INSTITUT FRANCAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMENAGEMENT
ET DES RESEAUX

La terre crue, nouvelle alliée de la construction écologique

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

Tamisage

Humidification + malaxage

Mise en forme

Surfaçage

Démoulage

Séchage

Adobe

Maçonnerie de briques de terre crue

Bauge

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

Bloc de Terre Comprimée (BTC)

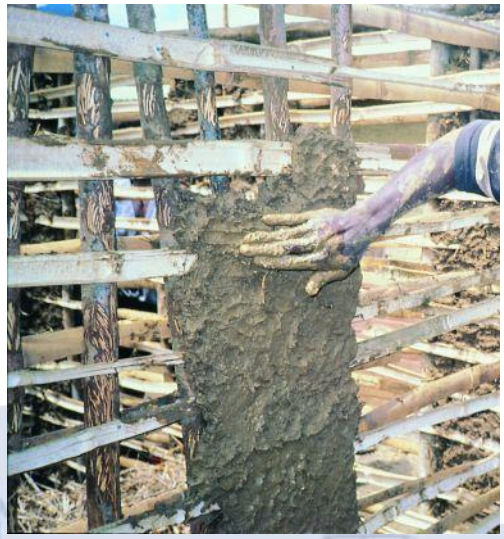
Maçonneries de brique compactée

Pisé

Vidéo : Régis Marlier

Terre coffrée compactée

Torchis



Terre de garnissage

Enduits

Chantiers Triphine Duvauferrier

Enduits de protection

Terre allégée

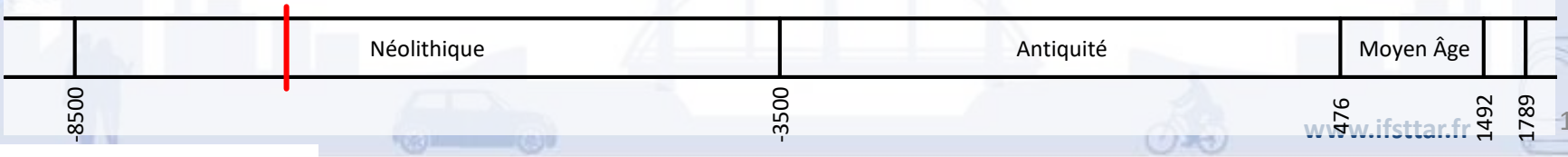
Réalisation et vidéo : Eco Pertica

APERÇU HISTORIQUE DE LA CONSTRUCTION EN TERRE

Çatal Höyük

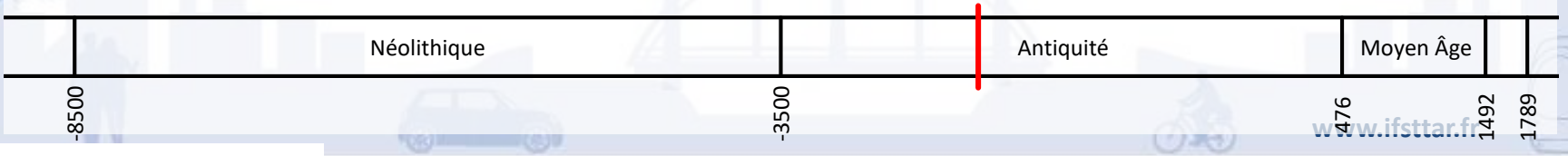
Vue du site archéologique

Reconstitution d'une habitation

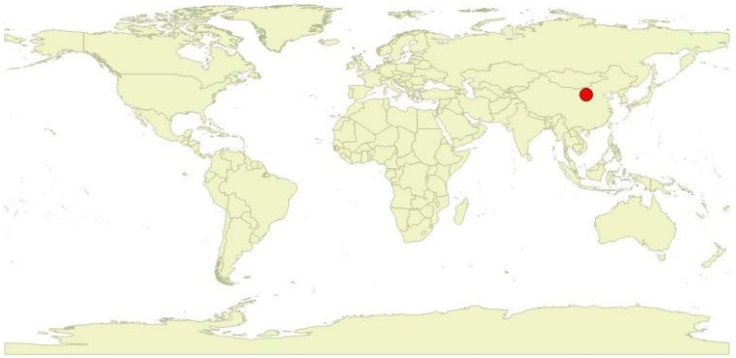


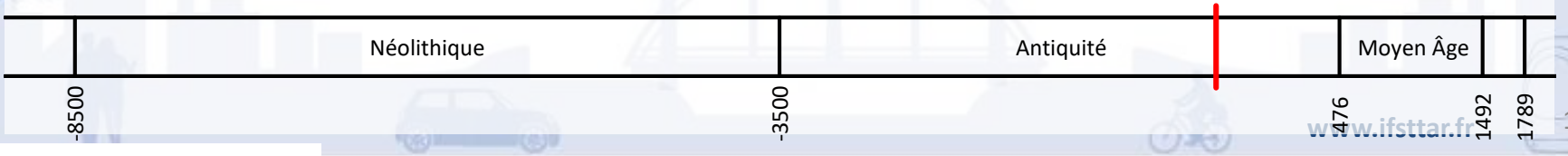
Ur

Ziggourat d'Ur



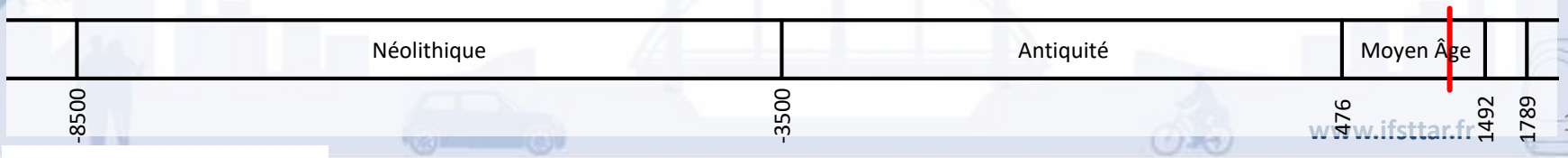
Grande muraille



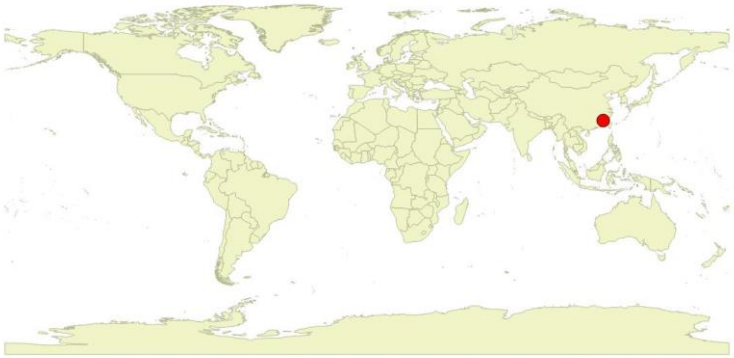


Mosquée de Djenné

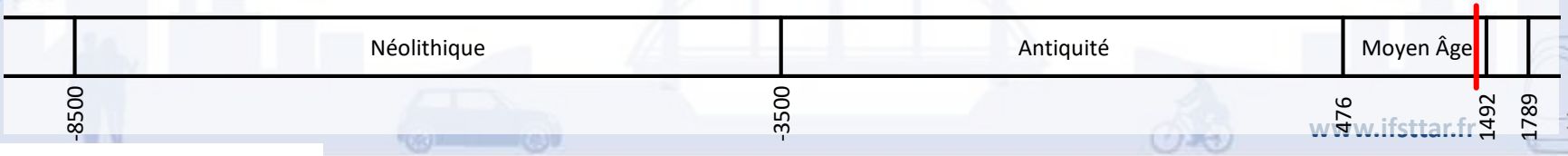
Mosquée de Djenné construite en banco



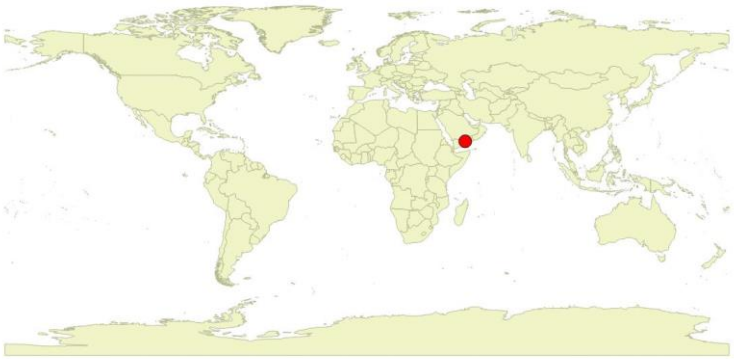
Chuxi tolou



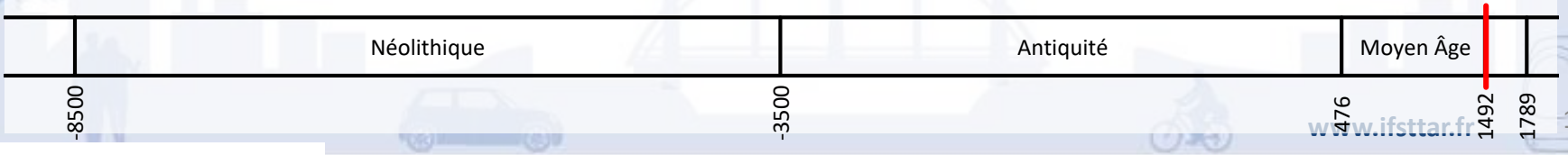
Habitat fortifié en pisé



Shibam



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

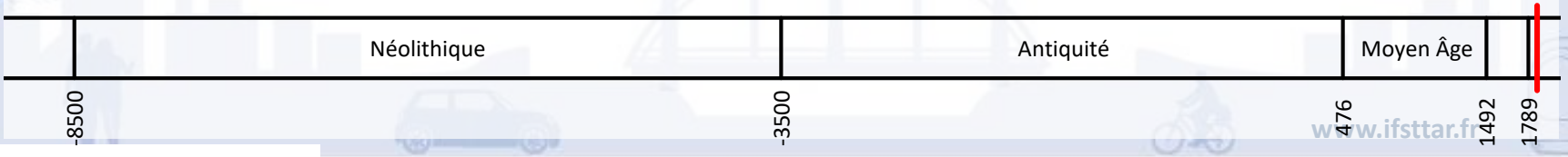


Lyon

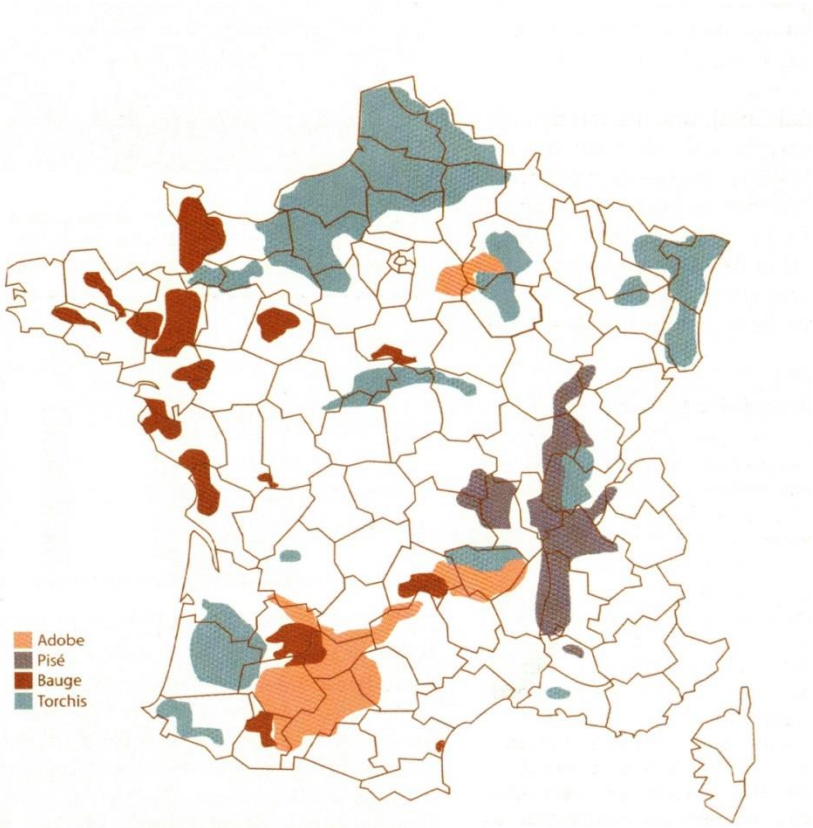
Photo Emmanuel Mille

Photo Anne-Sophie Clémençon

Mur pignon de 20 m de haut



Un patrimoine riche



(Lebas et al. 2007)

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

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

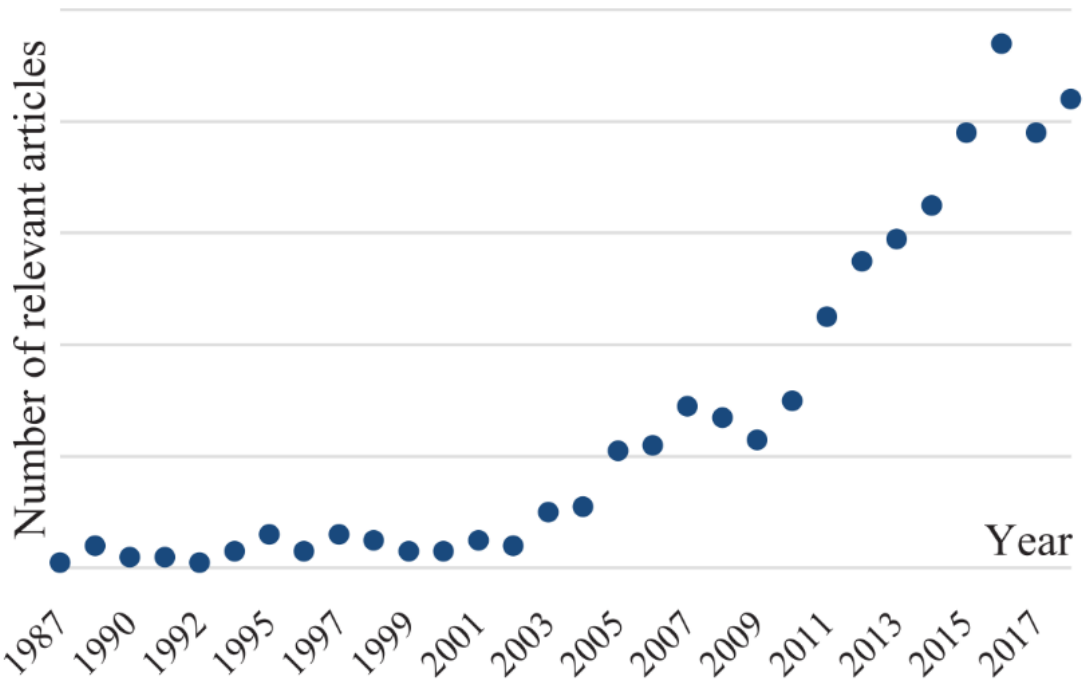
Ferme en pisé (Montrevel-en-Bresse)

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

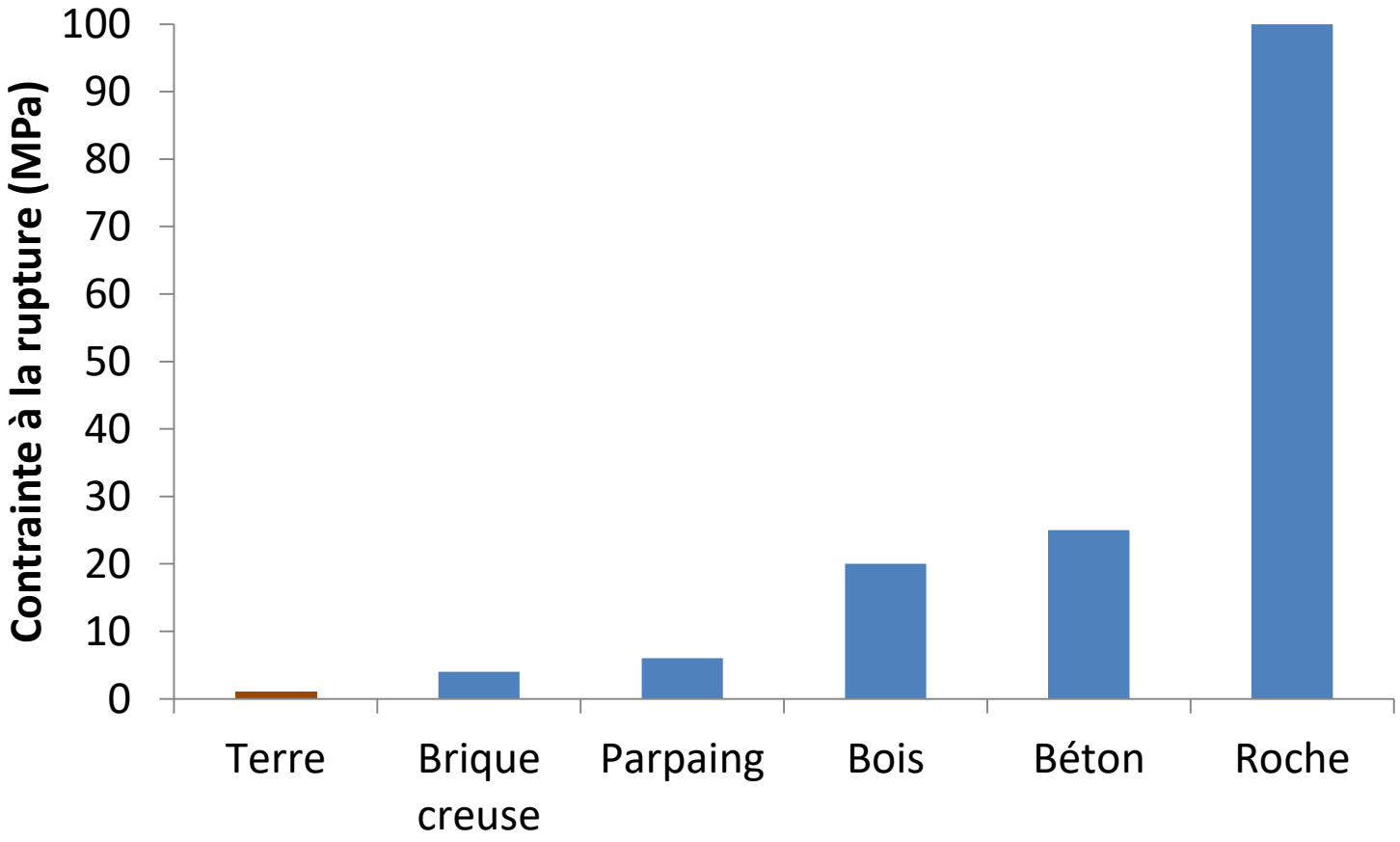
Renaissance de la terre crue



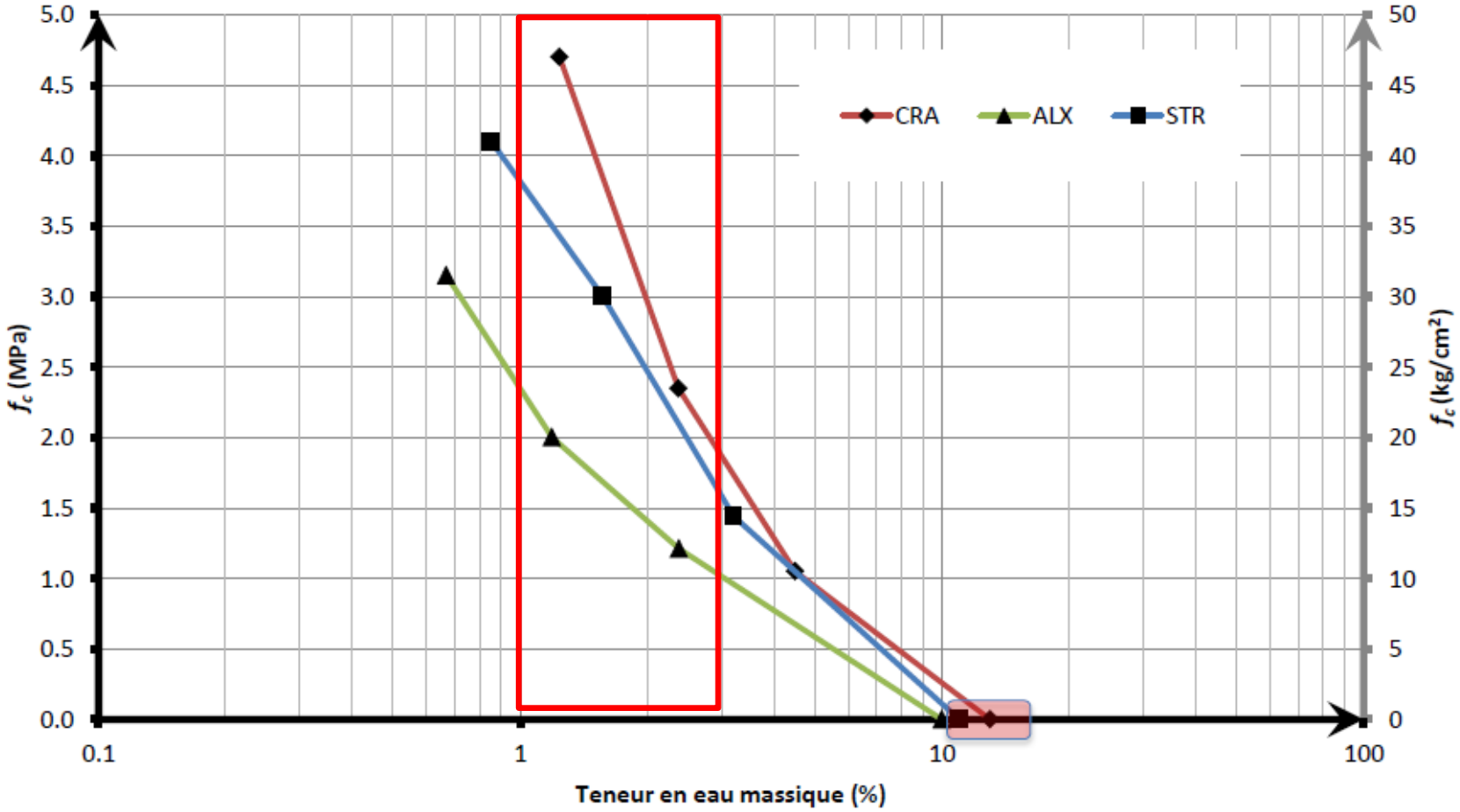
(Morel et Charef 2019)

PERFORMANCES

Performance mécanique



Sensibilité à l'eau

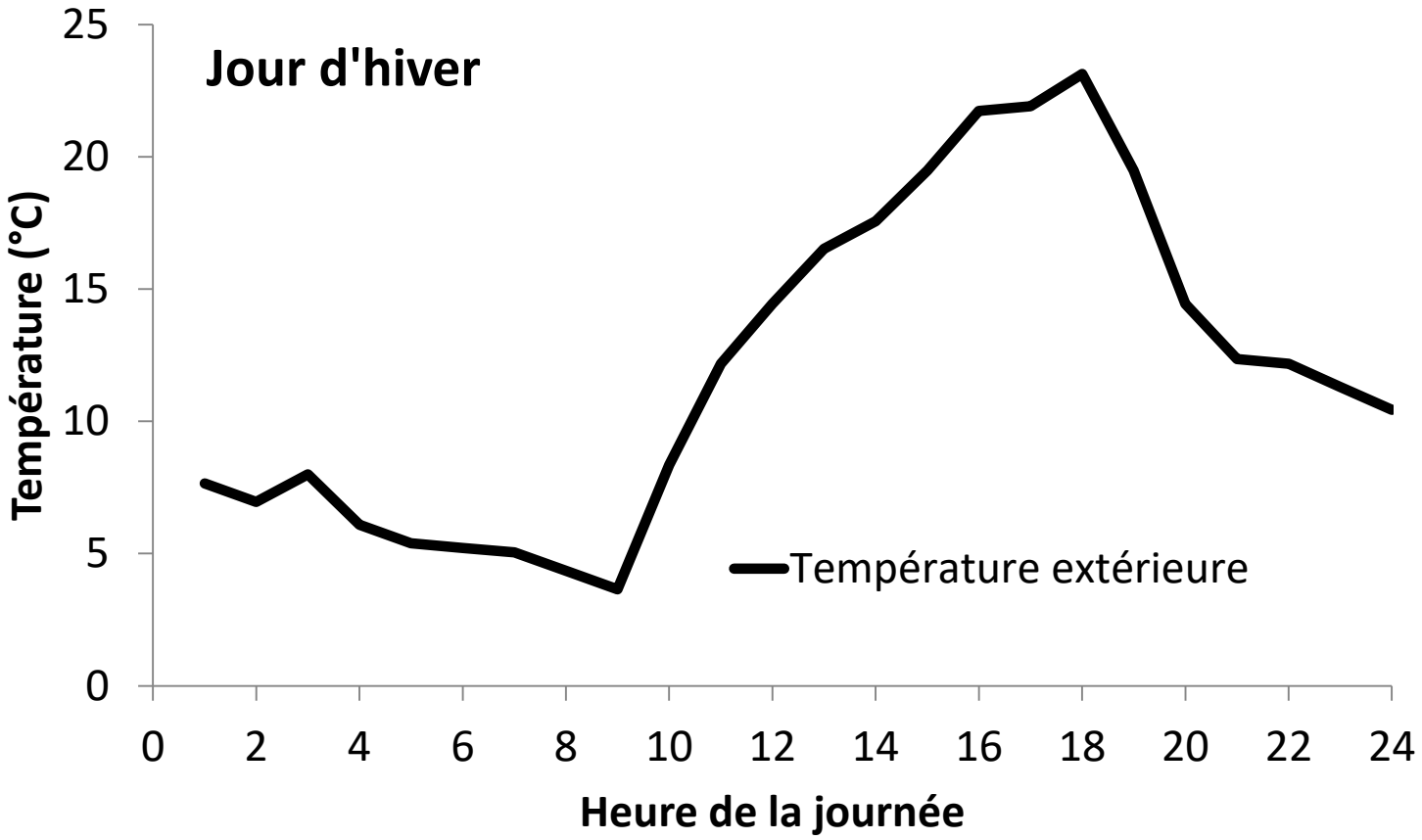


Evolution de la résistance à la compression avec la teneur en eau de 3 terres à pisé de la région Rhône Alpes (Champiré *et al.*, 2015)

Durabilité

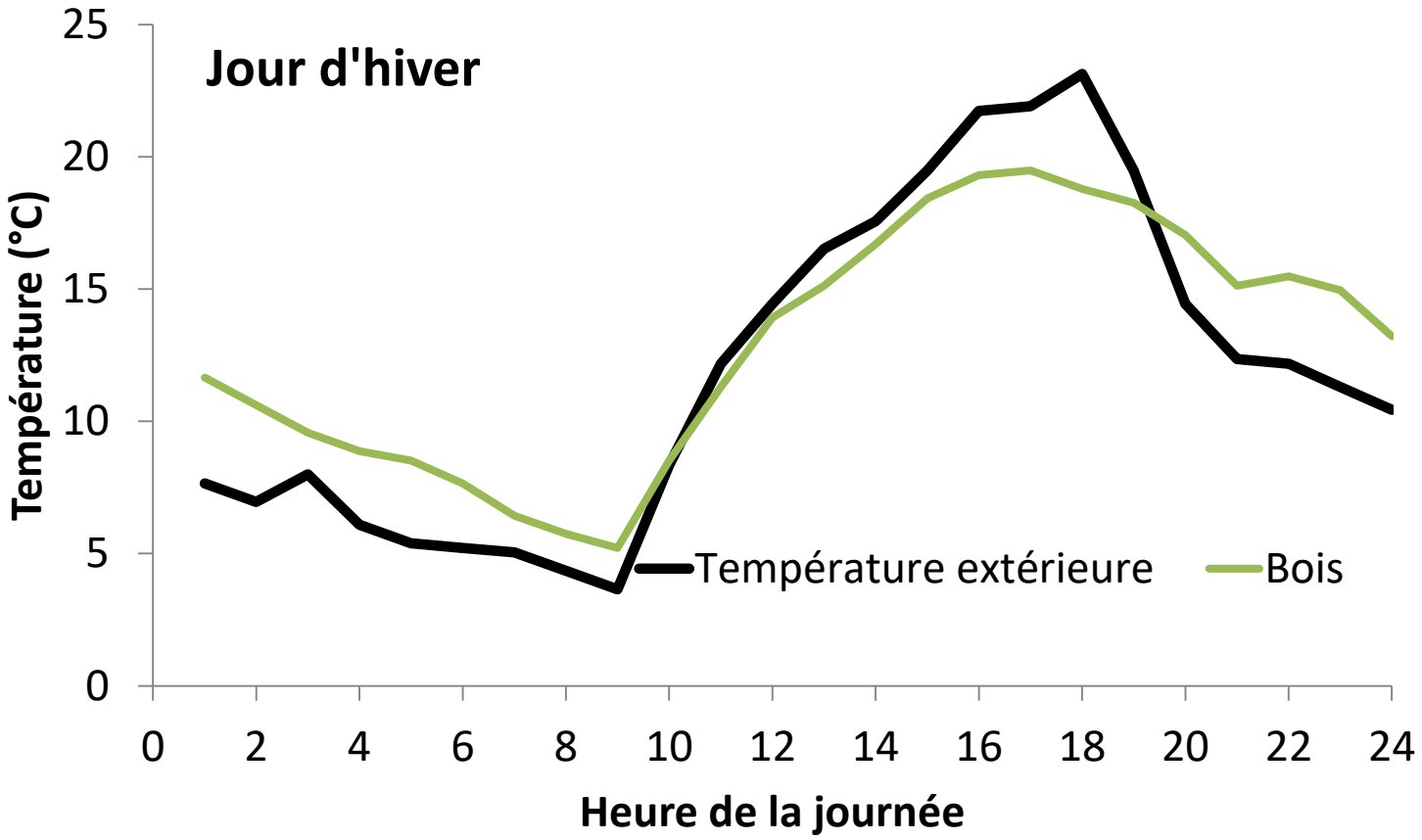
Plus ancien bâtiment en bauge de Bretagne, daté de 1608, La Chapelle-Thouarault (Service de l'Inventaire du Patrimoine Culturel © Région Bretagne).

Efficacité thermique terre crue - Hiver



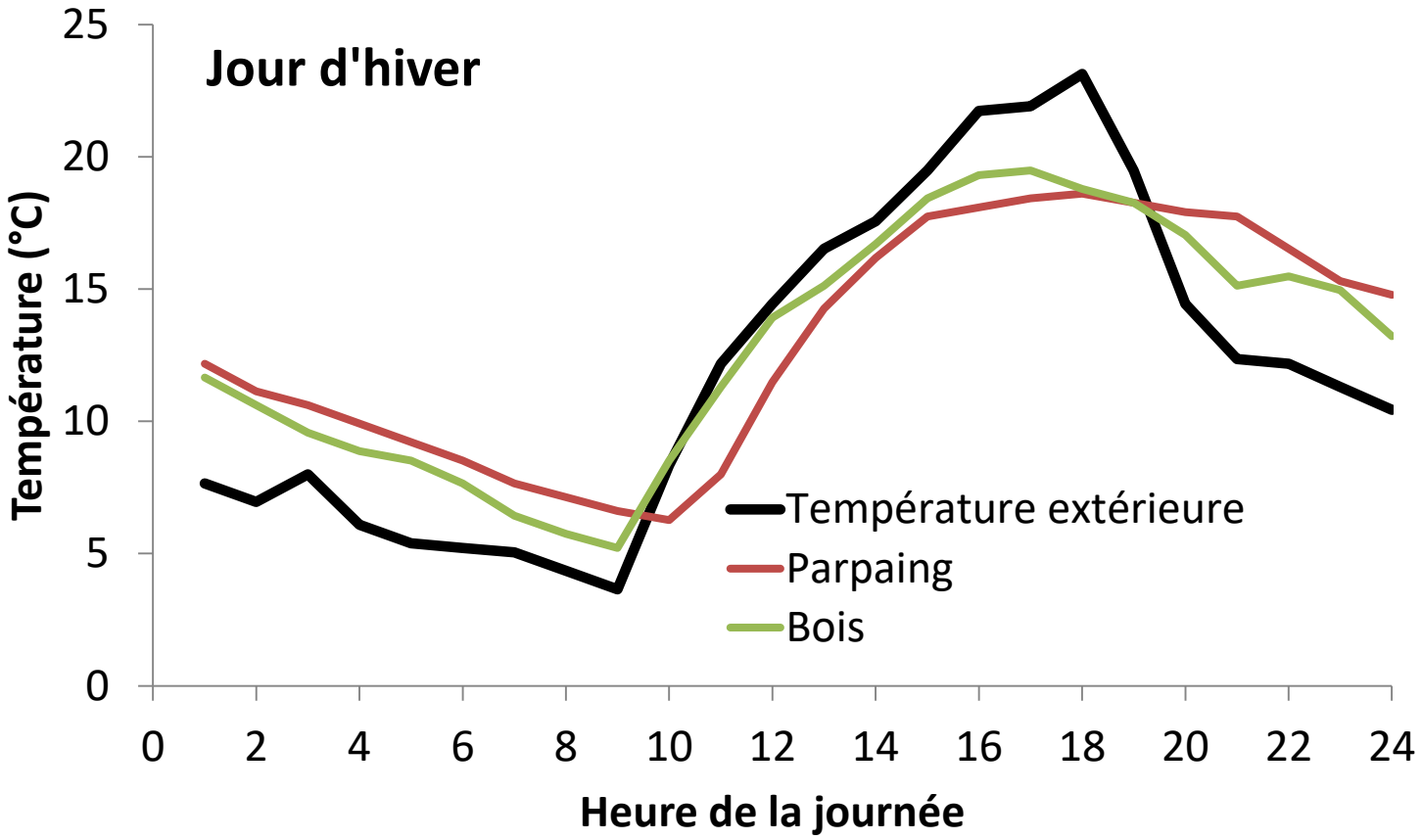
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Hiver



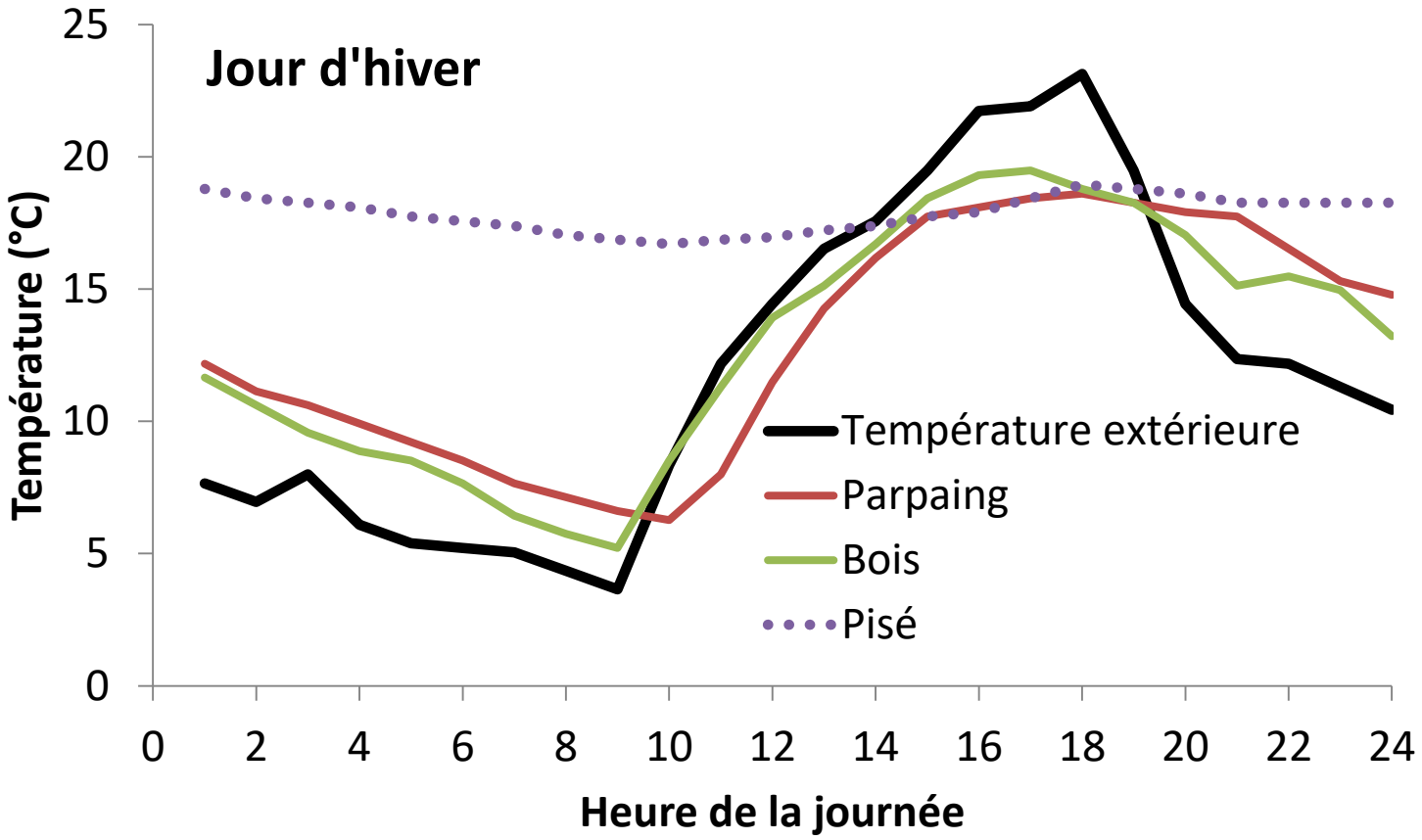
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Hiver



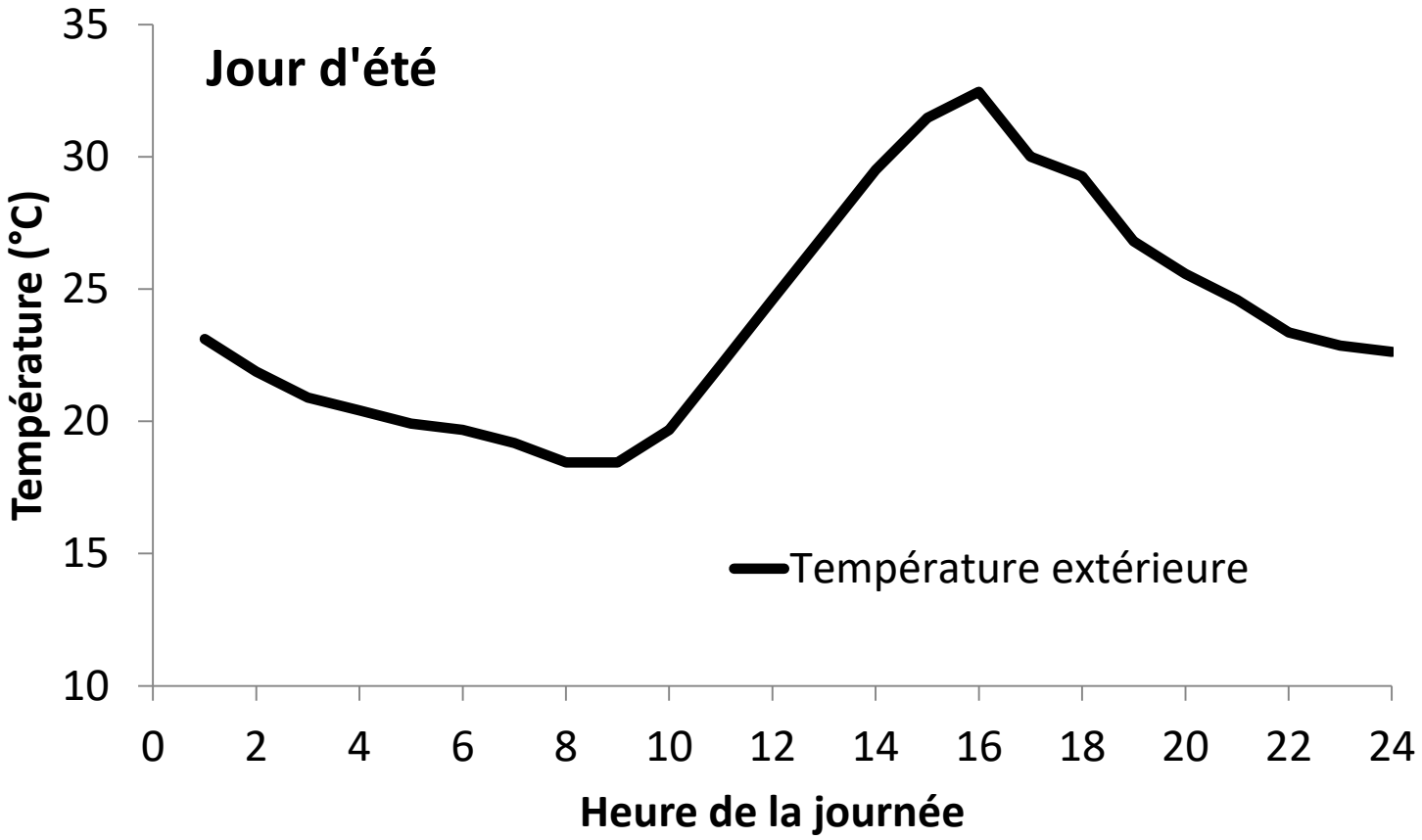
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Hiver



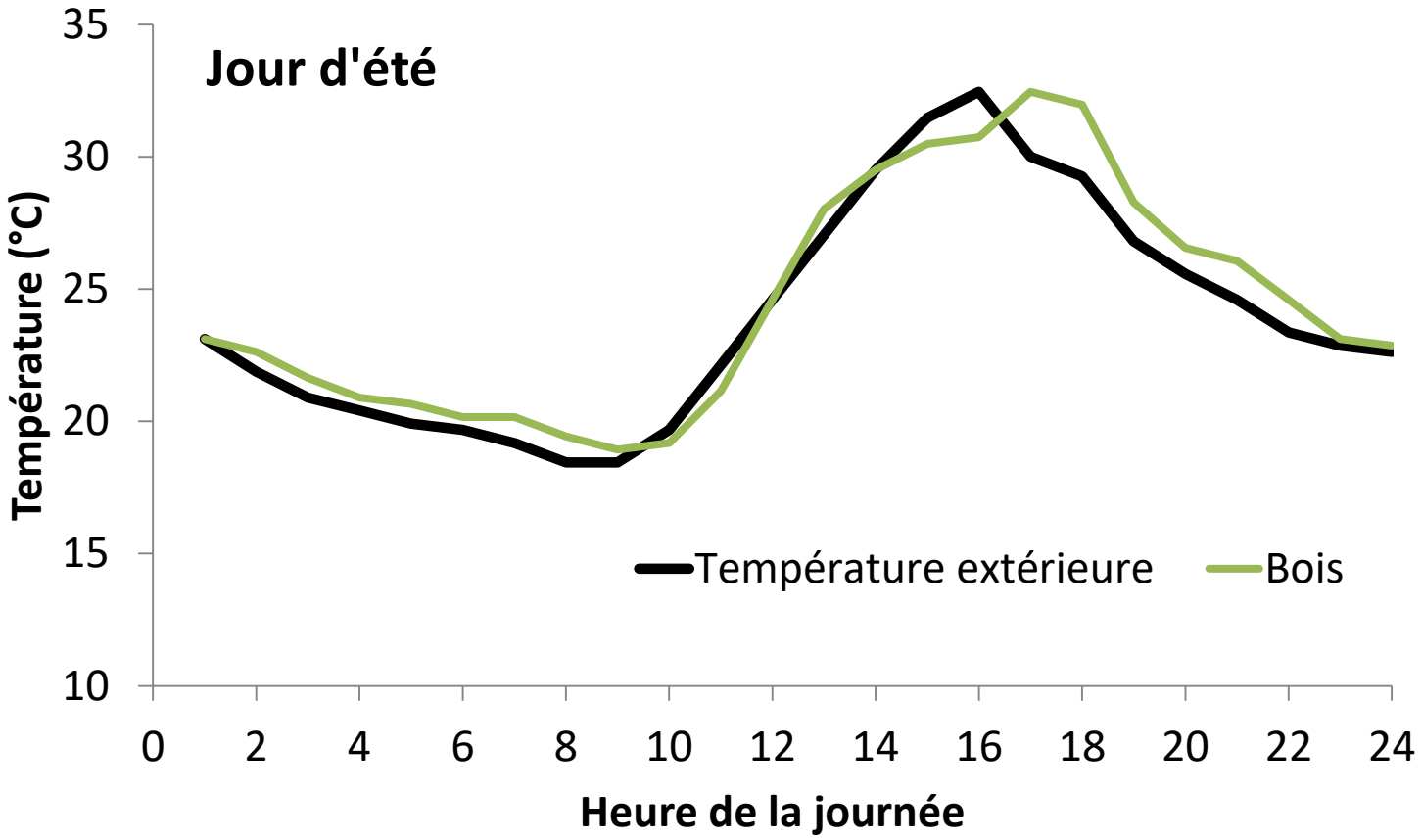
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Eté



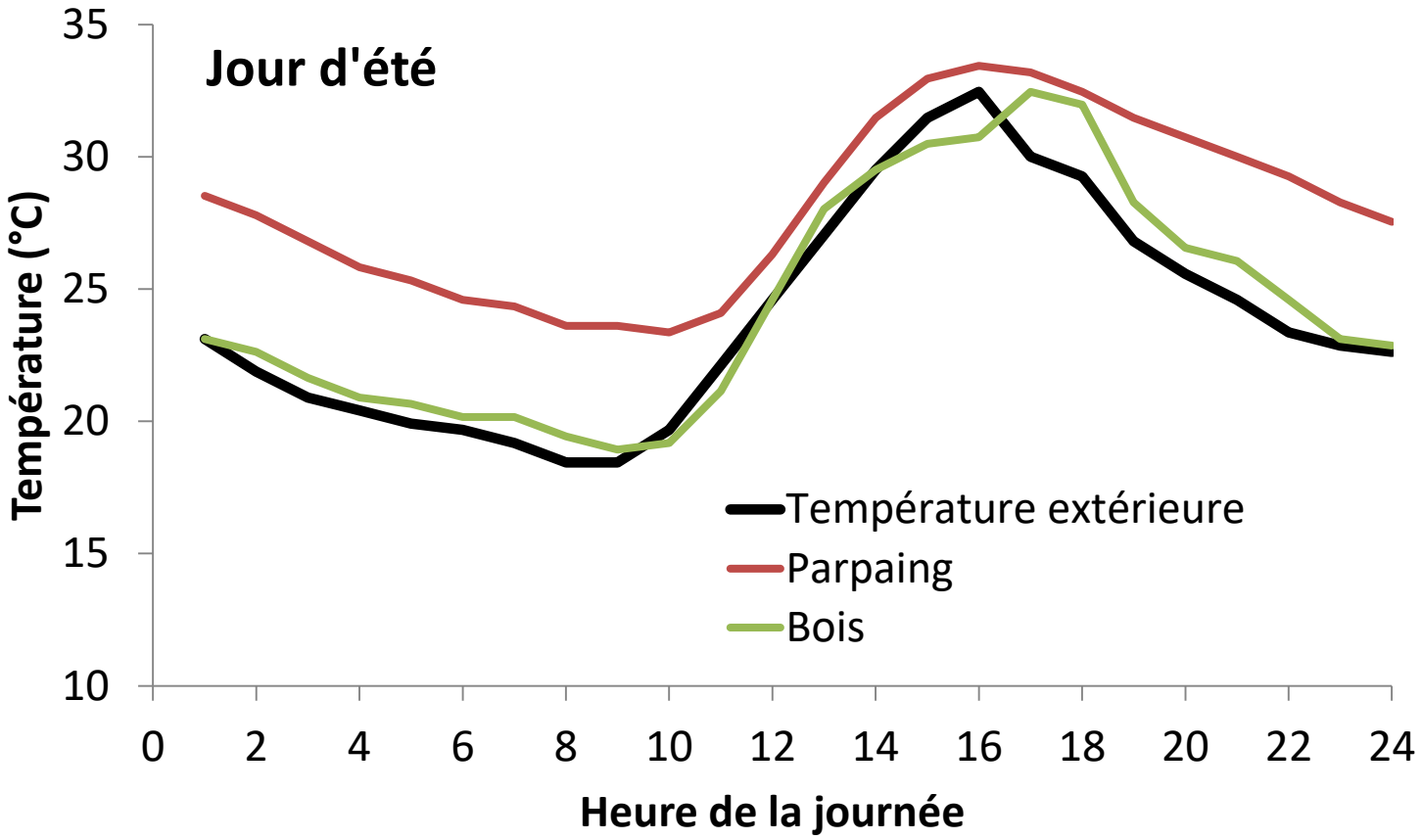
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Eté



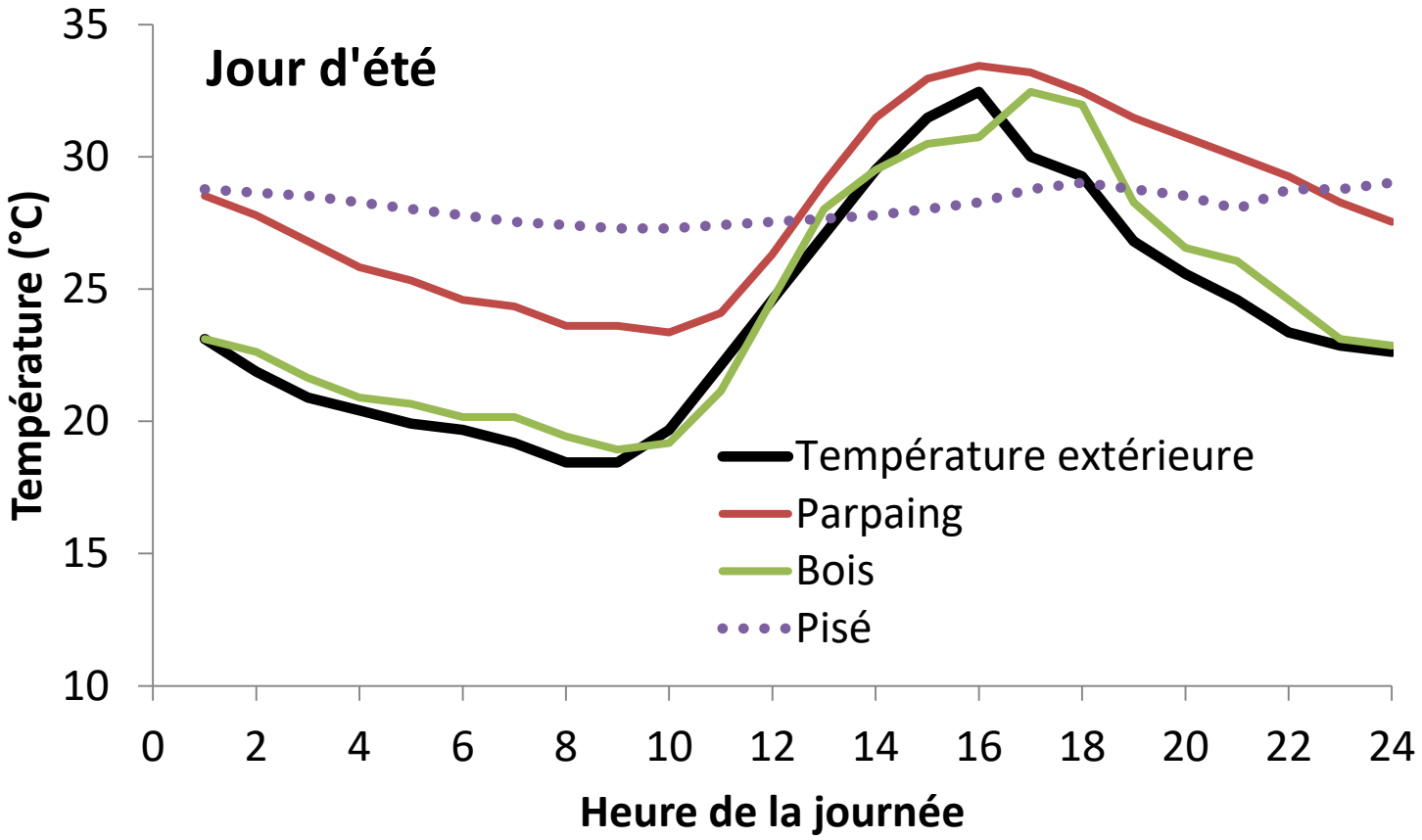
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Eté



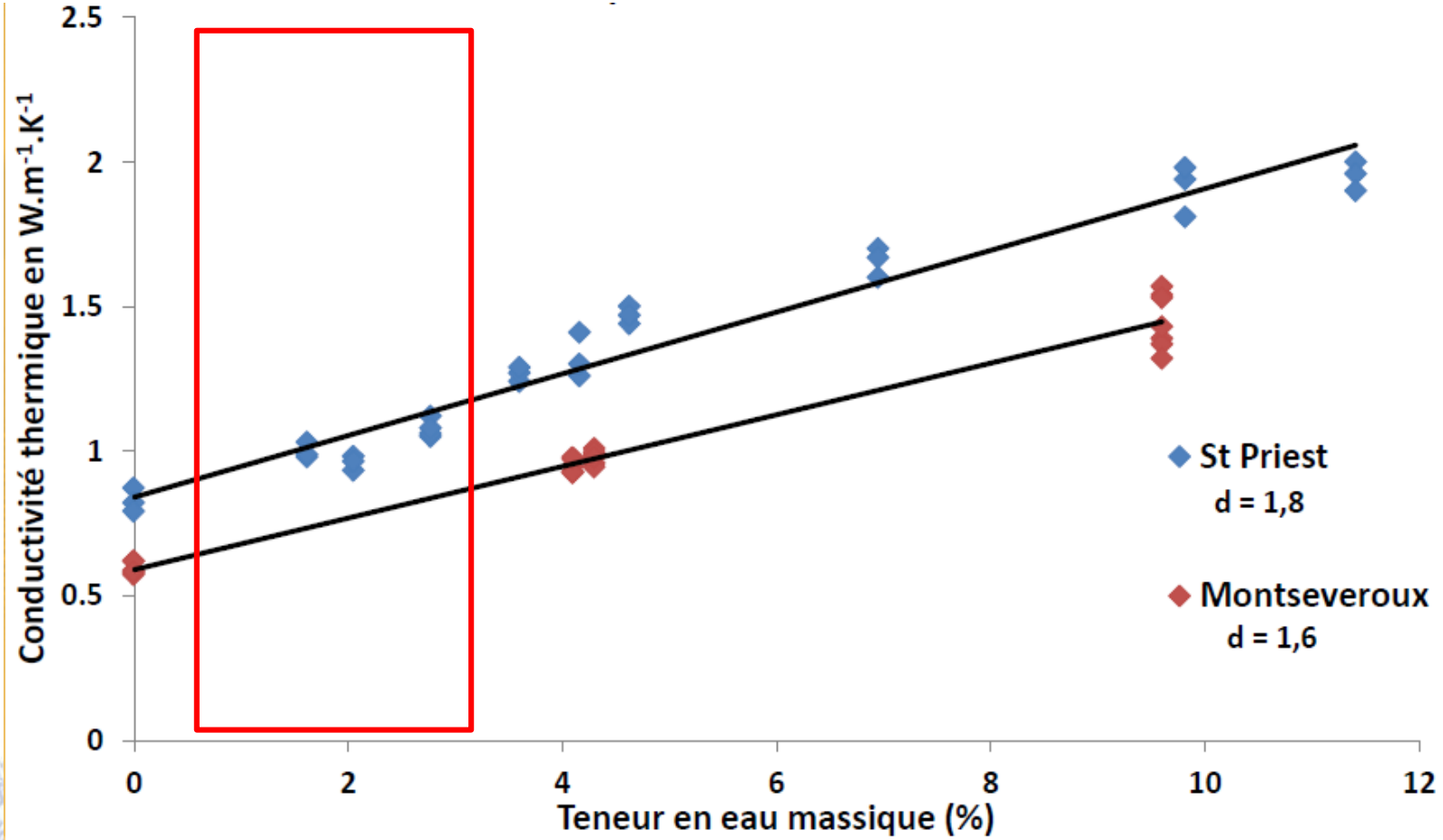
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Efficacité thermique terre crue - Eté



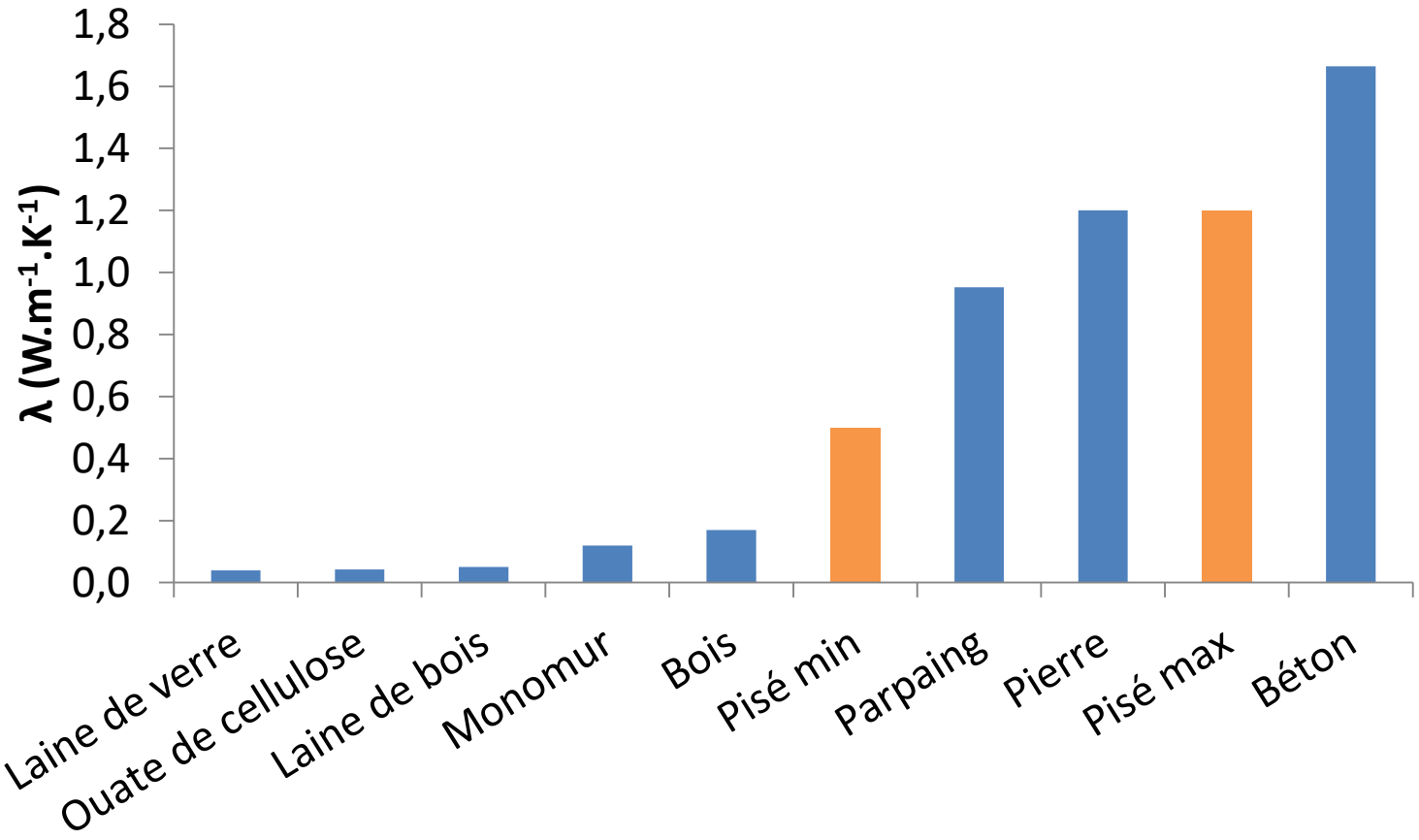
Désert d'Atacama (Chili) (Morel, 2014)

Conductivité thermique



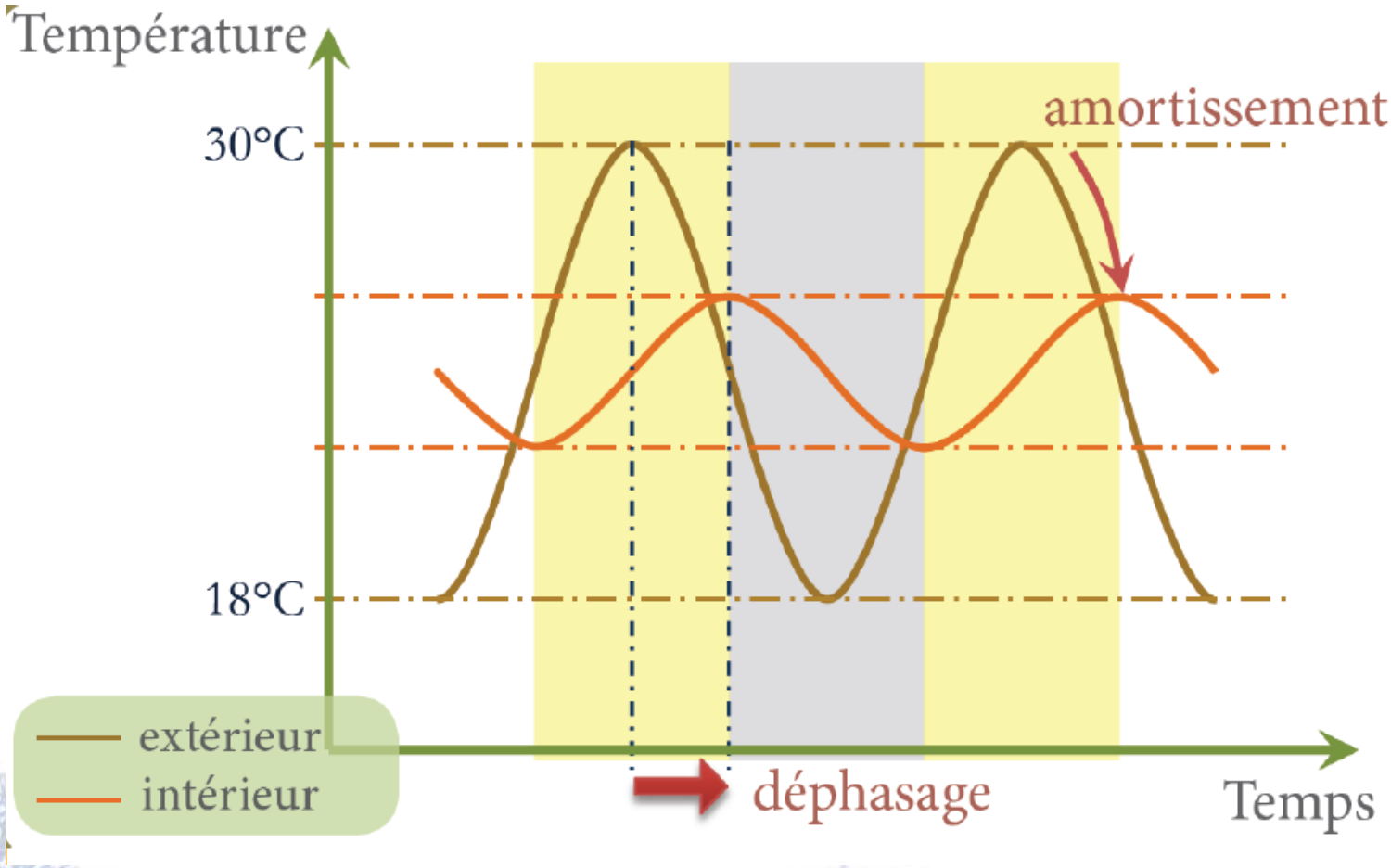
Evolution de la conductivité thermique du pisé en fonction de la teneur en eau (Morel, 2014)

Un matériau peu isolant



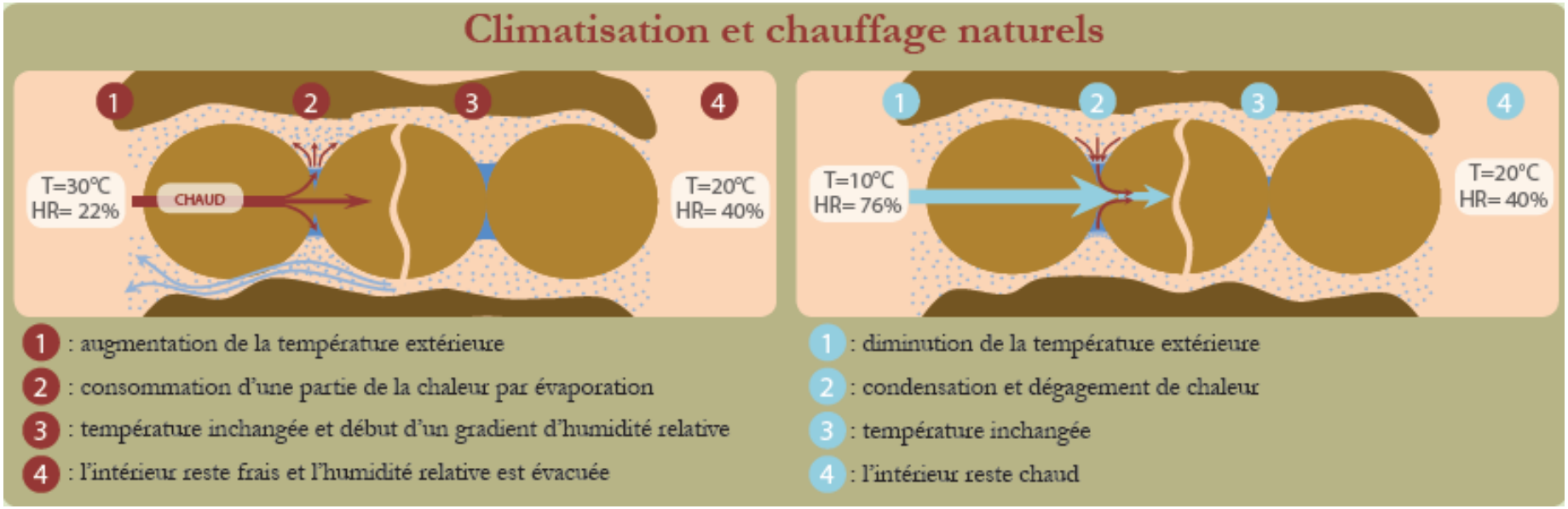
Source : http://www.construction-conseil.fr/

Une forte inertie thermique



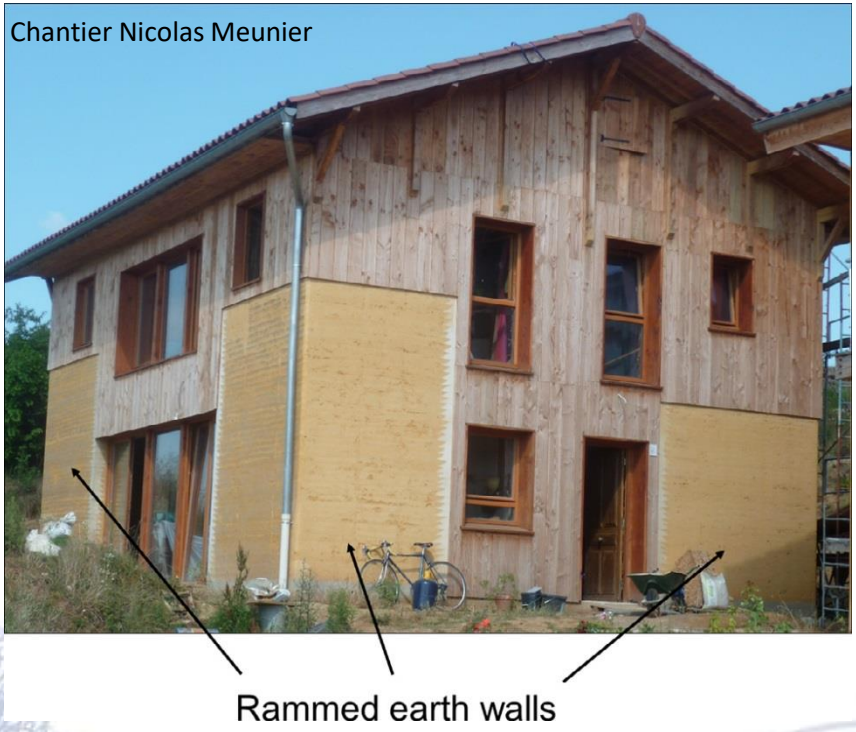
Amortissement et déphasage thermique du pisé (Champiré *et al.*, 2014)

Changements de phase de l'eau



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

Un confort reconnu par les habitants



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

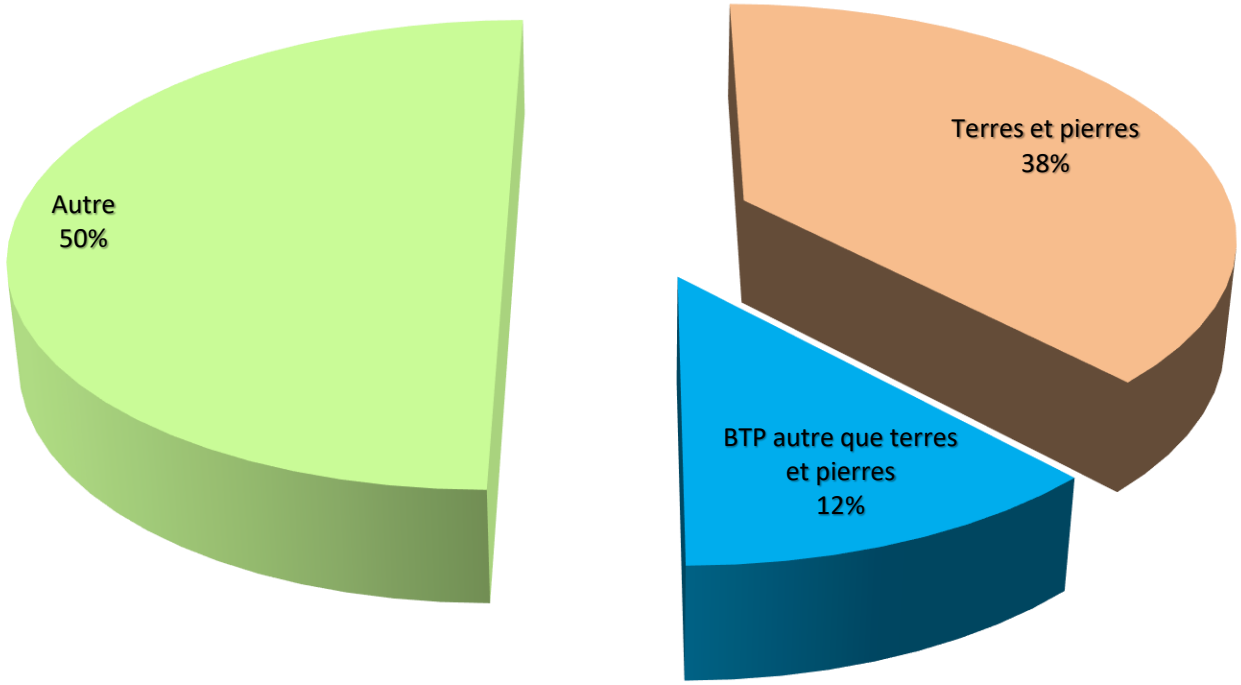
Consommation estimée à

20 kWh.m^{-2}.an^{-1}

→ BBC (15 – 50 kWh.m^{-2}.an^{-1})

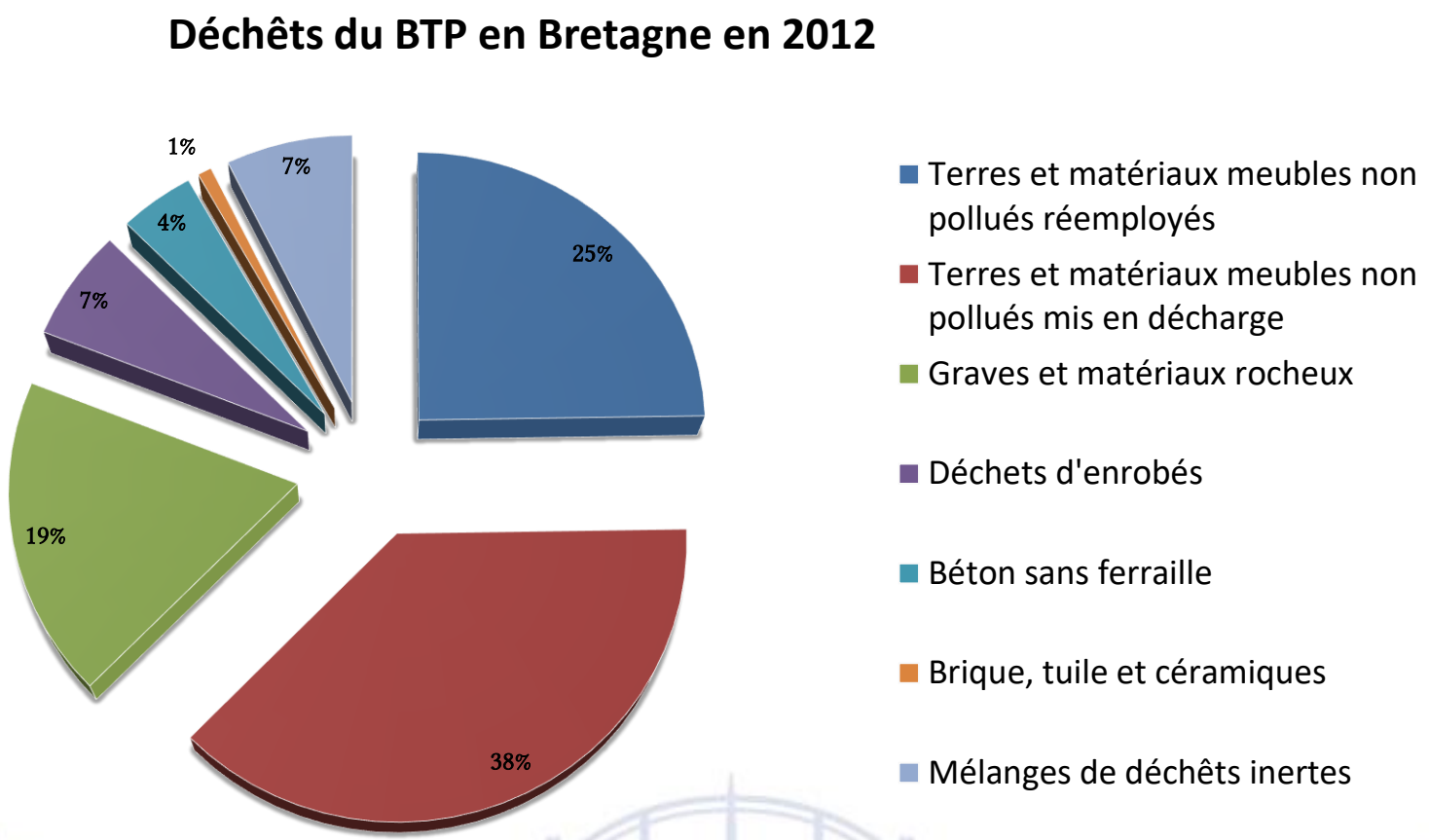
IMPACTS DE LA CONSTRUCTION EN TERRE CRUE

Déchets de l'UE



(Llatas 2011)

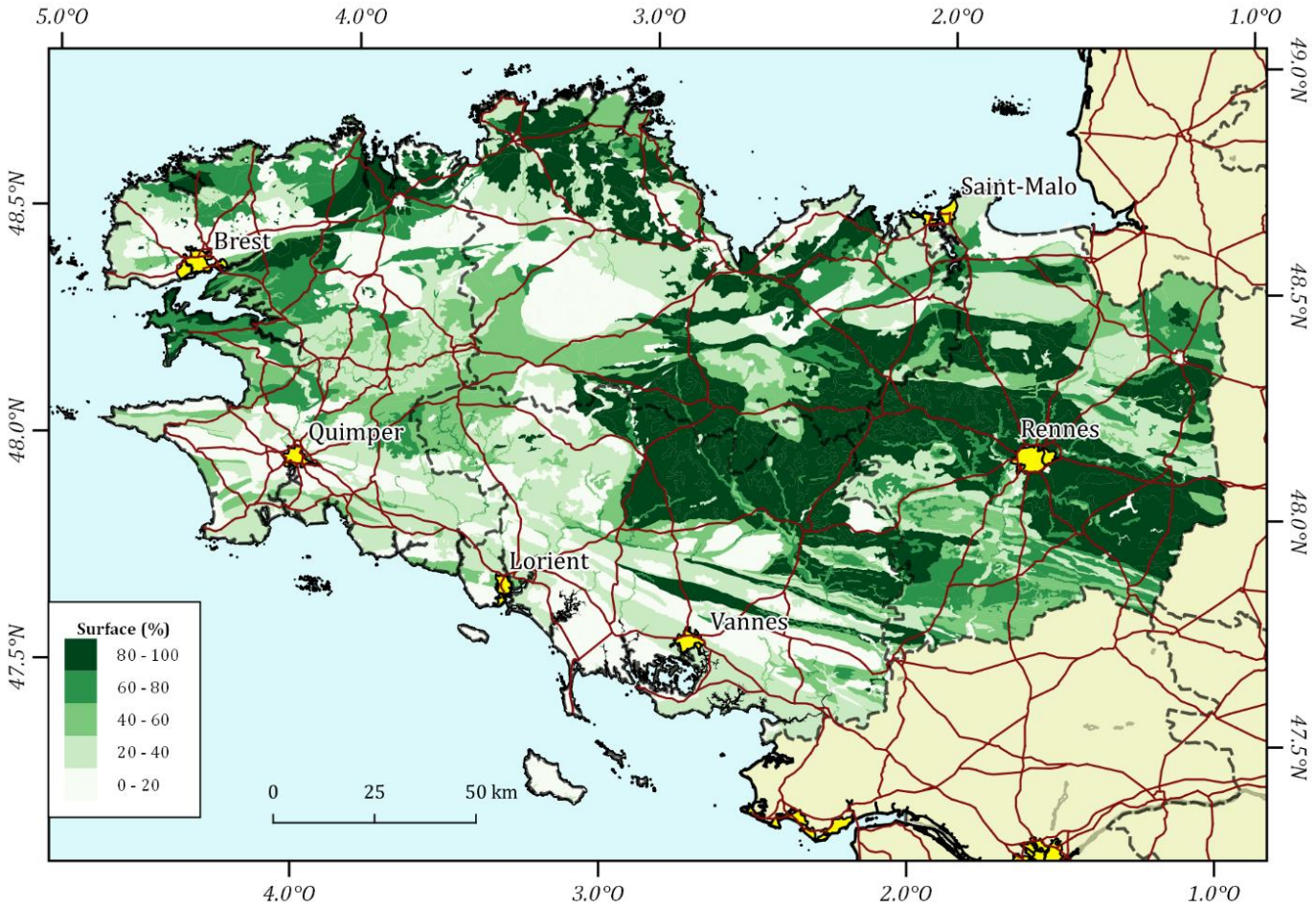
Le principal déchet du BTP



(Cellule économique de Bretagne)

Une ressource disponible

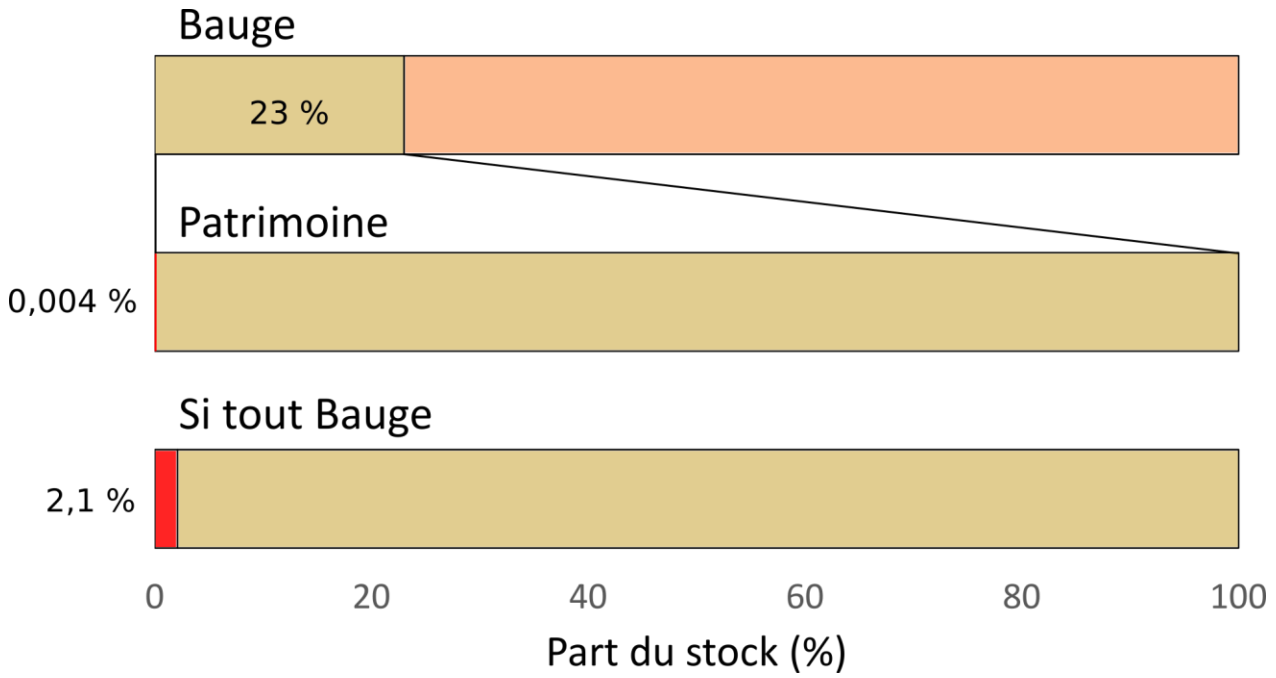
Données:
- AgroCampus Ouest
- Service de l'Inventaire du patrimoine culturel de la Région Bretagne



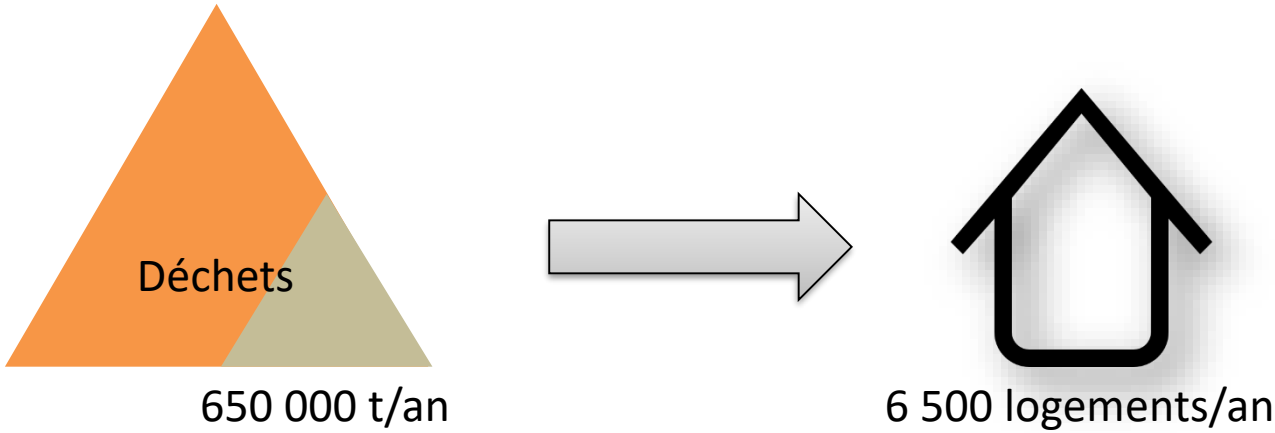
Une ressource abondante

Stock de terre à bauge en Bretagne :

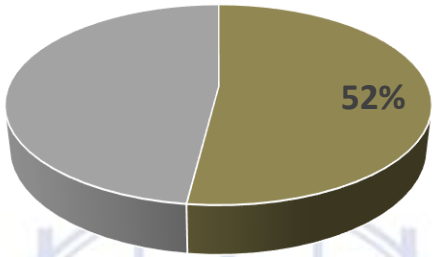
- $6{,}8\ 10^9\ m^3$
- $8{,}8\ 10^9\ t$



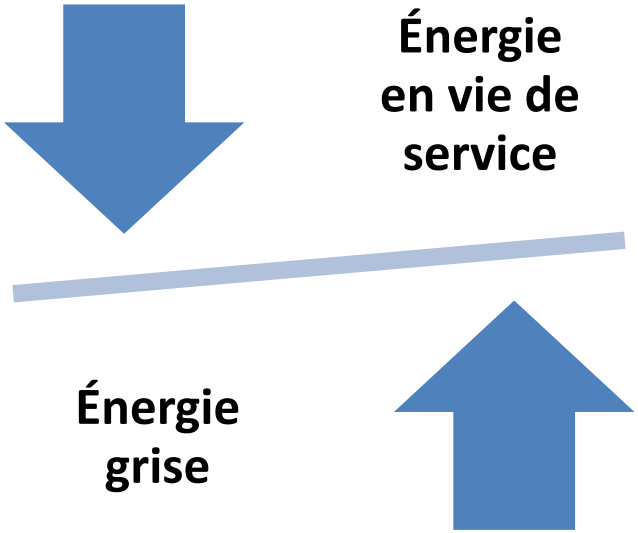
Réemploi d'un déchet



Part de marché potentiel
logement individuel Bretagne

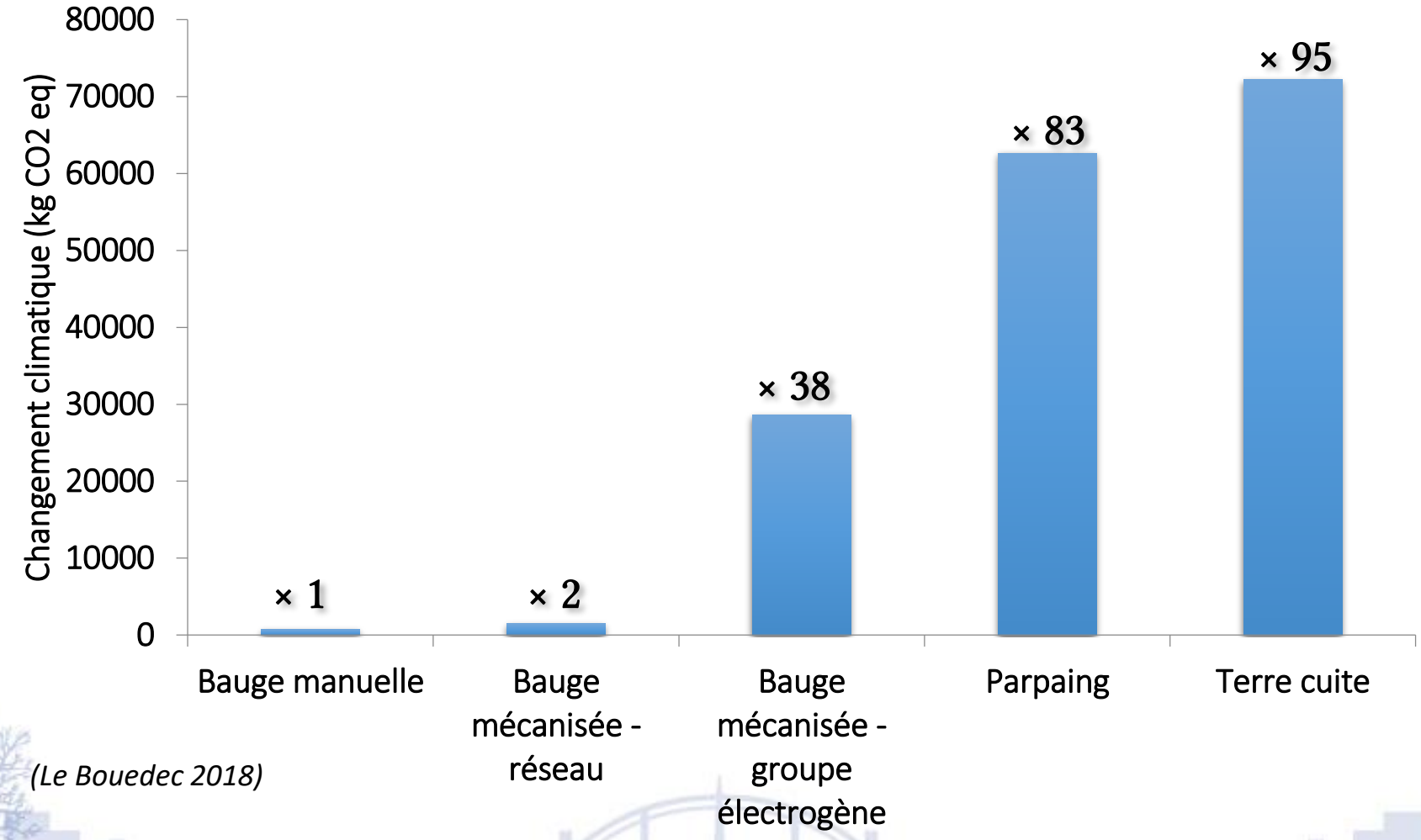


Économie d'énergie



- 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

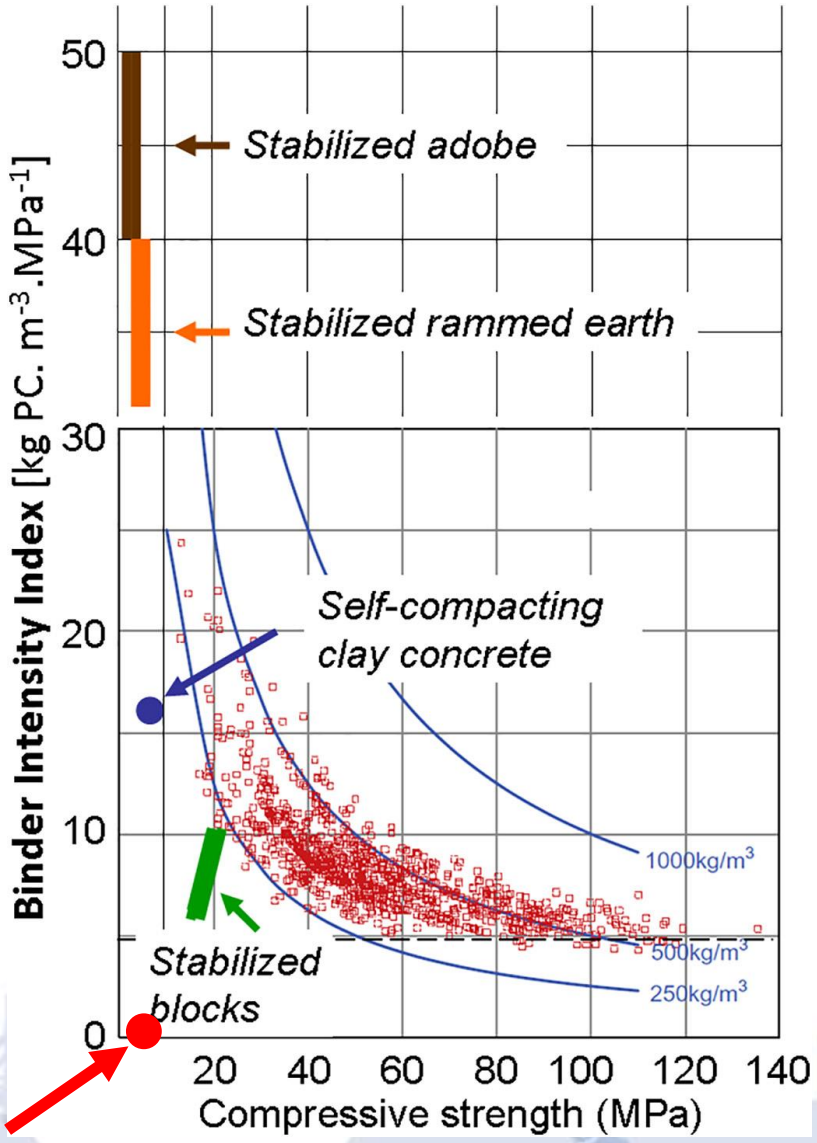
Projet Malaxterre
IFSTTAR, Collectif Terreux Armoricain, IAUR

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/