentation générale**

L'utilisation de la paille s'inscrit dans une démarche globale. En effet tous les bâtiments étudiés répondent à une conception bioclimatique, maximisant l'éclairage naturel, les apports solaires passifs en hiver et les protections solaires en été, ou encore la localisation des espaces annexes (technique, sanitaires, etc.) au nord en tampons thermique. Tous les bâtiments utilisent la paille en raison de ses bonnes capacités d'isolation réduisant les consommations énergétiques et privilégiant les énergies renouvelables pour les apports actifs: Eau chaude sanitaire solaire thermique, chaudière bois (plaquettes ou granulés).

Enfin le choix de la paille répond dans tous les cas à un choix de privilégier les matériaux locaux, avec tout ce que cela suppose: circuits courts, production décentralisée, réduction des transports, soutien à l'agriculture et à l'économie locale, etc.

### **Techniques utilisées**

Les principales techniques utilisées parmi les projets tests sont:

- la paille en remplissage isolant d'une ossature bois.
- la paille utilisée en vrac en remplissage direct ou en mélange avec un liant pour constituer un mortier permettant le banchage. Ces deux variantes sont encore relativement expérimentales, au contraire de la paille utilisée en remplissage.

Dans l'utilisation en remplissage, comme il s'agit des techniques nettement les plus courantes, on compte différentes variantes, notamment:

- le remplissage direct des bottes entre montants porteurs en place
- des systèmes de préfabrication de remplissage entre montants porteurs constituants des caissons réalisés en atelier puis assemblés sur chantier.

Nous verrons plus loin dans la partie d'analyse le détail des différentes variantes, notamment le calepinage des bottes entre montants, la gestion de l'interface entre bottes et montants d'ossature, etc.

### **Modes de réalisation**

De par l'objectif du programme de professionnalisation du secteur, la plupart des projets étudiés sont réalisés par des entreprises de construction.

Toutefois la question du coût de main d'œuvre est récurrente, ce qui entraîne deux démarches parallèles:

- réflexions sur les systèmes constructifs: optimiser afin de réduire les quantités de bois et donc les assemblages, nécessitant quantité de matière et surtout de réalisation
- réflexions sur l'organisation de la réalisation: optimiser les temps de mise en œuvre réalisés par des entreprises en réduisant la présence sur chantier, soit par le biais de la préfabrication en atelier ou sous chapiteau, soit par une organisation permettant d'associer entreprise et auto-construction partielle: encadrement par une entreprise et appuis par "auto-constructeur(s)" (cf Bergerie de la Berdine) ou réalisation en tâcheronnat par l'embauche de professionnels directement par maître d'ouvrage (cf école Montessori)

Un autre questionnement est assez récurrent, au sujet de la présence de paille sur chantier. En effet la paille avant mise en œuvre et lors des manutentions sur chantier est susceptible de générer de nombreuses paillettes qui s'éparpillent facilement avec le vent et qui sont fortement susceptibles de s'enflammer à la moindre étincelle. Lorsque la paille est visible il peut également y avoir des problèmes de pluies, de vandalisme, etc.

De nombreux acteurs souhaitent donc vivement éviter la présence de paille visible sur les chantiers pour éviter ce risque. Il est d'autant plus important sur des chantiers de "type public" ou de nombreuses entreprises de corps d'états différents interviennent en même temps.

Les solutions à ce problème, qui n'a pas été évoqué dans les chantiers en auto-construction, sont la réalisation de caissons en atelier avec fermeture de la face vue, soit par un parement rigide ou souple faisant pare-pluie, soit de prévoir un enduit.

Cette dernière posant par ailleurs d'autres problèmes. En effet il n'est pas de la culture des façadiers de faire des enduits "à plat" dans un atelier, et il n'est pas dans la culture d'un charpentier d'avoir des travaux "humides" dans son atelier.

Bref la cohabitation filières sèches/filières humides est délicate et le "partage d'infrastructure" ne semble pas possible (cf salle de Mazan). Il est donc probable que dans les prochains chantiers la solution soit de revenir à une fermeture "temporaire" des caissons en atelier par la pose de pare-pluie qui seront déposés lors de la réalisation des enduits de façade mis en œuvre alors de manière plus conventionnelle.

### **Approvisionnement de la Paille**

Au vu des projets étudiés, l'approvisionnement de la paille ne semble pas poser de problèmes particuliers. Il est généralement très local ou parfois plus distant auprès de producteurs réputés pour la qualité des bottes.

Ceci dit cette réputation n'est pas toujours à la hauteur et l'on constate que la principale exigence est celle de l'homogénéité des bottes en dimensions et masse volumique et régularité dans le cas de livraisons multiples.

L'aspect fondamental se joue lors de la commande, par le lien et les prescriptions demandées au producteur. On constate que lorsque les entreprises ont déjà des expériences de constructions en paille, elles vont être à même de préciser clairement leurs attentes, allant même parfois jusqu'à définir des calepinages de longueur pour éviter les découpes et la repose de ficelles sur chantier.

Ceci dit il est clair que les outils de fabrication des bottes (botteleuses) sont très variables allant de la vieille machine mécanique, dont la pression n'est pas toujours très élevée et surtout pas toujours très régulière, à la botteleuse hydraulique assurant une pression constante élevée et des possibilités de réglages nombreuses (dimensions, masse volumique).

Toutefois il semble vraiment que le paramètre déterminant soit le contact entre le producteur et l'entreprise de construction et la capacité de cette dernière à préciser en détail ses attentes. Les équipes de maîtrise d'œuvre peuvent anticiper et préparer les questionnements sur ces points pour les entreprises qui débutent dans l'utilisation de la paille.

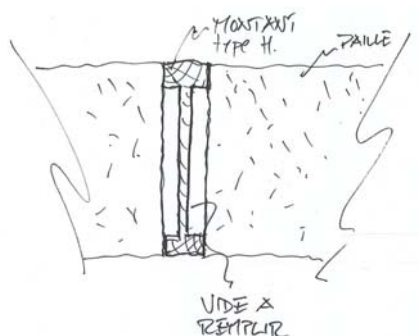
En ce qui concerne la paille de lavande utilisée broyée (en remplissage en vrac ou comme charge d'un mortier), il est indispensable que la paille soit bien séchée avant broyage, ce qui ne semble pas toujours être le cas. Il est également nécessaire d'éviter la présence de cailloux.

## **Systemes constructifs**

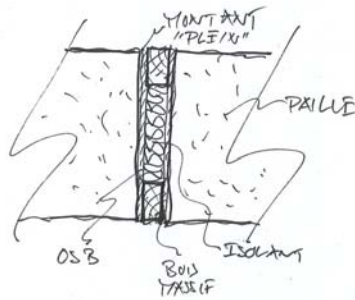
### Remplissage ossature bois par des bottes de paille en place ou en caissons

Le système le plus courant est le remplissage de bottes de paille dans une ossature bois, soit en place soit par des systèmes préfabriqués.

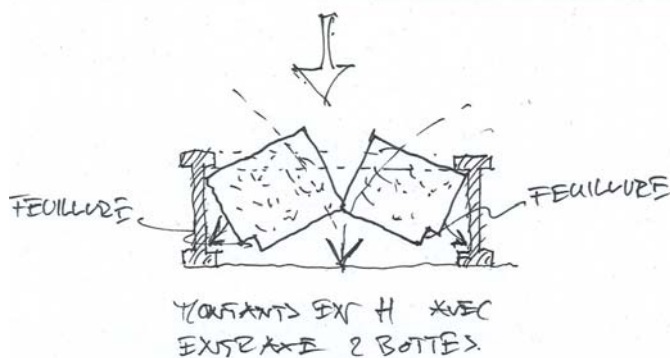
Dans ces systèmes les principaux questionnements et variétés de réalisation concerne la gestion de l'interface entre les bottes et les montants d'ossature sans création de vides. En effet des poutrelles type H créent une surépaisseur aux extrémités contre lesquelles les bottes viennent buter, ménageant un vide dans la partie centrale de part et d'autres de l'âme du montant. Ce vide est dommageable car il constitue un pont thermique et donc surtout un risque de condensation en période froide, susceptible de pathologie de la paille à moyen ou long terme.



Ce vide est donc soit évidé en réalisant des montants "pleins" à largeur continue, soit en bourrant le vide par de la paille en vrac. Dans les deux cas cela entraîne des temps de mise en œuvre plus importants avec une incidence sur le coût de réalisation.



Une autre solution est de travailler non pas sur la forme des montants, mais sur la forme des bottes en réalisant une feuillure sur l'angle de la botte venant en contact avec le montant. Dans ce cas généralement cette solution va avec un écartement entre montants de 2 bottes permettant un remplissage avec un bon confinement des bottes entre montants.



Le système de caisson présente de nombreux avantages mais à condition de pouvoir disposer d'une infrastructure importante (hangars, levage). Enfin, bien que le système soit rapide et assez optimum en temps de mise en œuvre, les cubages de bois sont importants d'où plusieurs projets avec écartement de 2 bottes entre montants au lieu d'une botte. Mais cela nécessite de trouver un détail permettant le bon encastrement des bottes avec les montants, soit feuillure des bottes, soit montants linéaires et non en H. qui crée des vides devant être bourrés manuellement.

### Remplissage d'une ossature bois par de la paille broyée en vrac ou par un mortier paille-liant

Quelques chantiers ont expérimentés l'utilisation de paille en vrac broyée brute ou mélangée avec un liant (terre, chaux, plâtre). Cette technique a l'avantage de ne pas apporter la contrainte dimensionnelle des bottes de paille, mais pour l'instant d'augmenter les temps de mise en œuvre. Les principales remarques concernent la nécessité de mettre au point un système constructif permettant le remplissage après la mise hors d'eau complète du bâtiment tout en conservant un accès à toutes les parties / caissons nécessitant remplissage. Enfin le remplissage devrait pouvoir se réaliser par insufflation mécanique, ce qui n'est pas actuellement possible avec les équipements existants pour d'autres isolants comme la ouate de cellulose.

En ce qui concerne la mise en œuvre de paille utilisée avec des mortiers les problématiques s'approchent de celles de la terre-paille, technique relativement maîtrisée et pour laquelle la réflexion sur l'optimisation des systèmes constructifs mis en œuvre en entreprises est déjà en place. Les questions se posent davantage au vu des performances et comportements thermiques visés. En effet l'ajout de mortier à la paille va augmenter les propriétés d'inertie, mais réduire



celle d'isolation. La conception doit donc en tenir compte et adopter des préconisations spécifiques qui sont différentes que celles propres à l'utilisation de paille seule.

Les retours des chantiers test (cf CRIEPPAM) signalent que la mise en œuvre de la paille de lavande utilisée en "béton banché" est plus compliquée à réaliser que les mortiers chaux/chanvre.

### **Finitions et revêtements des murs paille.**

On trouve deux types de finition dans les projets étudiés:

- revêtement de la paille avec un pare-pluie, litelage et bardage bois
- revêtement avec enduits directs de la paille.

La finition avec pare-pluie et bardage pose très peu de difficultés particulières hormis une attention à la capacité du revêtement à permettre les migrations de vapeur d'eau pour éviter saturation de la paille. Mais la plupart des pare-pluies couramment utilisés actuellement pour la construction ossature bois ont de bonnes caractéristiques de perméabilité à la vapeur d'eau.

La finition avec des enduits sur la paille pose davantage de difficultés. La paille n'étant généralement pas continue sur l'entièreté de la surface du parement extérieur, il faut gérer les transitions entre paille et éléments d'ossature bois sans que cela n'engendre de fissuration des enduits. La réponse est généralement trouvée par la pose de trames textiles (type polyamide ou type toile de jute) en recouvrement des éléments structurels. Les largeurs de recouvrement doivent être assez importantes, mais pour certaines entreprises il est plus rapide de poser une trame sur la totalité de la surface.

Par ailleurs, lorsque le revêtement fini est enduit, il est nécessaire que les bottes aient une régularité dimensionnelle et une masse volumique relativement élevée pour assurer une bonne planéité évitant des couches d'enduits trop importantes.

### **Transmission compétences**

Dans tous les projets étudiés la réalisation et la transmission des compétences dépend d'un des acteurs qui soit fortement porteur de l'utilisation de la paille dès l'émergence du projet. Il peut soit s'agir du maître d'ouvrage qui va donc spécifiquement rechercher des professionnels compétents qui assurent la qualité technique de la réalisation (architectes, bureaux d'études ou entreprises), soit individuellement, soit en association.

En cours de chantier la réussite dépend donc beaucoup d'une forte présence de la maîtrise d'œuvre lorsque les entreprises ne sont pas spécialisées ou alors d'une entreprise spécialisée qui sont généralement non seulement porteuses de la compétence technique, mais également d'un certain militantisme en faveur du matériau. L'engagement fort de ces acteurs n'a donc pas d'influence sur le coût de la réalisation, mais il est donc incidemment à considérer comme une contribution forte aux projets.

Il semble donc évident que la diffusion de la technique correspondra à la diminution de cet engagement militant et que l'incidence de cette contribution aura des répercussions sur le bilan financier final des opérations. Ceci tant que ces techniques ne seront pas entrées dans les pratiques courantes abordées dès la formation initiale.

### **Insertion tissu professionnel**

En conclusion il reste évident qu'un engagement des entreprises est nécessaire. Cela fonctionne pour les entreprises chargées du lot paille, mais c'est souvent plus délicat avec les corps d'état annexes. La présence d'un pilote est donc souvent indispensable, tant pour éviter les éventuels problèmes techniques dus à des interfaces pas toujours conventionnels, que pour motiver l'ensemble des intervenants à adopter une démarche volontaire. Ce rôle est souvent assuré dans les projets étudiés par la maîtrise d'œuvre (architecte et parfois bureau d'étude) ou par les porteurs de projets auto-constructeurs.

### 3/ Évaluation globale et comparaisons des principaux indicateurs environnementaux

Les enquêtes des différents projets test ont permis de collecter des informations permettant d'évaluer la performance environnementale des éléments constructifs paille en quantifiant les indicateurs environnementaux (énergie grise, gaz à effet de serre/ changement climatique, performance thermique) pour quelques typologies d'enveloppes paille variant selon leur revêtement: bardage bois ou enduits plâtre ou terre/chaux. Ces solutions sont ensuite comparées à des enveloppes plus conventionnelles: ossature bois et ouate de cellulose / ossature bois et laine de verre et murs béton isolation polystyrène.

Les Enquêtes n'ont pas permis d'obtenir suffisamment d'information pour établir précisément les données économiques: coûts des réalisations et structure des prix: fourniture, main d'œuvre, transport & énergie, néanmoins des ordres de grandeur sont indiqués en comparaison des techniques plus conventionnelles déjà mentionnées.

**Comparaisons des bilans environnementaux de différents types de murs  
à performance thermique égale**  
( $U= 0,14 [W/m^2.K]$ )

<b>Types de murs</b>			<b>Energie Grise Non Renouvelable</b>	<b>Emission Gaz Effet de Serre (100 ans)</b>
Composition		Ep Tot	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[éq kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]
1	Caisson Ossature bois - Paille en bottes - Bardage bois	45 cm	104,79	-49,18
2	Caisson Ossature bois - Paille en bottes- Enduit Chaux	43 cm	108,58	-40,00
3	Double Ossature bois - Paille en vrac - Enduits	43 cm	114,97	-39,14
4	Paille porteuse - lisses bois - Enduits	52 cm	89,74	-49,65
5	Double Ossature bois - Cellulose projetée 30 cm - Bardage bois	39 cm	135,94	22,84
6	Murs béton 20 cm - Polystyrène 26 cm - Enduit Minéral	48 cm	588,08	197,29

Source données environnementales: **KBOB/eco-bau/IPB version: janvier 2011**  
en valeur d'énergie non renouvelable et en impact sur l'effet de serre à 100 ans

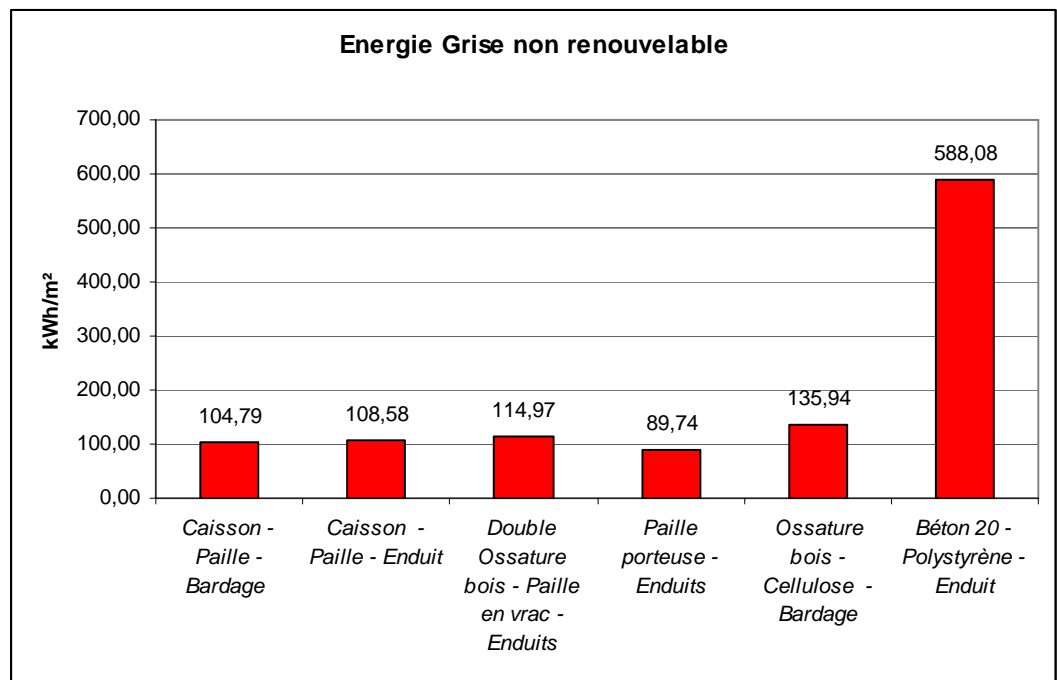
Nous avons comparé 4 types de murs utilisant la paille, en faisant varier:

- les types de revêtements: bardage bois ou enduits chaux
- les éléments structuraux: caissons préfabriqués calepinés sur les dimensions des bottes de paille et donc utilisant une quantité non négligeable de bois et OSB pour les montants ou ossatures avec remplissage de paille broyée en vrac permettant des entraxes d'ossature plus conventionnels (60 cm au lieu de 50 cm)
- un mur en paille porteuse permettant une réduction importante des quantités de bois.

Ces différents murs à base de paille ont été comparés à des murs plus conventionnels:

- un mur ossature bois isolés avec de la ouate de cellulose et bardage bois
- un mur béton structurel avec isolation polystyrène enduit.

Tout ces murs ont été dimensionnés pour avoir des performances thermiques égales ( $U= 0,14 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$ ) correspondant à des exigences basses consommations ou passives.

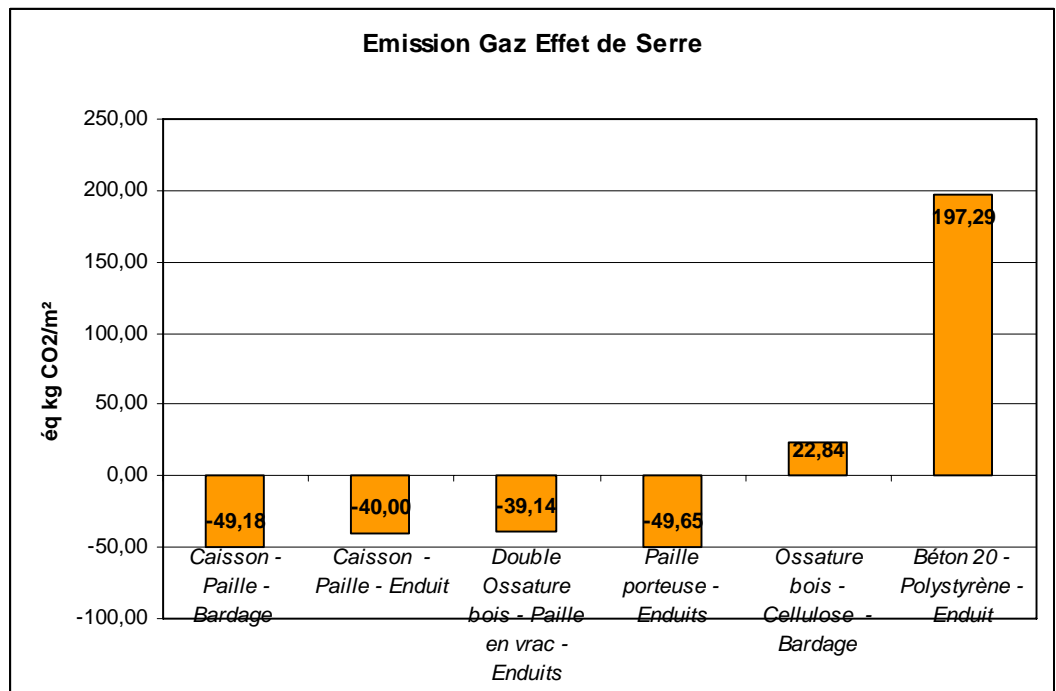


Le comparatif d'énergie grise (énergie incorporée pour la fabrication, l'entretien et l'élimination), entre les différents murs paille montre:

- les différences entre les différents murs où la paille est utilisée comme remplissage isolant varie de 105 à 115 kWh/m², soit des valeurs très proches
- le mur en paille porteuse obtient une valeur plus faible d'environ 20% de par la réduction des quantités de bois d'ossature
- le mur caisson bardage bois est un peu meilleur que le mur enduits, montant que l'enduit a un impact un petit peu plus élevé en énergie grise.

Nous voyons que les murs paille ont toujours un bilan plus positif, de 15 à 25 %, que le mur cellulose, qui reste pourtant l'isolant "industriel" le plus performant en terme environnemental.

Le mur béton polystyrène est lui bien plus énergivore puisque son bilan est plus de 5 fois celui des murs paille remplissage et plus de 6 fois et demie celui du mur paille porteuse et plus de 4 fois celui du mur cellulose.



En ce qui concerne le comparatif des indicateurs d'émission de gaz à effet de serre, nous voyons plus ou moins les mêmes différences relativement négligeables entre murs paille. Le bilan du mur paille porteuse s'approche davantage des autres murs paille, son avantage n'étant pas aussi manifeste que pour l'énergie grise.

Nous voyons par contre clairement que tous les murs paille ont des bilans équivalent CO<sub>2</sub> négatif, illustrant ainsi leur capacité à stocker du CO<sub>2</sub>, alors que les autres murs, même cellulose ont un bilan positif.

Même si les émissions du mur cellulose sont faible, elles sont tout de même 3 fois plus importantes que les murs paille.

Les émissions du mur béton sont elles très nettement plus élevées, puisque près de 10 fois celles du mur cellulose.

L'effet "stock carbone" des murs paille est donc particulièrement remarquable.

## 4 Conclusions sur les avantages du secteur et modalités de renforcements

Les différents éléments qui précèdent permettent de tirer de premières conclusions du secteur, à la fois par comparaison de la situation française avec celle d'autres pays, notamment la construction en paille en Suisse qui a fait l'objet d'un voyage d'étude.

Les aspects réglementaires sont la différence essentielle qu'il y a entre la France et la Suisse où l'assurance de garantie décennale n'existe pas. Sans trop entrer dans les détails notons simplement que la responsabilité des "constructeurs" (architectes, ingénierie, entreprises) n'est pas tributaire d'un avis extérieur donné par une instance technique, des assureurs ou autres, mais directement dépendante de leur propre appréciation.

La conséquence principale est que les choix techniques ne sont donc pas dictés par la conformité à telle ou telle norme, mais simplement aux choix délibérés et mesurés des professionnels. C'est, à notre avis, ce qui peut expliquer que la construction en paille porteuse soit la technique la plus répandue dans les projets récents réalisés en Suisse, puisque ne nécessitant pas de justification particulière.

En France la technique la plus utilisée est indéniablement l'utilisation de la paille comme remplissage d'une structure porteuse généralement réalisée en ossature bois. Le gros avantage de ces systèmes est que les obligations réglementaires de stabilité, même en zones sismiques, sont assurées par l'ossature bois. Démontrer la stabilité structurelle avec de la paille porteuse est plus compliquée et nécessite des calculs spécifiques plutôt qu'un simple renvoi aux normes (DTU). Mentionnons tout de même que la paille assure à elle seule une bonne partie des exigences réglementaires, notamment thermique et acoustique, et partiellement la résistance au feu selon les types de revêtements appliqués.

On peut donc conclure que les exigences prévalant en France jouent un rôle non négligeable dans le choix et la diffusion des techniques les plus répandues.

Comme nous avons vu dans la synthèse que la question de l'association paille ossature posait de nombreuses difficultés: gestion des interfaces, cubage de bois et incidences financières, il semble intéressant de considérer que les perspectives de la construction en paille passent forcément:

- par **une réflexion sur les techniques et systèmes constructifs**, notamment:
  - o les techniques d'utilisation de paille broyée en remplissage en vrac
  - o et surtout à la paille porteuse ou auto-porteuse
- par un soutien aux **travaux normatifs** et une présence dans les **instances réglementaires** pour faciliter l'émergence de la construction en paille porteuse, ce qui suppose des travaux sur les questions de stabilité, mais également sur la résistance au feu (cf essais Lepire avec appui du PRIDES) ou les migrations humides.

En ce qui concerne le développement de la construction en paille dans les secteurs professionnels du bâtiment (charpente, maçonnerie, façades, etc.), les travaux sur les techniques et la normalisation y contribueront mais il faut aussi, comme pour toutes techniques nouvelles, associer et soutenir les **actions de sensibilisation et de formation**.

L'enquête sur la diffusion de la construction en paille en région PACA a bien montré que Le Gabion, en tant qu'organisme de formation, y avait joué un rôle déterminant n'ayant pas d'équivalent au niveau national. La formation est destinée à la fois aux professionnels, mais aussi aux auto-constructeurs.

Cela a permis de montrer que contrairement à une idée souvent répandue il n'y a pas antagonisme entre les deux secteurs mais au contraire complémentarité. En effet l'inventaire a permis de montrer que nombre d'auto-constructeurs s'étaient ensuite constitués en entreprise de construction professionnelle après ou pendant la construction de leur propres maisons. Il a montré aussi que les auto-constructeurs avaient moins de contraintes, et qu'étant eux-mêmes leur propre commanditaire ils pouvaient plus facilement expérimenter et innover, apportant ainsi des bases d'expérience souvent très utiles pour les professionnels. N'oublions pas qu'il y a encore sept ou huit ans la construction paille en France était encore confidentielle et réalisée quasiment exclusivement en auto-construction complète ou partielle.

Les voyages d'étude organisés et la mise en réseau réalisés dans le cadre des actions de ce programme ont bien confirmés que **la professionnalisation du secteur n'est pas contre, ni antinomique avec le secteur de l'auto-construction**, mais qu'au contraire la mise en évidence des complémentarités et des échanges était profitable pour tous.

# ANNEXES



## Annexe 1: Fiches détaillées des projets étudiés

### BATIMENT - Bergerie de Berdine

Nom d'opération: Construction d'un bâtiment d'hébergement Surface (Shab ou SHON): SHON 591 m<sup>2</sup>  
Destination: Logement individuel  Coût travaux: 836 000,00€HT  
Logement collectif  Coût lot incluant la paille : 298 000,00 €HT  
Agricole  Surfaces ou volumes des parties paille : 700,00m<sup>2</sup> de façades  
Industriel   
Autre: à caractère social

### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: Association de la Bergerie de Berdine loi 1901 à Saint-Martin-de-Castillon 84750 œuvrant sur la ré-insertion et la restructuration de personnes désocialisée, déstructurées et désœuvrées.

Maîtrise d'œuvre (architecte & BET) : Atelier Ostraka, Robion 84 + Renault & Brot (béton armé), Pierrevert 04 + E. Tech. Bois, Sisteron 04 + SOL.A.I.R. (thermique, fluides), Aix-en-Provence 13 + EPC (économiste), Les Taillades 84

BET Spécialisé paille: E. Tech. Bois

Autres intervenants (contrôleur technique, SPS, AMO, ...): BC Sud Est Prévention, Entraigues sur la Sorgue 84, Thierry Cabirol réseaux de chaleur, Salon de Provence 13

### ENTREPRISES:

Entreprise en charge mise en œuvre de la paille: Résidents de la Bergerie de Berdine sous l'encadrement du Charpentier.

Pour chaque lot entreprises:

Lot 01 : Terrassement, VRD, Gros-Oeuvre : SA PINGUET, Gargas 84, 18 km/0h23

Lot 02 : Construction bois, Couverture, Etanchéité : C-CUBE, Ste-Croix-à-Lauze 04, 16 km/0h22

Lot 03a : Menuiseries extérieures aluminium : SMAB, Les Taillades 84, 46km/0h55

Lot 03b : Menuiseries intérieures bois : FAUCHERON et Fils, Apt 84, 16km/0h22

Lot 04 : Serrurerie : DELAN, Saint-Martin de Castillon 84, 2km/0h03

Lot 05 : Doublages/Cloisons/Faux plafonds : DBI +, Cavaillon 84, 52km/1h00

Lot 06 : Revêtements de sol/Faïences : ART DES SOLS, Le Thor 84, 57km,1h05

Lot 07 : Peinture : G.A. PEINTURE, Pernes les Fontaines 84, 65km/1h11

Lot 08 : Plomberie sanitaire : DAILLANT, Avignon 84, 98km/1h19

Lot 09 : Chauffage/Ventilation : DAILLANT, Avignon 84, 98km/1h19

Lot 10 : Electricité courant fort/faible : SA ETE, Isles sur la Sorgue 84, 45km/0h49

Si auto construction, préciser pour quel(s) lot(s): Fourniture et pose de la paille et complément en fibre de bois dans les murs et du chanvre défibré/chenevotte dans les combles.

### REALISATION

Dates des études (début-fin) : Juin 2008 – Avril 2010

Dates chantier (début-fin): Juillet 2010 – Estimé Octobre 2011

Dates réalisation lot paille (début-fin): Estimé Avril-Mai 2011

### Principes architecturaux :

- Implantations & orientations (rapport au contexte, paysage, apports solaires, ...), volumétrie, organisation des espaces,

Bâtiment constitué de 3 volumes articulés autour d'un espace de vie commune prolongé d'un patio à l'ouest et d'une terrasse au sud. Implanté en continuité d'un hameau majoritairement en pierre aux ruelles étroites et aux enchevêtrements de volumes multiples. Les orientations et les hauteurs de bâtis existants ont guidé la proposition d'une architecture simple, d'expression familière au site et à ses occupants.

Misant sur un apport solaire réel, les trois volumes ont une orientation sud pour les chambres des résidents sur deux niveaux et sud-est sur un niveau pour les chambres du volume destiné aux personnes de santé fragiles. Le troisième volume également sur deux niveaux situé au nord du patio présente également une façade sud sur patio.

L'ensemble des pièces habitées restent connecté au paysage véritable maître des lieux.

Le règlement de l'association imposant certains fonctionnements, ce bâtiment s'articule autour d'un espace commun réduit qui connecte les volumes entre eux et pour compenser sa taille se prolonge sur un patio de surface équivalente et sur une terrasse ouverte sur le grand paysage.

### Principes constructifs :

- structure: Ossature bois 145x40 + panneaux contreventant DWD Agepan. Quelques points porteurs ponctuels.

- enveloppe et principe isolation: Composition de paroi complexe pour répondre aux exigences du maître d'ouvrage qui seront peut être précisées plus loin, de l'intérieur vers l'extérieur  
Carreaux briques enduits à la chaux + frein vapeur + bottes de paille verticales dans ossature bois + panneaux DWD Agepan + panneau fibralith + enduits trois passes à la chaux
- Technique paille utilisée: (ossature, GREB, caissons, paille porteuse, ...):  
Petites bottes de pailles (densité 115-120 kg/m<sup>3</sup>) posées verticalement entre montants de l'OB
- Vitrages et protections solaires et thermiques  
Menuiseries aluminium à rupture de pont thermique  $U_w=1,8/m^2.K$   
Protection solaire des menuiseries des chambres par volets bois  $U_j/n=1,6W/m^2.K$  sur toutes les façades exceptés les sanitaires et salles de bain.  
Avancée de toitures sud et brises soleil horizontaux sur potences pour les menuiseries du rez-de-chaussée du bâtiment en R+1.
- ponts thermiques (fondation, dallage, structure, plancher, menuiserie, charpente, ...):  
Bâtiment sur vide sanitaire
  - . Fondations = pas de dispositif
  - . Plancher = poutrelles hourdis isolants polystyrène 4+16+5, up 0,27 à rupture de pont thermiques sous poutrelles.
  - . Bottes posées au niveau de la dalle + 8 cm de liège sous bottes en prolongement des lisses d'implantation + 5 cm ravoilage + 8 cm de liège sous plancher chauffant.
  - . Structure OB = Bottes de paille feuillurées en fonction des montants.
  - . Plancher étage = Fibre de bois. A vérifier bottes coupées.
  - . Menuiseries = Alu à rupture de ponts thermiques  $U_w=1,8/m^2.K$  posées en appliques sur compriband à l'arrière de l'OB dans l'épaisseur de la botte.
  - . Charpente : Située dans combles ventilées. Planchers des combles isolés avec 33 cm de chanvre en vrac.
- Gestion étanchéité à l'air: cf détails constructifs spécifiques avec ossature, menuiserie, ..., contrôle du chantier, formations prévues, utilisation produits spécifiques, etc.  
Attention particulière sur la continuité du frein vapeur et les jonctions entre éléments.  
Charpentier, menuisier alu, électricien au courant de la technique. Doubleur, plombier, menuisier bois brifés et sur-brifés bientôt. L'ensemble des percements se fait sous contrôle du charpentier après localisation selon plans ou avec archi sur place.  
Test d'étanchéité prévus à l'avancement du chantier pour aide à la réalisation avant le test final. Commande non encore validée par le maître d'ouvrage. Pas de formation spécifiques prévues. Le charpentier et le menuisier alu ont suivi une formation et sont demandeurs de détails poussés.  
Les produits spécifiques... Il est demandé de prévoir les éléments adaptés pour les passages de gaines ou tuyaux et de signaler et de recoller tout désordre sur le frein vapeur.

## Aspects thermiques et énergétiques

- Systèmes énergétiques, équipements & réseaux: chauffage, ventilation, ECS, éclairage, électricité, énergies renouvelables,
  - . Energies en présence sur site : Un relevé bio-sensible a été fait sur site. Identification de veines d'eau et de failles sous le bâtiment qui ont permis le positionnement des installations électrique notamment le TGBT et la localisation de la prise de terre à l'extérieur du bâtiment.
  - . Chauffage : Apport solaire (15% de surface vitrée sud par rapport à la surface habitable correspondante).  
Chauffage par plancher chauffant. Source provenant de la chaudière à plaquettes 300 kW alimentant l'ensemble du hameau et située à moins de 70 ml de la sous station dans le local technique du bâtiment.
  - . Ventilation : simple flux hygroréglable.
  - . Eau chaude sanitaires produite par le ballon solaire avec appoint électrique. 8M<sup>2</sup> de capteur + ballon de 400 L.
  - . Eclairage : haute performance avec détection de présence dans certaines pièces.
  - . Electricité : Entre les tableautins des chambres (et salons) et les éclairages, interrupteurs et prises de courant, les câbles sont blindés et torsadés afin d'éviter les émissions électromagnétiques.
  - . Energies renouvelables : eau chaude sanitaire 8M<sup>2</sup> de capteur + ballon de 400 L et source de chauffage en plaquettes.
- Éclairage naturel
  - . Attention particulière sur ce point. La présence du patio central permet un apport lumineux naturel dans l'ensemble des circulations et les locaux secondaires tels sanitaires isolés, local technique... Les locaux principaux prennent leur lumière en façade sud pour la plus part.

- Consommations d'énergie : estimations & suivis
- . La puissance d'éclairage installée est de 6 à 8 W/m<sup>2</sup>
- . Mise en place de comptage spécifique à l'éclairage, à l'eau chaude sanitaire et au chauffage de ce bâtiment.
- Gestion et maintenance: information et responsabilisation usager, entretien, réparations
- . Gestion et maintenance limitée sur les installations (pas de double flux ni de systèmes complexes).
- . L'information et la reponsabilisation des résidents du hameau se fait depuis des années sur les gestes quotidiens d'éco-citoyens mais comme la population accueillie est constituée en grande partie de personnes desocialisées et déstabilisées qui peuvent quitter le hameau à tout moment, il y a une réelle difficulté de travail d'accompagnement sur le long terme.  
Cependant en ce qui concerne ce nouveau bâtiment destiné aux plus anciens de l'association et aux plus fragiles, l'utilisation de ce bâtiment (le fait de fermer les volets l'été et de surventiler la nuit) semble plus à la portée des futurs habitants.  
Il y a une personne chargé de la surveillance de l'entretien normal de la chaufferie du hameau qui prendra en charge les éléments de contrôle de ce nouveau bâtiment.  
Les réparations se feront par des intervenants extérieurs situés sur la commune ou sur la commune voisine.

### **Détails constructifs plus spécifiques aux éléments d'ouvrage en paille:**

- Fondations, soubassements (garde au sol, coupures capillaires, ...) :  
Fondation et plancher béton :
  - . Garde au sol : hauteur de sol remblayé prévu à de 25- 30 cm sous lisse basse.
  - . Coupure de capillarité sous la lisse d'implantation à prolonger sous le liège derrière la double lisses basse en assise de la première botte de paille.
- Isolation et continuité thermique: coupure entre isolant enterré et paille, absence de vides entre les bottes ou entre bottes et ossature, etc
  - . Bande métal de protection sur DWD lorsque le revêtement de sol extérieur aménagé doit s'aligner en altitude au niveau intérieur.
  - . Absence de vide entre bottes : blocage par liteaux fins pour la fixation des bottes le temps du chantier avant la réalisation des doublage en carreaux briques. Complément d'isolation en fibre de bois ou paille suivant la largeur.
  - . Entre bottes et ossature : Feuillurage des bottes sur un coté. Mise en place d'une table-atelier de feuillurage et de refente de bottes en série par le charpentier. Complément d'isolation en fibre de bois ou paille suivant la largeur.
- Protection des parois paille: dispositions retenues à l'extérieure et à l'intérieur (enduits, panneau, écran, bardage, ...)
  - . De l'intérieur vers l'extérieur  
Carreaux briques 50 mm creux enduits à la chaux + frein vapeur + bottes de paille verticales dans ossature bois maintenues par liteaux + panneaux DWD Agepan + panneau fibralith + enduits trois passes à la chaux hydraulique St Astier.
  - . Une façade du patio sera doublée de brique de terre compressée uniquement pour l'esthétique à la demande du maître d'ouvrage (fondation prévue à cet effet).
- Mode de maintien des bottes (liteaux, compression, ...) :
  - . Technique du liteaux plus simple pour la pose en autoconstruction concernant la pose de la paille.
  - . Une autre technique était envisagée par l'application devant les bottes de tasseaux de maintien vissés à travers la feuillure dans les montants. Cela permettait d'avoir des éléments plans pour la fixation du frein vapeur en plusieurs point.
  - . Dans la technique des liteaux sur bottes, le frein vapeur sera maintenu tendu sur la hauteur de sol au plancher haut sans fixations intermédiaires multiples (à vérifier la pertinence lors de la réalisation).
- Gestion des menuiseries (interfaces tableaux, appuis, linteaux, seuils: bavettes, etc.)
- Interfaces divers (paille structure/ossature, pénétrations fluides, fixations d'éléments variés,...)
- Utilisation de paille en éléments de planchers ou de couvertures: description, dimensions, protection à l'eau et risques de condensation, ...)

### **Matériaux et approvisionnements :**

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur

- . 360 petites bottes de paille de blé de l'association de la Bergerie de Berdine produites dans un rayon de 5 kms autour du hameau. Dimensions 47x36x108 poids 22 kg environ – densité : 120 kg/m<sup>3</sup>
- . 1 200 petites bottes de paille de blé d'un agriculteur de Cereste situé à 13 km. Dimensions 47x36x105 poids 20 kg environ – densité : 113 kg/m<sup>3</sup>. Cet agriculteur pourrait être intéressé à fournir de futurs projets.
- Raison du choix (proximité, réputation, essais qualité: masse volumique – régularité dimensionnelle, humidité...)
- . Première raison du choix de la botte de paille comme isolation : Le maître d'ouvrage souhaitait un bâtiment écologique économe (préférence pour la brique monomur).
- Deuxième raison : Les résidents de l'association de la Bergerie de Berdine ont toujours participé à la construction et l'entretien du patrimoine de l'association. Ces personnes en grandes difficultés se reconstruisent par l'acte de bâtir, par le fait de laisser des traces de leur passage non seulement dans le cadre de l'association mais d'avoir été utiles à une action. Il a s'agit donc de trouver le moyen de les faire intervenir dans la construction de ce bâtiment d'hébergement. Plusieurs équipes de binôme prépareront les bottes de pailles et la poseront sous la formation et l'encadrement du charpentier et de l'atelier Ostraka.
- . Proximité : Oui. Dans un rayon de 5 kms fournies directement par l'association de la Bergerie de Berdine et un complément de bottes chez un agriculteur situé à 13 km.
- . Masse volumique entre 113 et 120 kg/m<sup>3</sup>
- . Régularité dimensionnelle fiable. Deux botteleuses ont fourni les bottes.
- . Récolte de l'été 2009 et 2010 stockée dans un hangar à l'abri des intempéries. Taux d'humidité non testée encore.
- Contrôles réalisés avant et pendant la mise en œuvre (nature du contrôle, matériel utilisé et fréquence)
- . Feuillurage, refente réalisés sur un échantillon varié de bottes avec aperçu de l'intérieur et de l'état de la paille. Toutes les bottes seront feuillurées et ainsi dévoileront une part de l'intérieur de la botte. Test d'humidité des bottes sera faite sur place.

#### AUTRES MATERIAUX:

- Nature, exigences, choix, provenance,
- . En isolation

#### **Mise en œuvre et gestion du chantier global :**

- consultation et sélection entreprises
- Préparation du chantier et détails
- Compétences savoir-faire des entreprises, de l'auto-constructeur et formations
- Le chantier : caractéristiques, problèmes rencontrés, solutions

#### **Mise en œuvre et gestion de la partie paille:**

- consultation et sélection entreprises
- Préparation du chantier et détails
- Compétences savoir-faire des entreprises, de l'auto-constructeur et éventuelles formations
- Le chantier : caractéristiques, problèmes rencontrés, solutions

#### **Bilan quantitatif partie paille**

- estimation temps de mise en œuvre de la partie paille (global ou détaillée: structure isolation, revêtements int, ext, interfaces, ...) ou ramené au m<sup>2</sup> de mur, plancher, couverture, ...
- estimation des coûts de mur, plancher, couverture, ... (approvisionnements, mise en œuvre, finitions, ...) ou ramené au m<sup>2</sup>

- indication pour bilan environnemental: distances approvisionnements et transports, outillage mécanique ou électrique utilisé, ...

**Analyse:**

- Pourquoi avoir utilisé cette technique (raison économique, mise en œuvre, thermique, esthétique, ...)
- Avantages sur d'autres techniques déjà employées en faisant ressortir **les points positifs**
- Les objectifs qualitatifs initiaux, ont-ils été remplis, voire dépassés
- Problèmes particuliers (détails constructifs, temps de mise en œuvre, coût, compétence, assurances, ...)
- Solutions trouvées

**Conseils et suggestions**

- Améliorations de la technique que cette expérience aurait suggérée.
- Autres solutions et autres expériences réalisées

## BATIMENT - Salle polyvalente de MAZAN

Nom d'opération: **Salle polyvalente de MAZAN 84**

Destination: Logement individuel

Logement collectif

Agricole

Industriel

Autre: **Culturel.**

Surface (Shab ou SHON): ... ..

Coût travaux: ... ..1,2 M€ HT.....

Coût lot incluant la paille: **69 K€ HT**

Surfaces ou volumes des parties paille: enveloppe

enveloppe verticale **880.....m<sup>2</sup>**

enveloppe horizontale .....m<sup>2</sup>

## INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: ... **VILLE DE MAZAN...**

Maîtrise d'œuvre (architecte & BET) : **DESO ASSOCIES, BET Economie, Fluide, Fond., Structure béton CABINET MT, Acousticien ALTIA**

BET Spécialisé paille: **Gaujard Tehcnologie**

Autres intervenants (contrôleur technique, SPS, AMO, ...): **BCT Alpes Contrôles, SPS Poly FR Coordination AMO**

**Communauté d'agglomération Ventoux-Comtat Venaissin**

ENTREPRISES:

Entreprise en charge mise en œuvre de la paille:

Pour chaque lot entreprises: .....

Si auto construction, préciser pour quel(s) lot(s): .....

## REALISATION

Dates des études (début-fin) : 2009 - 2010.....

Dates chantier (début-fin): .....2010-2011 ?.....

Dates réalisation lot paille (début-fin): .....?????.....

## Principes architecturaux :

- Implantations & orientations (rapport au contexte, paysage, apports solaires, ...), volumétrie, organisation des espaces,

Boîte paille caisson int et enduit plâtre ext + double peaux avec bardage bois ajouré

## Principes constructifs :

- structure: primaire bois autostable et ossature secondaire bois –poutres et montants secondaire bois avec coupure pont thermique
- enveloppe et principe isolation: paille en caisson fermé par voligeage bois et frein vapeur côté int et enduit plâtre en 2 couches côté ext
- Technique paille utilisée: (ossature, GREB, caissons, paille porteuse, ...): caisson et paille enduite
- Vitrages et protections solaires et thermiques la quasi totalité les murs enduits de plâtre sont protégés des intempéries, soit par une dépassée de toiture conséquente au niveau du bâtiment d'accueil, soit par la vêtue de cèdre au niveau de la salle de spectacle, les détails de rive de toiture sont conçus pour empêcher le ruissellement des eaux pluviales sur les façades
- ponts thermiques (fondation, dallage, structure, plancher, menuiserie, charpente, ...): continuité paille en isolation verticale et horizontale et isolation PSE en soubassement – mais pas isolation sous dalle
- Gestion étanchéité à l'air: cf détails constructifs spécifiques avec ossature, menuiserie, ..., contrôle du chantier, formations prévues, utilisation produits spécifiques, etc.

## Aspects thermiques et énergétiques

- Systèmes énergétiques, équipements & réseaux: chauffage, ventilation, ECS, éclairage, électricité, énergies renouvelables,
- Éclairage naturel
- Consommations d'énergie : estimations & suivis

- Gestion et maintenance: information et responsabilisation usager, entretien, réparations

#### **Détails constructifs plus spécifiques aux éléments d'ouvrage en paille:**

- Fondations, soubassements (garde au sol, coupures capillaires, ...) : béton
- Isolation et continuité thermique: coupure entre isolant enterré et paille, absence de vides entre les bottes ou entre bottes et ossature, etc: barrière capillaire sous lisse basse
- Protection des parois paille: dispositions retenues à l'extérieure et à l'intérieur (enduits, panneau, écran, bardage, ...): enduits ext et voliges en parement int fini ?
- Mode de maintien des bottes (liteaux, compression, ...) : caissons
- Gestion des menuiseries (interfaces tableaux, appuis, linteaux, seuils: bavettes, etc.) fixation contre montants, poutrelles béton – entre caissons pour éviter fissuration: Feutre géotextile non calendré + lattis métallique type nergalto ng1
- Interfaces divers (paille structure/ossature, pénétrations fluides, fixations d'éléments variés,...): peu d'interfaces
- Utilisation de paille en éléments de planchers ou de couvertures: description, dimensions, protection à l'eau et risques de condensation, ...): idem en caisson avec membrane étanchéité polyoléfine sur voliges

#### **Matériaux et approvisionnements :**

##### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur
- Raison du choix (proximité, réputation, essais qualité: masse volumique – régularité dimensionnelle, humidité...)
- Contrôles réalisés avant et pendant la mise en œuvre (nature du contrôle, matériel utilisé et fréquence)

##### AUTRES MATERIAUX:

- Nature, exigences, choix, provenance, bois du Ventoux (350 m3), pas de panneaux mais utilisation de voliges avec rainures languettes pour maximiser ressources locales  
Plâtre de la carrière sur place de Lafarge pour le renformis et en ext plâtre Vieujot (région parisienne)

#### **Mise en œuvre et gestion du chantier global:**

- consultation et sélection entreprises
- Préparation du chantier et détails limites prestations décrites très soigneusement, renvois aux règles professionnelles construction paille, attention attirée sur exigences étanchéité (air & eau), notice spécifique paille pour le contrôleur technique
- Compétences savoir-faire des entreprises, de l'auto-constructeur et formations
- Le chantier : caractéristiques, problèmes rencontrés, solutions

#### **Mise en œuvre et gestion de la partie paille:**

- consultation et sélection entreprises
- Préparation du chantier et détails
- Compétences savoir-faire des entreprises, de l'auto-constructeur et éventuelles formations

- Le chantier : caractéristiques, problèmes rencontrés, solutions

### **Bilan quantitatif partie paille**

- estimation temps de mise en œuvre de la partie paille (global ou détaillée: structure isolation, revêtements int, ext, interfaces, ...) ou ramené au m<sup>2</sup> de mur, plancher, couverture, ...
- estimation des coûts de mur, plancher, couverture, ... (approvisionnements, mise en œuvre, finitions, ...) ou ramené au m<sup>2</sup>
- indication pour bilan environnemental: distances approvisionnements et transports, outillage mécanique ou électrique utilisé, ...

### **Analyse:**

- Pourquoi avoir utilisé cette technique (raison économique, mise en œuvre, thermique, esthétique, ...)  
Lors du concours seulement bois local et en APS choix enduit plâtre car local en préférant la paille plutôt que le fibralith – pas de demande d'exigence thermique particulièrement élevée, critère principal les ressources locales (paille, ocres de roussillon, bois du ventoux: Bédouin, Beaumont de Ventoux – des essences replantées pour le reboisement fin du XIXe .  
Les grumes seront réceptionnés visuellement par BET Bois suite à formation à l'abattage et à la sélection.  
Les scieurs envisagés le sont pour leur capacité à scier, sécher, raboter, usiner et traiter (oléothermie en classe 2 et anti termite pour éviter la multiplication des transports) il s'agit de: Provedi dans Ht Beaujolais, Blanc à Romans, Coulon à Nice.

- Avantages sur d'autres techniques déjà employées en faisant ressortir **les points positifs**
- Les objectifs qualitatifs initiaux, ont-ils été remplis, voire dépassés
- Problèmes particuliers (détails constructifs, temps de mise en œuvre, coût, compétence, assurances, ...)
- Solutions trouvées

### **Conseils et suggestions**

- Améliorations de la technique que cette expérience aurait suggérée.
- Autres solutions et autres expériences réalisées



## BATIMENT Belle de Mai

Nom d'opération: La Cartonnerie – Belle de Mai (13)

Destination: Logement individuel

Logement collectif

Agricole

Industriel

Autre: **Équipement culturel**

Surface : **2798 m2 SHON**

Coût travaux: **396 961€HT**

Coût lot incluant la paille: **162 834€HT**

Surfaces ou volumes des parties paille: **395 m<sup>2</sup> de façade**

## INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: ... **SFT – SYSTEME FRICHE THEATRE**

Maîtrise d'œuvre (architecte & BET) :

**ARM ARCHITECTURE Selarl Poitevin & Reynaud**

BET Spécialisé paille:

**Gaujard Tehcnologie scop**

Autres intervenants (contrôleur technique, SPS, AMO):

**AMO: DoMEne Gabrielle Reynal**

**Bureau de Contrôle : VERITAS**

**SPS : VERITAS**

## ENTREPRISES:

Entreprise en charge mise en œuvre de la paille:

**Les Toitures Montiliennes (26).....**

Pour chaque lot entreprises: **Menuiseries ext métal : Miroiterie St Antoine – SUD-SIDE**

**Electricité : CEGELEC**

**Gros Œuvre : RP-Entreprise**

Si auto construction, préciser pour quel(s) lot(s): .....

## REALISATION

Dates des études (début-fin) : ...**avril – juin 2010**.....

Dates chantier (début-fin): .....**juillet – août 2010**.....

Dates réalisation lot paille (début-fin): ...**juin – août 2010**.....

## Principes architecturaux :

- Implantations & orientations (rapport au contexte, paysage, apports solaires, ...), volumétrie, organisation des espaces,

**Remplacement d'une façade en polycarbonate trop isolée phoniquement pour préserver le voisinage des nuisances sonores**

## Principes constructifs :

- structure: **paille, en applique devant charpente métallique**
- enveloppe et principe isolation: ...**caisson paille 37 cm**
- Technique paille utilisée: (ossature, GREB, caissons, paille porteuse, ...): **caisson**
- Gestion étanchéité à l'air : **OSB avec pontage des joints de panneaux + Fermacell**

## Aspects thermiques et énergétiques

- Systèmes énergétiques, équipements & réseaux: chauffage, ventilation, ECS, éclairage, électricité, énergies renouvelables,
- Éclairage naturel
- Consommations d'énergie : estimations & suivis
- Gestion et maintenance: information et responsabilisation usager, entretien, réparations

## Détails constructifs plus spécifiques aux éléments d'ouvrage en paille:

- Protection des parois paille: dispositions retenues à l'extérieure et à l'intérieur (enduits, panneau, écran, bardage, ...) **Fermacell int + bardage métal ext**
- Mode de maintien des bottes (liteaux, compression, ...) : **caisson**

- Gestion des menuiseries (interfaces tableaux, appuis, linteaux, seuils: bavettes, etc.)

## Matériaux et approvisionnements :

### PAILLE

- Provenance:  
**Plaine de Crau**
- Raison du choix :
- **proximité, qualité: masse volumique et régularité dimensionnelle**
- Contrôles réalisés avant et pendant la mise en œuvre (nature du contrôle, matériel utilisé et fréquence)

### **Contrôle d'humidité lors de la mise en œuvre**

### AUTRES MATERIAUX:

- Nature, exigences, choix, provenance, **fibre de bois Aktis Ariège / épicéa France**

### **Mise en œuvre et gestion du chantier:**

- consultation et sélection entreprises **marché direct**
- Préparation du chantier et détails **courte**
- Compétences savoir-faire des entreprises, de l'auto-constructeur et formations; **1<sup>er</sup> chantier mais charpentiers pros**
- Le chantier : caractéristiques, problèmes rencontrés, solutions **trop de paille commandée**

### **Bilan quantitatif partie paille**

- estimation temps de mise en œuvre de la partie paille (global ou détaillée: structure isolation, revêtements int, ext, interfaces, ...) ou ramené au m<sup>2</sup> de mur, plancher, couverture, ...
- estimation des coûts de mur, plancher, couverture, ... (approvisionnement, mise en œuvre, finitions, ...) ou ramené au m<sup>2</sup> **Total 395 m<sup>2</sup> de parois**

### **Coûts:**

Caisson 147,30 €/m<sup>2</sup> (ossature + OSB 12 int + DWD ext + paille)

Fermacell 20,35€ + Parepluie 8,34€ + bardage mélèze 73€ - **TOT env 250 €/m<sup>2</sup> OU 207 €/m<sup>2</sup> sans bardage**

- indication pour bilan environnemental: distances approvisionnements et transports, outillage mécanique ou électrique utilisé, ... **acoustique essais: attendu 69 dB à l'extérieur à 2m de la façade / mesuré 61 dB à 6 m !**

### **Analyse:**

- Pourquoi avoir utilisé cette technique (raison économique, mise en œuvre, thermique, esthétique, ...)  
**Thermique + acoustique + préfabrication**
- Avantages sur d'autres techniques déjà employées en faisant ressortir **les points positifs**
- Les objectifs qualitatifs initiaux, ont-ils été remplis, voire dépassés
- Problèmes particuliers (détails constructifs, temps de mise en œuvre, coût, compétence, assurances, ...)  
**Étanchéité des menuiseries pour acoustique**
- Solutions trouvées

### **Conseils et suggestions**

- Améliorations de la technique que cette expérience aurait suggérée.
- Autres solutions et autres expériences réalisées

## Maison Bruxer Les emeyeres

### DATE:

### BATIMENT

Nom d'opération: Les emeyeres  
Destination: Logement individuel X  
Logement collectif   
Agricole   
Industriel   
Autre: .....

Surface (Shab ou SHON): 150 m<sup>2</sup>  
Coût travaux: 165.000 euros  
Coût lot incluant la paille: 12.000 euros (1/3 MO)  
Surfaces ou volumes des parties paille: 391 m<sup>2</sup> / 116 m<sup>3</sup>

### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: Rodolphe Bruxer  
Maîtrise d'œuvre (architecte & BET) : Rodolphe Bruxer (Ekodome)  
BET Spécialisé paille : Rodolphe Bruxer (Ekodome)  
Autres intervenants (contrôleur technique, SPS, AMO, ...):

### ENTREPRISES:

Entreprise en charge mise en œuvre de la paille:  
Rodolphe Bruxer (Ekodome)  
Pour chaque lot entreprises: .....

Si auto construction, préciser pour quel(s) lot(s): Tous les lots

### REALISATION

Dates des études (début-fin) : janvier 2011  
Dates chantier (début-fin): mai 2011 - août 2012  
Dates réalisation lot paille (début-fin): octobre 2011 - novembre 2011

### Principes architecturaux :

- Implantations & orientations (rapport au contexte, paysage, apports solaires, ...), volumétrie, organisation des espaces,  
*Orientation principale 9° SSO, avec un léger déficit solaire au SO en raison du relief, et une protection naturelle à l'Ouest grâce au relief. Le volume est compact 10m x 8m x 6m. L'organisation des espaces est orientée autour d'un grand espace de vie au Sud. Tous les espaces ne nécessitant pas de température de confort sont placés hors volume chauffé (chaufferie, cellier)*

### Principes constructifs :

- structure:  
*Double ossature bois permettant de supprimer les ponts thermiques structurels.*
- enveloppe et principe isolation: ...  
*Isolation en paille de lavande broyée du plancher bas jusqu'à la toiture. Remplissage en vrac dans des caissons OSB intérieur et panneaux pare-pluie à l'extérieur.*
- Technique paille utilisée: (ossature, GREB, caissons, paille porteuse, ...):  
*Caissons remplis de paille de lavande broyée en brins de quelques cms*
- Vitrages et protections solaires et thermiques  
*Triple vitrage sur l'ensemble des châssis et protections solaires au Sud grâce à une dépassée de toiture pour l'étage et un auvent pour le RDC*
- ponts thermiques (fondation, dallage, structure, plancher, menuiserie, charpente, ...):  
*Très peu de ponts thermiques grâce au principe de double ossature*
- Gestion étanchéité à l'air: cf détails constructifs spécifiques avec ossature, menuiserie, ..., contrôle du chantier, formations prévues, utilisation produits spécifiques, etc.  
*Etanchéité à l'air réalisée au niveau des panneaux intérieur et extérieur formant les caissons à l'aide d'adhésifs spécifiques. Test préliminaire d'étanchéité à l'air donnant des valeurs de Q<sub>4</sub> entre 0,22 et 0,25*

## Aspects thermiques et énergétiques

- Systèmes énergétiques, équipements & réseaux: chauffage, ventilation, ECS, éclairage, électricité, énergies renouvelables,  
*Besoins de chauffage estimés entre 1100 et 1300 kWh par an, soit entre 7 et 9 kWh / m<sup>2</sup> / an. Ventilation double flux. CESI, éclairage basse consommation, électricité blindée.*
- Consommations d'énergie : estimations & suivis  
*Système de suivi en cours d'élaboration*

### Détails constructifs plus spécifiques aux éléments d'ouvrage en paille:

- Fondations, soubassements (garde au sol, coupures capillaires, ...) :  
*Fondations BA semelle filante, coupure capillaire entre béton et lisse basse en bois*
- Isolation et continuité thermique: coupure entre isolant enterré et paille, absence de vides entre les bottes ou entre bottes et ossature, etc  
*Le volume chauffé est indépendant du soubassement qui est isolé par une épaisseur de liège de 4cm. Absence de vide dans la paille en raison du principe constructif de caissons remplis en paille broyée.*
- Protection des parois paille: dispositions retenues à l'extérieure et à l'intérieur (enduits, panneau, écran, bardage, ...)  
*La paille est contenue dans des caissons réalisés avec des panneaux de 16mm pare-pluie, et qui seront recouverts d'un enduit chaux ou plâtre. Les panneaux OSB intérieurs constituent un frein vapeur efficace avec un Sd entre 2 et 3m.*
- Gestion des menuiseries (interfaces tableaux, appuis, linteaux, seuils: bavettes, etc.)  
*Les menuiseries extérieures sont posées en applique intérieure sur l'ossature extérieure et en tunnel vis à vis de l'ossature intérieure. L'étanchéité à l'air a pu être réalisée à trois niveaux différents sur tout le périmètre des menuiseries.*
- Interfaces divers (paille structure/ossature, pénétrations fluides, fixations d'éléments variés,...)  
*La pénétration des réseaux a été concentrée en 3 points de l'enveloppe. Une contre cloison en Fermacell sur l'ensemble de l'enveloppe permet de passer l'ensemble des réseaux électricité et plomberie*
- Utilisation de paille en éléments de planchers ou de couvertures: description, dimensions, protection à l'eau et risques de condensation, ...)

## Composition Plancher RDC

plancher RDC	épaisseur e	Densité surfaccique	conductivité λ	résistance th. R	déperdition s U
EXT	[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[W/m.K]	[m <sup>2</sup> .K/W]	[W/m <sup>2</sup> .K]
1/h <sub>e</sub> + 1/h <sub>i</sub>				0,34	
Fermacell	1,3	15,0	0,320	0,04	
Paille de lavande	26,5	29,0	0,055	4,82	
OSB	1,5	9,0	0,130	0,12	
béton	11	253,0	1,750	0,06	
INT					
total	40,25	306,0	-	5,38	0,186

## Composition plancher étage

plancher étage	épaisseur e	Densité surfaccique	conductivité λ	résistance th. R	déperdition s U
<i>EXT</i>	[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[W/m.K]	[m <sup>2</sup> .K/W]	[W/m <sup>2</sup> .K]
1/h <sub>e</sub> + 1/h <sub>i</sub>				0,34	
Fermacell	1,3	14,0	0,320	0,04	
Paille de lavande	15,0	32,0	0,055	2,73	
Vide air	17,0	0,0	0,267	0,64	
OSB	1,5	9,0	0,130	0,12	
<i>INT</i>		14,0			
total	<b>34,8</b>			<b>3,86</b>	<b>0,259</b>
		<b>69,0</b>			

## Composition murs extérieurs

paroi extérieure	épaisseur e	Densité surfaccique	conductivité λ	résistance th. R	déperdition s U
<i>EXT</i>	[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[W/m.K]	[m <sup>2</sup> .K/W]	[W/m <sup>2</sup> .K]
1/h <sub>e</sub> + 1/h <sub>i</sub>				0,17	
Enduit à la chaux	3,0	42,0	0,700	0,04	
Kronolux DFP	1,6	9,0	0,090	0,18	
Paille de lavande	29,0	32,0	0,055	5,27	
OSB	1,2	7,0	0,120	0,10	
Vide air	4,0	0,0	0,267	0,15	
Fermacell	1,3	14,0	0,320	0,04	
<i>INT</i>					
total	<b>40,1</b>	<b>104,0</b>		<b>5,95</b>	<b>0,168</b>

## Composition mur porteur

paroi extérieure	épaisseur e	Densité surfaccique	conductivité $\lambda$	résistance th. R	déperdition s U
<i>EXT</i>	[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[W/m.K]	[m <sup>2</sup> .K/W]	[W/m <sup>2</sup> .K]
1/h <sub>e</sub> + 1/h <sub>i</sub>				0,00	
Béton d'argile	22,0	374,0	1,050	0,21	
<i>INT</i>					
total	22,0	374,0		0,21	4,773

## Composition plafond rampant isolé

plafond ancien isolé	épaisseur e	Densité surfaccique	conductivité $\lambda$	résistance th. R	déperdition s U
<i>EXT</i>	[cm]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[W/m.K]	[m <sup>2</sup> .K/W]	[W/m <sup>2</sup> .K]
1/h <sub>e</sub> + 1/h <sub>i</sub>				0,18	
Toiture végétale	8,0	136,0	-		
OSB4	1,5	9,0	-		
Lame air ventilée	10,0	0,0	-		
Kronolux DFP	1,6	9,0	0,090	0,18	
Chenevotte	32,0	35,0	0,048	6,67	
OSB3	1,2	7,0	0,130	0,09	
Vide air	4,0	0,0	0,267	0,15	
Fermacell	1,3	15,0	0,320	0,04	
<i>INT</i>					
total	59,6	211,0		7,31	0,137

## Matériaux et approvisionnements :

### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur  
*Valensole, Producteur d'huile essentielle*
- Raison du choix (proximité, réputation, essais qualité: masse volumique – régularité dimensionnelle, humidité...)  
*Producteur sensibilisé à la construction écologique, motivé pour participer à cet essai grandeur nature. Paille de lavande biologique. Produit protégé de la récolte jusqu'à la mise en oeuvre.*
- Contrôles réalisés avant et pendant la mise en oeuvre (nature du contrôle, matériel utilisé et fréquence).  
*Contrôle visuel et manuel «estimé» suffisant avant mise en oeuvre. Situation météorologique idéale pendant la mise en oeuvre.*

### AUTRES MATERIAUX:

- Nature, exigences, choix, provenance,  
*Nature végétale, sans traitement, provenance locale privilégié.*

### **Mise en œuvre et gestion du chantier:**

- consultation et sélection entreprises  
*Pas d'entreprises extérieures.*
- Préparation du chantier et détails  
*Deux mois de préparation du chantier*
- Compétences savoir-faire des entreprises, de l'auto-constructeur et formations  
*Ingénieur en bâtiment, gérant d'un be en performance énergétique, plusieurs chantiers neuf et rénovations avant ce projet*
- Le chantier : caractéristiques, problèmes rencontrés, solutions

### **Bilan quantitatif partie paille**

- estimation temps de mise en œuvre de la partie paille (global ou détaillée: structure isolation, revêtements int, ext, interfaces, ...) ou ramené au m<sup>2</sup> de mur, plancher, couverture, ...
- estimation des coûts de mur, plancher, couverture, ... (approvisionnements, mise en œuvre, finitions, ...) ou ramené au m<sup>2</sup>
- indication pour bilan environnemental: distances approvisionnements et transports, outillage mécanique ou électrique utilisé, ...

### **Analyse:**

- Pourquoi avoir utilisé cette technique (raison économique, mise en œuvre, thermique, esthétique, ...)
- Avantages sur d'autres techniques déjà employées en faisant ressortir **les points positifs**
- Les objectifs qualitatifs initiaux, ont-ils été remplis, voire dépassés
- Problèmes particuliers (détails constructifs, temps de mise en œuvre, coût, compétence, assurances, ...)
- Solutions trouvées

DATE: 16/02/2011

## BATIMENT Maison Raul

Nom d'opération: ...**10 Maison Raul**.....

Surface (Shab ou SHON): .....?.....

Destination: Logement individuel

Coût travaux: .....

Logement collectif

Coût lot incluant la paille: **77 496 €HT**

Agricole

Surfaces ou volumes des parties paille:

Industriel

141 m<sup>2</sup> murs + 122 m<sup>2</sup> sol + 183 m<sup>2</sup> toiture = **446 m<sup>2</sup>**

Autre: .....

## INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: ...**M. & Mme Raul**.....

Maîtrise d'œuvre (architecte & BET) : **architecte Claude SUERINCK, ATELIER TER - Embrun**

BET Spécialisé paille: **conseils de H. Fèvre de Gaujard Technologie Scop**

Autres intervenants (contrôleur technique, SPS, AMO, ...): **non**

## ENTREPRISES:

Entreprise en charge mise en œuvre de la paille: **Eco2scop structure hors d'eau et hors d'air (pose menuiseries / Chape et Enduits 1<sup>ère</sup> couche en sable-chaux .....**

Pour chaque lot entreprises: **Maçon pour fondations et soubassement / Electricité biotique Laurent Hareaut (Fare champsaur), Plombier de Vallouise .**

Si auto construction, préciser pour quel(s) lot(s): **Client en mur, sous face et surface en paille dans dalle bois. Enduits prêts à l'emploi avec formation par Eco2scop pour la 2<sup>ème</sup> couche**

## REALISATION

Dates des études (début-fin) : ...**Janvier 2010 pour Eco2scop, 1 an avant le permis**

Dates chantier (début-fin): ...**15 août 2010 – 15 janvier 2011 hors d'eau hors d'air en cours lors enquête.....**

Dates réalisation lot paille (début-fin): **pose dans le plancher janvier 2011.....**

## Principes architecturaux :

- Implantations & orientations (rapport au contexte, paysage, apports solaires, ...), volumétrie, organisation des espaces,

**Implantation dans un fond de vallon humide avec mauvais sous-sol, orientation correcte, optimisation des baies sud moyenne, volumétrie complexe. Espace intérieur bien optimisé.**

## Principes constructifs :

- structure: **ossature bois avec contreventement au nu extérieur**
- enveloppe et principe isolation: **Dalles bois paille, murs paille avec enduits intérieurs, toiture paille entre poutre composite**
- Technique paille utilisée: (ossature, GREB, caissons, paille porteuse, ...): **caissons in situ**
- Vitrages et protections solaires et thermiques: **2 vitrages 4 16 4 et balcon en protection solaire**
- ponts thermiques (fondation, dallage, structure, plancher, menuiserie, charpente, ...): **menuiserie - charpente**
- Gestion étanchéité à l'air: cf détails constructifs spécifiques avec ossature, menuiserie, ..., contrôle du chantier, formations prévues, utilisation produits spécifiques, etc.: **étanchéité sur l'extérieur avec pare pluie scotché**

## Aspects thermiques et énergétiques

- Systèmes énergétiques, équipements & réseaux: chauffage, ventilation, ECS, éclairage, électricité, énergies renouvelables,

## Détails constructifs plus spécifiques aux éléments d'ouvrage en paille:

- Fondations, soubassements (garde au sol, coupures capillaires, ...) : **soubassement béton, rupture de capillarité bitume, 20 cm de garde au sol en murs sud et 80 cm murs nord**
- Isolation et continuité thermique: coupure entre isolant enterré et paille, absence de vides entre les bottes ou entre bottes et ossature, etc: **petite faiblesse au niveau de la garde au sol**



- Protection des parois paille: dispositions retenues à l'extérieure et à l'intérieur (enduits, panneau, écran, bardage, ...) **enduits terre intérieurs et extérieur: OSB + Pare pluie + bardage ou enduit sur canisse**
- Mode de maintien des bottes (litageaux, compression, ...) : **compression et fils de fer**
- Gestion des menuiseries (interfaces tableaux, appuis, litageaux, seuils: bavettes, etc.): **menuiseries posés avec tableaux bois complets au nu intérieur**
- Interfaces divers (paille structure/ossature, pénétrations fluides, fixations d'éléments variés,...)
- Utilisation de paille en éléments de planchers ou de couvertures: description, dimensions, protection à l'eau et risques de condensation, ...): **protection des planchers en paille par film étanche scotché. Protection en toiture par pare-pluie en panneau + pare-pluie en membrane**

### Matériaux et approvisionnements :

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur: **Liotard (13)**
- Raison du choix (proximité, réputation, essais qualité: masse volumique – régularité dimensionnelle, humidité...) **facilité d'approvisionnement, régularité et rectitude**
- Contrôles réalisés avant et pendant la mise en œuvre (nature du contrôle, matériel utilisé et fréquence): **contrôle visuel**

#### AUTRES MATERIAUX:

- Nature, exigences, choix, provenance: OSB et DFP

### Mise en œuvre et gestion du chantier:

- Coordination du chantier **par le client avec appui de Eco2scop et les entreprises entre elles**
- Préparation du chantier et détails: **directement par les entreprises, archi pas spécialisé paille et n'a fait que le PC**
- Compétences savoir-faire des entreprises, de l'auto-constructeur et formations
- Le chantier : caractéristiques, problèmes rencontrés, solutions

### Bilan quantitatif partie paille

- estimation temps de mise en œuvre de la partie paille (global ou détaillée: structure isolation, revêtements int, ext, interfaces, ...) ou ramené au m<sup>2</sup> de mur, plancher, couverture, ...  
**3 jours à 4 pers pour toiture 183 m<sup>2</sup> et au total 5-6 mois à 2 ½ personnes**
- estimation des coûts de mur, plancher, couverture, ... (approvisionnements, mise en œuvre, finitions, ...) ou ramené au m<sup>2</sup>  
**Plancher 92 €/m<sup>2</sup> / mur: 46,5 €HT/m<sup>2</sup>, remplissage 25 €HT /m<sup>2</sup>**
- indication pour bilan environnemental: distances approvisionnements et transports, outillage mécanique ou électrique utilisé, ...: **taille, préparation et pose réalisé entièrement sur chantier**

### Analyse:

- Pourquoi avoir utilisé cette technique (raison économique, mise en œuvre, thermique, esthétique, ...) **choix thermique et limitation du risque par utilisation d'un parement ext "normalisé" (bardage bois sur OSB et pare-pluie), enduit int par entreprise 1<sup>ère</sup> couche et finition client**
- Avantages sur d'autres techniques déjà employées en faisant ressortir **les points positifs**

**Suppression du pont thermique principal par utilisation dalle bois. Mise en place de la paille dans les murs à l'abri des intempéries, hors d'eau rapide (indispensable vu climat) OSB ext ne pose pas de problème car air sec et ensuite pare-pluie scotché**

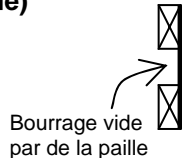
- Problèmes particuliers (détails constructifs, temps de mise en œuvre, coût, compétence, assurances, ...)  
**Structure trop compliquée pour objectif de bas coût. Toujours pas d'assurance pour la paille Velux posé sur le plan ext de la toiture qui crée un pont thermique, prévoir de la poser dans le plan structure avec isolation au-dessus**

- Solutions trouvées

**Pour améliorer le remplissage: calepinage des murs & fenêtres au nord et ouest selon la cote des bottes**

**Interface menuiserie cadre avec feutre de lin trempé dans barbotine de terre après 1<sup>ère</sup> couche enduit**

**Toiture avec poutres composite en U (2 bois massif et 1 OSB les maintenant selon hauteur statique)**



**OSB cloué directement sous poutre + maintien par feuillards ossature 4/20 cm**

**Conduit fumée: garde au feu par mortier plâtre + vermiculite**

### **Conseils et suggestions**

- Améliorations de la technique que cette expérience aurait suggérée.  
**Création d'une feuillure dans la botte de paille (ossature à l'entraxe exact de la largeur de la botte). Lorsque c'est possible: structure avec une poutre toute les 2 bottes en caisson, cela simplifie le remplissage et surtout le bourrage dans le creux de la poutre composite (vide entre 2 montants)**
- Autres solutions et autres expériences réalisées  
**Essais de terre paille non concluant avec terre locale, trop pauvre en argile. Essais d'enduits terre avec la terre locale pour les enduits concluants + achat terre prête à l'emploi chez Argilus.**

## Annexe 2: Fiches de synthèse des projets étudiés

**BATIMENT: 01 LA BERGERIE DE BERDINE**  
Destination: Bâtiment d'hébergement collectif (16 chambres)  
84750 SAINT MARTIN DE CASTILLON

**Surface (SHON): ...591 m<sup>2</sup>**  
**Estimation ADP + options : 872 000**  
€ HT  
**Montant marché + options : 873 000**  
€ HT  
**Montant travaux + options + TS :**  
948 000 € HT  
dont 298 000 € HT lot Charpente +  
estimation paille (36%)  
**Surfaces paille : 700 m<sup>2</sup> de façade**

### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: ... Association de la Bergerie de Berdine

œuvrant sur la ré-insertion et la restructuration de personnes désocialisées, déstructurées et désœuvrées)

Maîtrise d'œuvre (architecte & BET) : architecte (OSTRAKA) , BET Bois & Paille (E TECH Bois), Structure béton (BEBA (ex. Renault et Brot)), Fluides (Chaufferie T. CABIROL + SOLAIR) et économiste (EPC), Géobiologue (R. MAZZOLINI)

### ENTREPRISES:

Paille en autoconstruction par les résidents, mais sinon 10 lots entreprises

### Principes constructifs :

- **structure:** Ossature bois 145x40 + panneaux contreventant DWD Agepan.
- **Isolation:** Petites bottes de pailles (densité 115-120 kg/m<sup>3</sup>) posées verticalement entre montants de l'OB  
Entre bottes et ossature : Feuillurage des bottes sur un coté. Mise en place d'une table-atelier par le charpentier de feuillurage de bottes en série. Complément d'isolation en fibre de bois ou paille suivant la largeur. Bottes tenues par feuillard tendu.
- **Revêtements Murs:** Doublage int avec carreaux briques enduites chaux ou plâtre – Plaques de fermacell sur les grandes hauteurs – f vapeur (intello plus) – ossature (douglas) – fibralith en support enduit chaux extérieur (3 couches avec marouflage de maille)
- **Autres Points:** Bâtiment sur vide sanitaire avec poutrelles hourdis isolants polystyrène à rupture de pont thermiques
- **Couverture:** Tuiles sur PST, combles ventilées. Planchers des combles isolés avec 37 cm de ouate de cellulose soufflée

### Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur  
Un peu plus de 1 200 bottes dim. 47x36x108 de 20 à 22 kg, dont 33% produite localement (sur place) et le reste par un agriculteur rayon env. 10 km.

#### AUTRES MATERIAUX:

- Bois ossature : Fruytier group, forêts du Morvan, France
- Bois charpente : Scierie Colomb, 69860 Monsols – Forêt commune de Cervon dans La Nièvre (58), France. PEFC
- Complément bois débit sur liste : Scierie Blanc, 26300 Marches - Forêts de Verosvres, Saone et Loire (71), France. PEFC
- Fibralith, Panneaux Agepan, OSB, Frein-vapeur Intello plus, isolation fibre de bois Homatherm, Sous tuiles 230 FR, tuiles Monier, étanchéité toiture terrasse Sarnafil TS
- Enduit trois passe : Tradi'chaux clair oslo de Cantilana fourni par la société des ocres de France, entreprise Guigou, Apt (84) France

### Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives

- Formations et transmission des compétences :  
La paille a été proposée par les architectes, demande client pour monomurs, la participation des résidents et l'approvisionnement sur place ont aussi joués pour choix de la paille. Compétence MOE ossature bois, mais pas paille – attente d'appui du BE Bois, mais finalement transmission surtout par forte présence archis avec l'appui de "renforts extérieurs": La Gabion, Assises paille, etc.  
Le charpentier avait déjà fait une maison paille avec un système constructif différent mais donc sans réticence par rapport au matériau.

### Suite Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives

- Insertion dans tissu professionnel (arguments, potentiels, intérêts, ...):  
les bottes sont "feuillurées" pour s'encastrent dans l'ossature, système possible de par la présence des résidents participant en auto-construction à la réalisation (feuillurage) et à la proposition du charpentier de mettre au point machine et dispositif de feuillurage. Néanmoins pas impossible que ce principe soit compatible avec réalisation entièrement en entreprise.  
Important que le choix des entreprises se fassent selon des expériences antécédentes et/ou une forte motivation et implication, quels que soient les corps d'état
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:  
les difficultés de chantier ont surtout eu lieu avec les "corps d'état annexes" à la partie paille / gros-œuvre.  
Choix du système constructif avec parement intérieur brique monomur (détails compliqués et intervention ultérieure très difficile). Choix dicté surtout en raison du public incertain et de l'exigence du contrôleur technique de Coupe feu 1h. Pas assez de "sûreté" technique et réglementaire de la MOE pour faire valider une autre solution (par ex: enduits int et ext).  
Perspectives: nouveaux projets utilisant la paille, mais plutôt en vrac avec liant (chaux saupoudrée, terre)

**BATIMENT: 02 Salle polyvalente de MAZAN 84**

Destination: Salle de spectacles

Surface utile salle de spectacle :680m<sup>2</sup>

**Coût Travaux:** 1,2 M € HT  
dont 975 300 € HT lot structure et enveloppe  
bois, dont 48 300 € HT paille

**Surfaces paille :** 1726m<sup>2</sup>

## INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: **VILLE DE MAZAN**

Maîtrise d'œuvre architecte DESO ASSOCIES / Gaujard Technologie Scop BE bois & paille  
*BET Economie, Fluide, Fond., Structure béton CABINET MT / Acousticien ALTIA*

### ENTREPRISES:

Structure et enveloppe bois, mise en place des bottes de paille : Sud Est Charpente

Enduits plâtre sur bottes de paille : SARL Moretti

## Principes constructifs :

- **structure:** primaire et secondaire bois avec coupure pont thermique
- **Isolation:** paille en caisson fermé par voligeage bois
- **Revêtements Murs:** frein vapeur côté int et enduit plâtre en 2 couches côté ext
- **Autres Points:** les murs enduits plâtres sont protégés par dépassées de toiture et/ou vêtue en lames bois ajourées et détails de rive de toiture conçus pour empêcher le ruissellement des eaux pluviales sur les façades
- **Couverture:** membrane étanchéité polyoléfine

## Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux

### PAILLE

- Provenance: Paysan voisin du charpentier Cléon d'Andran (26) Bottes 37x47x longueurs sur mesure. M vol moyenne de 100 kg/m<sup>3</sup>, mais assez forte variation de qualité entre les 2 lots de livraison;

### AUTRES MATERIAUX:

- Bois : massif du mont Ventoux, communes voisines de Mazan (84)
- Plâtre : Plâtrerie Vieujot, Soisy sous Montmorency (95)

## Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives

- Formations et transmission des compétences:  
Dossier très détaillé, implication forte du BET structure et enveloppe bois ainsi que du maître d'ouvrage. Deuxième chantier paille pour l'entreprise bois, connaissant donc déjà la technique et principes d'organisation, néanmoins les membrures et caissons nécessitent beaucoup de bois au dire des charpentiers. Les longueurs ont été faites sur mesure par le paysan selon commande du charpentier pour parfaite adaptation aux caissons sans recoupes.
- Insertion dans tissu professionnel :  
Technique constructive permettant de réaliser dans le contexte professionnel actuel des parois performantes avec des matériaux faiblement transformés disponibles à l'échelle départementale.  
Marché public  
L'entreprise d'une vingtaine de personnes dispose de la logistique (hangars) et matériel (levage notamment) correspondant à cette taille de chantier nécessitant préfabrication.
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:  
-renformi non réalisé en atelier: difficulté de réaliser de la "filère humide" dans un atelier "filère sèche"  
coopération inhabituelle entre "deux mondes différents". Pour éviter la présence de paille sur chantier avec caissons déjà enduits nécessité de prévoir structure propre au chantier (type chapiteau) ou à mentionner dans marché.  
-coordination et interfaces spécifiques.

### 03 Ecole Montessori Avignon

**BATIMENT: 03 Ecole Montessori Avignon**

Destination: Ecole maternelle et primaire

**Surface (SHON):** 946 m<sup>2</sup>

**Coût Travaux:** 650 000 € HT

dont 2 000 € HT fourniture paille et env 9% lot bois (charp, ossature, struct) – 4,5 % Enduits

**Surface paille :** 285 m<sup>2</sup> net

#### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: Association "LA MAISON DES ENFANTS"

Maîtrise d'œuvre Daniel FANZUTTI architecte / Gaujard Technologie Scop BET Bois & Paille / SOLAIR BET Fluides / BE2TL BET Béton

#### ENTREPRISES :

CDGR : Maçonnerie / TONIN : Chauffage – Ventilation – Plomberie / TRE : Electricité / CFA : Ascenseur

#### Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux

##### PAILLE

- Provenance : lieu, fournisseur  
Plaine de la Crau, Marcel Liotard (Berre L'étang), bottes 360/450/1100

##### AUTRES MATERIAUX:

- Cloisons fermacell sur ossature bois, plafonds placo BA18, parquet douglas, correction acoustique Fibraoustic, isolation phonique plancher sable, menuiseries bois, peintures et lasures écologiques, bardage extérieur douglas sur chaufferie et cage ascenseur

#### Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives

- Formations et transmission des compétences :  
Par la collaboration BET / entreprises + tâcherons, inter-tâcherons dans une équipe « pluridisciplinaire »
- Mode de réalisation (arguments, potentiels, intérêts, ...):  
Paille & enduits terre en "tâcheronnat" avec inconvénient d'absence de couverture décennale pour ces lots sous responsabilité entière de la maîtrise d'œuvre et accord de la maîtrise d'ouvrage pour reprises éventuelles à ses frais ... sur base que revenant moins cher (en argent et en temps) que assurance DO  
Les montants entre bottes permettent de régler l'aplomb, mais aussi de fixer corniche faisant protection ruissellement et fixation volets coulissants. Les bottes sont maintenues pas des liteaux fixés entre montants et env. milieu des bottes  
Structure bois, paille, enduits: reproductibilité économique dans un marché courant public ou privé : difficile à apprécier, mais le « modèle » dans son ensemble est très performant : coût travaux bâtiment = 685 € HT / m<sup>2</sup> SHON, coût global de l'opération = 1 350 € TTC / m<sup>2</sup> SHON pour un ERP passif ! (terrain, travaux, aménagements extérieurs, mobilier, honoraires compris). Une école à performance thermique égale en marché public est de l'ordre de 1800 à 2000 € HT/m<sup>2</sup> coût travaux seul.
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:  
quelques fissures dans les angles interfaces maçonnerie ossature bois, malgré trame de renfort.

## 04 Bureaux CRIEPPAM

**BATIMENT: 04 Bureaux CRIEPPAM**

Destination: Bureaux et hangar

**Surface** (Sutile): admin 257 m<sup>2</sup> + hangar 70 m<sup>2</sup>... m<sup>2</sup>

**Coût Travaux:** 452 873 €Ht soit 1 602,94 €Ht/m<sup>2</sup> €HT dont €HT lot paille (%)

**Surfaces paille :** m<sup>2</sup> murs et couverture

### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: ... CRIEPPAM (Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales) PNR Lubéron CR PACA, CG 04 ?

Maîtrise d'œuvre SICA HR Alpes-méditerranée (Laurence MUNDLER et Michel COLACHE) Manosque Gaujard Technologie SCOP BE Bois & Paille

ENTREPRISES: Gros oeuvre /cloisonnement SCAB 04 - Charpente/ossature bois/menuiserie BCB - Chauffage /plomberie Eco-systèmes - Electricité/réseaux DE LUCA - Chappe et carrelage SPC

### Principes constructifs :

- **structure:** Ossature bois.,
- **Isolation:** paille de lavande mise en œuvre variée (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 ou paille de lavande broyée en remplissage ossature)
- **Revêtements Murs:**
- **Autres Points:** plancher intermédiaire et la toiture isolés avec paille de lavande broyée. La toiture a été remplie à l'atelier, le plancher sur le chantier.
- **Couverture:** tuiles

### Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur  
3 sources différentes à rayon < 200 km ?

#### AUTRES MATERIAUX:

- 
- 

### Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives

- Formations et transmission des compétences:  
?
- Insertion dans tissu professionnel (arguments, potentiels, intérêts, ...):  
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
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:  
Si la filière tend à se développer, la question de l'approvisionnement local en paille de qualité, prête à l'emploi doit être impérativement réglée.  
la paille doit être séchée directement après la distillation  
la manipulation de la paille de lavande entraîne une production de poussière abondante. Il est donc impératif que les ouvriers prennent les précautions nécessaires.

## 05 La Cartonnerie – Belle de Mai (13)

**BATIMENT:** 05 La Cartonnerie – Belle de Mai (13)  
Destination: Équipement culturel

**Surface (SHON):** 2 798... m<sup>2</sup>  
**Coût Travaux:** 396 961€HT €HT  
dont 162 834€HT €HT lot paille (41%)  
**Surfaces paille :** 395 m<sup>2</sup> de façade

### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: SFT – SYSTEME FRICHE THEATRE

Maîtrise d'œuvre ARM ARCHITECTURE Selarl Poitevin & Reynaud / Gaujard Technologie scop BET bois & paille

**AMO:** DoMEne Gabrielle Reynal

**Bureau de Contrôle & SPS :** VERITAS

ENTREPRISES: Les Toitures Montiliennes (26) pour façade et isolation paille

Menuis métal Miroiterie St Antoine – SUD-SIDE /Electricité : CEGELEC / Gros Œuvre : RP-Entreprise

### Principes constructifs :

- **structure:** ossature bois caisson paille posée devant façade structure métallique en isolation phonique (et thermique)
- **Isolation:** bottes de paille en caisson ép 37 cm
- **Revêtements Murs:** bardage bac métal ondulé ext / OSB avec pontage des joints de panneaux + Fermacell int et pour gestion étanchéité à l'air et protection feu
- **Autres Points:**
- **Couverture:** couvertines métal en jonction acrotères existante

### Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur  
Liotard Plaine de Crau (13) / choix: proximité, qualité: masse volumique et régularité dimensionnelle, ce qui en fait n'a pas été le cas

#### AUTRES MATERIAUX:

- BOIS épicéa France
- OSB / DWD / BLC délignés pour membrures ?
- fibre de bois Aktis Ariège /

### Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives

- Formations et transmission des compétences:  
**1<sup>er</sup> chantier mais charpentiers pros, adaptation facile**
- Insertion dans tissu professionnel (arguments, potentiels, intérêts, ...):  
Le chantier s'est bien passé.
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:  
caissons réalisés sur place. erreur de calepinage des bottes à la commande trop nombreuse. dimensions bottes irrégulières et caissons réalisés à 36 cm d'épaisseur alors qu'il aurait fallu 37 cm (tous les caissons bombés)



## 07 Maison Bruxer

**BATIMENT: 07 Maison Bruxer**

Destination: Logement Individuel

**Surface : 150 m<sup>2</sup>**

**Coût Travaux: 165 000 € TTC ?**

dont 12000 € HT lot paille (7,3%)

dont 1/3 MO (4000 €)

**Surfaces paille : 391 m<sup>2</sup> / 116 m<sup>3</sup>**

### **INTERVENANTS**

Maître d'ouvrage: ... Rodolphe Bruxer

Maîtrise d'œuvre Rodolphe Bruxer (Ekodome)

### ENTREPRISES:

Rodolphe Bruxer (Ekodome) en auto-construction pour tous les lots

### **Principes constructifs :**

- **structure:** Double ossature bois pour éviter ponts thermiques (montants décalés)
- **Isolation:** Caissons remplis de paille de lavande broyée du plancher bas jusqu'à la toiture. Remplissage en vrac dans des caissons OSB intérieur et panneaux pare-pluie à l'extérieur
- **Revêtements Murs:** Bardage bois
- **Autres Points:**
- **Couverture:** végétalisée

### **Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux**

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur  
Valensole (Producteur d'huile essentielle)

#### AUTRES MATERIAUX:

- Bois, Chanvre
-

### **Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives**

- Formations et transmission des compétences:  
Ingénieur en bâtiment, gérant d'un be en performance énergétique, plusieurs chantiers neuf et rénovations avant ce projet
- Insertion dans tissu professionnel (arguments, potentiels, intérêts, ...):  
Auto construction par un professionnel de la maîtrise d'œuvre
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:

- Problèmes particuliers (détails constructifs, temps de mise en œuvre, coût, compétence, assurances, ...)  
Le remplissage n'a pu être réalisé avec une insuffleuse, car inadaptée à la paille de lavande. La première conséquence est un remplissage à la main, mais cela permet un contrôle permanent de la qualité de mise en œuvre. La deuxième conséquence est la progression de mise en œuvre qui doit se faire de bas en haut, cad du plancher bas en finissant par la toiture, ce qui représente un risque important de dégât avant la mise hors d'eau du bâtiment.

#### **Solutions trouvées**

Les détails constructifs doivent être étudiés afin de permettre l'accès et le remplissage de tous les points singuliers de la structure.

Pour la paille de lavande broyée, le meilleur contenant entre le stockage et la mise en œuvre est un seau de 40L souple et léger.

La progression est très bonne sur les planchers, bonne pour les parois, devient difficile en rampant et en toiture. Les coûts indirects sont importants, surtout pour la paille de lavande, dont les retours d'expérience projet sont très limités par rapport à la botte de paille.

### **Conseils et suggestions**

- Améliorations de la technique que cette expérience aurait suggérée.  
Concevoir le projet permettant une mise en œuvre de la paille après la phase hors d'eau.  
Concevoir une machine permettant d'insuffler la paille

- Autres solutions et autres expériences réalisées

Le broyage est délicat car le ramassage de la paille implique la présence de pierre plus ou moins grosses qui sont préjudiciable aux couteaux des broyeurs.

L'utilisation de la paille en vert-broyé nécessite de travailler en amont sur le processus de séchage de la paille.

## 08 Maison M. Beth

**BATIMENT:** 08 Maison M. Beth  
Destination: maison individuelle

**Surface :** ...146 m<sup>2</sup>  
**Coût Travaux:** 100 000 €HT?  
dont 1000€HT lot paille matière  
**Surfaces paille**400 m<sup>2</sup> de sol murs ...

### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: Famille Beth

Maîtrise d'œuvre Matthieu Beth

ENTREPRISES: auto construction et Eco2scop

### Principes constructifs :

- **structure:** mixte ossature bois et poteaux poutre
- **Isolation:** ossature bois tous les 48 cm, bottes de paille verticale avec une feuillure pour envelopper les montants. Sol : paille entre poutre composites fait maison.
- **Revêtements Murs:** bardage bois
- **Autres Points:**
- **Couverture:** Toiture : paille entre poutre composites fait maison (chevron) / bac acier ?

### Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur  
Chateauroux les Alpes, paille de Marc Bertrand, agriculteur bio

#### AUTRES MATERIAUX:

- Bois , Mélèze et un peu de douglas
- 
- 

### Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives

- Formations et transmission des compétences:  
Auto construction par artisan pour lui-même
- Insertion dans tissu professionnel (arguments, potentiels, intérêts, ...):
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:  
Amélioration du temps de pose par la réalisation d'une feuillure à la scie circulaire sur table.  
?Problèmes de planéité entraînant de trop nombreuses couches d'enduits. Piste paille plus régulières et changement des sections de bois.

## 09 Bâtiment expérimental Gabion

**BATIMENT: 09 Bâtiment expérimental Gabion**

Destination: centre de formation  
ateliers, salles de cours bureaux

**Surface:** 550 m<sup>2</sup>

**Coût Travaux:** 750 000 € ttc  
dont lot paille environ 75 000 € ttc  
avec main d'oeuvre et structure bois.

**Surfaces paille:** toiture 300 m<sup>2</sup>  
murs 350 m<sup>2</sup>

### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: ... Association Le Gabion

Maîtrise d'œuvre Marcel Ruchon architecte / Gaujard Technologie BE bois & paille / ADRET thermique / Ester fondations / APPER be solaire

ENTREPRISES: travaux réalisés par salariés en contrats insertion avec le Gabion fabrication des menuiseries comprises

### Principes constructifs :

- **structure:** poteau poutre charpente en mélèze de pays
- **Isolation:** bottes de pailles entre montants murs rideaux (posées verticalement par deux en 35 cm d'épaisseur) et prises entre double parement en voliges à 45° pour contreventement intérieur.
- **Revêtements Murs:** enduits terre plâtre sur paille avec maintien par voliges horizontales et plâtre Vieujot pour le pignon nord et le rez de chaussé.
- **Autres Points:**
- **Couverture:** toiture, isolation bottes de paille posées à plat entre pannes + paille en vrac pour un total de 43 cm. Bac acier de récupération pour moitié et le reste en neuf.
- Murs paille chauffants avec capteurs solaires comme énergie principale.

### Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur  
bottes murs et toiture : divers producteurs locaux dans un rayon de quelques kilomètres. Variations de dimensions suivant provenance. Une livraison de paille dense de l'étang de Berre pour un mur de refend.

#### AUTRES MATERIAUX:

- Terre du site / Plâtre de l'entreprise Vieujot (région Parisienne) afin de travailler ensemble
- Mélèze provient de la scierie d'Embrun qui se fournit dans les forêts alentours. 30 m<sup>3</sup>
- BTC stabilisées au plâtre et d'autres au ciment 52,5 CPA
- Dalle du rez de chaussée béton de terre (20 m<sup>3</sup>) sur hérisson avec chape de chaux NHL 3,5 + 20% ciment (7 m<sup>3</sup>)
- Béton pour fondations 12 m<sup>3</sup>, mur de soutènement 4 m<sup>3</sup>, poteaux 2 m<sup>3</sup> environ et dalle bois béton à l'étage 12m<sup>3</sup> soit un total de 30 m<sup>3</sup>.
- 1,2 km de tuyau multicouche pour murs et plafonds chauffants

### **Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives**

- Formations et transmission des compétences:  
Les salariés en contrats aidés du Gabion ont réalisé tous les travaux sous la direction des encadrants de l'association. Impliquer les stagiaires en formation comme prévu initialement posait des problèmes pédagogiques. Nous avons conclu qu'il ne fallait pas mélanger la formation et le chantier.
- Insertion dans tissu professionnel (arguments, potentiels, intérêts, ...):  
Réalisation à portée pédagogique, a servi de modèle, a contribué à la création de plusieurs entreprises. et au développement local. (environ 60 projets utilisant de la paille dans le 05.)
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:  
La durée très longue du chantier (6 ans voulus au départ), a posé des problèmes de mise en œuvre du mélèze ainsi que les modifications en cours de chantier résultant de l'évolution du projet, de nos connaissances, de nos compétences et de nos expérimentations.

## FICHE DE SYNTHÈSE PROJETS PAILLE

**BATIMENT: 10 Maison Raul**  
Destination: maison individuelle

**Surface (SHON): ? m<sup>2</sup>**  
**Coût Travaux: 77 500 € HT**  
dont € HT lot paille (%)  
**Surfaces paille : 141 m<sup>2</sup> murs + 122 m<sup>2</sup> sol + 183 m<sup>2</sup> toiture = 446 m<sup>2</sup>**

### INTERVENANTS

Maître d'ouvrage: M. & Mme Raul

Maîtrise d'œuvre architecte Claude SUERINCK, ATELIER TER – Embrun / conseils de H. Fèvre de Gaujard Technologie Scop

ENTREPRISES: Eco2scop structure hors d'eau et hors d'air (pose menuiseries / Chape et Enduits 1<sup>ère</sup> couche en sable-chaux / Maçon pour fondations et soubassement / Electricité + Plombier /

Client en mur, sous face et surface en paille dans dalle bois. Enduits prêts à l'emploi avec formation par Eco2scop

### Principes constructifs :

- **structure:** ossature bois avec contreventement au nu extérieur
- **Isolation:** Dalles bois paille, murs paille avec enduits intérieurs, toiture paille entre poutre composite
- **Revêtements Murs:** bardage bois
- **Autres Points:**
- **Couverture:** bac métal

### Matériaux et approvisionnements : - Indicateurs environnementaux

#### PAILLE

- Provenance: lieu, fournisseur  
Liotard (13) facilité d'approvisionnement, régularité et rectitude

#### AUTRES MATERIAUX:

- Bois ?
- Panneaux OSB et DFP négoce

### Modes de réalisations – compétences – professionnalisation, perspectives

- Formations et transmission des compétences:  
Entreprise ayant déjà expériences isolation paille ossature et enduits sur paille
- Insertion dans tissu professionnel (arguments, potentiels, intérêts, ...):  
Réalisation par entreprises sauf finitions
- problèmes rencontrés, Améliorations, Perspectives:  
modifications du système pour réduire temps mise en œuvre (montants toutes les 2 bottes avec feuillure des bottes, meilleur remplissage et sans nécessité bourrage des trous)

### Annexe 3: Détail des calculs des impacts environnementaux de différents types de murs

#### caisson préfa paille + bardage

	<b>Composition</b>	Unités	Valeurs	Masse	Energie Grise Non Renouvelable	Emission Gaz Effet de Serre (100 ans)
	Dimensions	m <sup>2</sup> Shab	1,0	[kg]	[MJ/kg]	[éq kg CO2/kg]
<b>MURS</b>	Bois Massif	m <sup>3</sup>	0,044	31,75	110,794	4,222
	OSB	m <sup>3</sup>	0,036	17,03	234,986	10,915
	Fibre de Bois	m <sup>3</sup>	0,016	0,88	9,680	0,384
	PAILLE	m <sup>3</sup>	0,333	39,96	0,771	-65,934
	Parepluie	m <sup>2</sup>	1,000	0,19	21,018	1,232
		<b>Total</b>		<b>89,80 kg</b>	<b>377,25 MJ</b>	<b>-49,18 kg éq CO2</b>
				<b>104,79 kWh</b>		
	<b>Valeurs au m<sup>2</sup></b>			<b>377,25 MJ</b>	<b>-49,18 kg éq CO2</b>	
				<b>104,79 kWh</b>		

#### caisson préfa paille + enduit

	<b>Composition</b>	Unités	Valeurs	Masse	Energie Grise Non Renouvelable	Emission Gaz Effet de Serre (100 ans)
	Dimensions	m <sup>2</sup> Shab	1,0	[kg]	[MJ/kg]	[éq kg CO2/kg]
<b>MURS</b>	Bois Massif	m <sup>3</sup>	0,019	13,80	48,160	1,835
	OSB	m <sup>3</sup>	0,036	17,03	234,986	10,915
	Fibre de Bois	m <sup>3</sup>	0,016	0,88	9,680	0,384
	PAILLE	m <sup>3</sup>	0,333	39,96	0,771	-65,934
	Enduits	m <sup>3</sup>	0,040	64,00	97,280	12,800
		<b>Total</b>		<b>135,67 kg</b>	<b>390,88 MJ</b>	<b>-40,00 kg éq CO2</b>
				<b>108,58 kWh</b>		
	<b>Valeurs au m<sup>2</sup></b>			<b>390,88 MJ</b>	<b>-40,00 kg éq CO2</b>	
				<b>108,58 kWh</b>		

#### double ossature paille en vrac + enduit

	<b>Composition</b>	Unités	Valeurs	Masse	Energie Grise Non Renouvelable	Emission Gaz Effet de Serre (100 ans)
	Dimensions	m <sup>2</sup> Shab	1,0	[kg]	[MJ/kg]	[éq kg CO2/kg]
<b>MURS</b>	Bois Massif	m <sup>3</sup>	0,032	23,17	80,849	3,081
	OSB	m <sup>3</sup>	0,036	17,03	234,986	10,915
	PAILLE	m <sup>3</sup>	0,333	39,96	0,771	-65,934
	Enduits	m <sup>3</sup>	0,040	64,00	97,280	12,800
		<b>Total</b>		<b>144,15 kg</b>	<b>413,89 MJ</b>	<b>-39,14 kg éq CO2</b>
					<b>114,97 kWh</b>	
	<b>Valeurs au m<sup>2</sup></b>			<b>413,89 MJ</b>	<b>-39,14 kg éq CO2</b>	
				<b>114,97 kWh</b>		

#### paille porteuse lisses bois + enduit

	<b>Composition</b>	Unités	Valeurs	Masse	Energie Grise Non Renouvelable	Emission Gaz Effet de Serre (100 ans)
	Dimensions	m <sup>2</sup> Shab	1,0	[kg]	[MJ/kg]	[éq kg CO2/kg]
<b>MURS</b>	Bois Massif	m <sup>3</sup>	0,019	13,59	47,412	1,807
	OSB	m <sup>3</sup>	0,014	6,43	88,773	4,123
	Fibre de Bois	m <sup>3</sup>	0,026	1,43	15,730	0,623
	PAILLE	m <sup>3</sup>	0,397	47,64	0,919	-78,606
	Enduits	m <sup>3</sup>	0,070	112,00	170,240	22,400
		<b>Total</b>		<b>181,09 kg</b>	<b>323,07 MJ</b>	<b>-49,65 kg éq CO2</b>
				<b>89,74 kWh</b>		
	<b>Valeurs au m<sup>2</sup></b>			<b>323,07 MJ</b>	<b>-49,65 kg éq CO2</b>	
				<b>89,74 kWh</b>		

**double ossature cellulose + bardage**

	<b>Composition</b>	Unités	Valeurs	Masse	Energie Grise Non Renouvelable	Emission Gaz Effet de Serre (100 ans)
<b>MURS</b>	<b>Bois Massif</b>	m <sup>3</sup>	0,044	31,75	110,794	4,222
	<b>OSB</b>	m <sup>3</sup>	0,036	17,03	234,986	10,915
	<b>CELLULOSE</b>	m <sup>3</sup>	0,300	16,50	122,595	6,468
	<b>Parepluie</b>	m <sup>2</sup>	1,000	0,19	21,018	1,232
	<b>Total</b>			<b>65,46 kg</b>	<b>489,39 MJ</b>	<b>22,84 kg éq CO2</b>
				<b>135,94 kWh</b>		
<b>Valeurs au m<sup>2</sup></b>					<b>489,39 MJ</b>	<b>22,84 kg éq CO2</b>
				<b>135,94 kWh</b>		

**Béton Polystyrène (PSE) + enduit**

	<b>Composition</b>	Unités	Valeurs	Masse	Energie Grise Non Renouvelable	Emission Gaz Effet de Serre (100 ans)
<b>MURS</b>	<b>Béton</b>	m <sup>3</sup>	0,200	493,80	418,594	60,209
	<b>Acier</b>			12,00	162,000	8,460
	<b>Mortier colle</b>	m <sup>2</sup>		8,50	202,300	9,435
	<b>PSE</b>	m <sup>3</sup>	0,260	3,90	819,000	57,408
	<b>Treillis armature</b>	m <sup>3</sup>	0,003	2,79	260,586	16,405
	<b>Enduits</b>	m <sup>3</sup>	0,025	37,50	254,625	45,375
	<b>Total</b>			<b>558,49 kg</b>	<b>2 117,11 MJ</b>	<b>197,29 kg éq CO2</b>
				<b>588,08 kWh</b>		
<b>Valeurs au m<sup>2</sup></b>					<b>2 117,11 MJ</b>	<b>197,29 kg éq CO2</b>
				<b>588,08 kWh</b>		