

# Paille et construction

**Luc Floissac**

***GRECAU***

*Groupe de Recherche Environnement Conception en Architecture et en Urbanisme  
École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse*

***Compailleurs***

*Réseau Français des constructeurs en paille.*

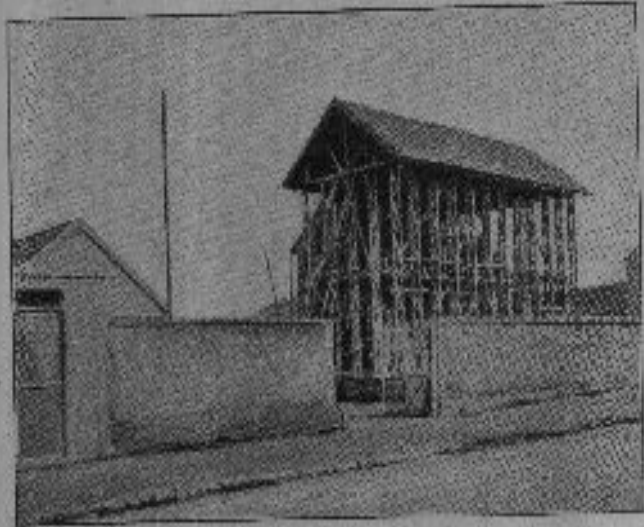
# Science & vie - 1921

## FRAICHES EN ETÉ, CHAUDES EN HIVER. LES MAISONS DE PAILLE SONT AVANT TOUT ÉCONOMIQUES

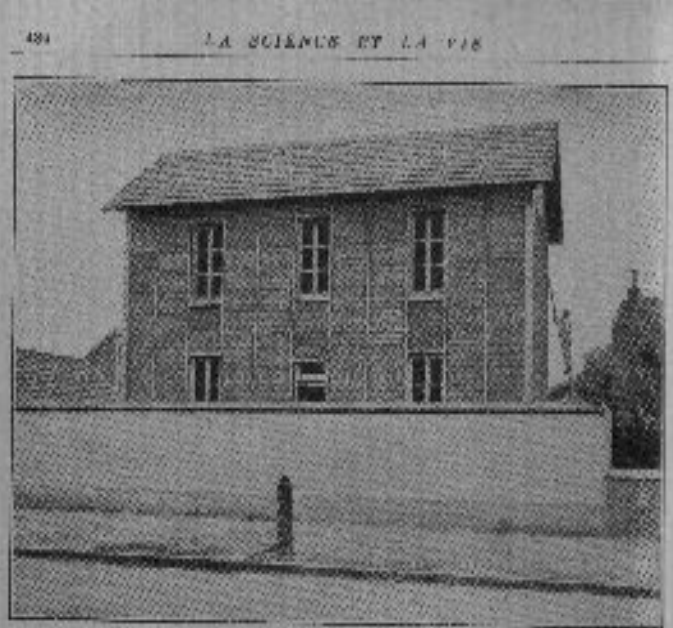
Par GUYOT LAMATHIE

La maison de paille. L'association de ces deux mots est bien de nature à provoquer de frémissements, même chez les personnes les mieux préparées aux innovations de la conception des bâtiments modernes. En conséquence, il n'est pas rare de voir, à l'heure actuelle, que la maison de paille est une œuvre originale et originale, reproduite en France à plusieurs endroits, et dans la ville de Nombrey, au Val de France, au nord de Paris, où elle est construite par un architecte qui s'est inspiré de la maison de paille de Nombrey, construite par un architecte qui s'est inspiré de la maison de paille de Nombrey.

double pour que cela soit, en France, un grand succès. Les maisons de paille sont simples, économiques, à petit coût, et peuvent être construites par les habitants eux-mêmes, sans avoir besoin de la construction et de la main-d'œuvre de la ville de Nombrey. La maison de paille est une œuvre originale et originale, reproduite en France à plusieurs endroits, et dans la ville de Nombrey, au Val de France, au nord de Paris, où elle est construite par un architecte qui s'est inspiré de la maison de paille de Nombrey, construite par un architecte qui s'est inspiré de la maison de paille de Nombrey.



MAISON DE PAILLE EN COURSE DE CONSTRUCTION. LE TOIT EST EN PAILLE ET LES MURS EN BOIS.



LA MAISON DE PAILLE EN COURSE DE CONSTRUCTION. LE TOIT EST EN PAILLE ET LES MURS EN BOIS.



LA MAISON DE PAILLE EN COURSE DE CONSTRUCTION. LE TOIT EST EN PAILLE ET LES MURS EN BOIS.

LA MAISON DE PAILLE. Cette maison est construite en paille et bois. Elle est économique et saine. Elle est construite par les habitants eux-mêmes, sans avoir besoin de la construction et de la main-d'œuvre de la ville de Nombrey.



LA MAISON DE PAILLE EN COURSE DE CONSTRUCTION. LE TOIT EST EN PAILLE ET LES MURS EN BOIS.

LA MAISON DE PAILLE. Cette maison est construite en paille et bois. Elle est économique et saine. Elle est construite par les habitants eux-mêmes, sans avoir besoin de la construction et de la main-d'œuvre de la ville de Nombrey.



Montargis – Loiret – 45  
(Oldest SB house knowed in Europe - 1921)

# Choix des matériaux

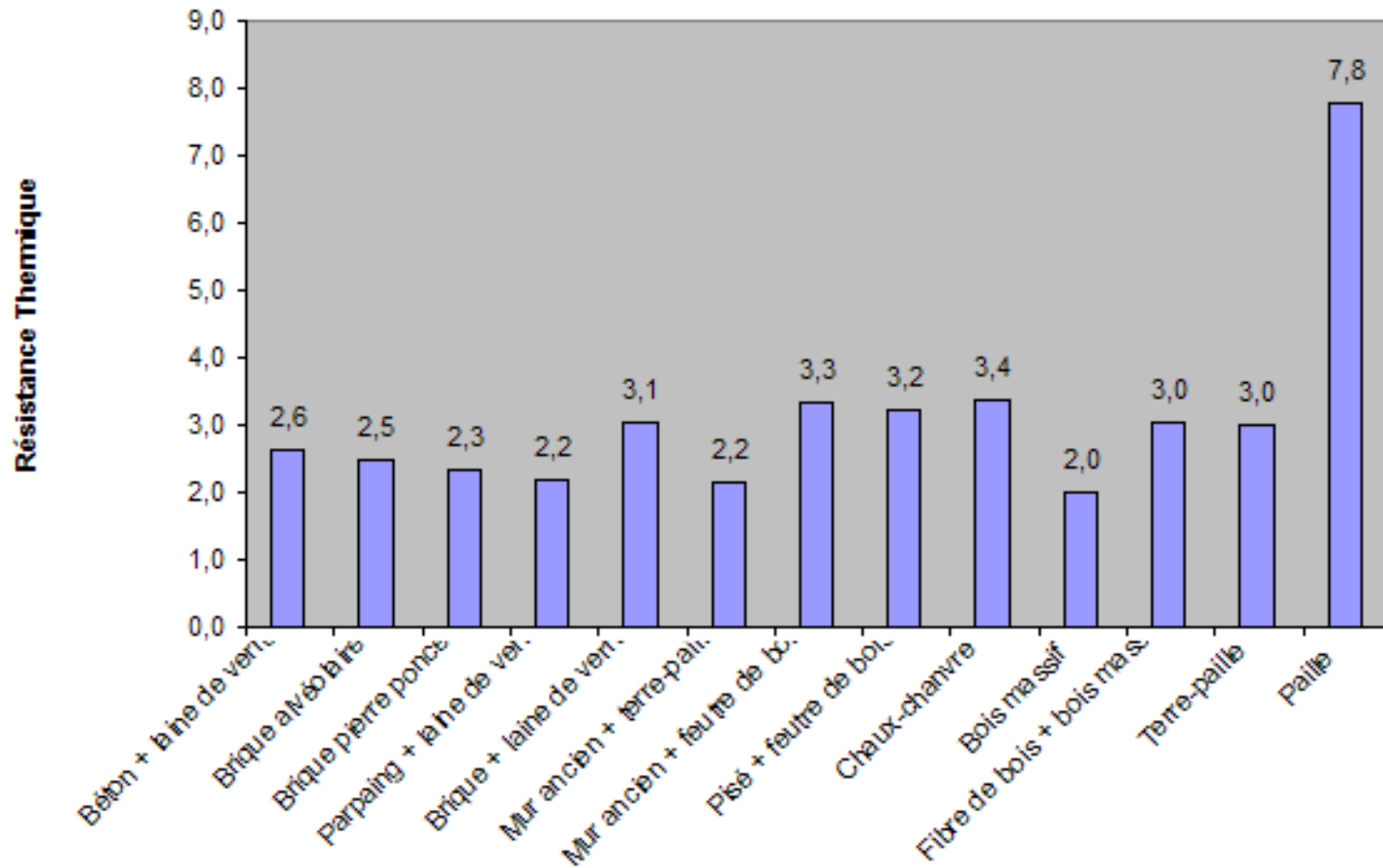
- Riz, Seigle, Tritical, blé, orge, avoine (ordre décroissant de résistance à la pourriture).
- Bottes saines et bien ficelées
- Stockage au sec (sur palettes), aéré si sous bâche
- Trier les bottes par dimension (gabarit)
- Prévoir 10% de « chutes »

# Avantages

- Grande compatibilité bois / paille
- Isolation record
- Excellente régulation hygrothermique
- Rapidité du remplissage
- Exceptionnelle tenue en cas d'incendie
- Favorise l'auto-construction
- Déchets (volume / typologie)
- Bilan carbone

# Isolation record

Résistance thermique



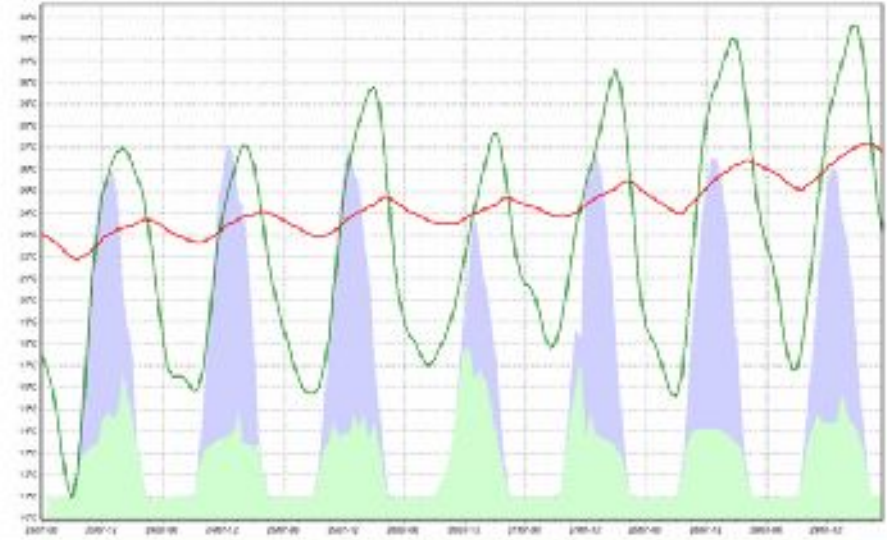
NB: Il semble que les bottes sont plus isolantes sur chant.

# Résistance à la canicule

Comparaison des températures dans une maison durant la semaine la plus chaude de l'année.



*Evolution de la température au cours d'une canicule dans une maison en briques monomur.*



*Evolution de la température au cours d'une canicule dans une maison en paille avec 5 cm de terre crue à l'intérieur.*

Simulation numérique réalisée avec le logiciel Pleiades.

- Maison de 85 m<sup>2</sup>
- Histogrammes = rayonnement horizontal (direct en bleu, diffus en vert).
- Courbe verte = évolution des températures extérieures.
- Courbe rouge = évolution des températures intérieures.

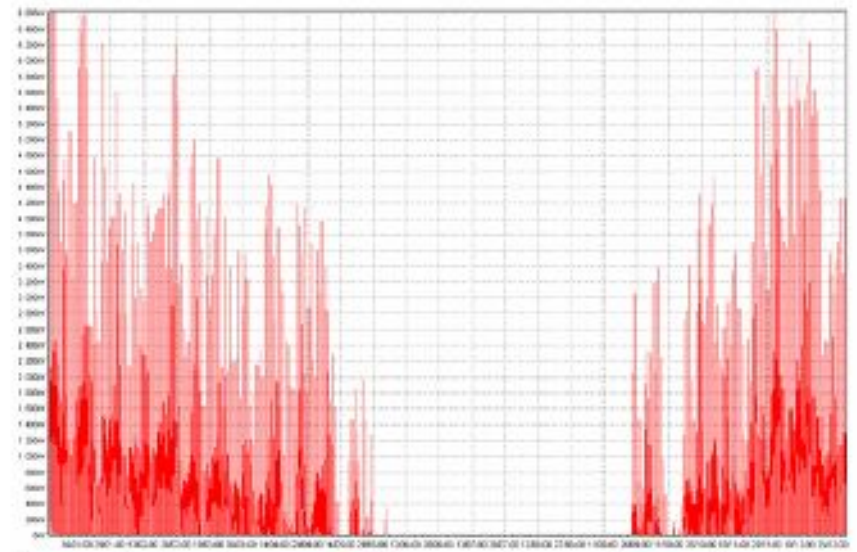
- Enduit extérieur 3 cm
- Bottes de paille
- Enduit intérieur 5 cm de terre crue

Meilleur comportement que briques monomur

# Besoins de chauffage



*Besoin de chauffage annuel d'une maison en monomur*  
**5794 kWh**



*Besoin de chauffage annuel d'une maison en botes de paille.*  
**3069 kWh**

- Besoins de chauffage 1,8 fois inférieur à une maison en monomur.
- 3069 kwh pour 85 m2 = 36 kwh / m<sup>2</sup>



# Excellente régulation hygrothermique

## Résultats de l'étude scientifique 'Paille'. Montholier

Pour une masse volumique = 80 kg/m<sup>3</sup> :  $\lambda$  utile = 0,070 W/m.K

Cette performance est relativement mauvaise (la plupart des données étrangères oscillent entre 0,040 et 0,065 W/m.K).

Ceci s'explique sans doute par le sens des fibres choisies et par le protocole d'essai utilisé. (voir [www.fasba.de](http://www.fasba.de) essai Allemands qui donnent soit 0.040 ou 0.065 selon sens des fibres)

Des essais thermiques ont été réalisés avec de la paille sèche (0% d'Humidité Relative) et de la paille humide (50 puis 90% HR). Les résultats sont :

**0,064 (0% d'HR)  $\leq$   $\lambda$  utile  $\leq$  0,069 à 0,072 (90% HR)**

Les performances thermiques de la paille ne s'altèrent que très peu en présence d'humidité. Cette information est de première importance puisque l'on travaille généralement, avec des remplissages isolants en paille, en parois perspirantes.

## Résultats de l'étude scientifique 'Paille'. 2/6

- . La perméabilité du matériau à la vapeur est très grande :  $\mu = 1$

Cette valeur nous éclaire en partie sur les raisons pour lesquelles la paille semble si peu sensible à la présence d'humidité.



- . Comportement de la vapeur d'eau à l'intérieur des murs.

*Pose d'une sonde pour le suivi hygrothermique*

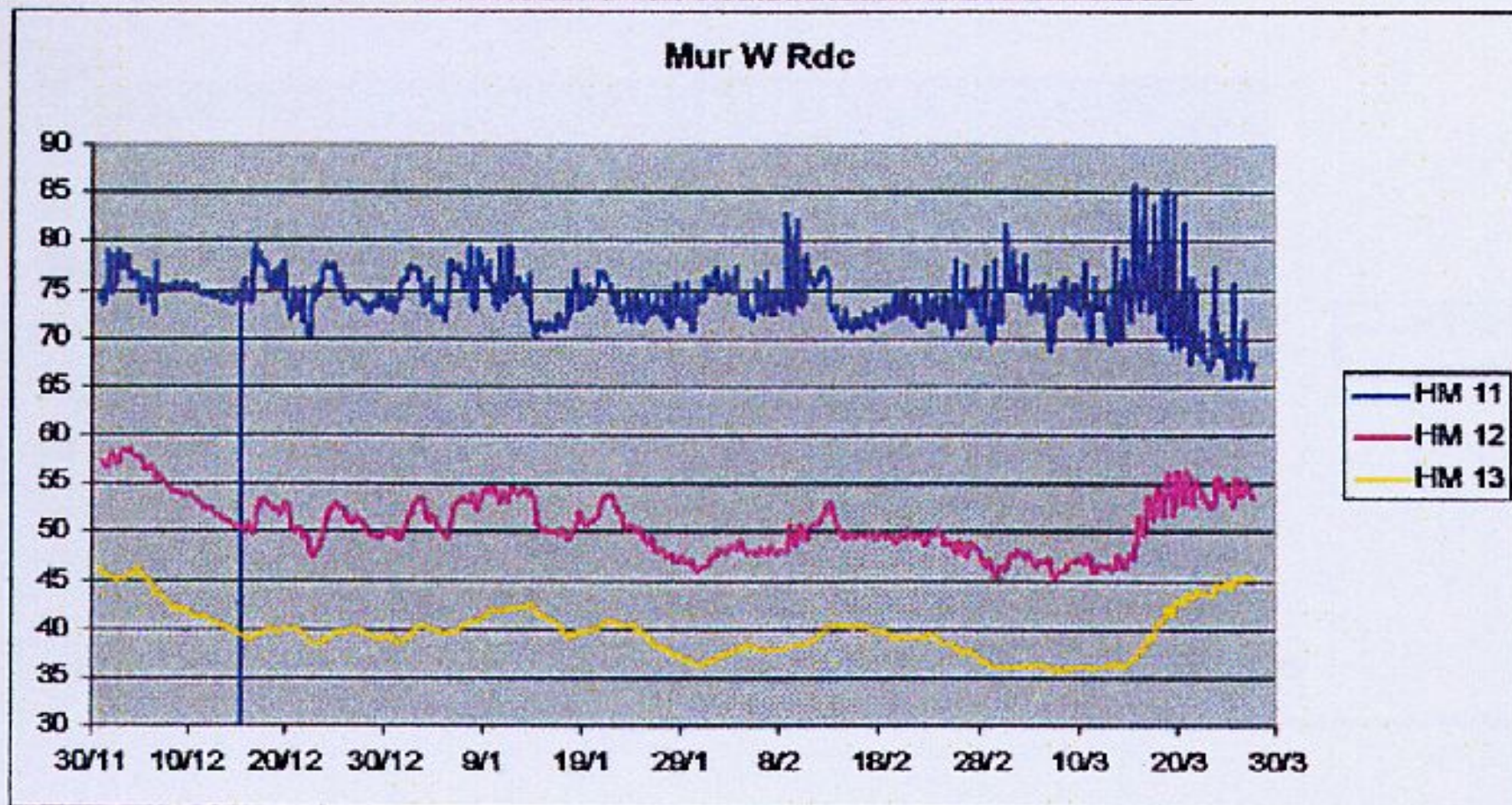
# Perspiration

- La perméabilité du revêtement intérieur doit être inférieure ou égale à celle du revêtement extérieur.
- <http://projects.bre.co.uk/moisture/>

Intérieur	Extérieur
Enduit terre	Enduit terre (si protégé) Bardage bois
Enduit terre + chaux	Enduit terre + chaux (moins hydraulisé). Bardage bois
Enduit chaux aérienne	Enduit chaux (moins hydraulisé). Enduit terre (si protégé) Bardage bois
Enduits chaux hydraulique Plaques de plâtre ou fermacell Bardage bois ventilé sur frein vapeur	Enduit chaux (moins hydraulisé). Enduit terre (si protégé) Bardage bois

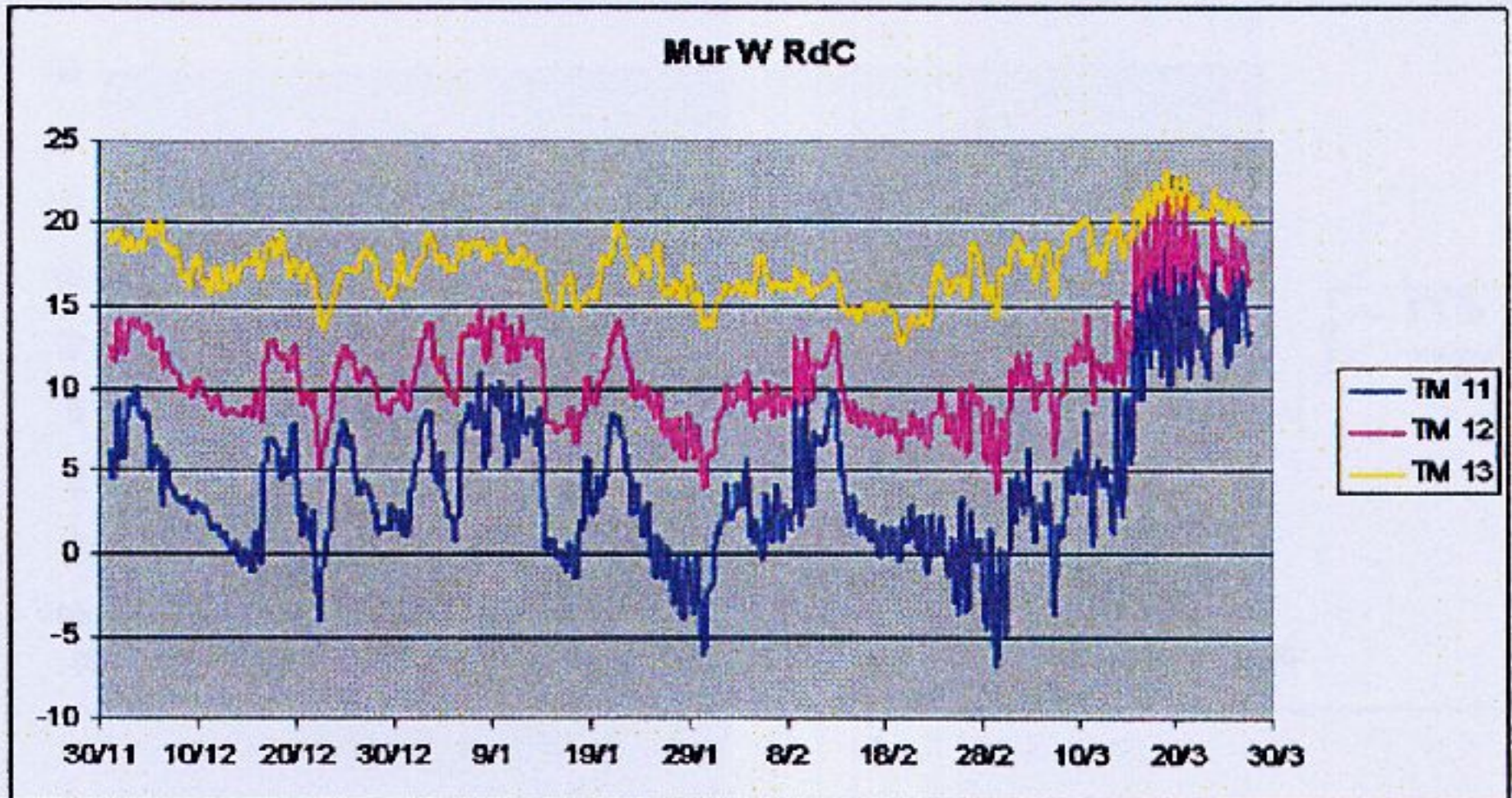
# % taux d'Humidité Relative dans mur paille

## Figure 109 Humidité relative paroi P1



# Température dans mur paille

## Figure 110 Températures paroi P1



## Résultats de l'étude scientifique 'Paille'. 3/6

### . Résistance à l'arrachement des enduits

**0,01 MPa** pour un enduit 'chaux et chanvre'

**0,08 MPa** pour un enduit 'chaux et sable' traditionnel

Ces valeurs, inférieures à la valeur imposée par le DTU pour les enduits sur maçonneries traditionnelles (0,3 Mpa) représente tout de même une résistance à la traction de :

- 1 t par m<sup>2</sup> soit près de 25 fois la masse des enduits pour la première;
- 8 t par m<sup>2</sup> soit près de 200 fois la masse des enduits pour la seconde.

# Bottes de paille



DIVISION PRODUITS DE LA CONSTRUCTION

Domaine de Saint-Paul  
102 route de Limours  
91171 SAINT-JEAN-LES-CHEVÈRES

DIRECTION SCIENTIFIQUE

UTILISATION DE LA PAILLE EN PAROIS  
DE MAISONS INDIVIDUELLES  
À OSSATURE BOIS

Extraits du Rapport final  
Tome 2 – Expérimentations en laboratoire  
Instrumentation in situ

Figure 21: Généralisation de la paille



Figure 22: Murs en paille dans une maison



Figure 23: Chauffage à paille



Figure 24: Paille en feu après 10 minutes



Figure 25: Paille en feu après 15 minutes



Figure 26: Murs en paille après incendie



**Résistance thermique d'un mur en botte de paille entre 5 et 8 m<sup>2</sup>.K/W ( 9 maisons neuves sur 10 n'excèdent pas un R=1,5 et quasiment aucune au-delà de R = 3.**

**Excellente tenue au feu !**

## Résultats de l'étude scientifique 'Paille'. 4/6



### . Essai au feu d'un élément de toiture

Le feu a duré une vingtaine de minutes. Les températures en surfaces étaient de l'ordre de 800 à 900°C. Durant le test, le panneau est resté stable et aucune combustion n'a pu débuter dans la paille. Les températures mesurées à

l'intérieur du coffre ont été :

de 230 °C maximum à l'interface entre le parement bois et la paille  
de 75 °C maximum à l'intérieur du remplissage en paille.



## Résultats de l'étude scientifique 'Paille'. 5/6



### . Essai au feu d'un élément de mur

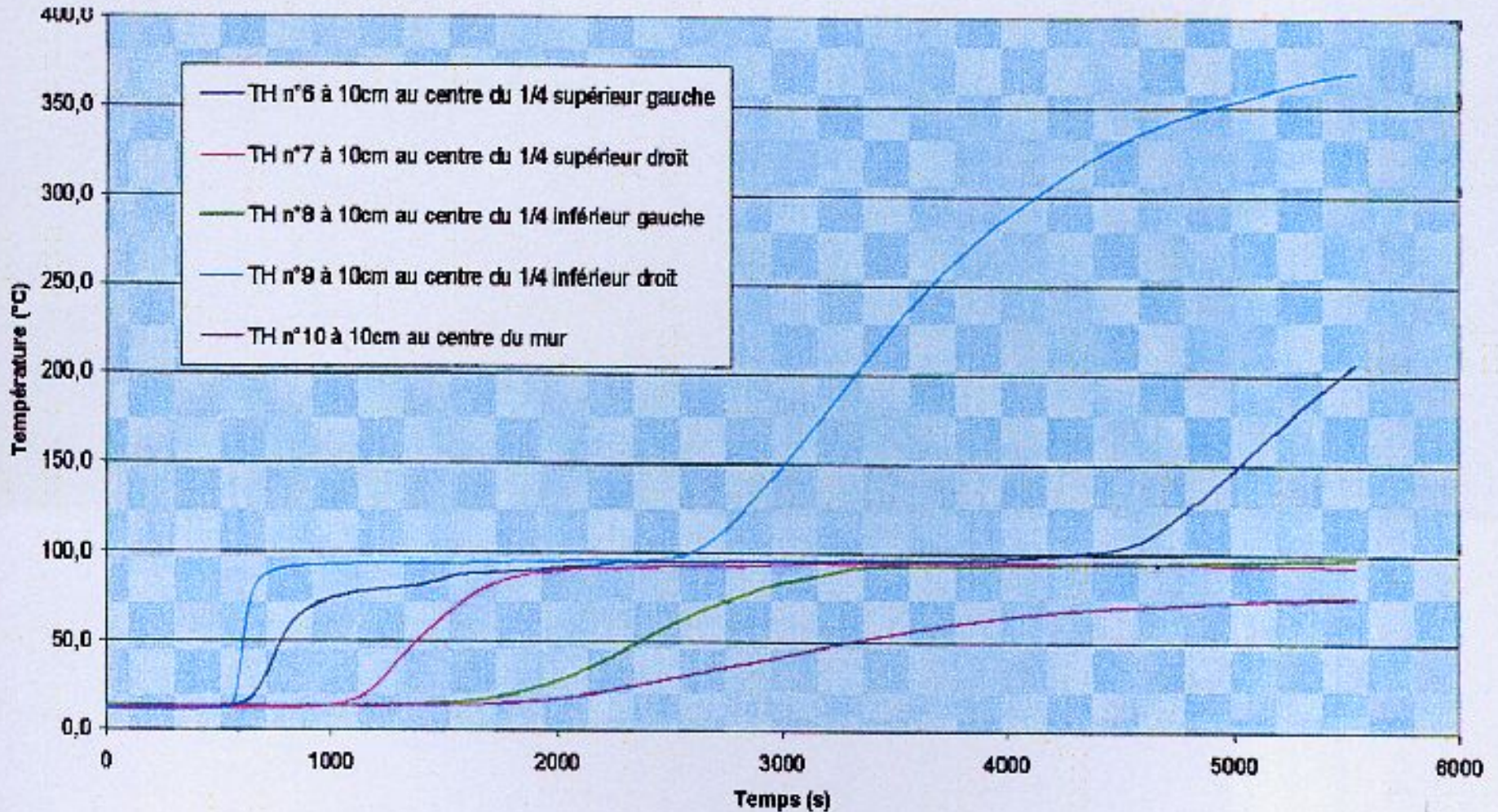
Le feu d'heptane a duré 1 h 25 minutes. La couche superficielle de l'enduit à l'endroit léché par les flammes (8 à 900°C) a cloqué et s'est effondrée au bout de 45 minutes. La couche suivante n'a pas été significativement endommagée durant l'essai. Après 40 minutes, une combustion a été repérée dans la paille.

Cette combustion ne s'est que très lentement et partiellement propagée à l'intérieur du mur. L'ossature bois n'a pas été attaquée.

# Essai feu sur maquette mur

Maquette mur - thermocouples sur la face intérieure à 10 cm

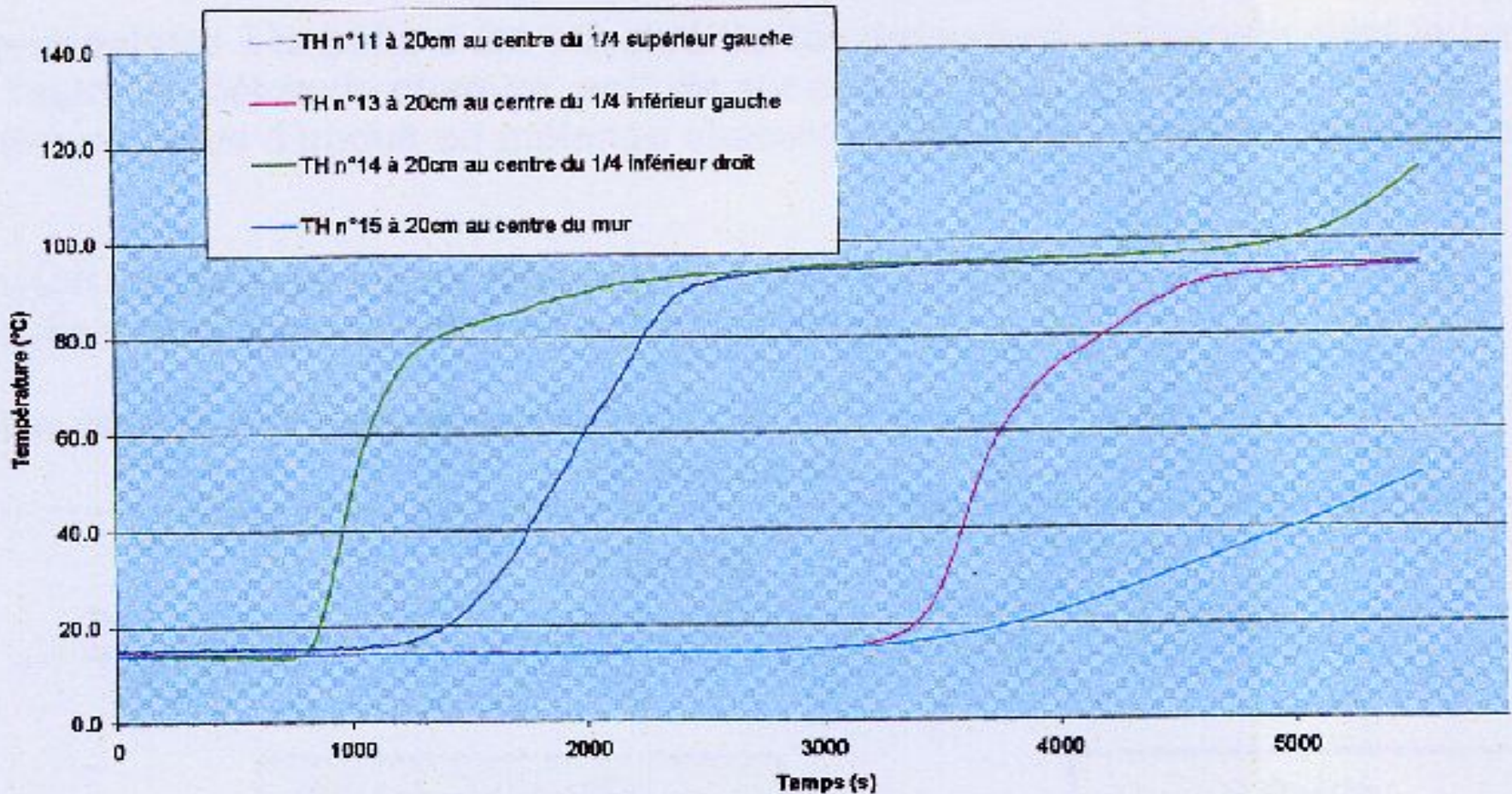
Figure 47



# Essai feu sur maquette mur

Figure 54

Maquette de mur - thermocouples sur la face Intérieure à 20 cm



# Résultats de l'étude scientifique 'Paille'. 6/6

## Performances acoustiques des parois en paille\*

Par rapport aux bruits extérieurs, la réglementation française demande un isolement supérieur à 30.db (A). Sur la maison 'bois/paille de Montholier les diverses performances enregistrées s'échelonnent entre

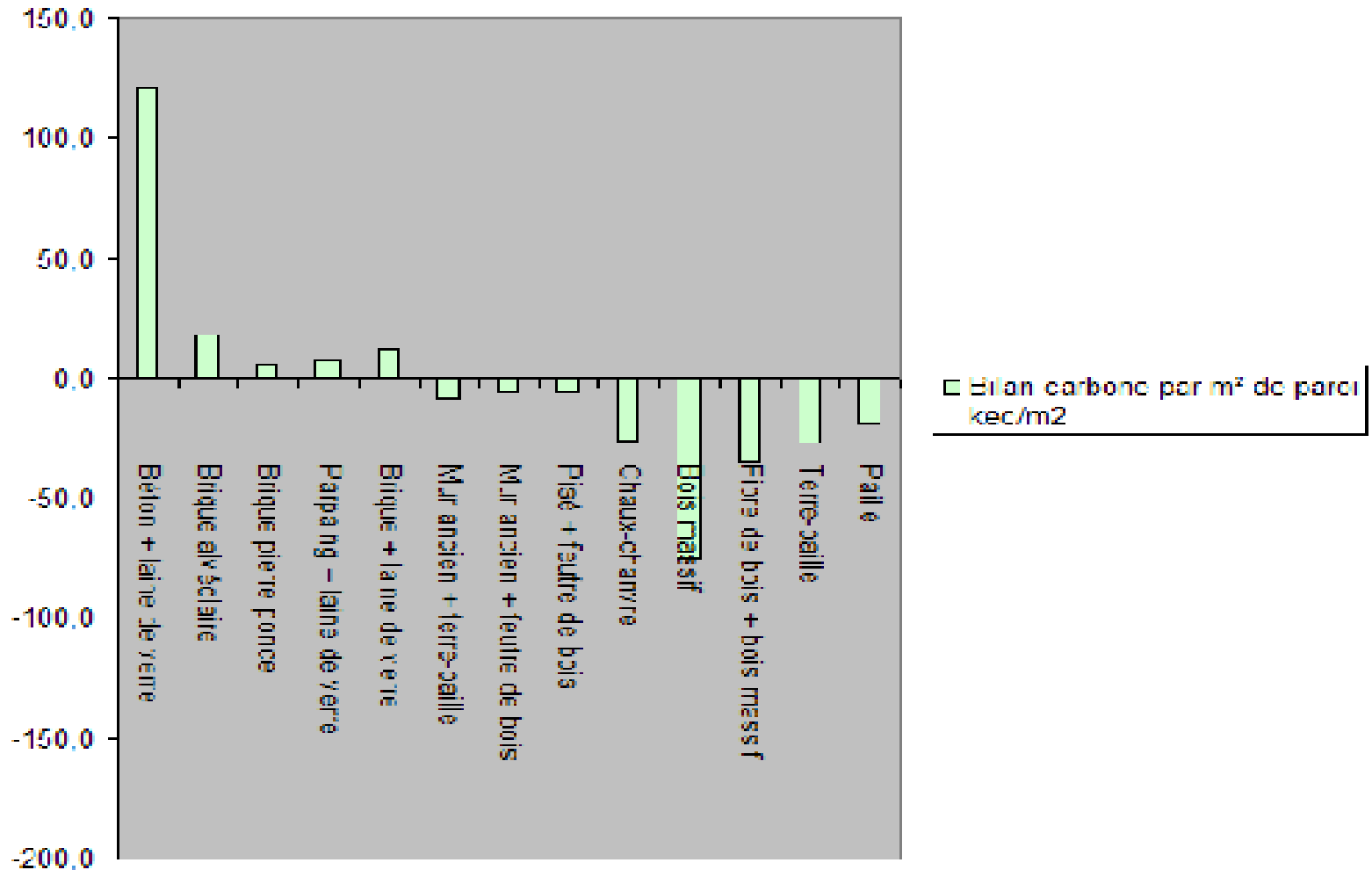
**48 et 57.3.dB (A).**

Ces résultats sont donc très rassurants.

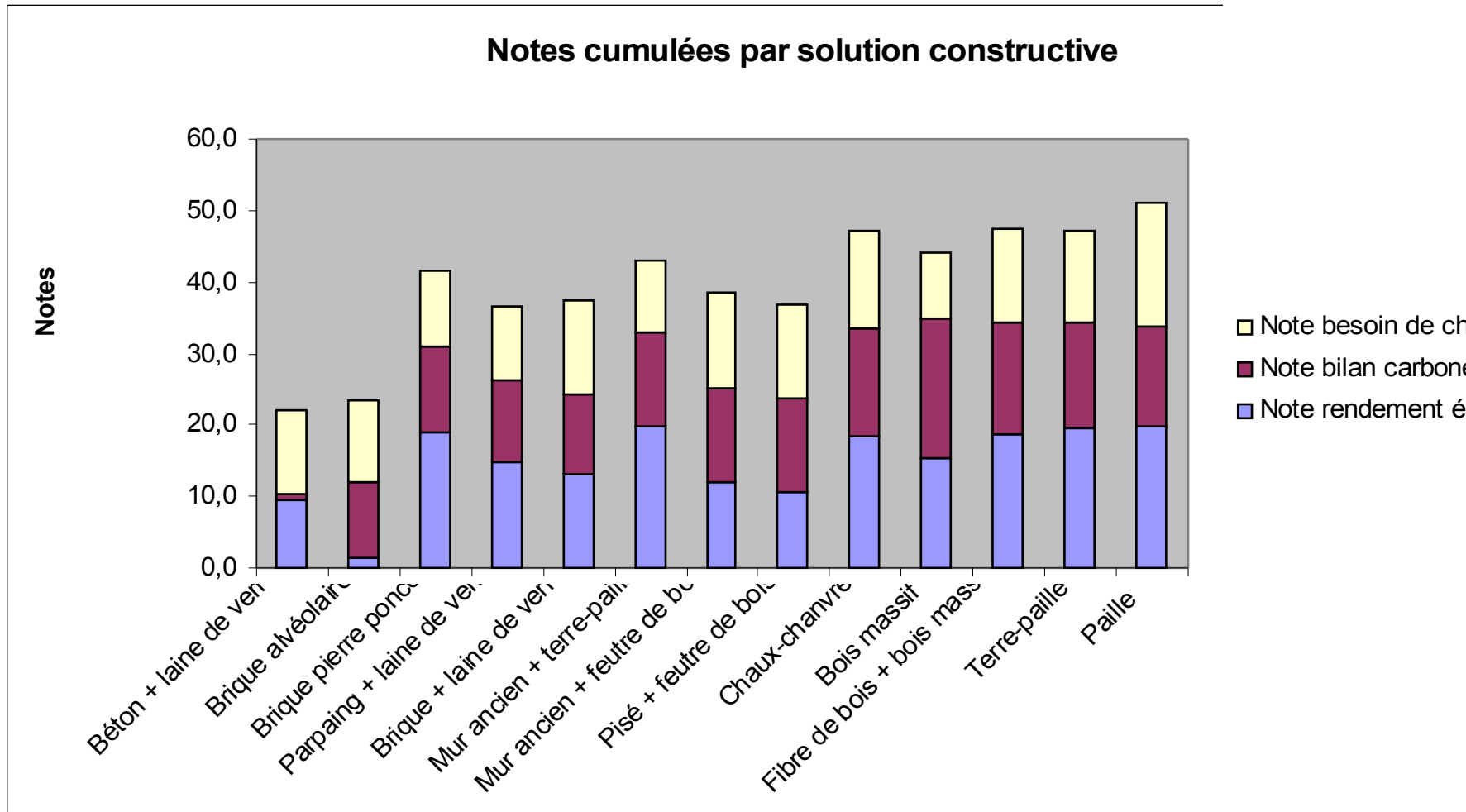
\*Essais réalisés en marge du programme 'CEBTP' par Xavier Campeyron de l'ENTPE (Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat)

# Bilan carbone

Bilan carbone par m<sup>2</sup> de paroi kec/m<sup>2</sup>



# Comparaison de solutions constructives



# Barrières psychologiques

- Bâtiment léger
- Effraction
- Feu
- Rongeurs
- Insectes



# Point réglementaire

- Construction individuelle
  - < 170 m<sup>2</sup> architecte facultatif
  - Permis de construire = aspect extérieur
  - Auto construction possible sans contrôle
- ERP Note de sécurité obligatoire (protection au feu des structures).
- Assurances
- Contrôle technique à la mutation.
- Règles professionnelles (en cours de rédaction au sein des Compailleurs – début d'échanges avec le CSTB).



# Terre / Paille - réalisations

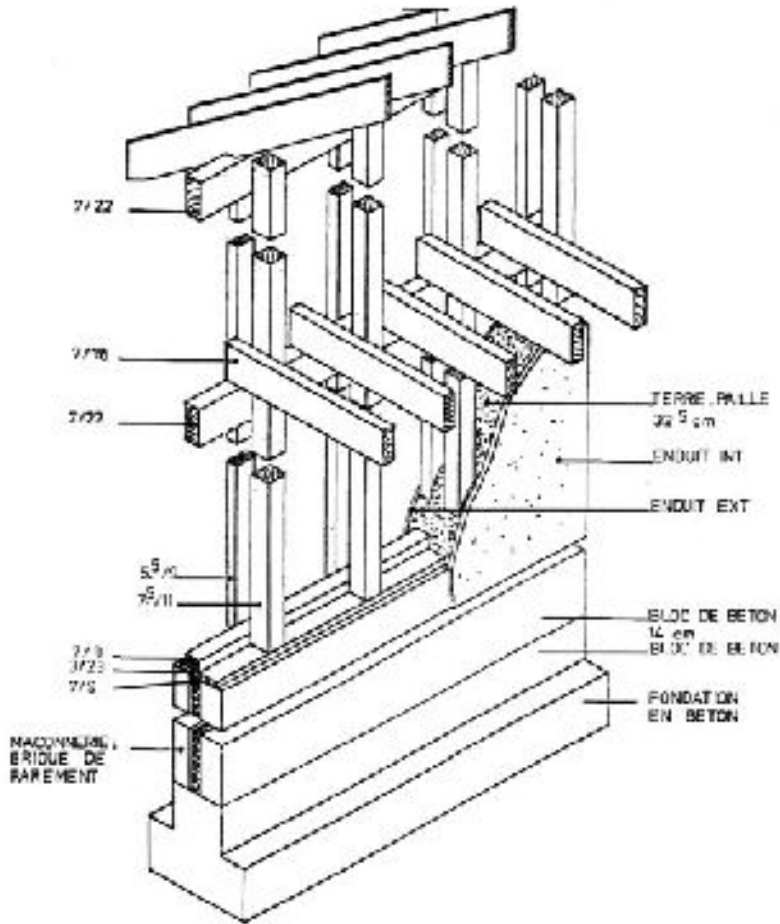


**Maison Kohlman (Belgique  
Viviane et Robert Kohlman.  
Tél.: +32 (0)19/63 54 46 )**



# Terre-Paille - technique

Ossature de liteaux de bois (6x6 cm)



Système constructif: bureau Synergy International

De la paille est mélangée avec de la terre argileuse.



Mur de démonstration réalisé par Eric Pauporté  
Photographie : Paul De Neyer 2003

# Terre-paille – technique de mélange

A la main, dans une baignoire...



Avec le tracteur...



Avec un malaxeur horizontal, fait maison...



# Terre-paille – technique - murs

Une ossature de bois permet d'armer les murs.



# Terre-paille – technique - toit

Coffrage provisoire sous toiture



De simples tasseaux permettent d'armer / supporter le terre paille

Remplissage par dessus



Fermeture de l'isolant (parquet)



Vue de dessous (débanchage immédiat)



Source: A. Marcom

# Terre-paille / Panneaux préfabriqués (1)

- Fabrication de moules.
- Remplissage terre-paille.
- Tassage mélange



# Terre-paille / Panneaux préfabriqués (2)

- Démoulage immédiat



- Séchage à l'air = prise



# Terre-paille – Panneaux préfabriqués (3)

- Sciage si nécessaire



- Pose





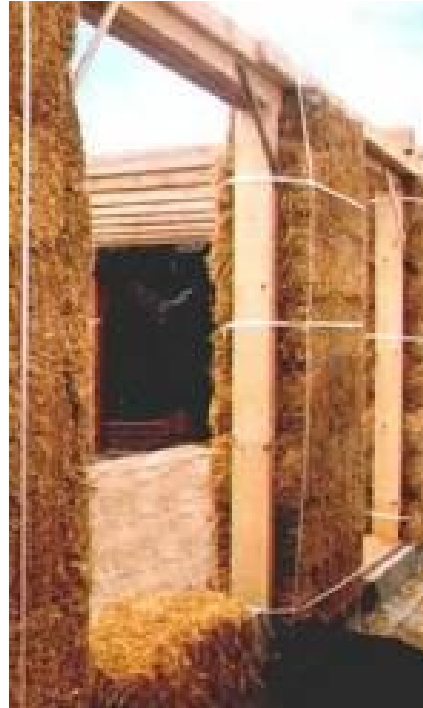


## Bottes de paille

Structure = ossature bois

Murs = bottes de paille

Enduit = terre / chaux



# Isolation thermique des murs dans la masse

- Constructions en ballots de bottes de paille
  - Technique Maison Feuillette en France - 1921
  - Ossature porteuse (en bois)
  - Enduit perméable à la vapeur d'eau (terre / chaux)
  - Excellente résistance au feu (avec enduit).
  - Bonne isolation phonique ( $R_w=53$  dB)



Etude CEBTP ADEME CSTB: « Utilisation de la paille en parois de maisons individuelles à ossature bois »

# Isolation thermique des murs dans la masse

- Technique Autrichienne (blocs sandwich OSB-Paille)



- Paille aux Pays bas (Rabobank)



## Technique du GREB



Système constructif d'origine Canadienne:

- Ossature bois
- Remplissage paille
- Mortier banché en sciure de bois / ciment / chaux.
  
- Livre: Construire son habitation en paille

# Panneaux préfabriqués en paille



# Préfabrication de bâtiments



# Paille – Isolation par l'extérieur



# Paille – Isolation par l'extérieur





# Isolation thermique des toits par le dessus: bottes de paille

- Technique rapide
- Grande facilité de travail
- Excellent gestion des ponts thermiques.
- Excellente isolation
- Impose de travailler de bas en haut
- Pare pluie = feutre de bois



Densité paille: 100 Kg/m<sup>3</sup>

$\lambda$  : 0.045 W/m.K

Énergie grise: 5 kWh/m<sup>3</sup>

Prix paille: 2 € / m<sup>2</sup>



# Paille / bâtiment agricole

Brasserie "en Kanette" chez Christian GARLAN – ALGANS (81)



# Paille / bâtiment agricole



# Bottes géantes



# Bottes géantes



## Productions agricoles en France (2005)

	Ha	Rendements paille (qx/ha)	Production de paille (en tonnes)
Blé tendre	4 859 319	65	31 585 574
Blé dur	421 428	65	2 739 282
Seigle	31 447	75	235 853
Orge	1 602 409	60	9 614 454
Avoine	111 378	70	779 646
Maïs	1 622 640	95	15 415 080
Triticale	330 376	80	2 643 008
Riz	17 880		50 000*
Tournesol	643 729	60	3 862 374
Lin oléagineux	11 507		

1 maison de  $100\text{m}^2 \approx 100 \text{ m}^2$  de mur +  $130 \text{ m}^2$  de toiture  $\approx 500$  bottes de paille  $\approx 10$  tonnes

soit

**2 ha de blé**

Sources :

- AGRESTE – ITAB
- INRA Montpellier (\*)

# Construction en France (2005)

Type de logements	Nb de créations
Individuels	266 348
Collectifs	221 735

Surface moyenne d'un logement :

Individuel = 130 m<sup>2</sup>

Collectif = 73 m<sup>2</sup>

Paille nécessaire :

- Individuel  $\approx$  3 015 246 de T (10% la paille blé tendre)

- Collective  $\approx$  1 599 508 de T (5 % paille de blé tendre)

Type de	Surfaces (en m <sup>2</sup> )
Logements Individuels	34 846 000
Logements collectifs	16 251 000
bureaux	4 658 000
commerces	5 656 000
bât. industriels	9 682 000
Stockage non agricole	3 760 000
Stockage agricole	2 763 000
Constructions agricoles hors stockage	10 478 000
Equipements collectifs	5 926 000