

# RETOUR SUR EXPÉRIENCE : EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE

Camilo Hiche (Architecte),  
Samuel Nemoz (Architecte-Ingénieur)  
15 octobre 2010



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

QUOI ?

Expérimentation d'une voûte avec un système constructif panneau sandwich paille + OSB.

POUR QUOI ?

Situé dans le cadre du projet de fin d'études à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble.

POURQUOI ?

Recherche d'une utilisation optimum de la paille à la fois en tant que structure porteuse et matériau isolant.

OÙ ?

Aux locaux de l'ENSAGrenoble, à l'IUT Joseph Fourier de Grenoble et aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau.

QUI ?

Des étudiants de l'ENSAG et de l'IUT Joseph Fourier avec le soutien des enseignants.

QUAND ?

Entre janvier et avril 2010.



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

La plateforme de support :  
Les Grands Ateliers de l'Isle  
d'Abeau à Villefontaine (Isère)

- expérimentations à échelle 1
- destinée aux étudiants d'écoles  
d'architecture, ingénierie, art,  
design...



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## EXPÉRIMENTATIONS PÉDAGOGIQUES AUX GRANDS ATELIERS DE L'ISLE D'ABEAU

studio Architecture & Cultures Constructives,  
École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble

- Petits modules spatiaux autour d'un matériau spécifique.
- Durée de chaque module : période d'études (variable) + 3 à 7 jours de réalisation sur place.



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## « ARMADILLO BOX GAIA » CHAMBRE ÉTUDIANT AUTOCONSTRUITE

Projet de fin d'études,  
septembre à décembre 2009

Programme/objectifs :

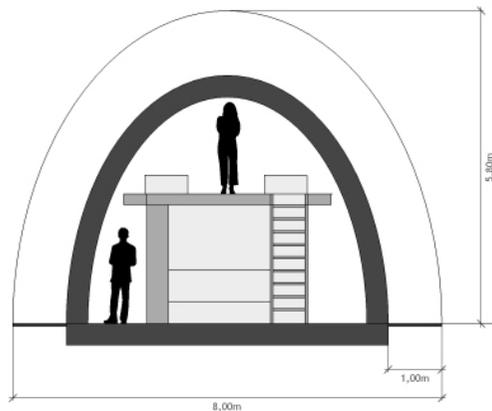
- Chambre pour héberger 2 à 6 étudiants venant travailler aux Grands Ateliers.
- Autoconstruit par les étudiants dans un but pédagogique lors de différents ateliers
- Construction « low-cost » et avec des moyens accessibles. Recherche d'une utilisation optimum de matériaux pas chers et relativement simples à mettre en œuvre.
- Confort thermique avec peu de moyens de chauffage, besoin d'une enveloppe avec un pouvoir isolant très fort.



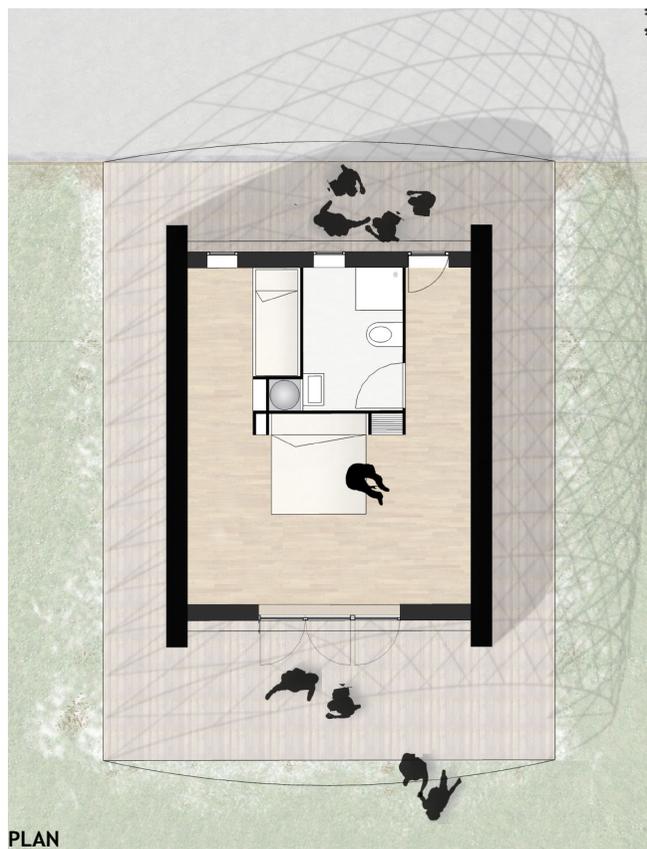
**EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE**  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

Composition de l'édifice en trois éléments principaux et distincts :

- couverture en grid-shell + membrane
- voûte en bottes de paille + panneaux OSB formant l'espace principal
- bloc technique en ossature bois accueillant réseaux, salle d'eau, lits et mezzanine



COUPE



PLAN



Une conception bioclimatique visant un fonctionnement « passif ».

ÉTÉ

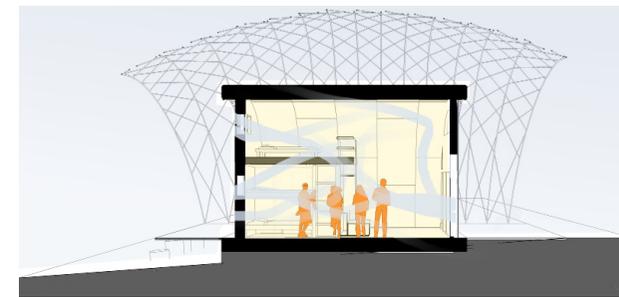
JOUR



Journée d'été

le grid-shell protège la chambre du rayonnement solaire et l'espace entre les deux permet une ventilation naturelle

NUIT

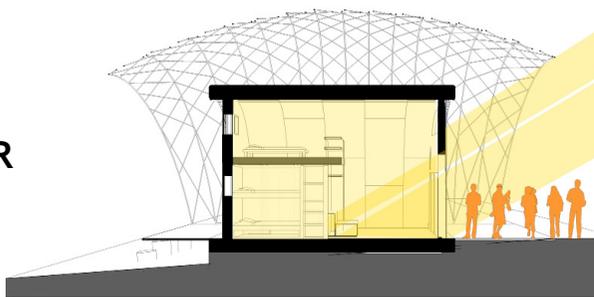


Nuit d'été

la surventilation transversale maintient une température fraîche

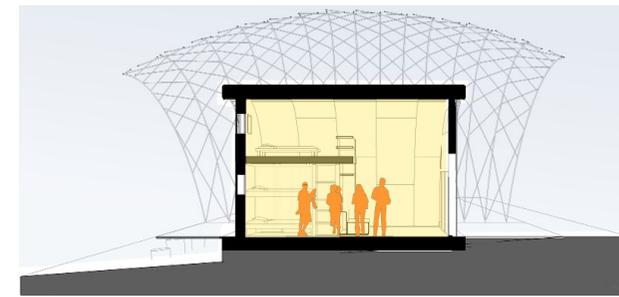
HIVER

Journée d'hiver



captage de calories par baie vitrée au sud

Nuit d'hiver



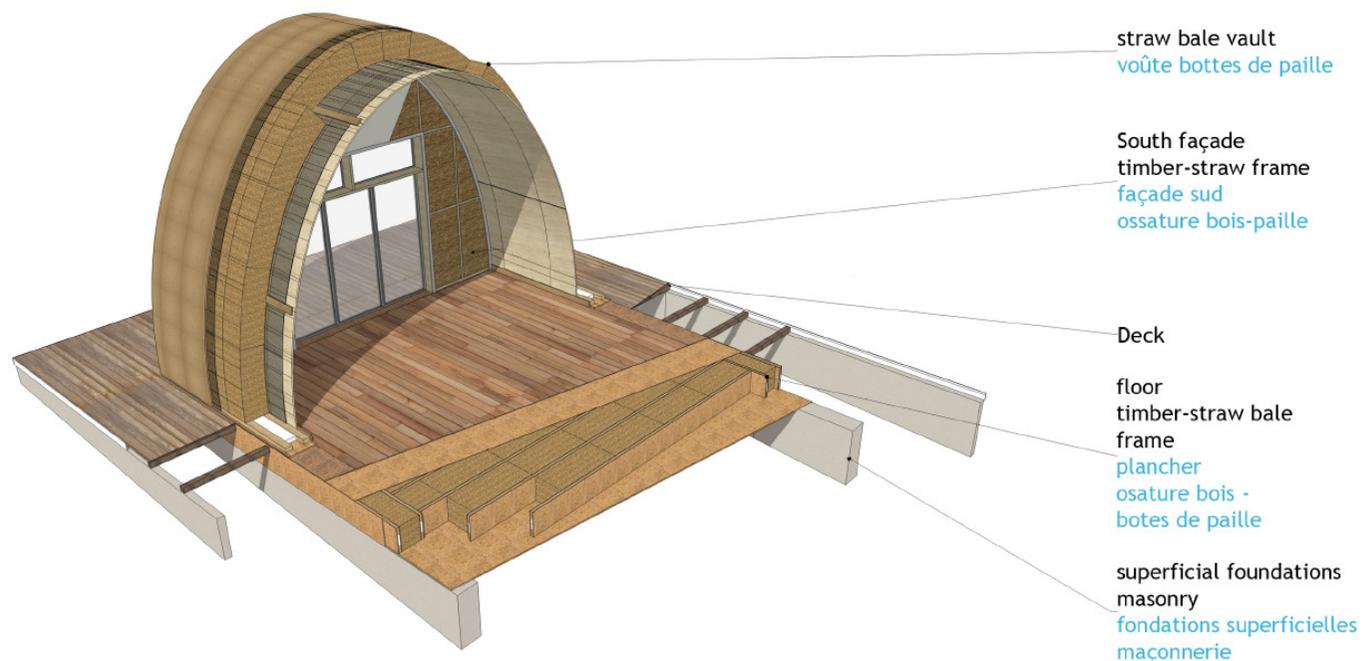
la chaleur humaine contribue à chauffer ce petit espace

Estimatif énergétique :

$U_{\text{bât}}$ (w/m <sup>2</sup> .°C)	0,23
$U_{\text{bât ref}}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,56
% vitrage/enveloppe	8
Besoin de chauffage (kWh/an)	27
Mode de chauffage	Appoint bois ou électrique
Puissance de chauffage (KW)	2

EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

Chaque lot correspond à un matériau ou système constructif différent et pouvant être réalisé par des étudiants dans le cadre de modules pédagogiques.

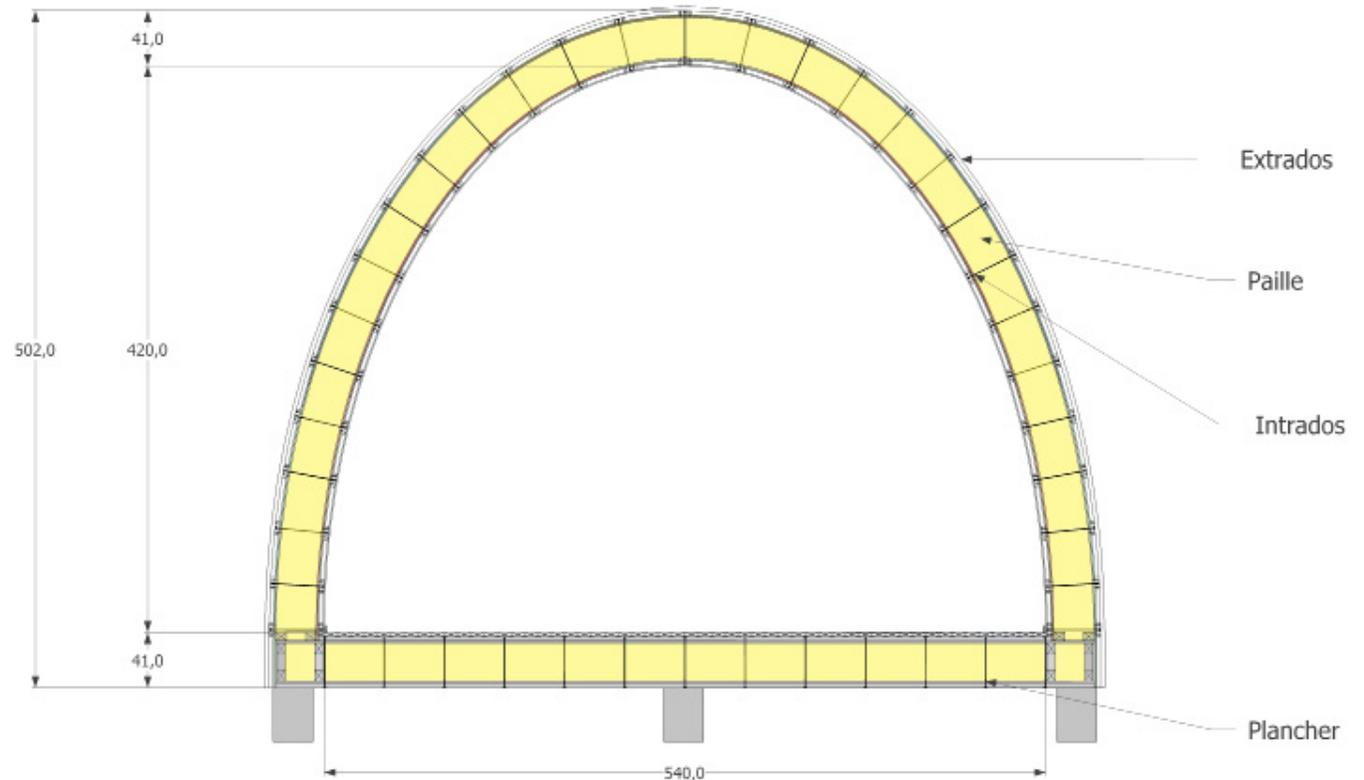
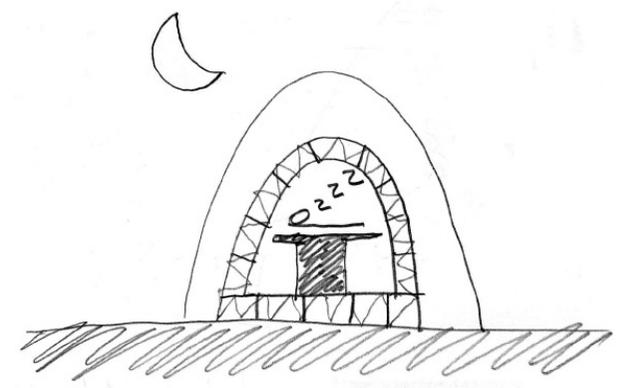


EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## POURQUOI UNE VOÛTE EN BOTTES DE PAILLE POUR CE PROJET ?

- BIOCLIMATIQUE : Le rapport de forme de la voûte minimise le volume à tempérer...
- SYMBOLIQUE/PERCEPTION SPATIALE : La voûte comme cocon protecteur pour le repos.
- ÉCONOMIE : Optimisation de la paille par un usage à double fonction, à la fois structure porteuse et matériau isolant.

On se passe également de montants en bois, plus coûteux et engendrant des ponts thermiques.



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

VOÛTE EN BOTTES DE PAILLE &  
PANNEAUX SANDWICH PAILLE-  
BOIS

RÉFÉRENCES

## VOÛTES EN PAILLE EN FILIÈRE HUMIDE



Bob Theis, hangar agricole au Mexique



David Mar, test à échelle 1 d'une voûte en paille enduite pour le Lou Harrison Studio.  
Source : [www.strawbuilding.org](http://www.strawbuilding.org)

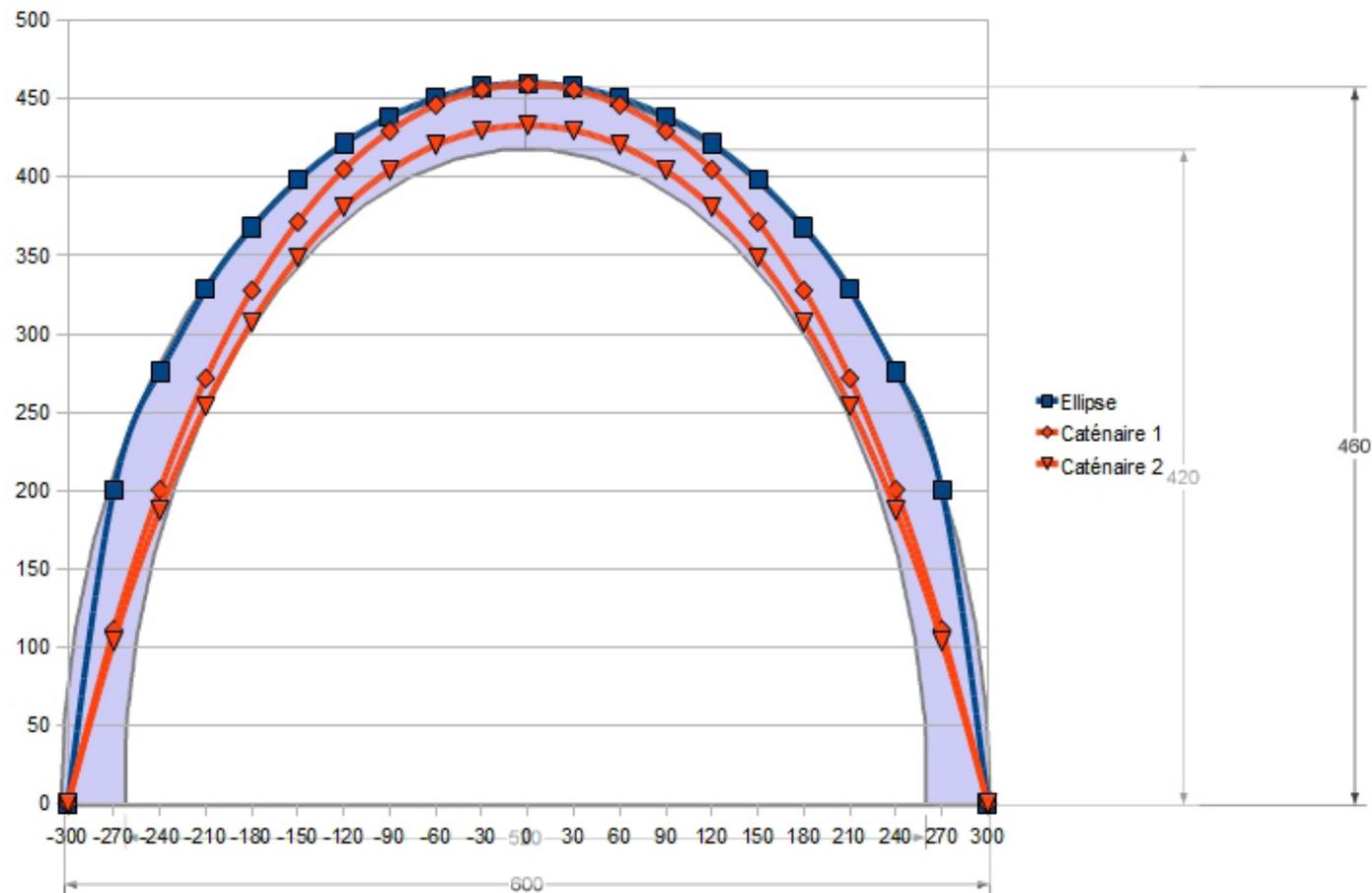
## PANNEAUX SANDWICH DÉVELOPPÉS PAR DE PROCÉDÉS INDUSTRIELS



Système de panneaux structuraux en paille développé par Agriboard (États-Unis). Source : [www.agriboard.com](http://www.agriboard.com)

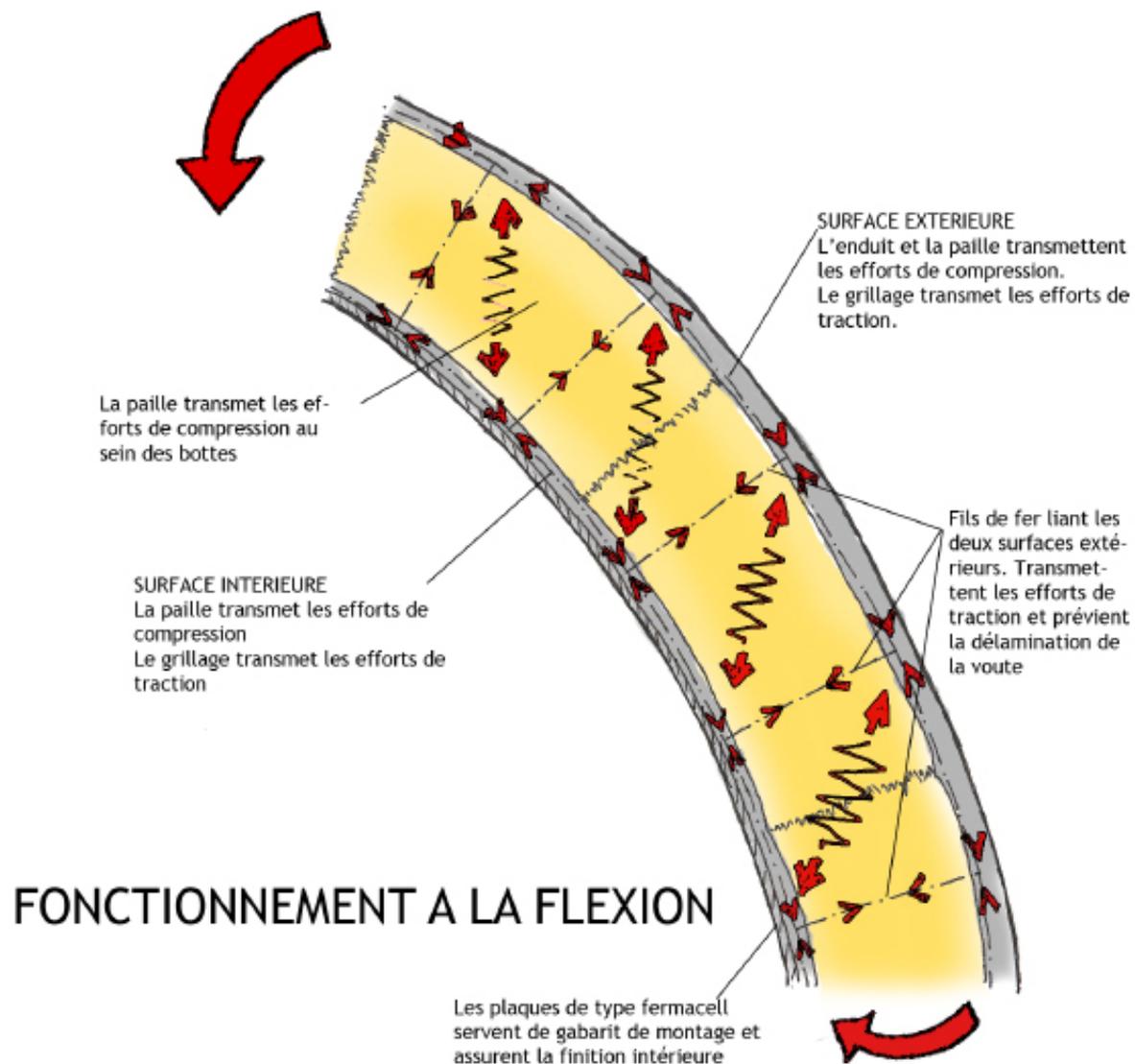
## FONCTIONNEMENT STATIQUE DU SYSTÈME DE VOÛTE EN PAILLE

- Système soumis principalement à la compression
- Stabilisation latérale nécessaire



## FONCTIONNEMENT STATIQUE DU SYSTÈME DE VOÛTE EN PAILLE

- Système choisi de type panneau sandwich panneau bois/paille comprimée/panneau bois



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## TEST À LA COMPRESSION DE LA PAILLE

Université Joseph Fourier, Mars 2009

- Nécessité de caractériser le matériau pour effectuer des calculs prédictifs

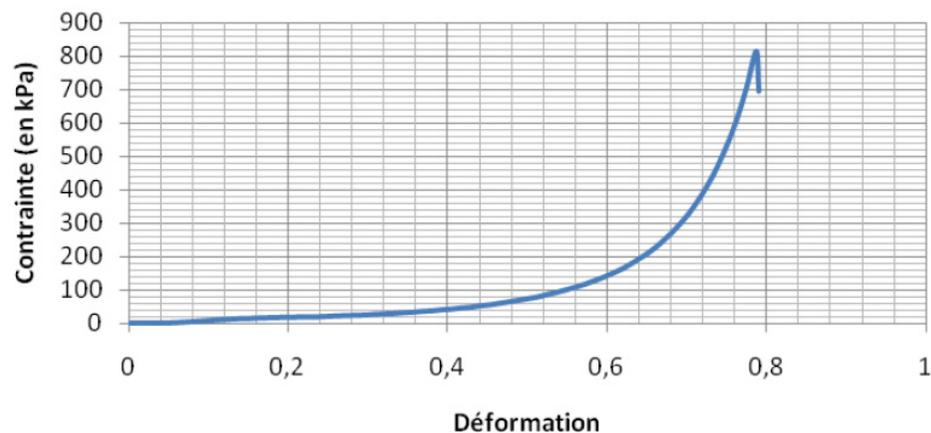
- 2 enseignements importants:

Les caractéristiques mécaniques de la paille augmentent avec la contrainte de compression

La paille se déforme plus facilement dans le sens perpendiculaire à la fibre



Contrainte dans la paille en fonction de la déformation



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## PREMIER ÉCHANTILLON TEST DU SYSTÈME CONSTRUCTIF EN PAN- NEAU SANDWICH

Janvier 2010

- botte de paille travaillant en compression
- intrados et extrados en panneau contreplaqué bois pour efforts de flexion
- tiges filetées pour compression de la botte minimisant le cisaillement
- planches bois pour renfort de compression



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## DEUXIÈME TEST DU SYSTÈME CONSTRUCTIF : POUTRE EN BOT- TES DE PAILLE + PANNEAUX OSB

ENSAG, Février 2010

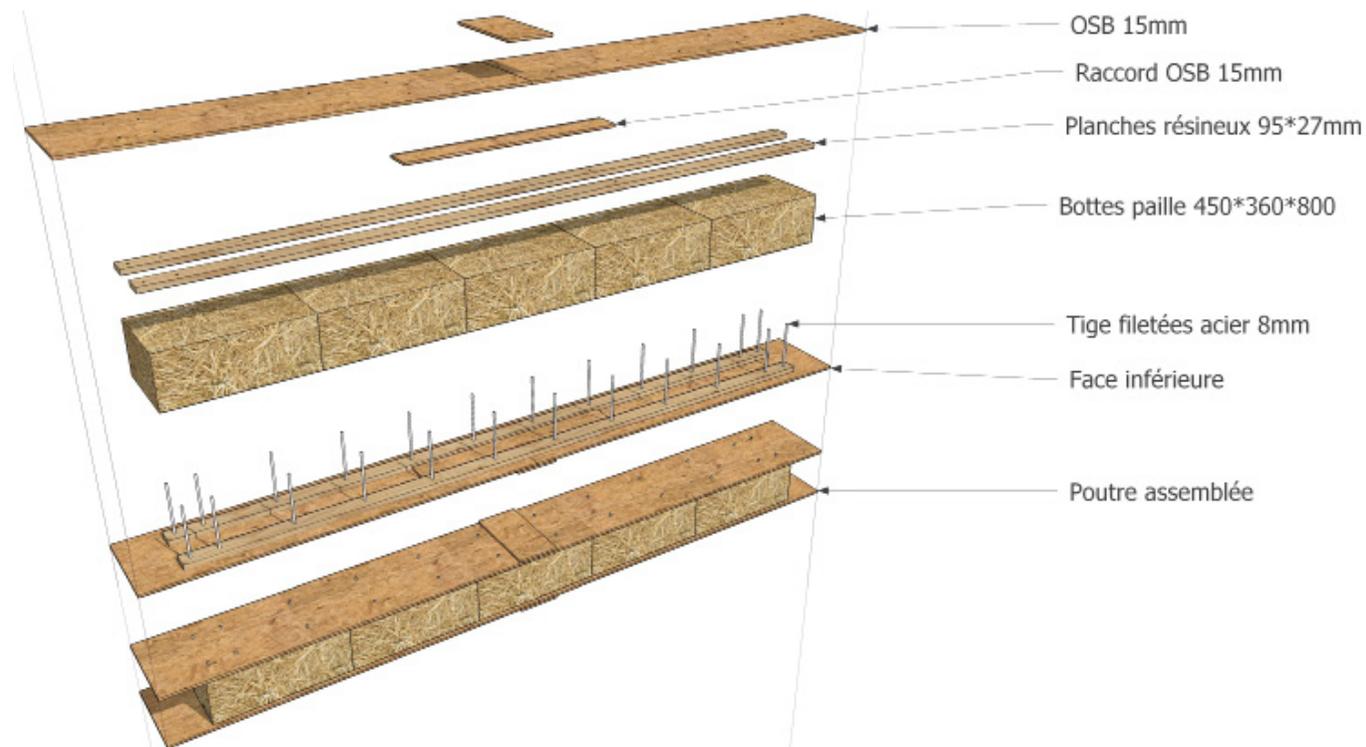
- bottes de paille à faible densité

(70-75 kg/m<sup>3</sup> contre 100 kg/m<sup>3</sup> ha-  
bituellement recommandée pour  
la construction)

- mise en œuvre avec les moyens  
du bord

- une portée de 4 m

- fibres placées dans le sens de la  
largeur



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

Un premier serrage des tiges de 50 à 36-30 cm et un lestage de 280 kilos.

- des flèches importantes dont l'évolution avec le chargement est bien linéaire

- suite au déchargement, la poutre a recouvert instantanément la moitié de la flèche initiale

- 10mn après, la poutre ne s'est pas notablement plus redressée



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

Un deuxième serrage des tiges de 30 à 26 ± 0,5 cm et un lestage de 275 kilos.

- des déplacements environ deux fois moins importants
- suite au déchargement, la poutre a recouvert instantanément 40 % de la flèche initiale



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

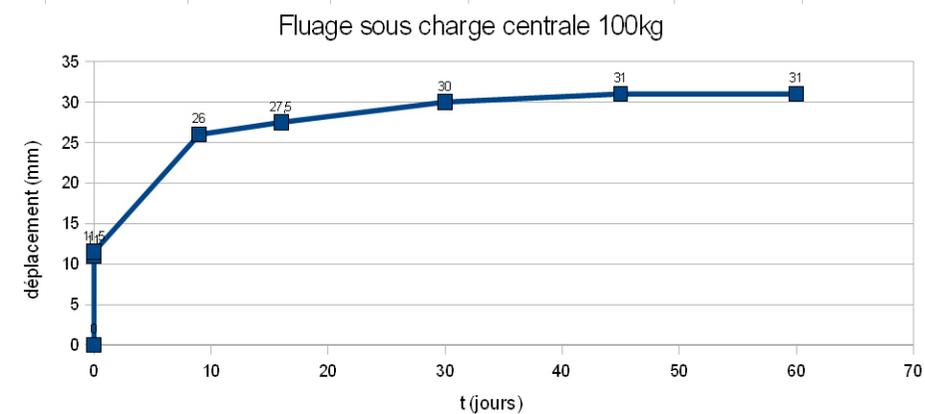
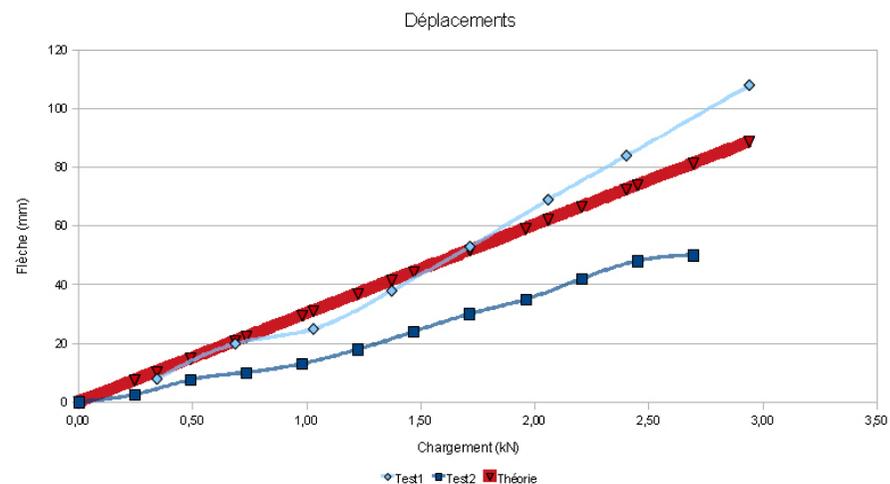
## RESULTATS EXPERIMENTAUX ET CALCULS PREDICTIFS

Amélioration notable du comportement par le serrage

## ESSAI DE CHARGEMENT A LONG TERME (2 mois)

- Fortes déformation différées (flèche finale 3 fois supérieure à la flèche instantanée)

- Système valable pour des chargements à court terme



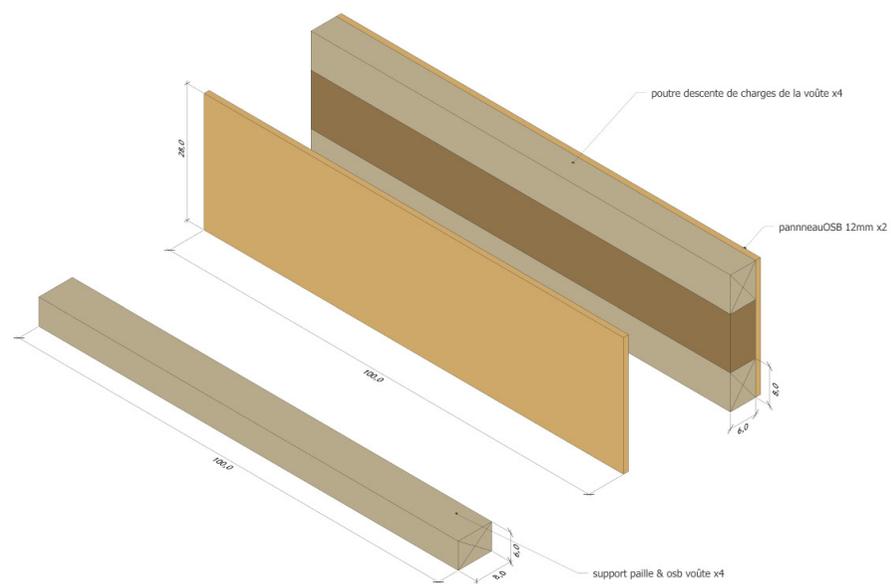
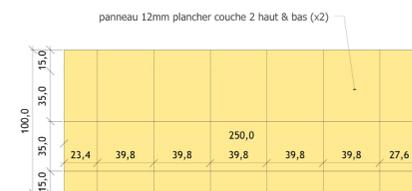
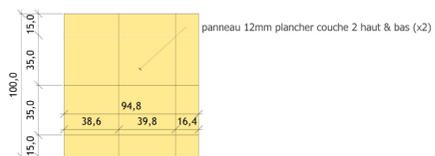
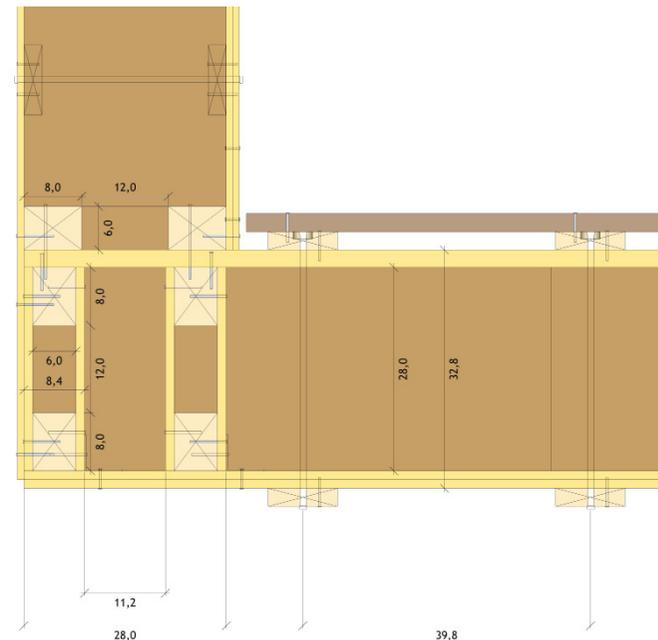
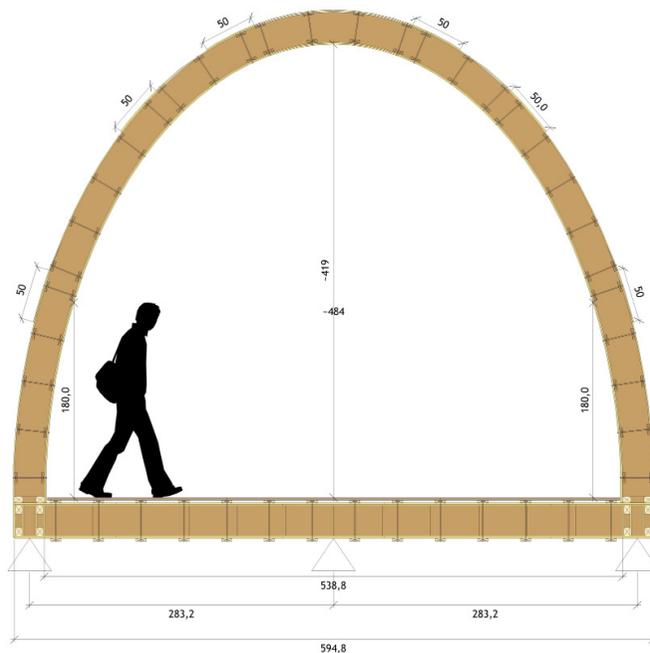
EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
 Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## PRÉPARATION DU TEST D'UNE TRANCHE DE VOÛTE

Plans d'atelier

Des études d'une grande précision et rigueur sont nécessaires car la mise en œuvre ne laisse que peu de place à l'improvisation.

Durée des études : environ une semaine.

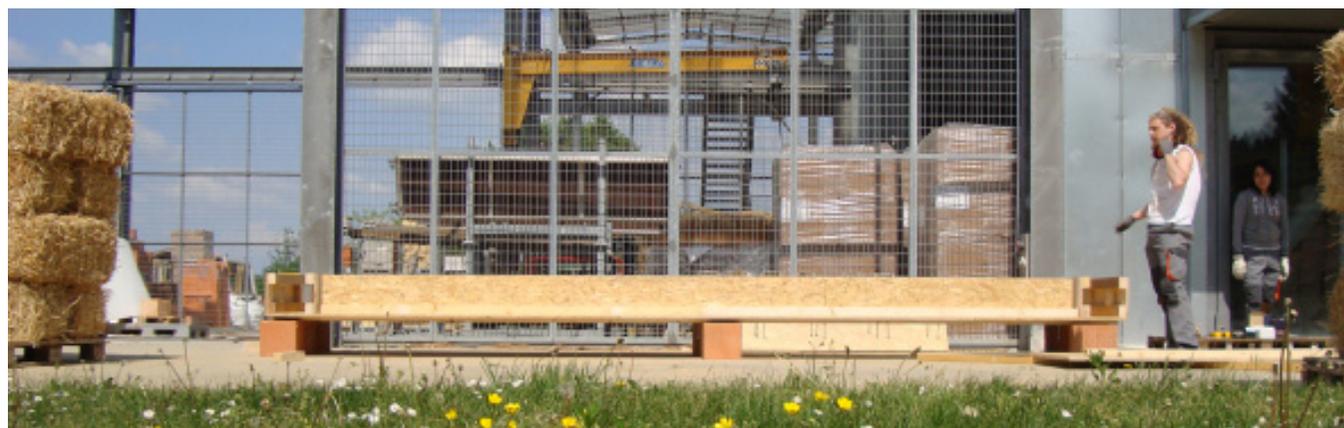


EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## TEST D'UNE TRANCHE DE VOÛTE

Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, avril 2010

- bottes de paille standard pour la construction (densité 100 kg/m<sup>3</sup>)
- largeur de la tranche 125 cm (largeur d'un panneau OSB), portée de 5,4 m avec appui intermédiaire
- emploi de machines d'atelier et d'outils électro-portatifs pour un travail plus précis et rapide... mais de moyens qui restent dans le domaine de l'autoconstruction
- 8 jours de chantier démontage inclus, 2-4 personnes



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## TEST D'UNE TRANCHE DE VOÛTE

Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, avril 2010

### Le plancher :

- compression des bottes de 8 cm (36 cm d'épaisseur initiale à 28 cm)
- fibres placées dans le sens de la portée

### La voûte :

- gabarit de forme en bois de récupération
- fibres placées dans le sens de la largeur
- un premier essai de serrage avec des sangles en polypropylène pour un résultat non satisfaisant
- compression des bottes à 34-35 cm avec les tiges filétées



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

## BILAN

- Nous n'avons pas pu tester un lestage sur la durée qui permettrait un retour plus complet. De même, aucun test de comportement thermique ne fut réalisé suite aux estimatifs théoriques.
- Le serrage OSB-paille qui permet de réaliser leur étroite connexion est le point clé de cette construction, nécessitant d'une rigueur absolue dans la conception et une mise en œuvre avec un grand soin pour garantir le fonctionnement mécanique correct de l'ouvrage et une bonne finition.
- Tel quel, le dispositif reste viable mais est difficilement accessible à l'autoconstruction sans un certain niveau de savoir technique.



EXPÉRIMENTATION D'UNE VOÛTE EN PAILLE PORTEUSE  
Camilo HICHE (Architecte), Samuel NEMOZ (Architecte-Ingénieur), 15 octobre 2010

Lisez le rapport complet pour plus de détails, bientôt disponible en ligne !

MERCI DE VOTRE  
ATTENTION



<http://experimentationvoutedepaille.centerblog.net/>

C.hiche@hotmail.com

Samuel.nemoz@yahoo.fr

