

La terre crue, nouvelle alliée de la construction écologique

Plan de lecture :
1 - procédés de
construction : de
0:00 à 11:25
2 - aperçu
historique : de
11:25 à 27:00

Rencontre - Savoirs pour l'action
CGDD
21/03/19
Erwan Hamard



IFSTTAR

Plan de la présentation

- Présentation des procédés de construction
- Aperçu historique de la construction en terre
- Performances
- Impacts de la construction en terre crue
- Construire en terre aujourd'hui
- Conclusion



PRÉSENTATION DES PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION



Adobe



Adobe



Maçonnerie de briques de terre crue



Bauge

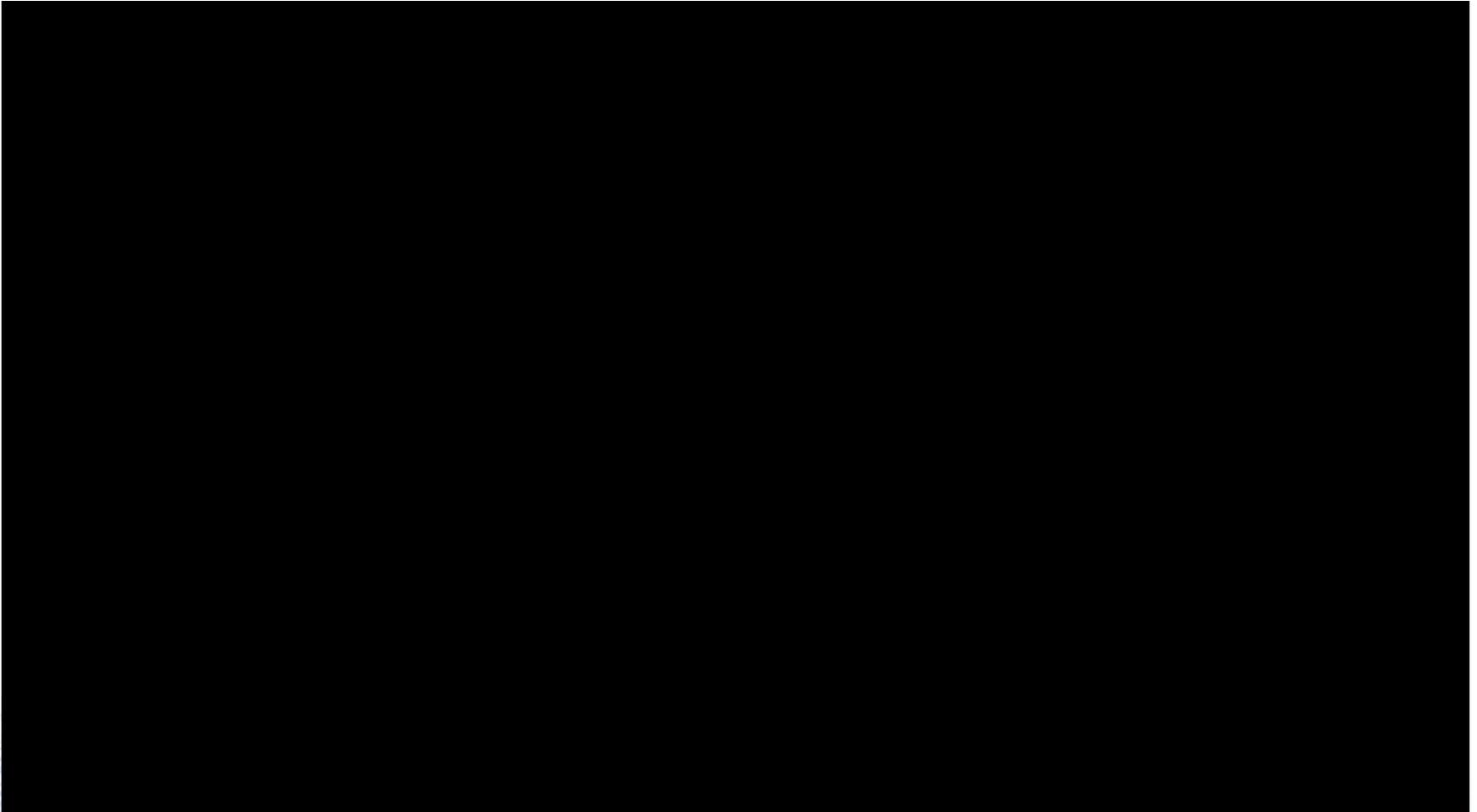


Chantier : Ghislain Maetz, Architecte : Amélie Le Paih, Vidéo : Sunmetron

Bloc de Terre Comprimée (BTC)



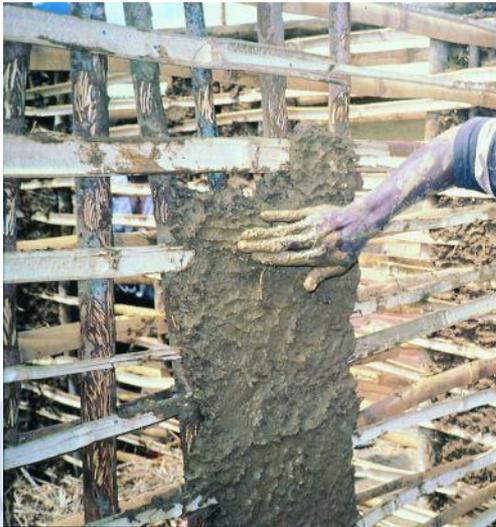
Maçonneries de brique compactée



Vidéo : Régis Marlier

Terre coffrée compactée

Torchis



Terre de garnissage

Enduits



Chantiers Triphine Duvaufferrier

Enduits de protection

Terre allégée



A l'intérieur,
le terre-chanvre
est projeté sur le mur.

Réalisation et vidéo : Eco Pertica

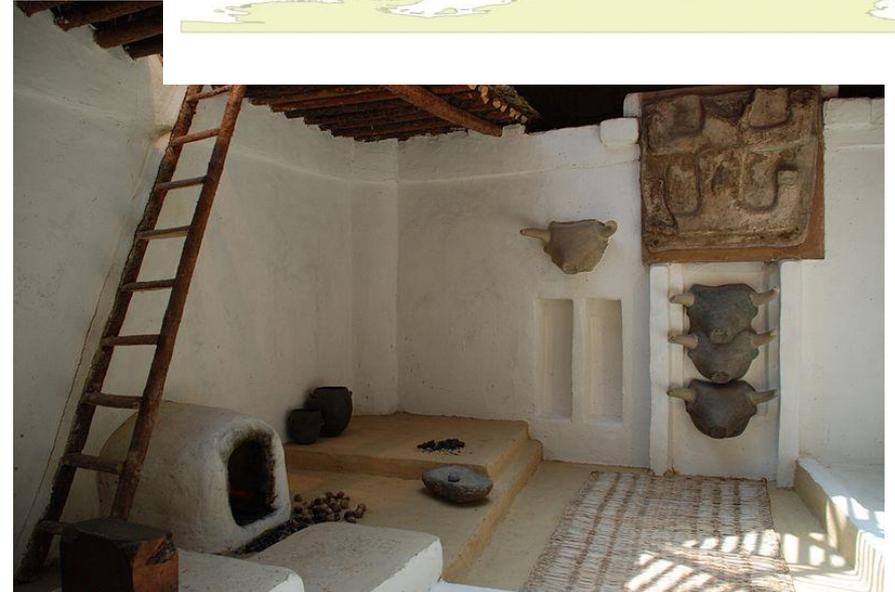
APERÇU HISTORIQUE DE LA CONSTRUCTION EN TERRE



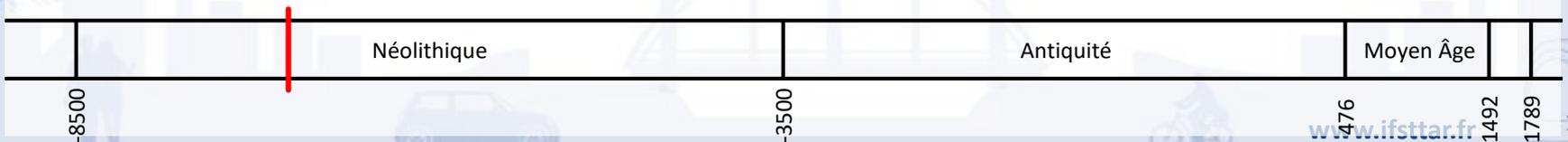
Çatal Höyük



Vue du site archéologique



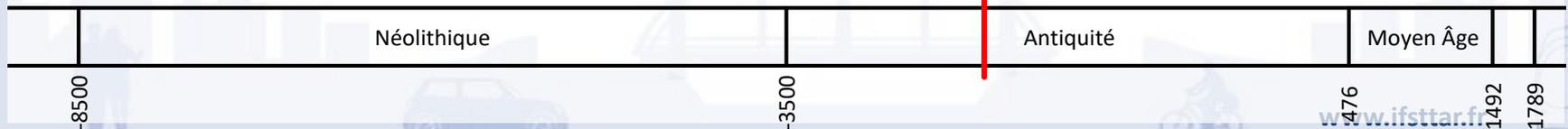
Reconstitution d'une habitation



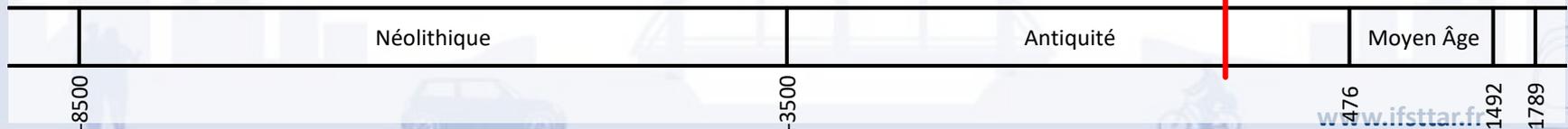
Ur



Ziggourat d'Ur



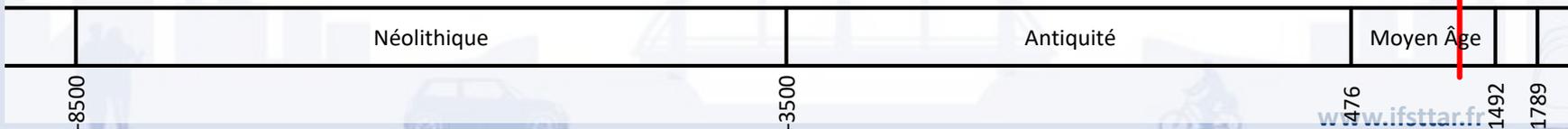
Grande muraille



Mosquée de Djenné



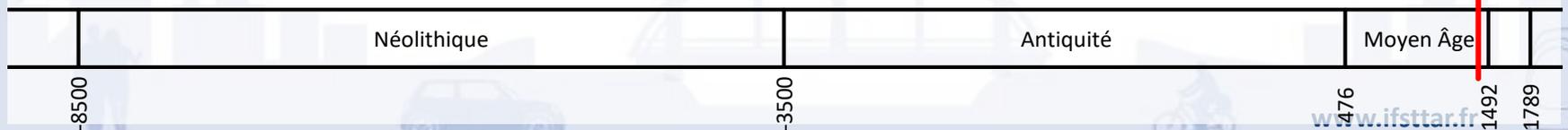
Mosquée de Djenné
construite en banco



Chuxi tolou



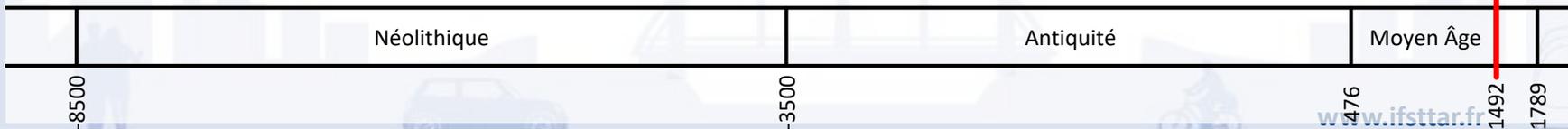
Habitat fortifié en pisé



Shibam



Immeubles en adobes pouvant aller jusqu'à 8 étages (30 m) de haut



Lyon



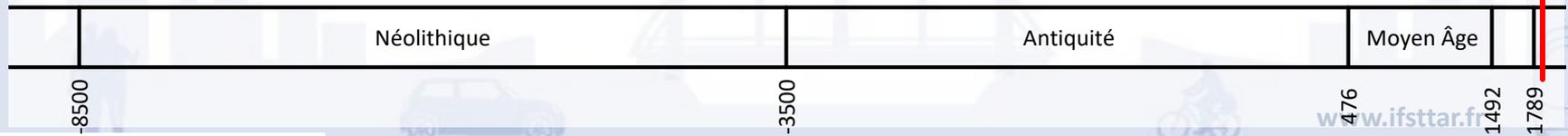
Photo Emmanuel Mille



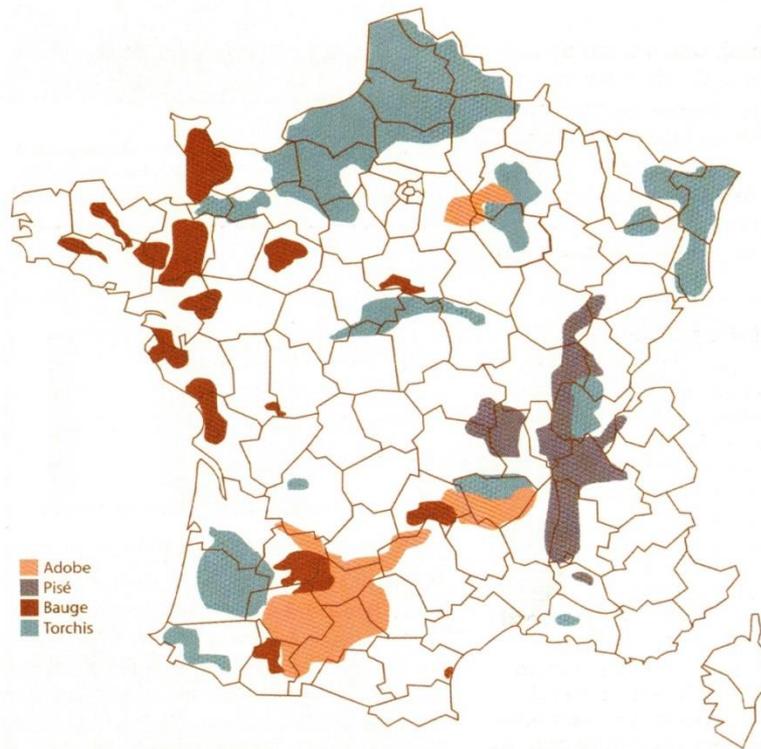
Photo Anne-Sophie Cléménçon



Mur pignon de 20 m de haut



Un patrimoine riche



- 1 million de logement en terre (*Michel et Poudru, 1987*)
- 15 % du patrimoine

(*Lebas et al. 2007*)



Un marqueur social

Une famille devant sa bourrine (Vendée)

*(Conservation Départementale
des Musées de Vendée in Milcent
2004)*



Un patrimoine exemplaire

Château en bauge (Vern-sur-Seiche)

(Bardel et Maillard 2009)



Grange en bauge (Noyal-sur-Vilaine)



Un souhait de modernité

**Ferme en pisé
(Montrevel-en-
Bresse)**

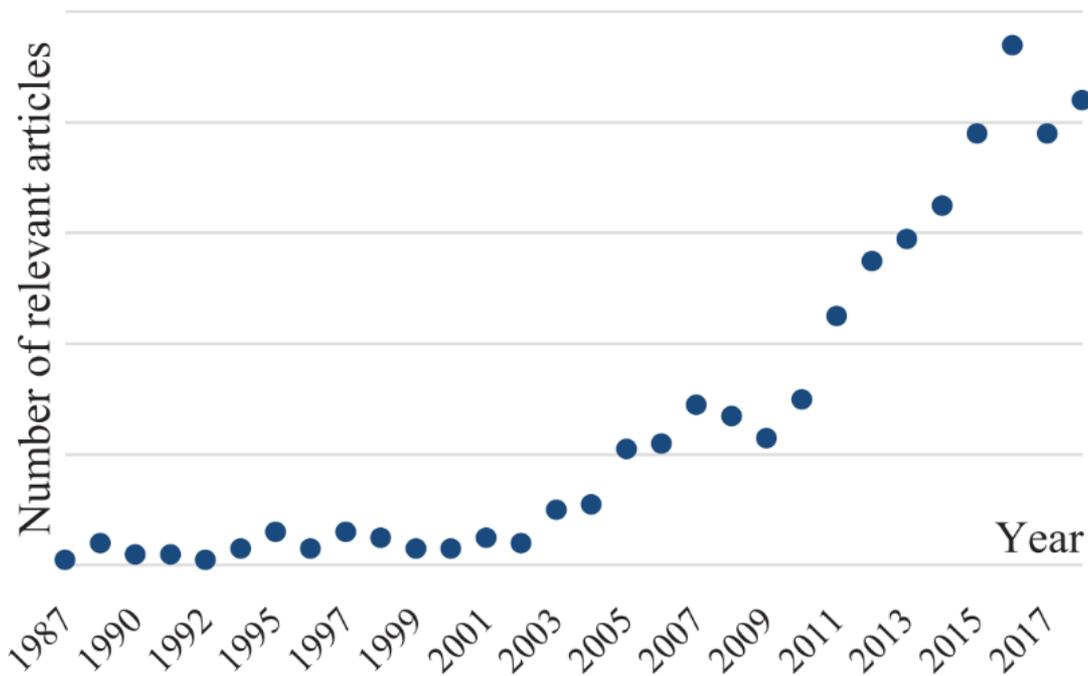


La terre marque un temps d'arrêt

- Exode rural massif
- Développement du chemin de fer
- Désir de modernité
 - Abandon progressif de la terre crue
 - Perte des savoir-faire



Renaissance de la terre crue



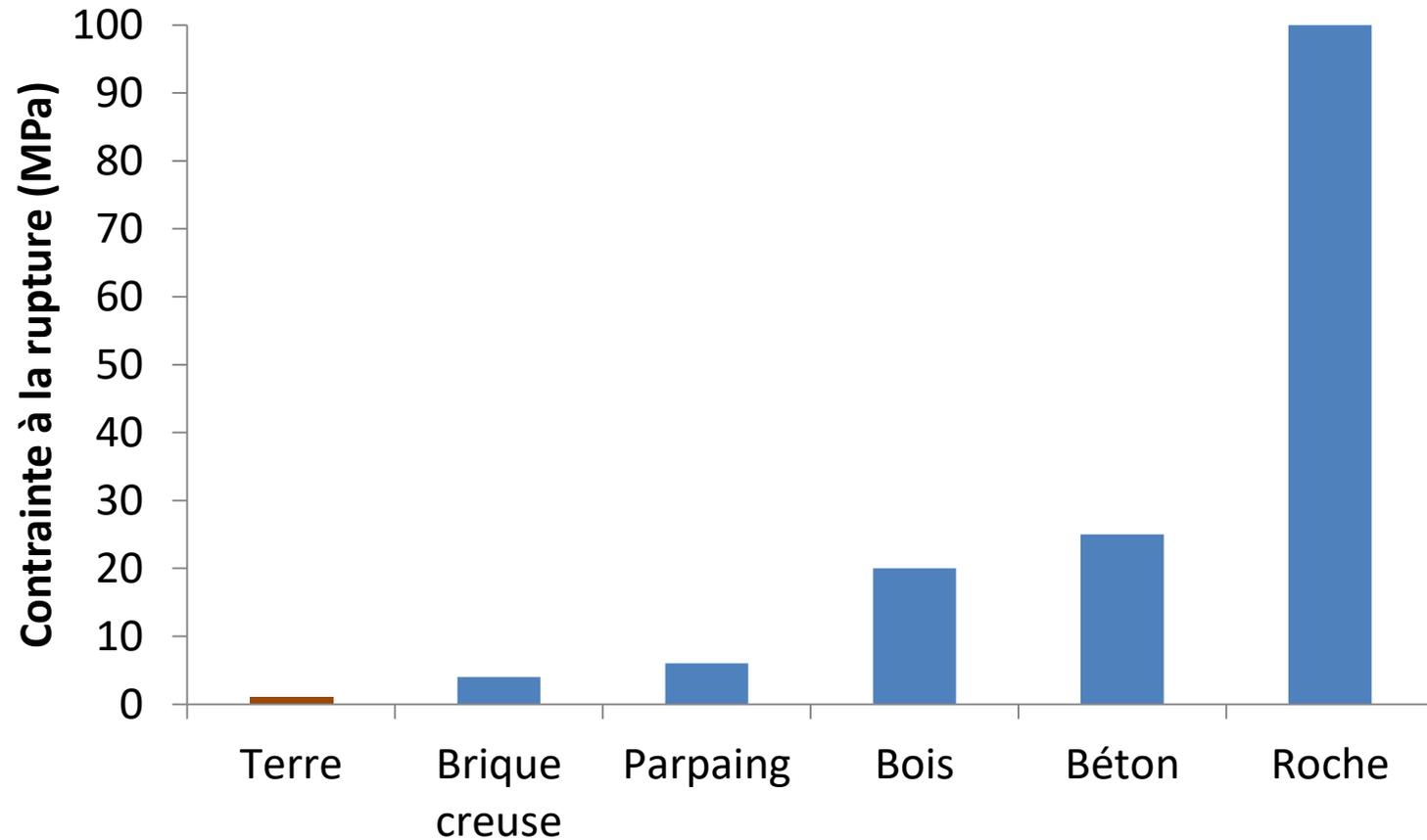
(Morel et Charef 2019)



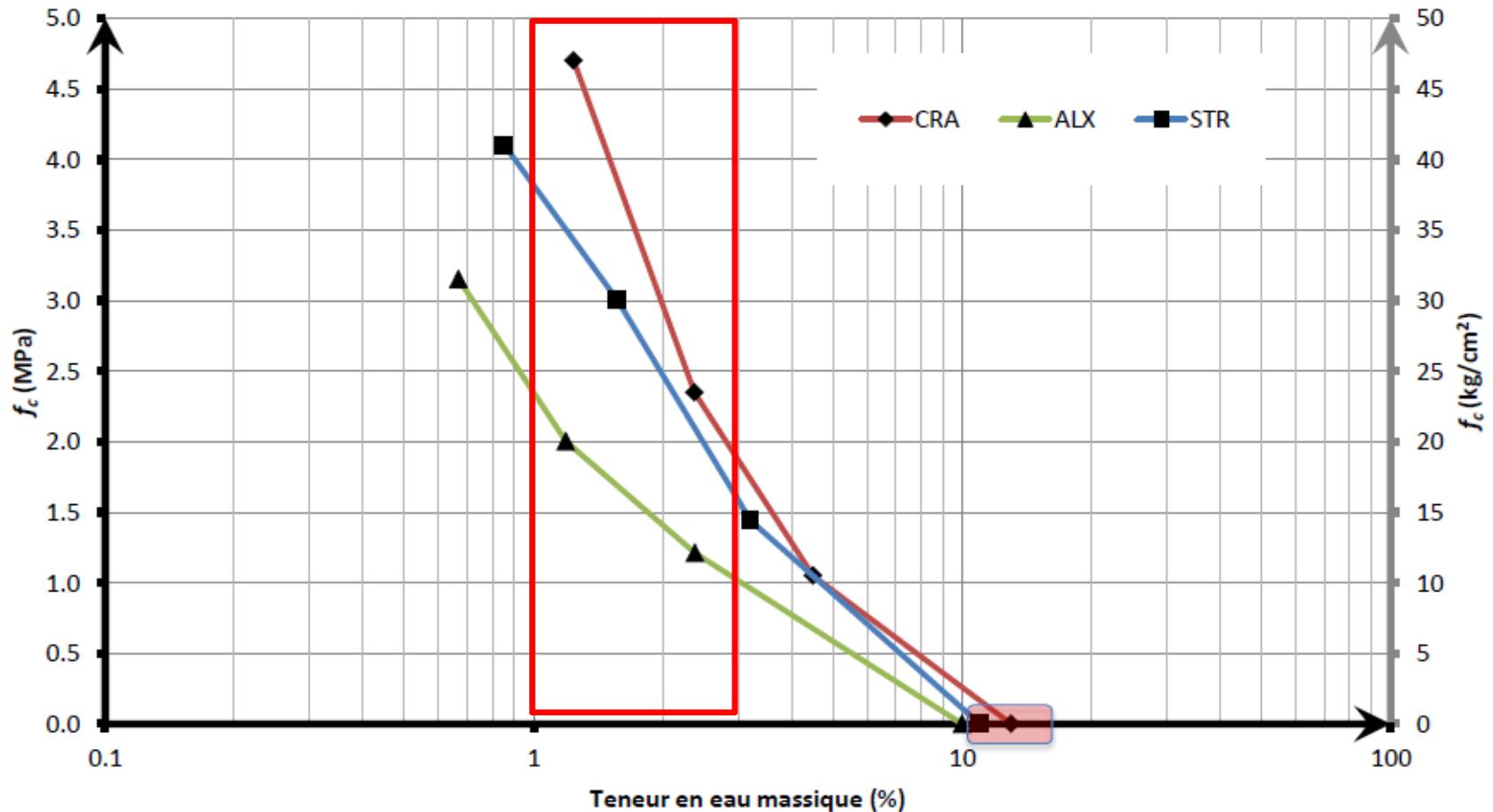
PERFORMANCES



Performance mécanique



Sensibilité à l'eau



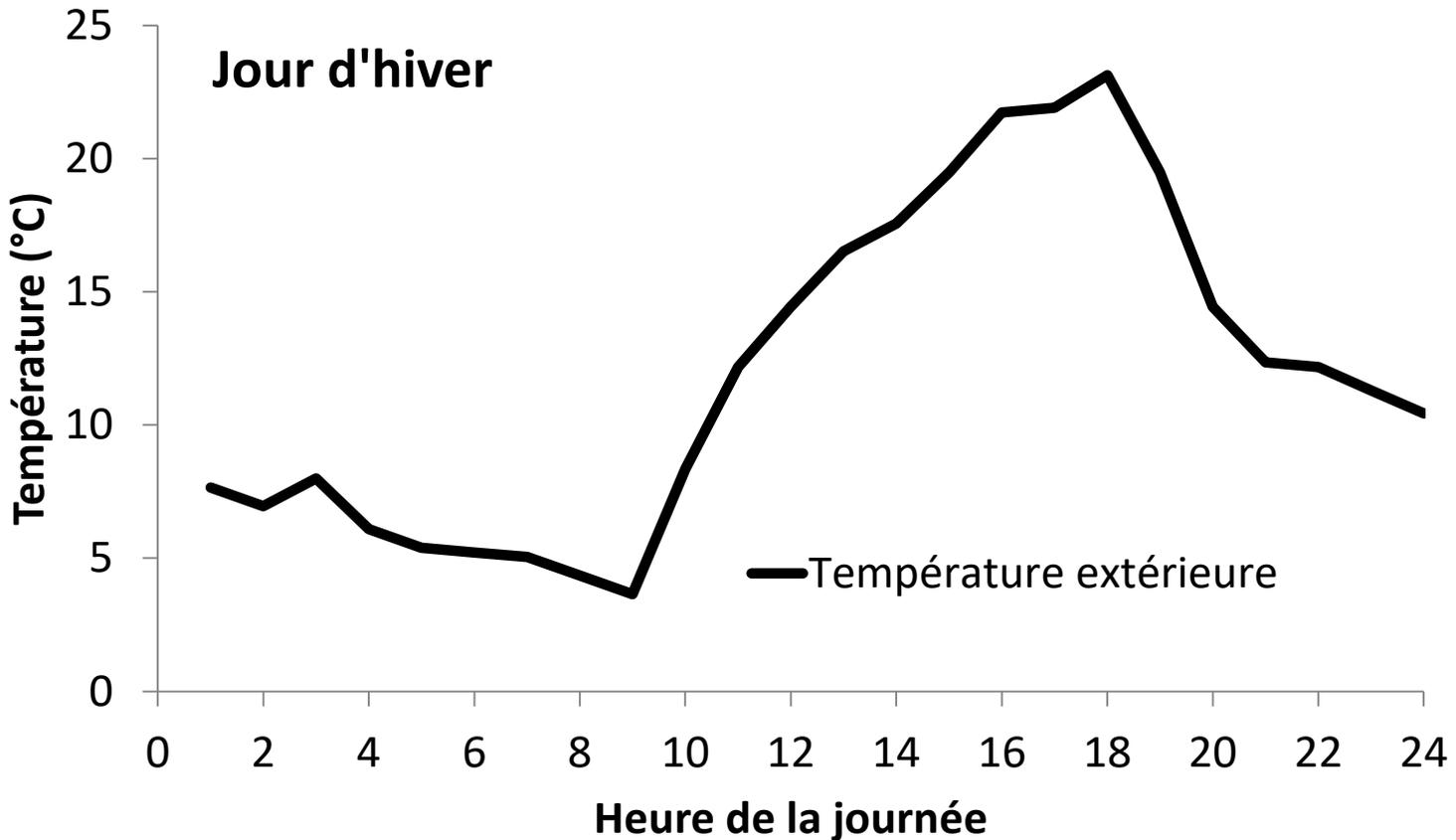
Evolution de la résistance à la compression avec la teneur en eau de 3 terres à pisé de la région Rhône Alpes (Champiré *et al.*, 2015)

Durabilité



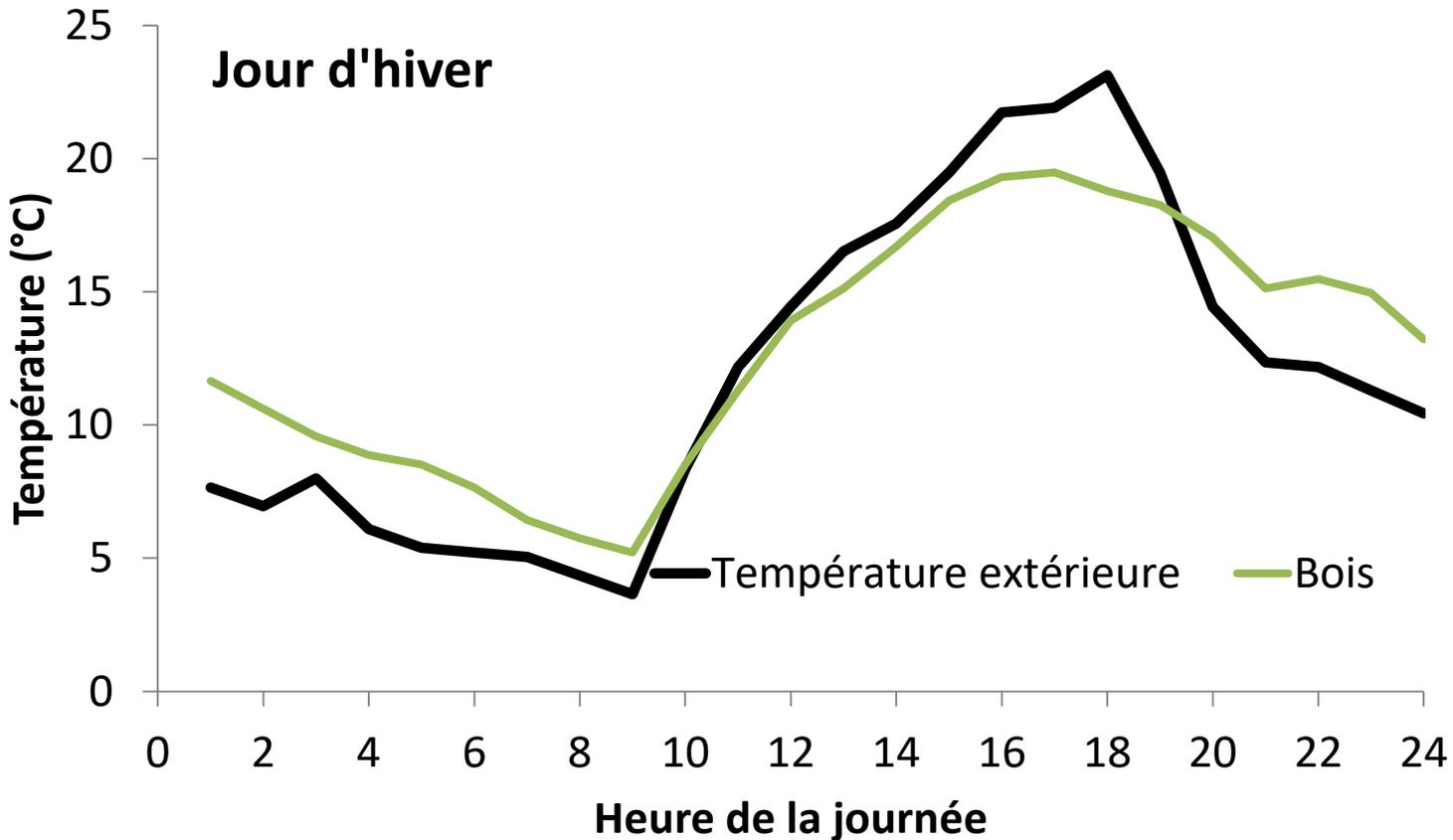
Plus ancien bâtiment en bauge de Bretagne, daté de 1608, La Chapelle-Thouarault (Service de l'Inventaire du Patrimoine Culturel © Région Bretagne).

Efficacité thermique terre crue - Hiver



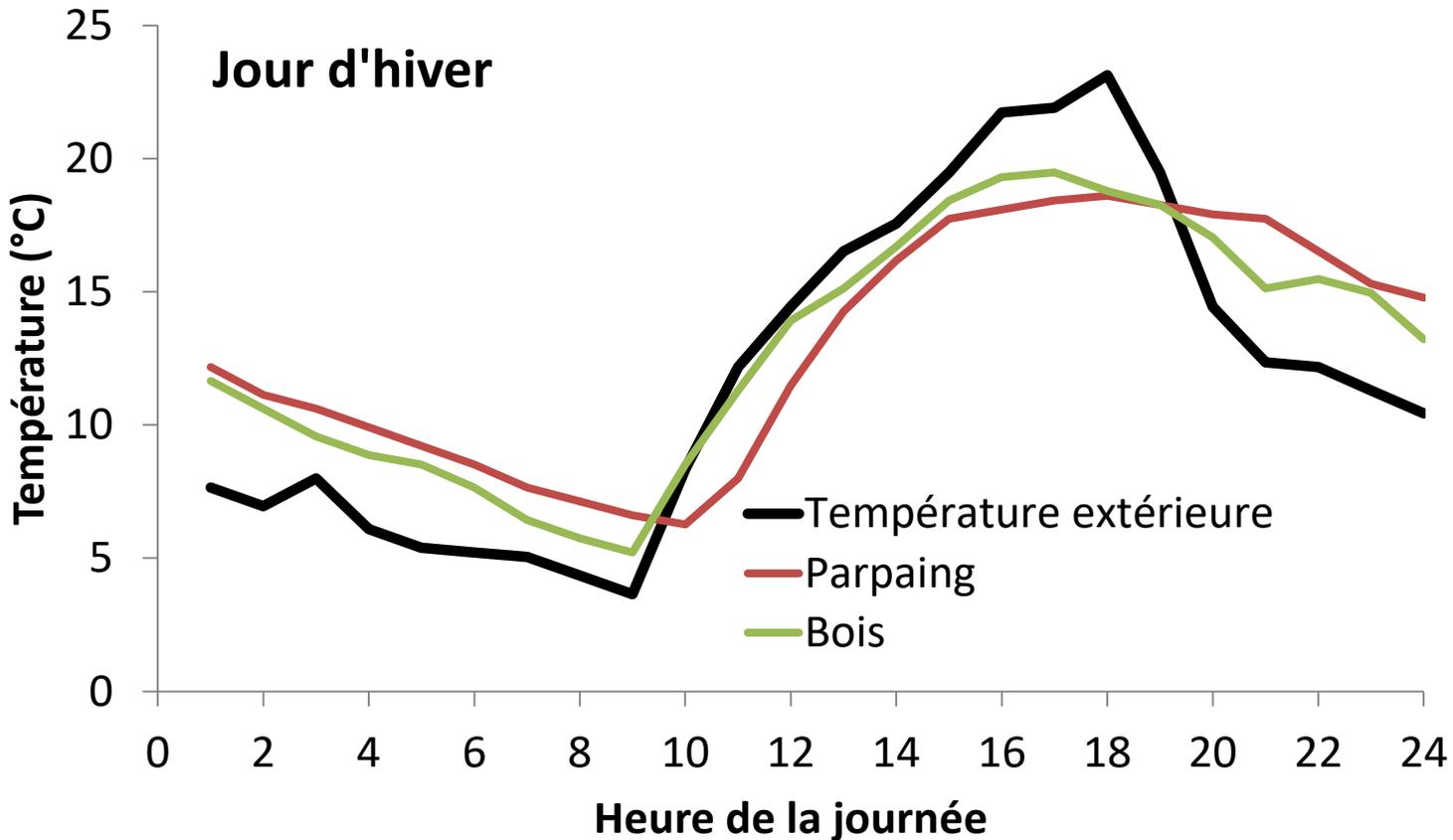
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Hiver



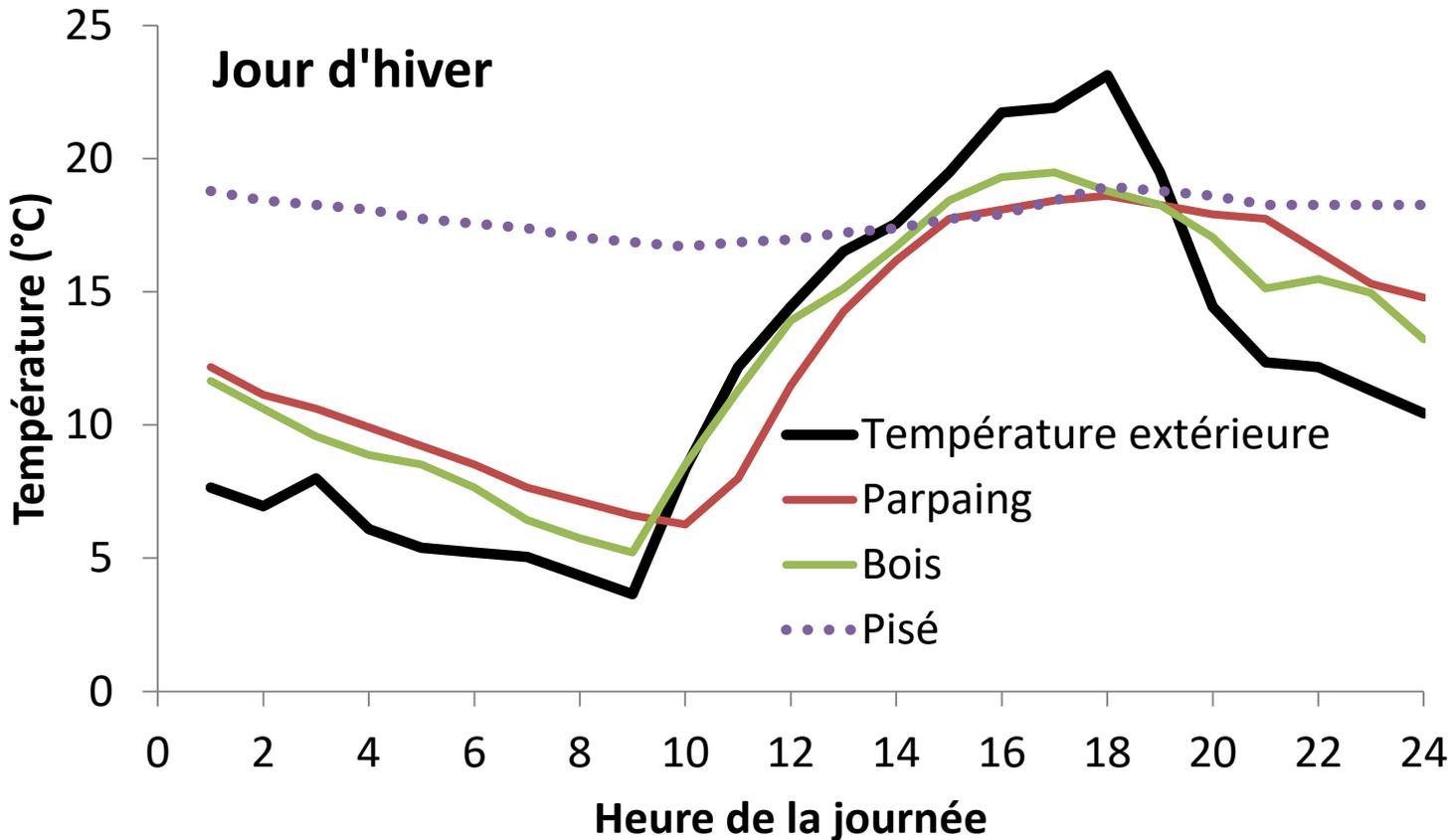
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Hiver



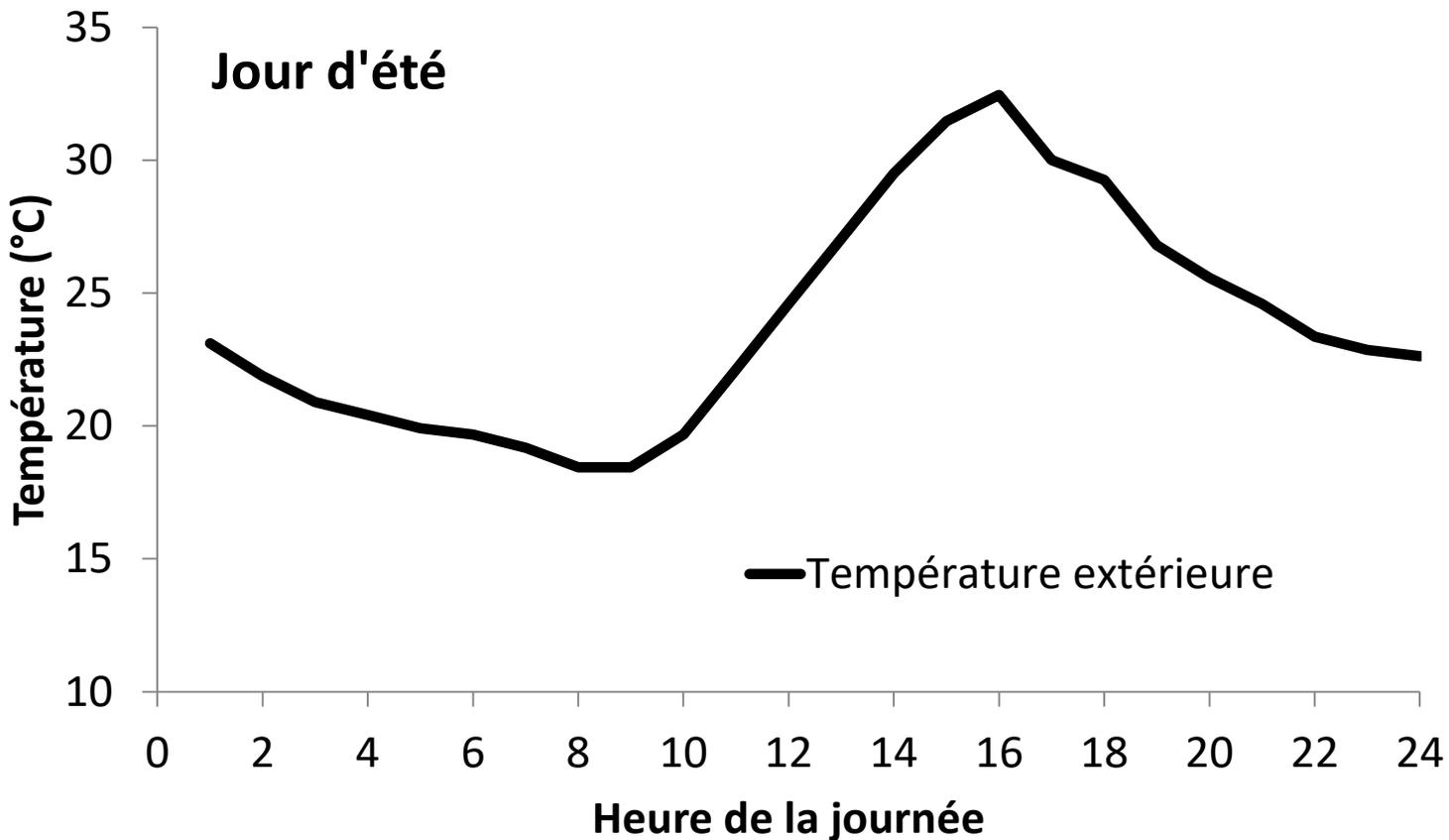
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Hiver



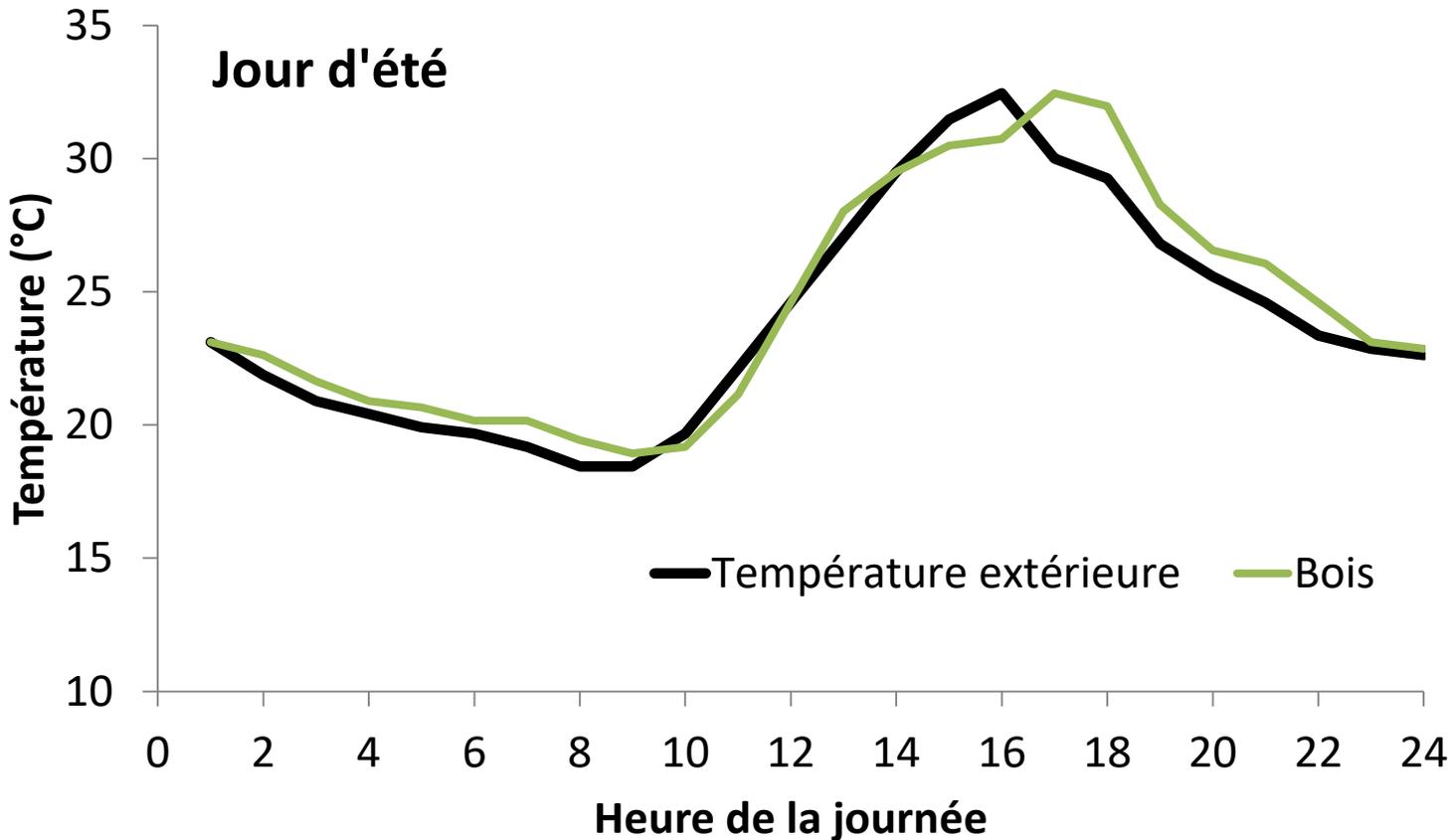
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Eté



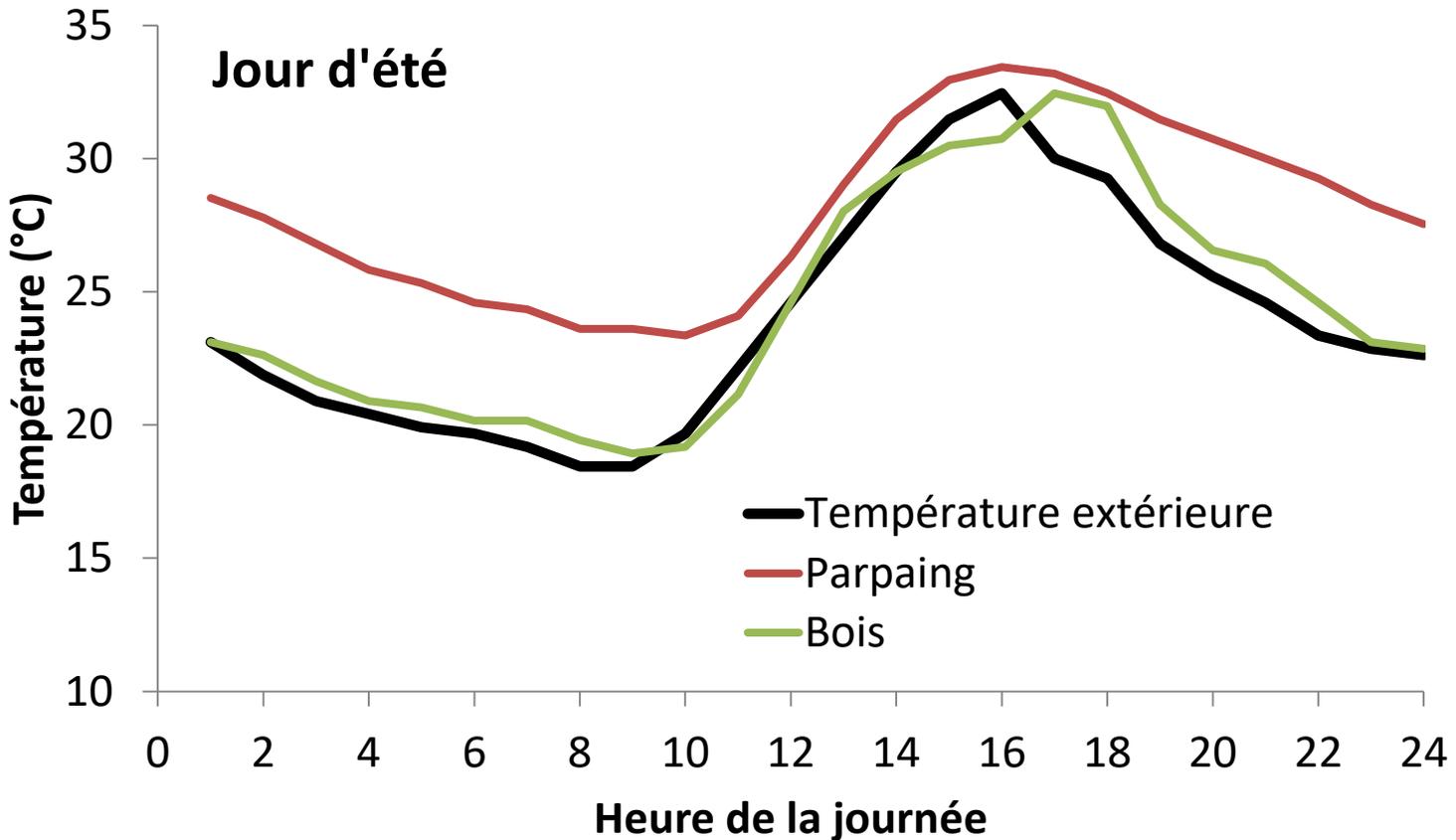
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Eté



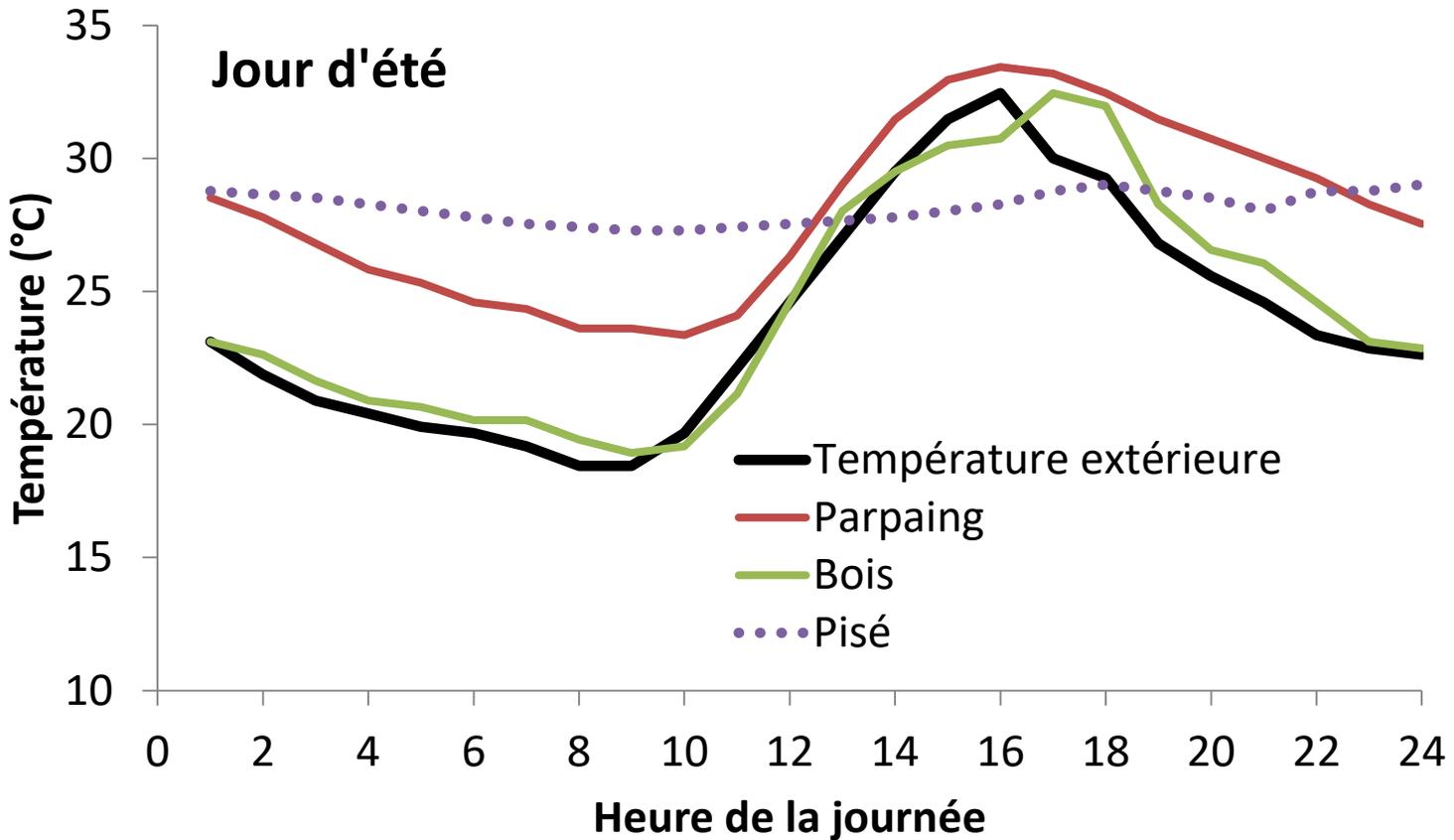
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Eté



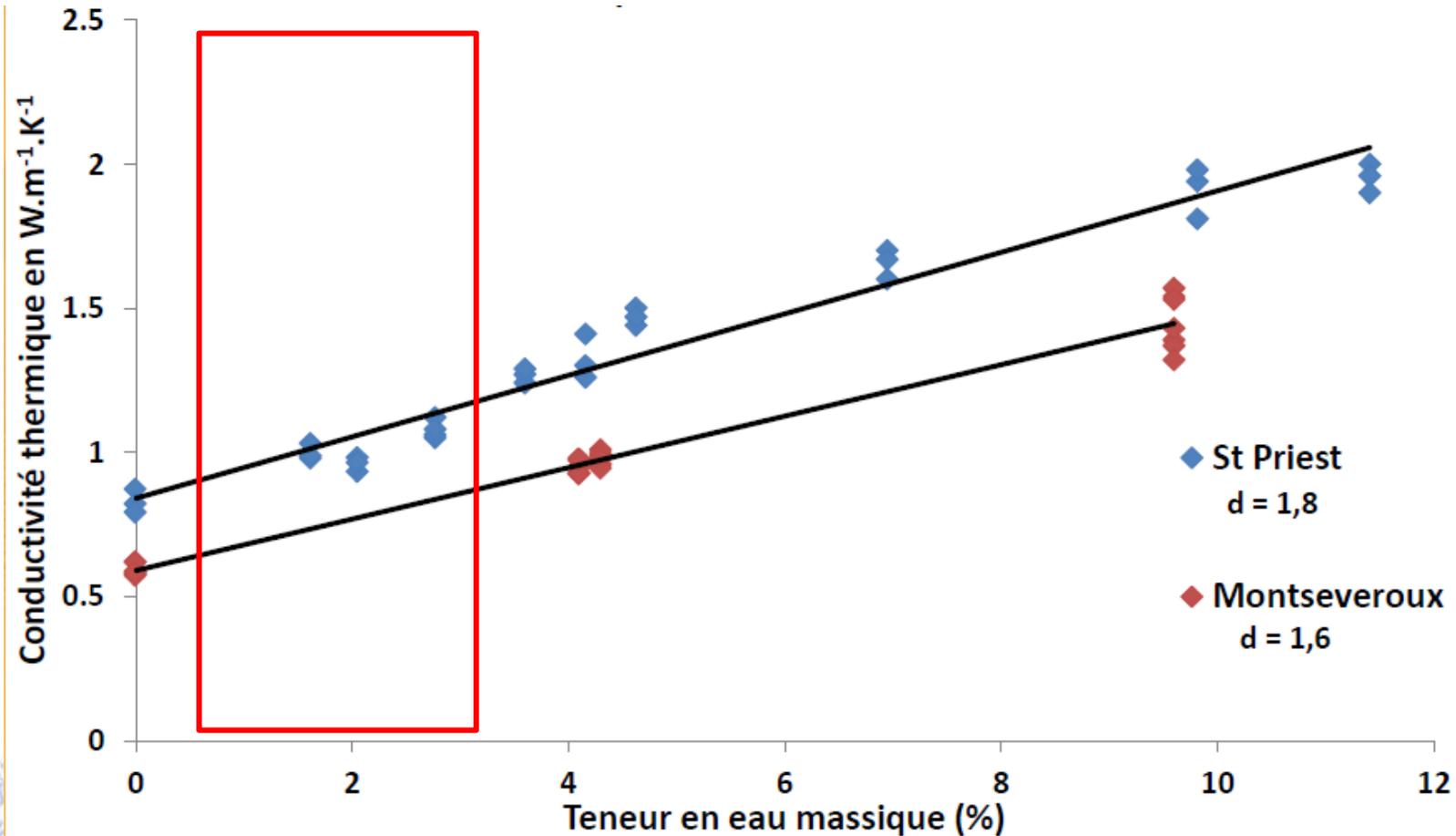
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Eté



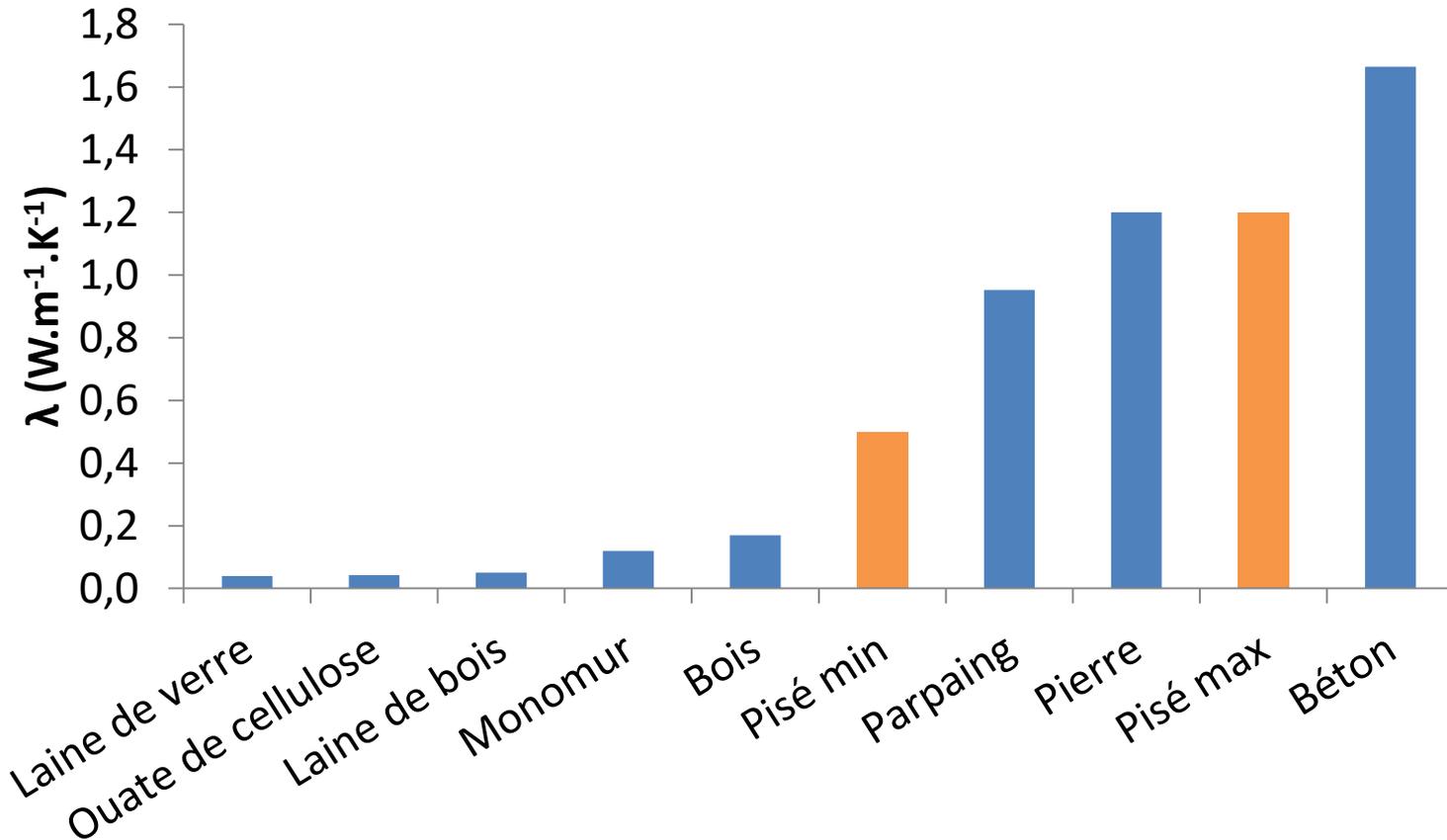
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Conductivité thermique



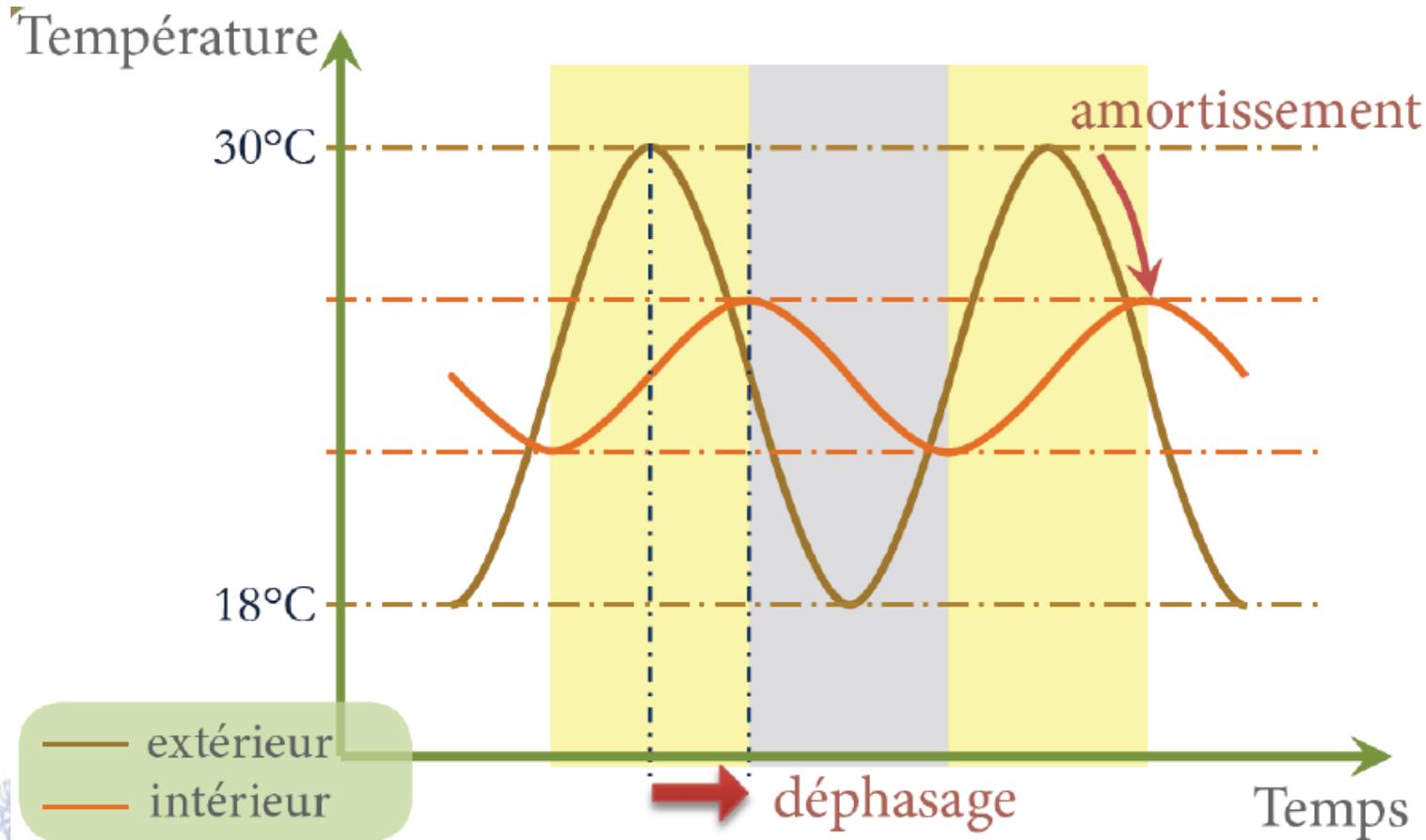
Evolution de la conductivité thermique du pisé en fonction de la teneur en eau (Morel, 2014)

Un matériau peu isolant



Source : <http://www.construction-conseil.fr/>

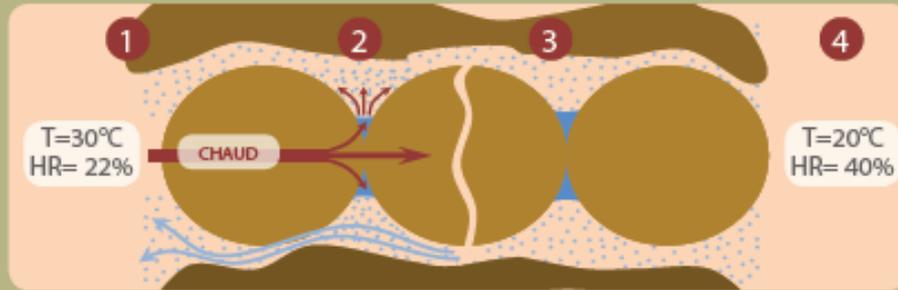
Une forte inertie thermique



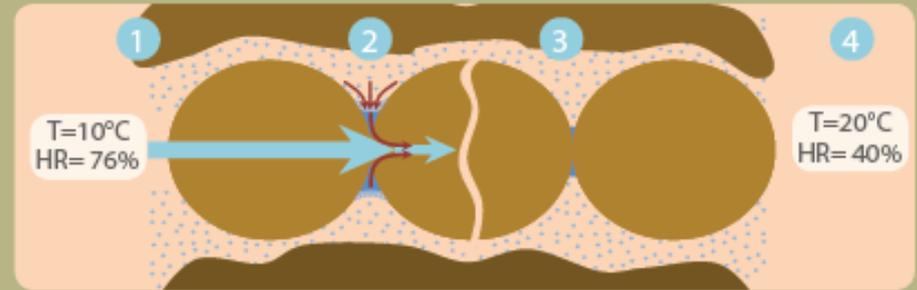
Amortissement et déphasage thermique du pisé (Champiré *et al.*, 2014)

Changements de phase de l'eau

Climatisation et chauffage naturels



- 1 : augmentation de la température extérieure
- 2 : consommation d'une partie de la chaleur par évaporation
- 3 : température inchangée et début d'un gradient d'humidité relative
- 4 : l'intérieur reste frais et l'humidité relative est évacuée



- 1 : diminution de la température extérieure
- 2 : condensation et dégagement de chaleur
- 3 : température inchangée
- 4 : l'intérieur reste chaud

Effet des changements de phases de l'eau dans un mur en pisé (Champiré *et al.*, 2014)



Un confort reconnu par les habitants



Rammed earth walls

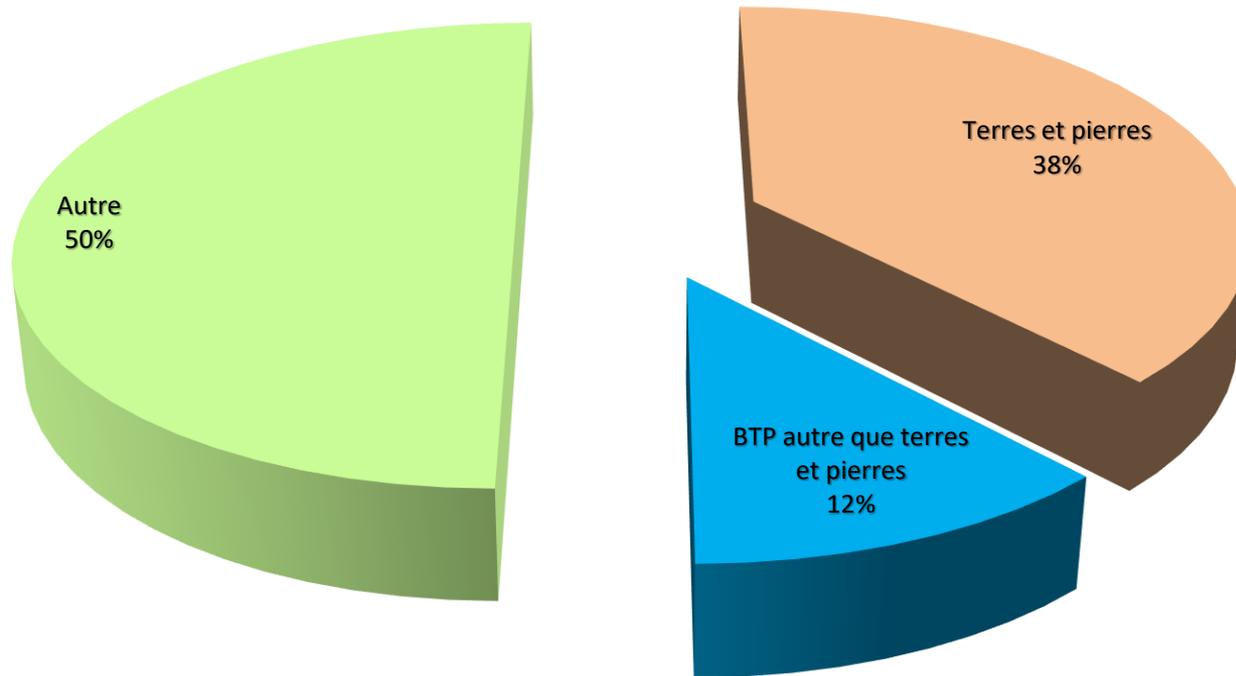
Maison neuve en **pisé non isolé**, instrumentée (ENTPE), située en Isère, à 400 m d'altitude.

Consommation estimée à
20 kWh.m⁻².an⁻¹
→ BBC (15 – 50 kWh.m⁻².an⁻¹)

IMPACTS DE LA CONSTRUCTION EN TERRE CRUE



Déchets de l'UE

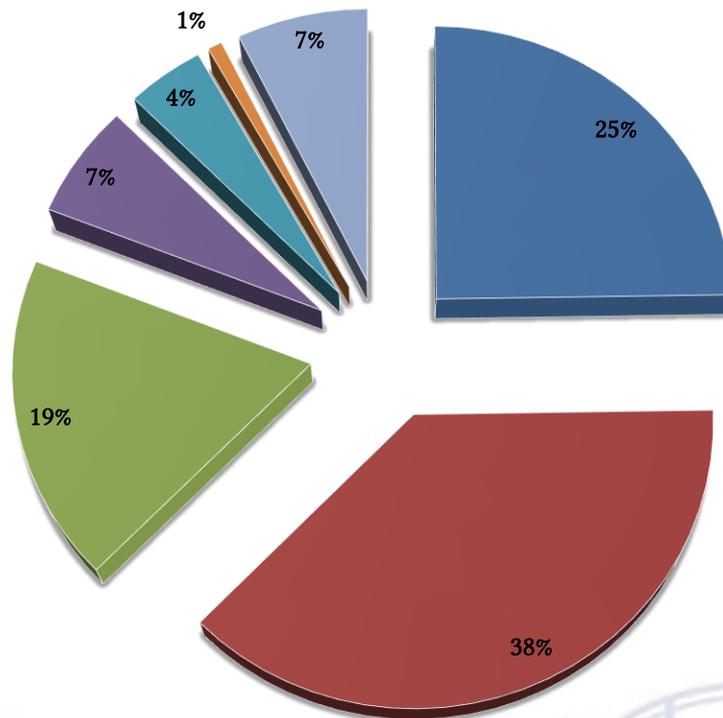


(Llatas 2011)



Le principal déchet du BTP

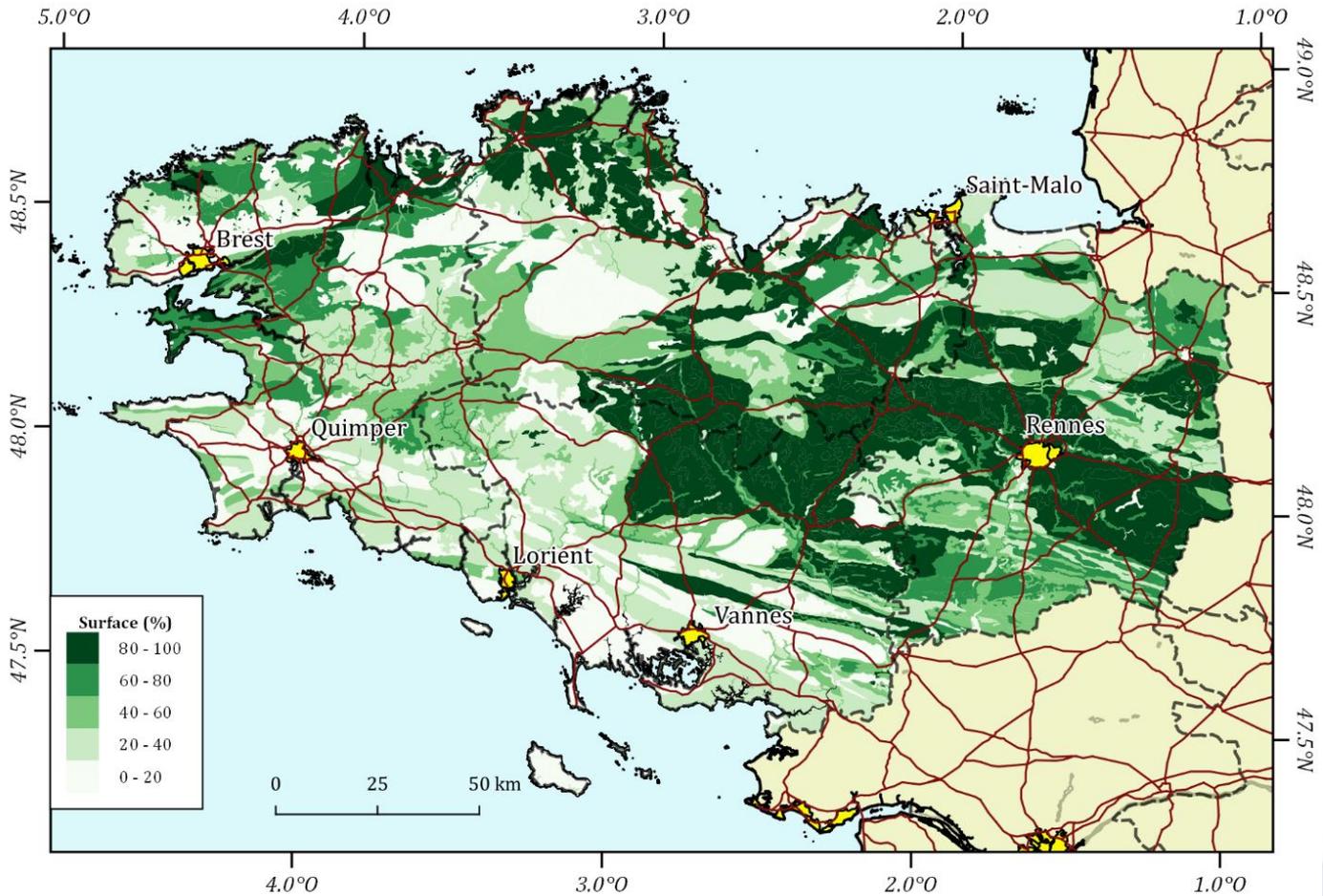
Déchêts du BTP en Bretagne en 2012



- Terres et matériaux meubles non pollués réemployés
- Terres et matériaux meubles non pollués mis en décharge
- Graves et matériaux rocheux
- Déchets d'enrobés
- Béton sans ferraille
- Brique, tuile et céramiques
- Mélanges de déchets inertes

(Cellule économique de Bretagne)

Une ressource disponible



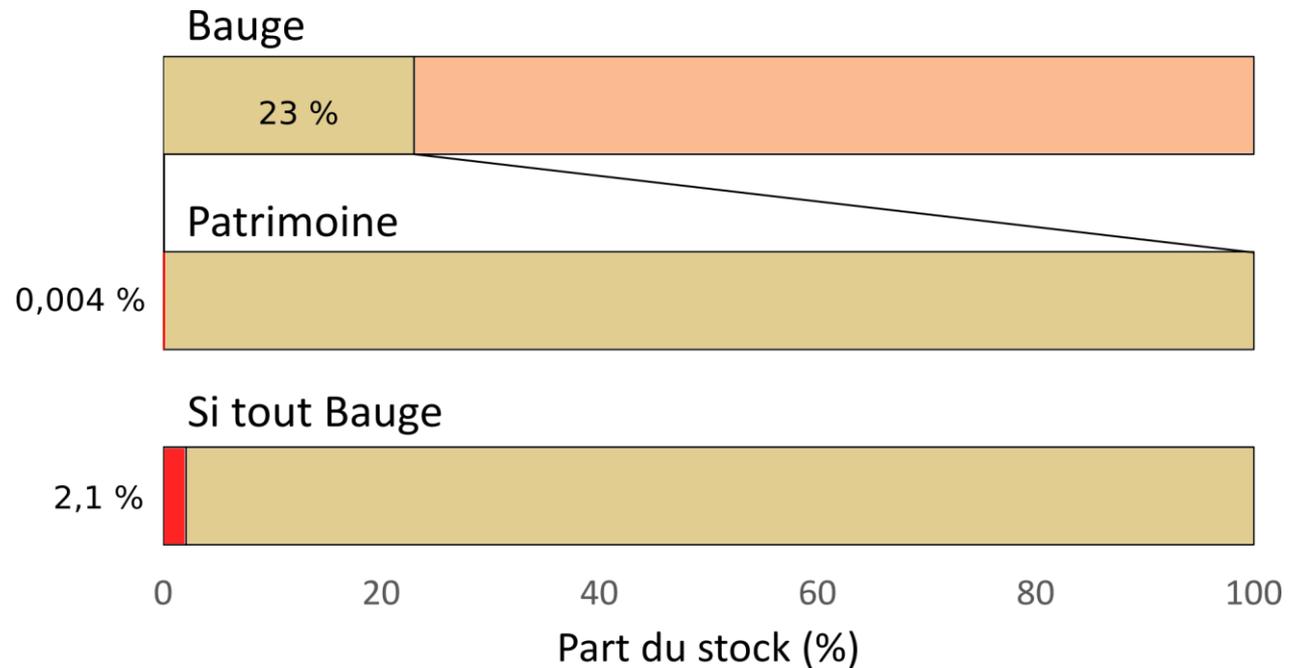
Données:

- AgroCampus Ouest
- Service de l'Inventaire du patrimoine culturel de la Région Bretagne

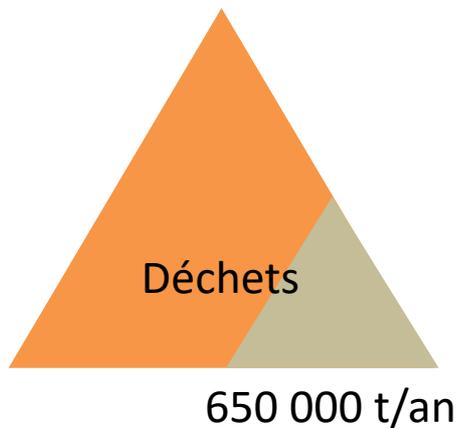
Une ressource abondante

Stock de terre à bauge en Bretagne :

- $6,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- $8,8 \cdot 10^9 \text{ t}$

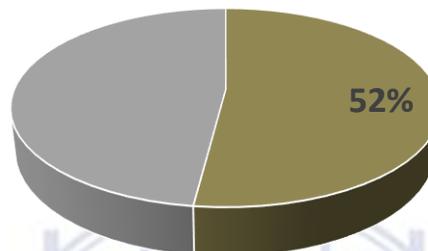


Réemploi d'un déchet

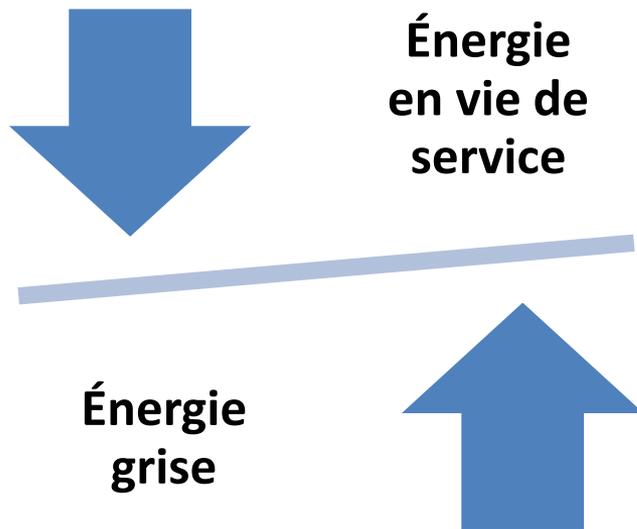


6 500 logements/an

Part de marché potentiel
logement individuel Bretagne



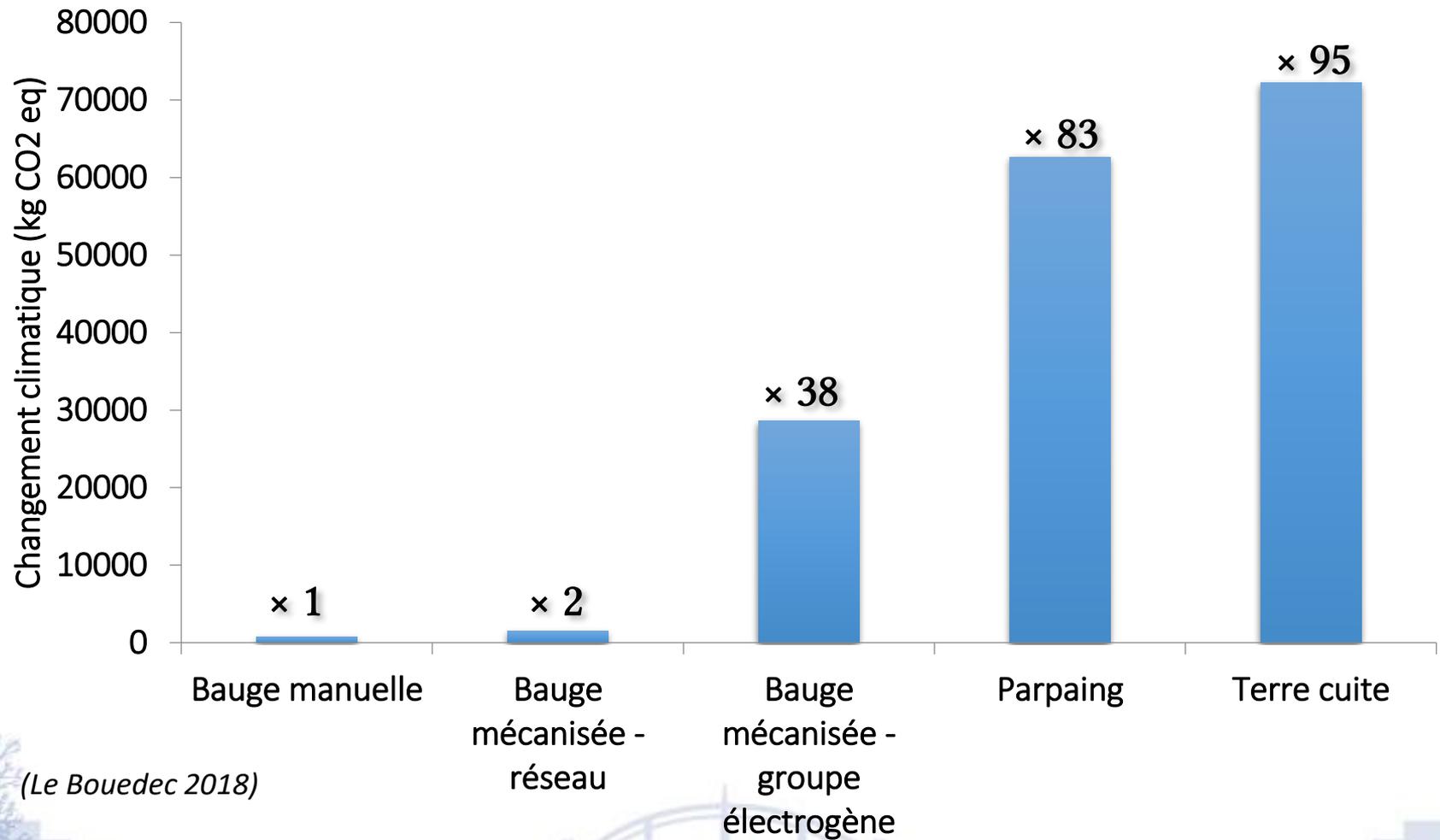
Économie d'énergie



- Équipements et isolants plus performants mais à forte énergie grise
- Future RE avec prise en compte de l'énergie grise (label E⁺C⁻)



Procédés bas carbone



(Le Bouedec 2018)

Fin de vie

- **Renouvelable** : matériau dont le renouvellement naturel est plus rapide que son utilisation
- **Réversible** : matériau réutilisable en construction tel quel à performance équivalente
- **Recyclable** : matériau réutilisable en construction après un traitement mécanique ou chimique.
- **Valorisable** : réutilisable avec des propriétés différentes.



Intensité sociale

Indicateur	Terre paille	Parpaing + laine de roche	Monomur
Energie grise	100%	160%	240%
CO2eq	100%	170%	180%
Intensité sociale	100%	30%	20%
Prix	100%	87%	120%

Indicateur d'intensité sociale = nb heures de travail / énergie grise

(Floissac et al. 2009)



Économie circulaire

- Matériau local,
 - Valorisation d'un déchet,
 - Procédé bas carbone,
 - Réversible en fin de vie,
 - Forte intensité sociale.
- La construction en terre dispose d'un fort potentiel d'intégration dans une logique d'économie circulaire



CONSTRUIRE EN TERRE AUJOURD'HUI



Chantier : Kevin McCabe



Coûts

- Prix au m²:
 - Mur parpaing + isolant + finition : 200 – 250 €/m²
 - Mur brique creuse + enduits : 250 – 350 €/m²
 - Mur en terre : 300 – 350 €/m²



Mécanisation et préfabrication sur chantier



***Projet Malaxterre
IFSTTAR, Collectif Terreux Armorican, IAUR***

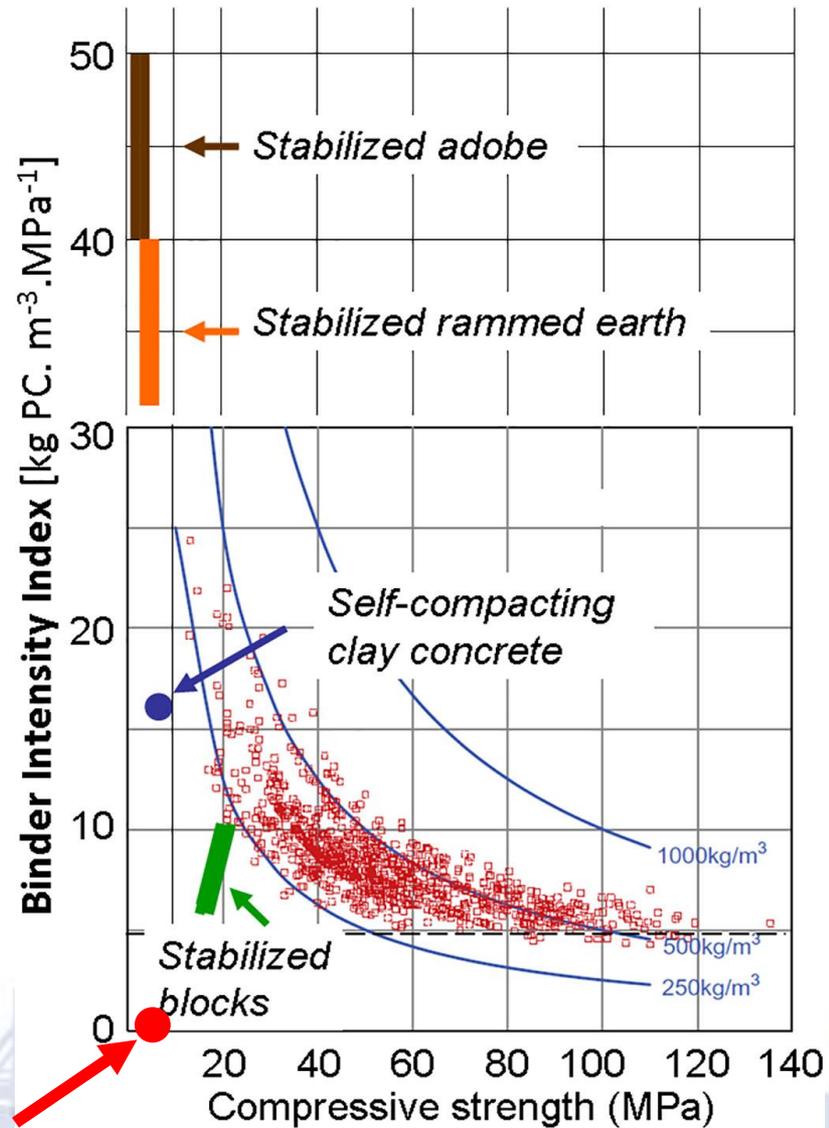


Pisé Préfabriqué, Nicolas Meunier

- 20 à 30 %

Innovation vs. Impact environnemental

(Van Damme et Houben 2017, adapté de Damineli et al. 2010)



Terre Crue

Une architecture moderne et adaptée



Réalisations : Nicolas Meunier



Clément Vergély Architectes

Une filière mobilisée

- **Règles Professionnelles enduits** sur support composé de terre crue, liste verte C2P depuis 2013,
- Une offre de formation,
- Publication de **Guides de Bonnes Pratiques** en cours,
- Structuration d'une **confédération nationale** en cours,
- Montage d'un **Projet National**, étude d'opportunité validée fin 2018.



Des besoins identifiés

- Production de connaissances pour répondre aux contraintes assurantielles et réglementaires (mécanique, hygrothermique, feu, sismique, acoustique),
- Travail sur l'image du matériau,
- Analyse des impacts de la filière (économiques, environnementaux, sanitaires, sociaux),
- Développer l'offre de formation.



Conclusion

- Réemploi d'un déchet abondant et marché potentiel important
- Excellente intégration dans une logique d'économie circulaire
- Travailler sur l'image
- Maintenir les bénéfices environnementaux du secteur



Merci de votre attention

Erwan HAMARD

erwan.hamard@ifsttar.fr

IFSTTAR-MAST-GPEM

Site de Nantes

<http://www.gpem.ifsttar.fr/>

