

Contribution à l'amélioration de la qualité de l'habitat en terre crue au Burkina Faso

Philbert Nshimiyimana¹, Césaire Hema¹, Ousmane Zoungrana¹, Luc Courard², Adamah Messan¹

¹Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

²Université de Liège

NoMaD 2022, 16-17 Novembre 2022, Montpellier, France



Construire ... une question d'actualité

- ▶ 75% de la population mondiale vivra en ville en 2050
- ▶ 50% de la population mondiale dans les pays en développement



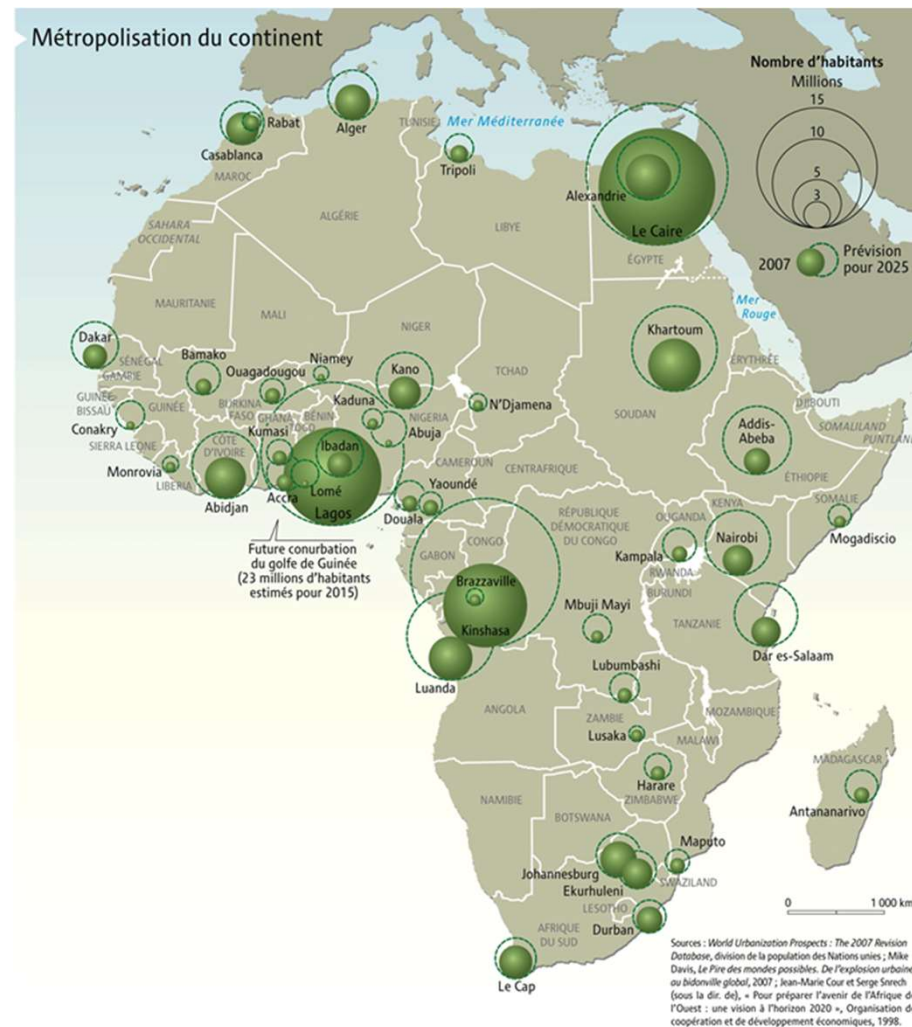


Construire ... une question d'actualité

- ▶ Population africaine: 2,4 milliards en 2050 dont 1,34 milliards d'urbains

L'habitat constitue un enjeu majeur pour le développement économique, social, durable et responsable en Afrique (ONU Habitat 2014)

- ▶ 50% des constructions dans le monde sont en terre





Construire ... en terre ... au Burkina Faso

► Constats

- ✂ La population reste sceptique quant à la **résistance** et à la **durabilité** des constructions en terre.
- ✂ Le « **local** », contrairement à « **l'importé** », a, au Burkina Faso, bien souvent un sens plutôt négatif.
- ✂ Les maisons de moyen standing sont actuellement réalisées en blocs de béton avec une toiture en tôles: une ineptie **esthétique** et **thermique**.





Construire ... en terre ... au Burkina Faso

► Problèmes

✂ manque de résistance à long terme des BTC (effets de la pluie

✂ limitations structurelles pour la réalisation des bâtiments à plusieurs niveaux

► Solutions

✂ stabilisation **chimique**: chaux + cendres de riz calcinées

✂ stabilisation **mécanique**: briques comprimées





Construire ... en terre ... au Burkina Faso

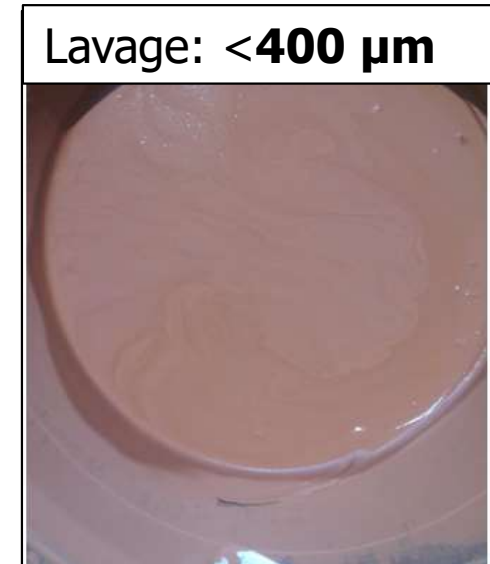
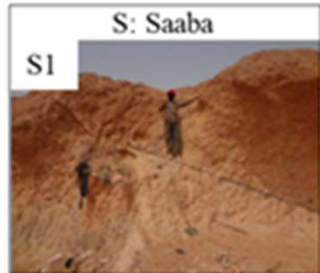
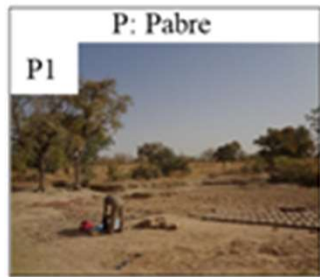
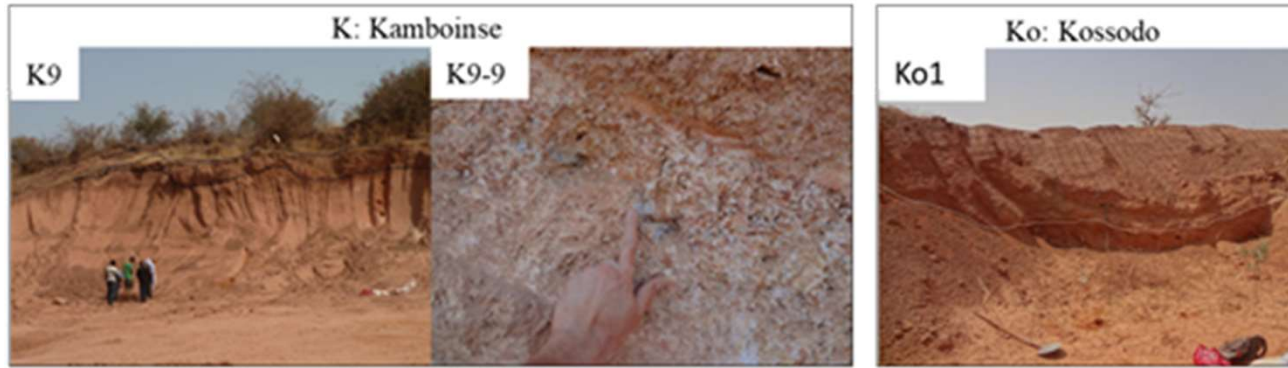
- ▶ PRD2016-2022: Amélioration la qualité de l'habitat en briques de terre crue au Burkina Faso (*et plus largement en Afrique Sub-Saharienne*)
 - ✂ Améliorer les performances techniques et de durabilité des briques en terre comprimées: **approche** « **matériau** »
 - ✂ Optimiser les parois des habitats afin d'améliorer le confort hygro-thermique : **approche** « **habitat** »
 - ✂ Comprendre les réticences de la population et vaincre les *a priori* défavorables: **approche** « **socio-anthropologique** »



1. Améliorer les performances techniques des briques en terre comprimée (BTC)

→ Comment améliorer les performances des BTCs: matériaux argileux & sous-produits?

Identifier les matériaux argileux



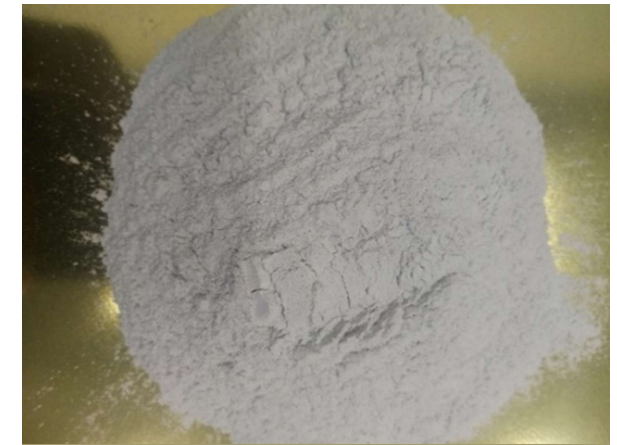
| Matériaux | Quantité (m ³) |
|--------------------------------|----------------------------|
| K (700x200x6 m ³) | 700 000 |
| P (600x100x2 m ³) | 120 000 |
| Ko (350x150x5 m ³) | 130 000 |
| S (350x70x4 m ³) | 50 000 |

Valoriser les co-produits locaux



1/2. Résidu industrie acétylène (CCR): riche en chaux (50%)

Chaux: <125µm



2/2. Cendre de balle de riz calcinée: > 90% en silice amorphe

Balle du riz

Cendre: 500°C-2h

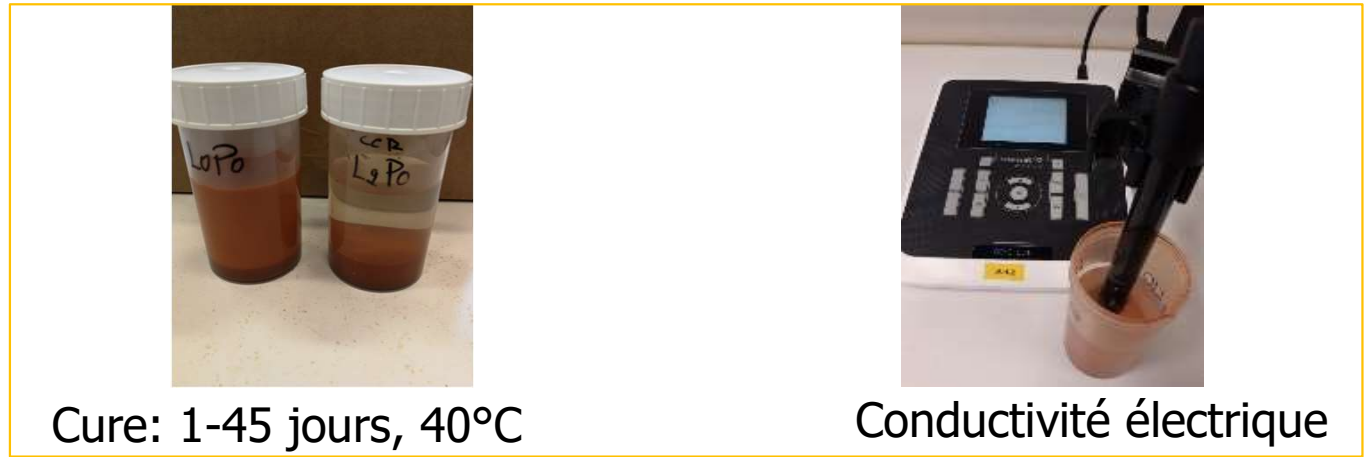
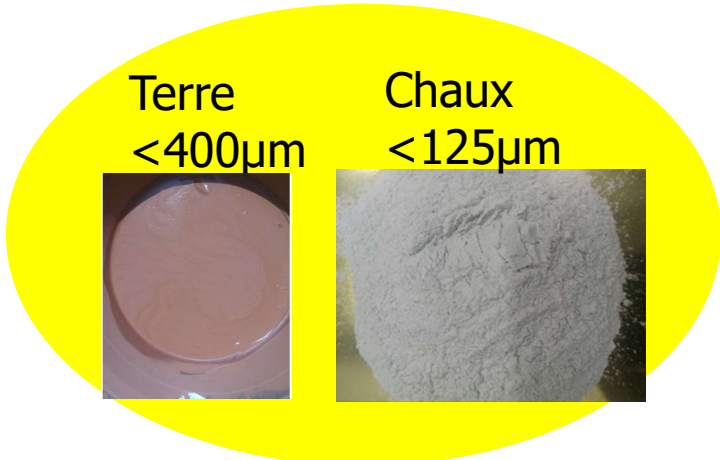
Cendre: <80µm



Caractériser la réactivité des matériaux

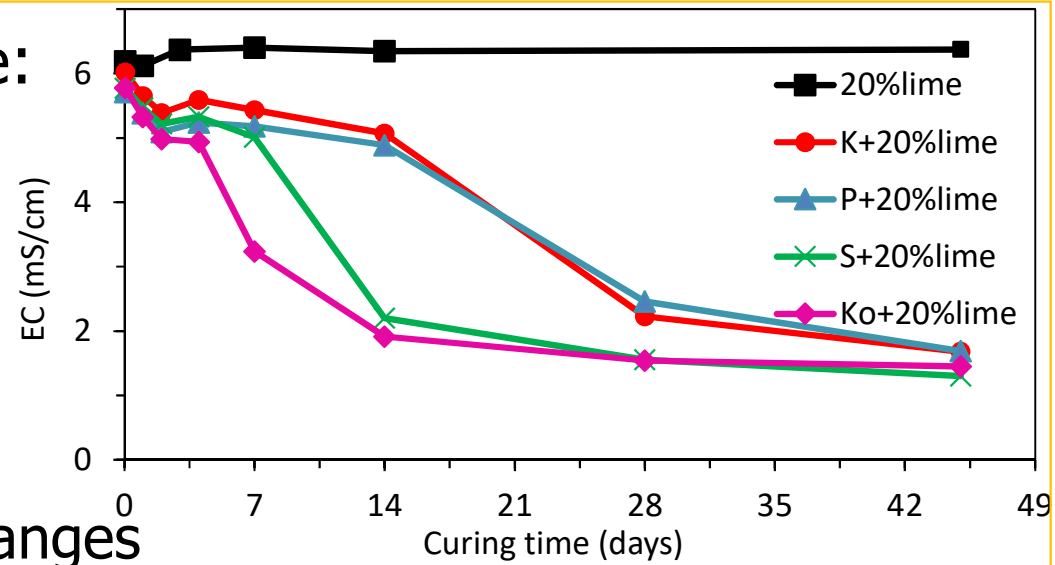


→ Solution des mélanges : Terre <math><400\mu\text{m}</math> (5 g) + 20% chaux + eau (100 g)



• Conductivité électrique (EC) diminue:

- ✓ Kossodo (Ko)
- ✓ Saaba (S)
- ✓ Kamboinse (K)
- ✓ Pabre (P)

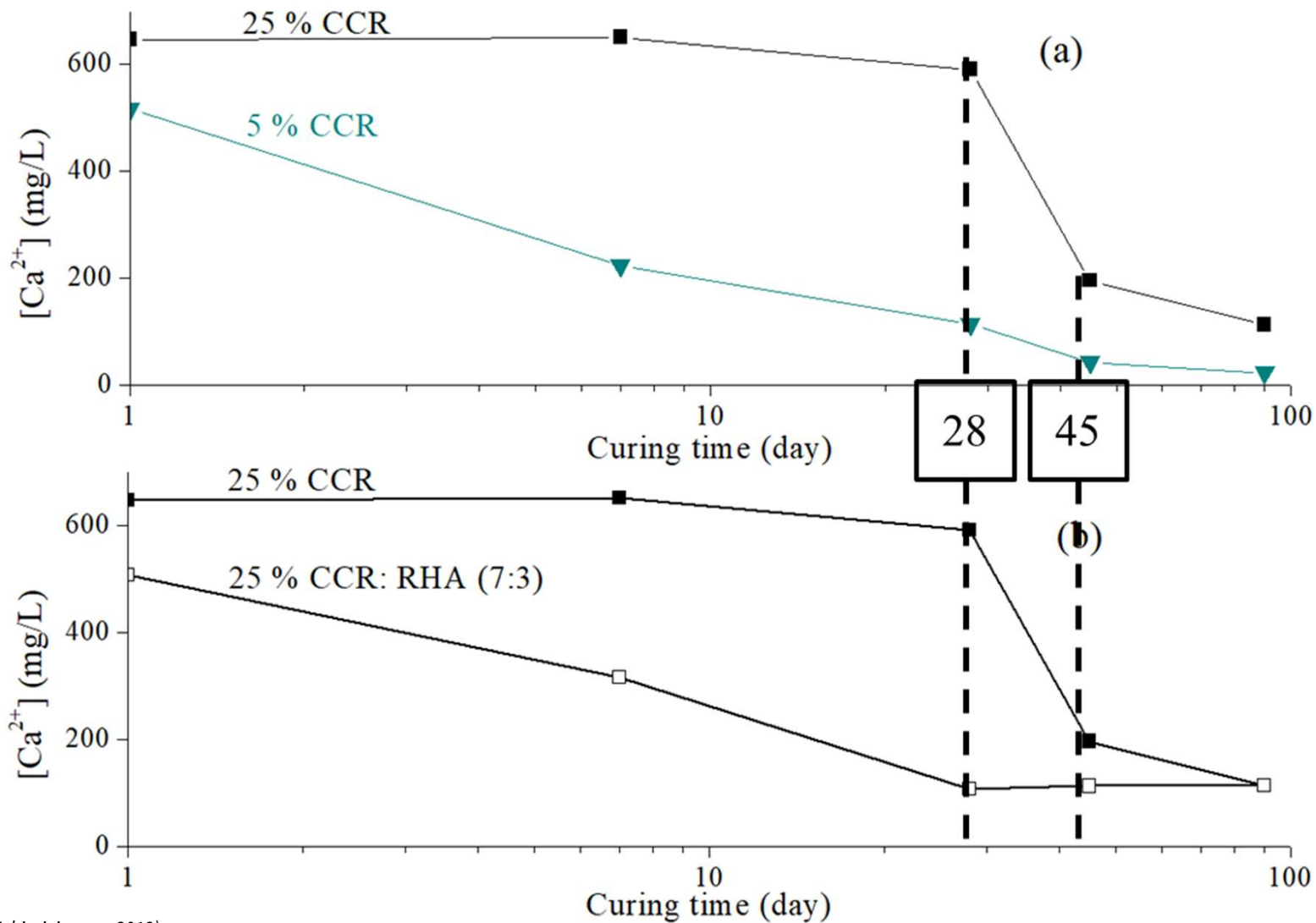


→ Réactivité dans les solutions des mélanges

Caractériser la réactivité des matériaux



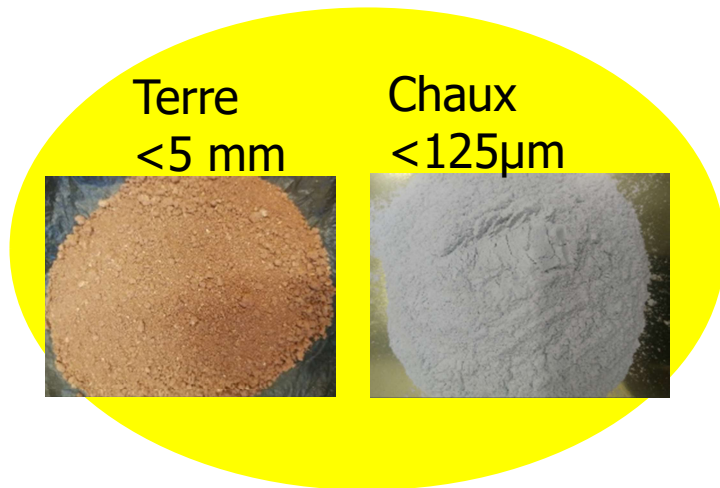
► Evolution of calcium concentration $[Ca^{2+}]$ in mix solutions



Caractériser les performances des BTCs+



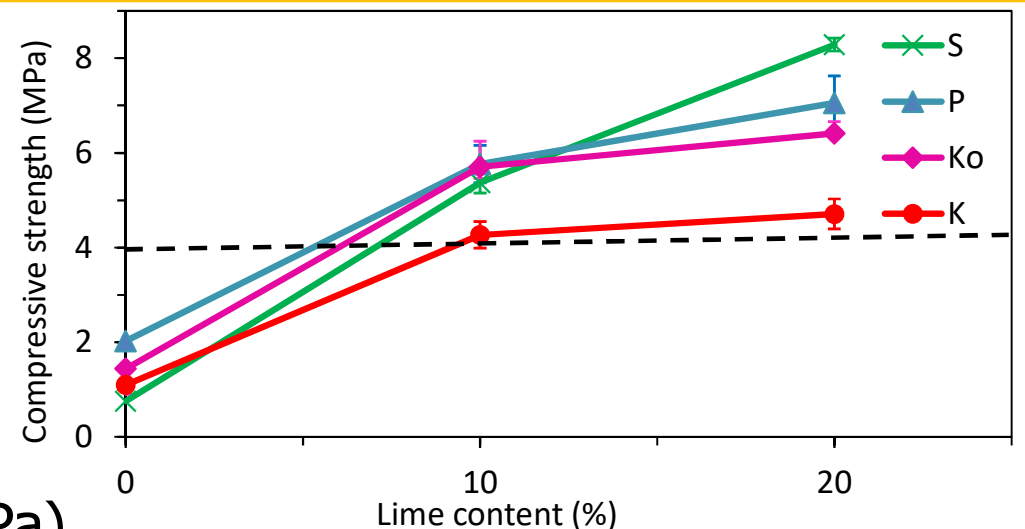
- BTCs (29.5x14x9.5 cm): Terre <5mm + 20% chaux + eau (TEO)



- Réactivité améliore la résistance:

- ✓ 10 fois pour Saaba (S)
- ✓ 3,5 fois pour Kossodo (Ko)
- ✓ 3,3 fois pour Kamboinse (K)
- ✓ 2,6 fois pour Pabre (P)

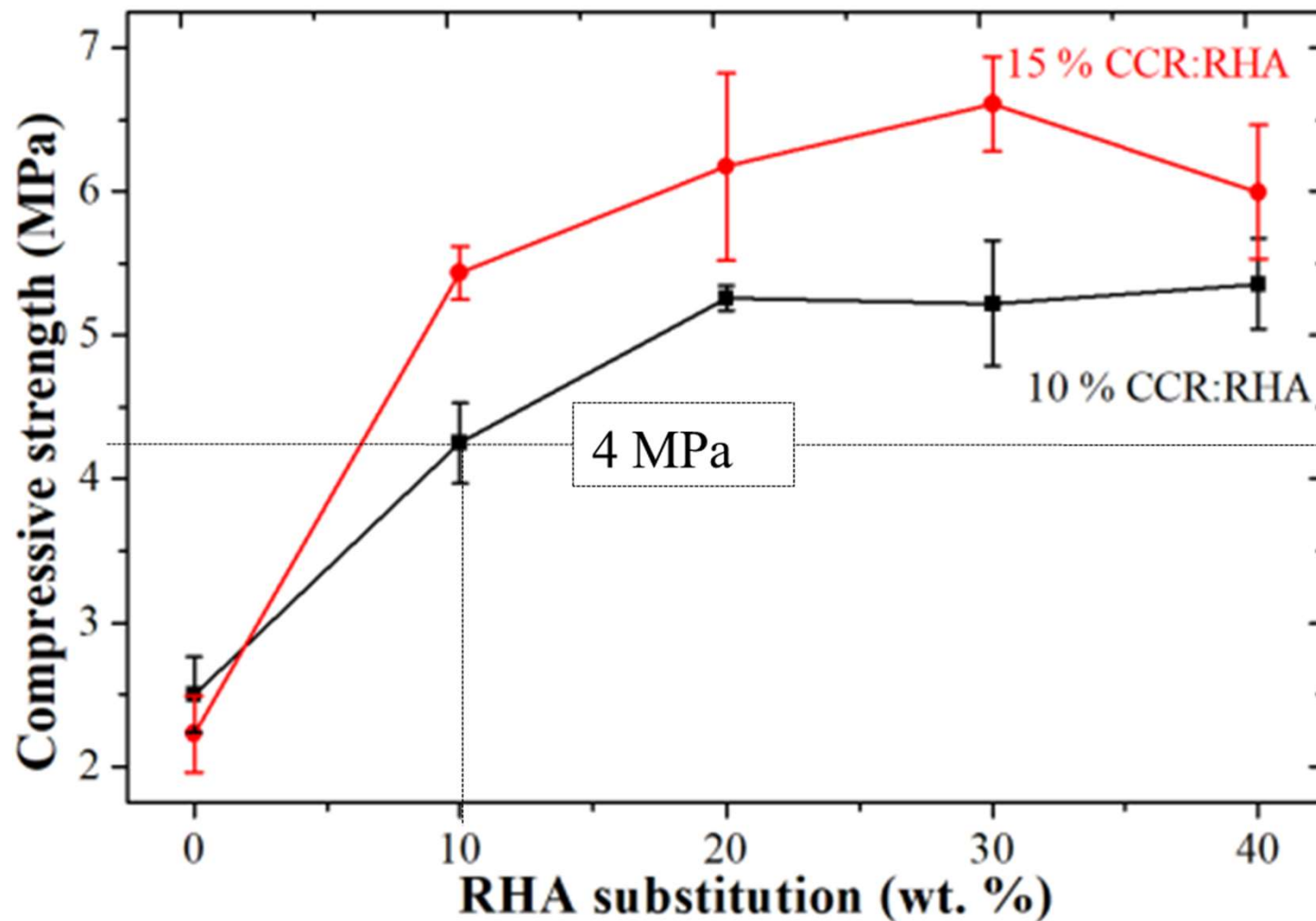
→ Matériaux adéquats (résistance >4 MPa)



Caractériser les performances des BTCs+



► Mechanical properties (28 days)



BTC+: tenue à l'eau

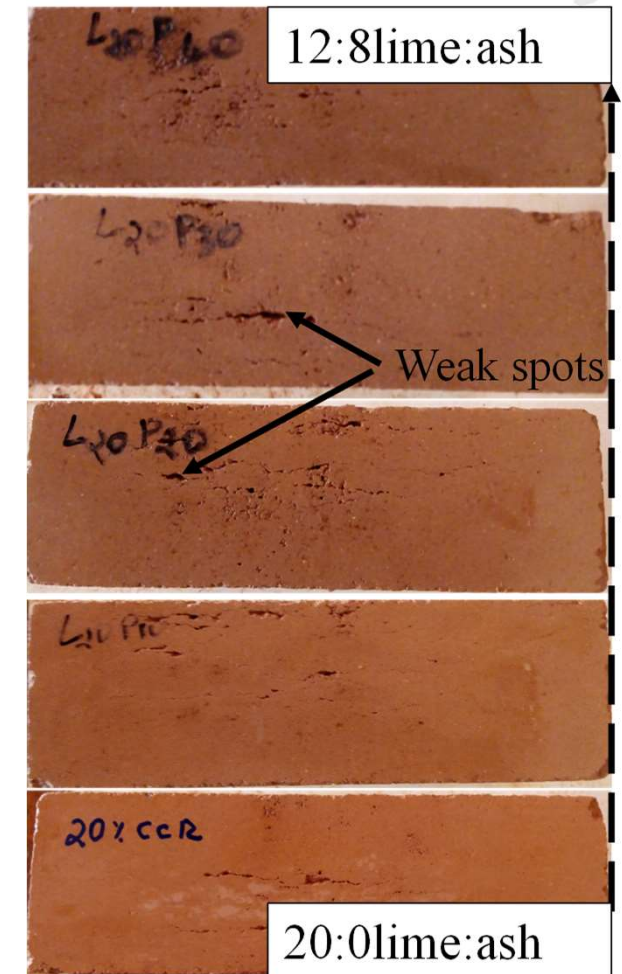
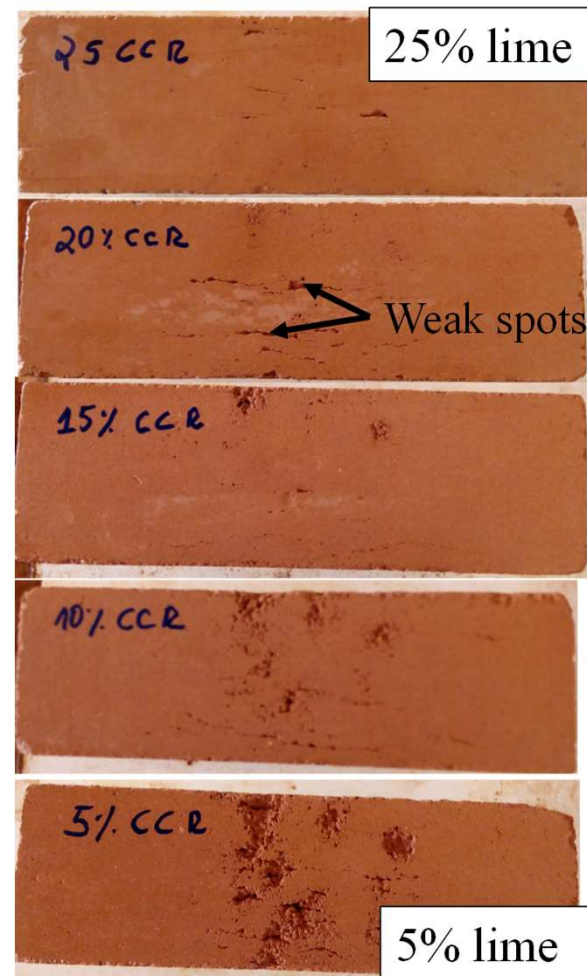
BTCs non-stabilisées



BTCs stabilisées

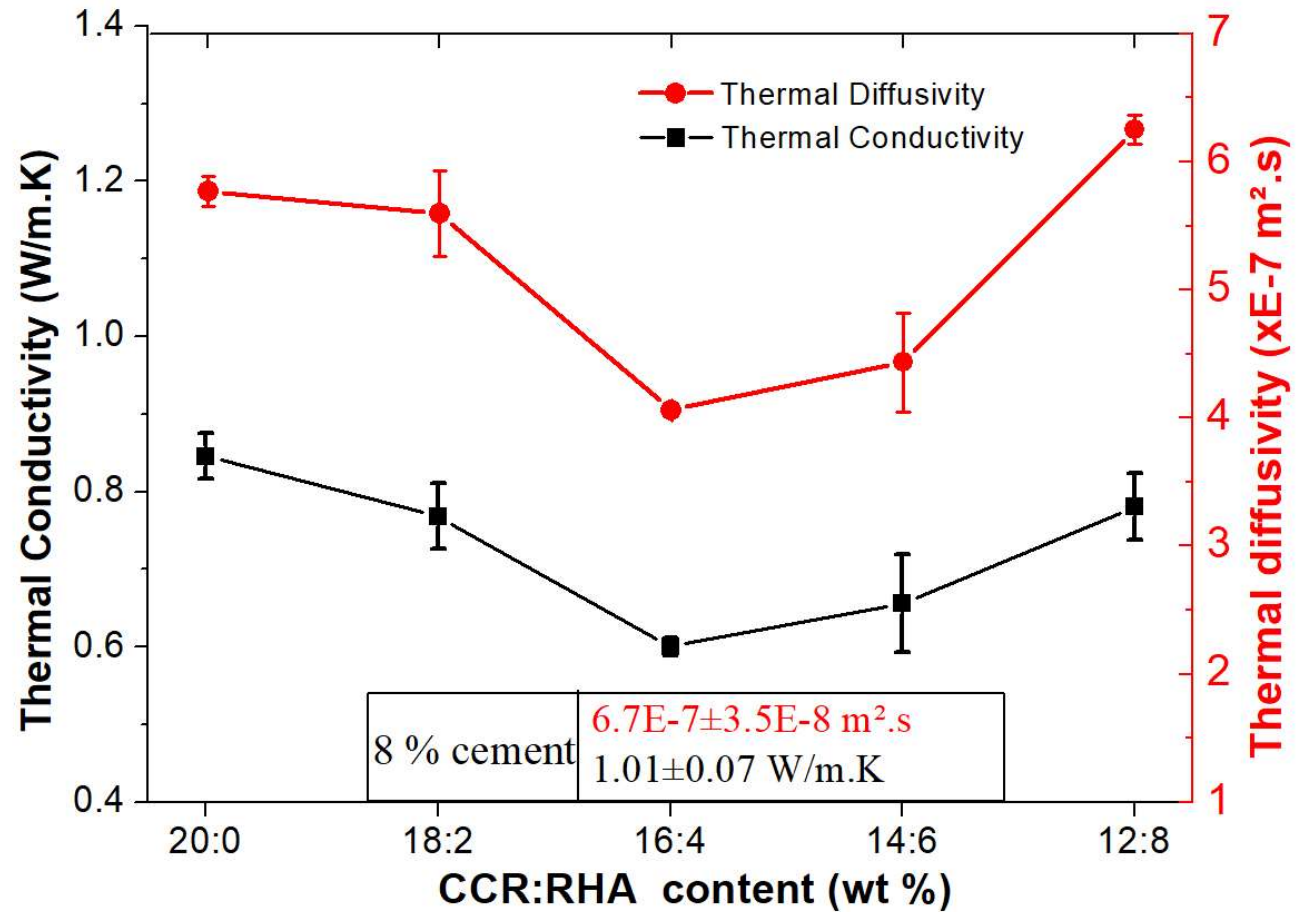


BTC+: tenue à l'érosion (+100 ans)

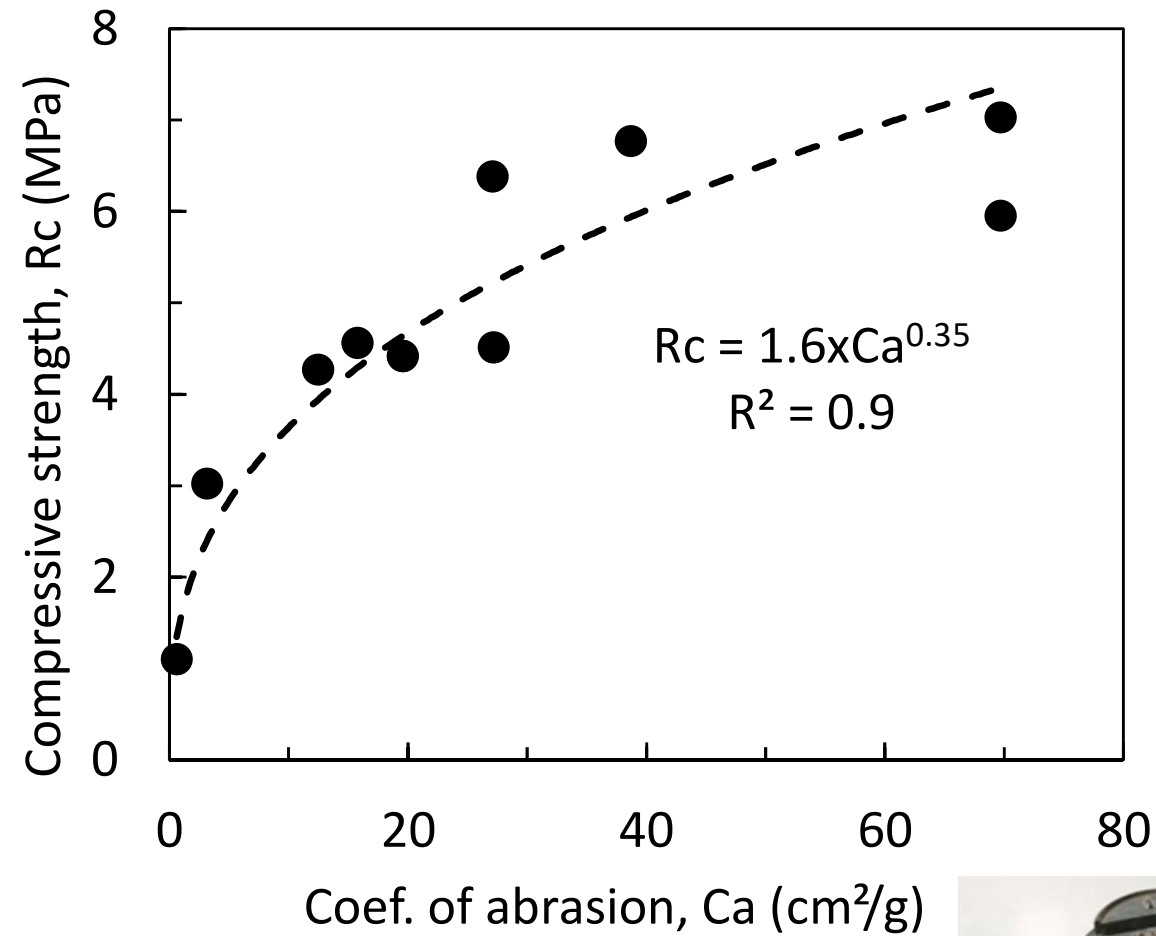


- ➔ Profondeur d'érosion $\lll 120$ mm/h (non-érodable)
- ➔ Application dans les maçonneries apparentes

BTC+: performances thermiques



BTC+: compression vs abrasion



Conclusions BTC+ matériaux



- Matériaux argileux & sous-produits
 - Nécessité de considérer la réactivité pour produire des BTC+
- BTC+ soumises à des conditions d'usages:
 - Augmentation de la résistance à la compression (1,1 à 7 MPa),
 - Diminution de la densité apparente (1800 à 1480 kg/m³),
 - Diminution de la conductivité thermique (1,02 à 0,69 W/m.K)
 - Diminution de la profondeur d'érosion (7 à 3 mm/h)



2. Optimiser les performances thermiques des parois en BTC

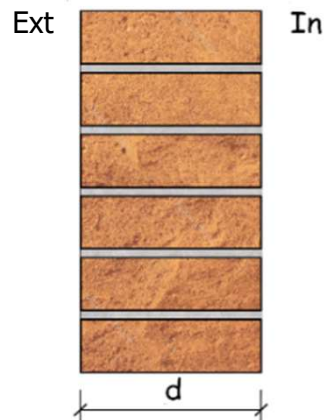
Modélisation thermique

Type de paroi étudiée



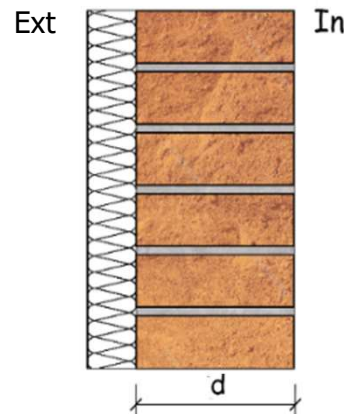
Paroi mono couche BTC

Paroi double



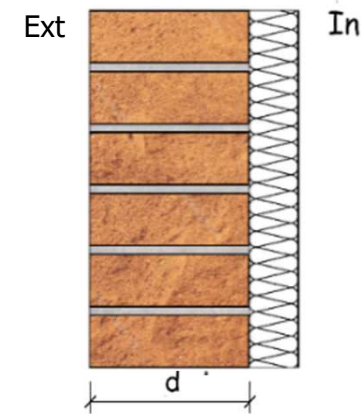
BTC

BTC intérieure



BTC_{in}

BTC extérieure



BTC_{ext}

- ❖ Définir les propriétés thermiques adaptées
- ❖ Définir la position adaptée de la BTC

Expérimentation sur bâtiment pilote

Type de paroi étudiée (toiture non isolée)



UCLouvain

Paroi mono couche BTC

Paroi double

BTC intérieure

BTC extérieure



BTC



BTC_{in}



BTC_{ext}

- ❖ Confirmer les tendances de résultats obtenus par simulation

Expérimentation sur bâtiment pilote

Performance des parois

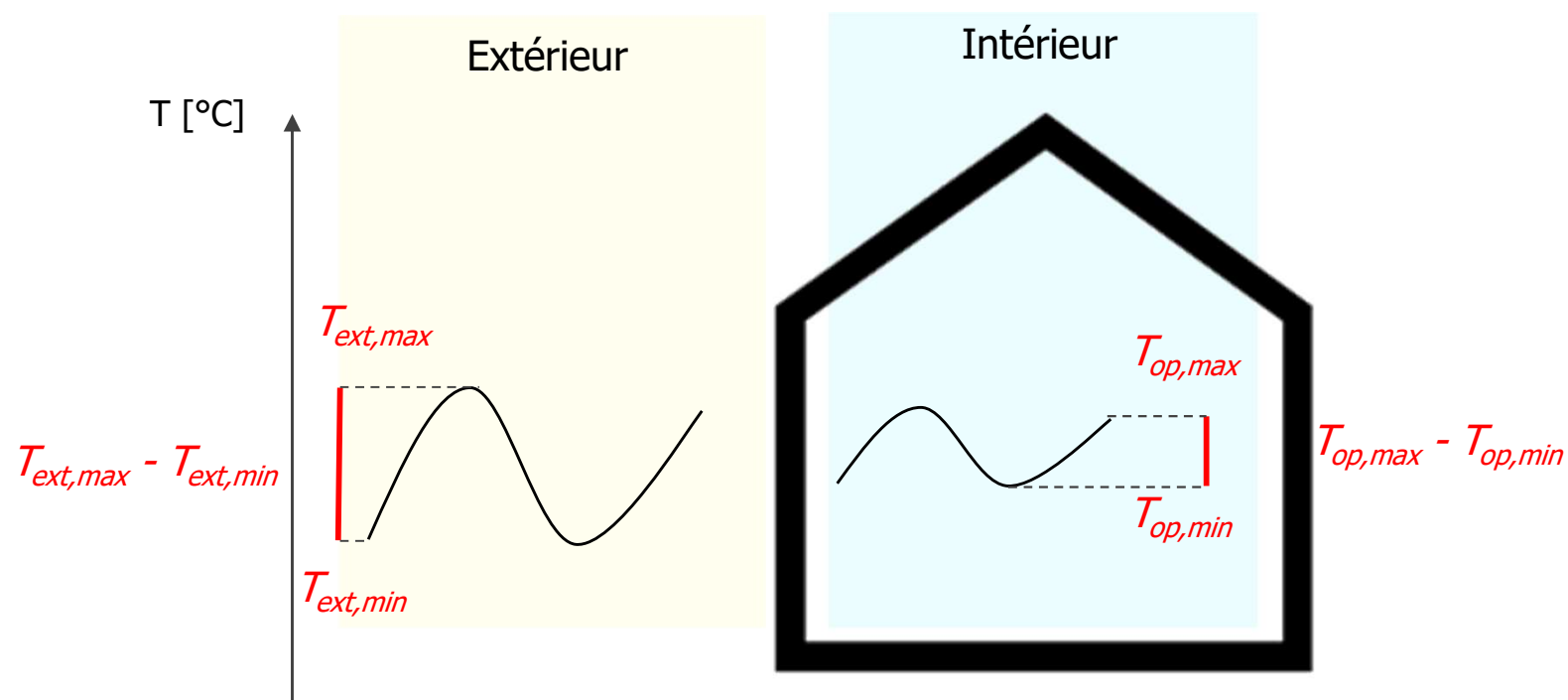


Amortissement thermique (df_{env})

$$df_{env} = \frac{T_{op,max} - T_{op,min}}{T_{ex,max} - T_{ex,min}}$$

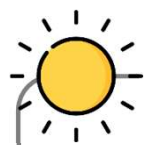
$df_{env} \approx 0$: fort amortissement

$df_{env} \approx 1$: faible amortissement

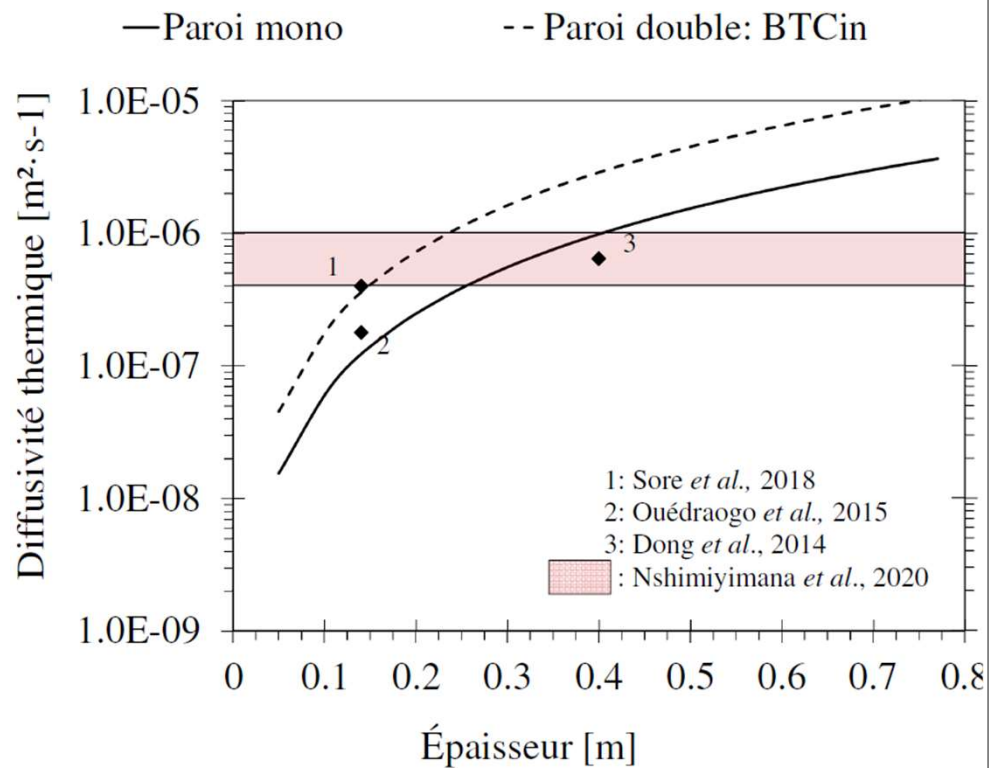


Expérimentation sur bâtiment pilote

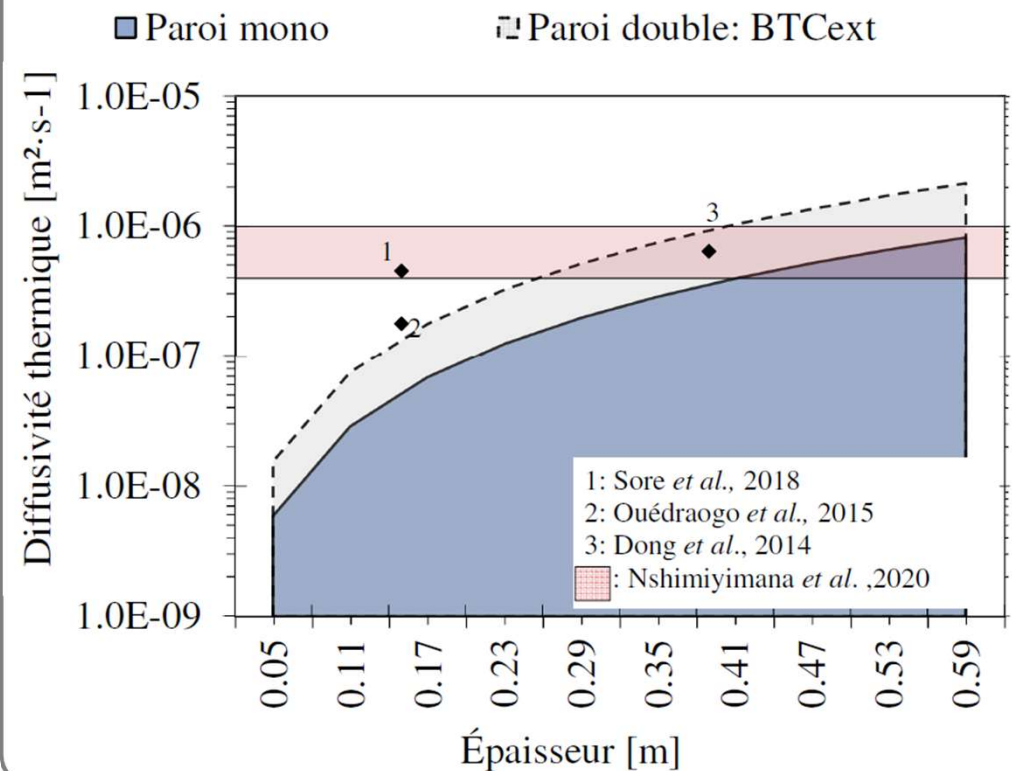
Outils de conception des parois en BTC



Occupation permanente et Occupation de jour (7h – 21h)



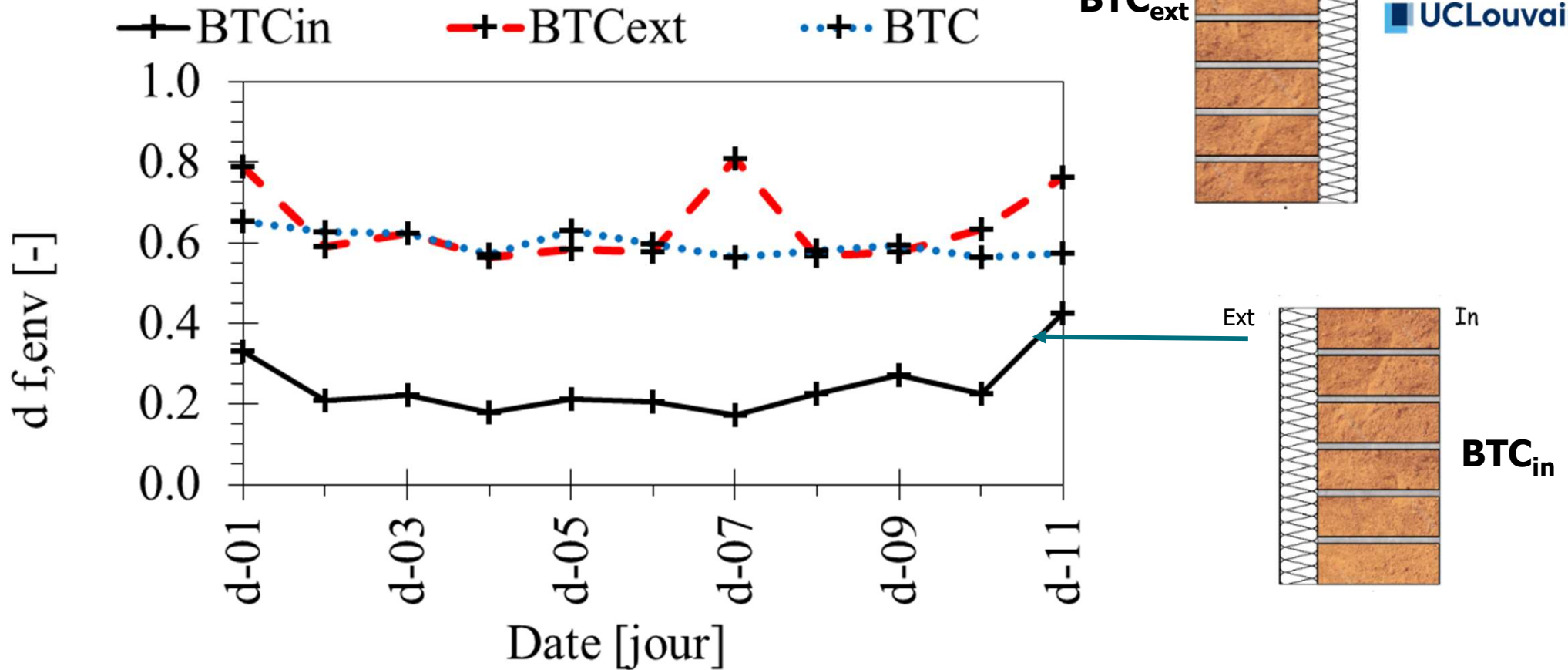
Occupation de nuit (21h – 7h)



UCLouvain

Conclusions BTC+ confort

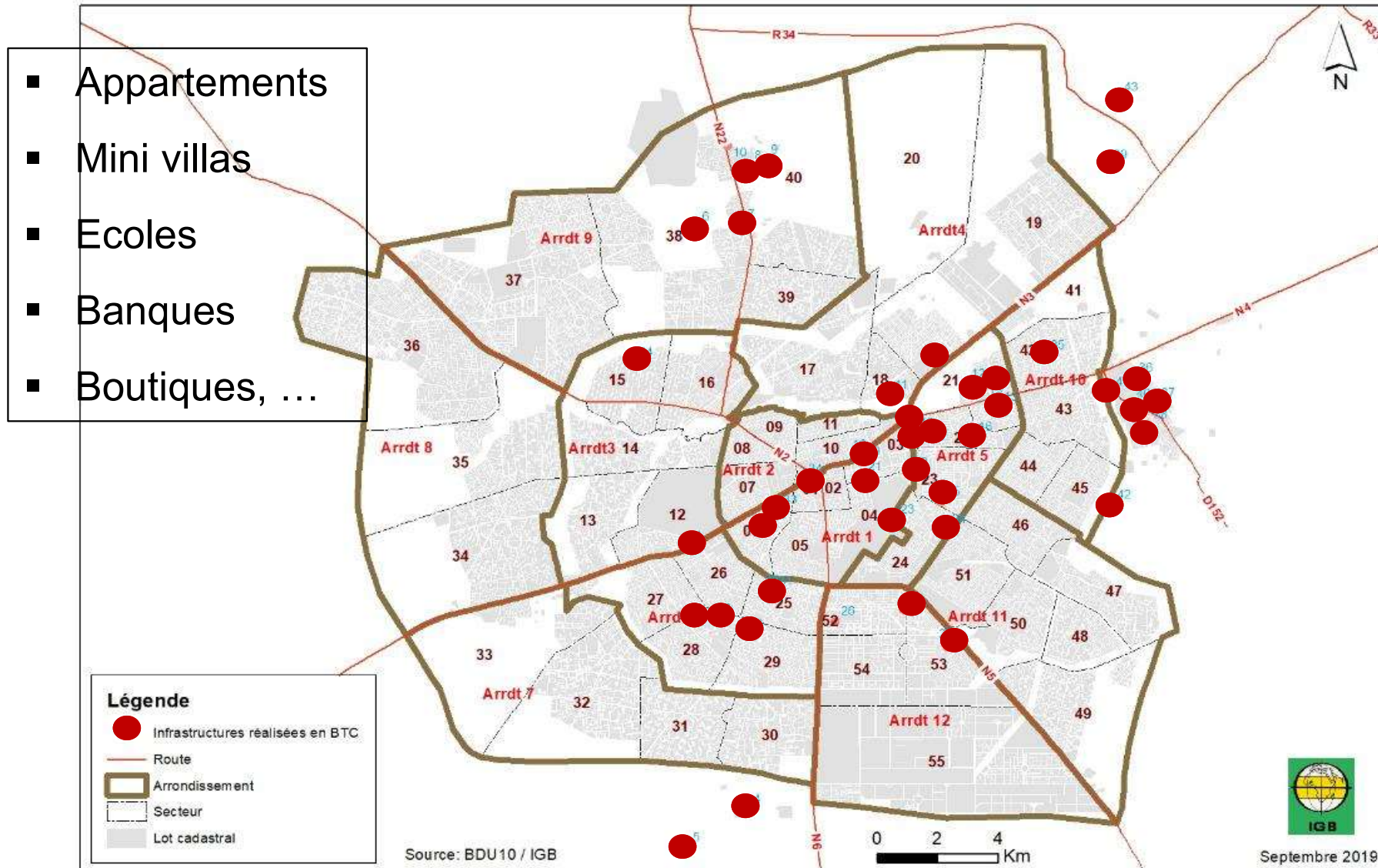
Amortissement thermique expérimental



→ BTC_{in} présente l'amortissement thermique FORT (similaire aux résultats par simulation)

3. Comprendre les réticences de la population vis-à-vis de la BTC à Ouaga

Répartition spatiale des constructions en BTC



Paradoxe social

Matériau du pauvre ou produit de luxe?



- Les particuliers (élites urbaines):
les couples mixtes, les expatriés
et les nationaux aisés
 - dotés de capitaux culturels et
économiques élevés
- Les usagers collectifs: les
pouvoirs publics, les ONG et
quelques opérateurs privés
(banque, ...)



Bureaux diocésains

Ecole de Wemtenga



Paradoxe social

Matériau du pauvre ou produit de luxe?



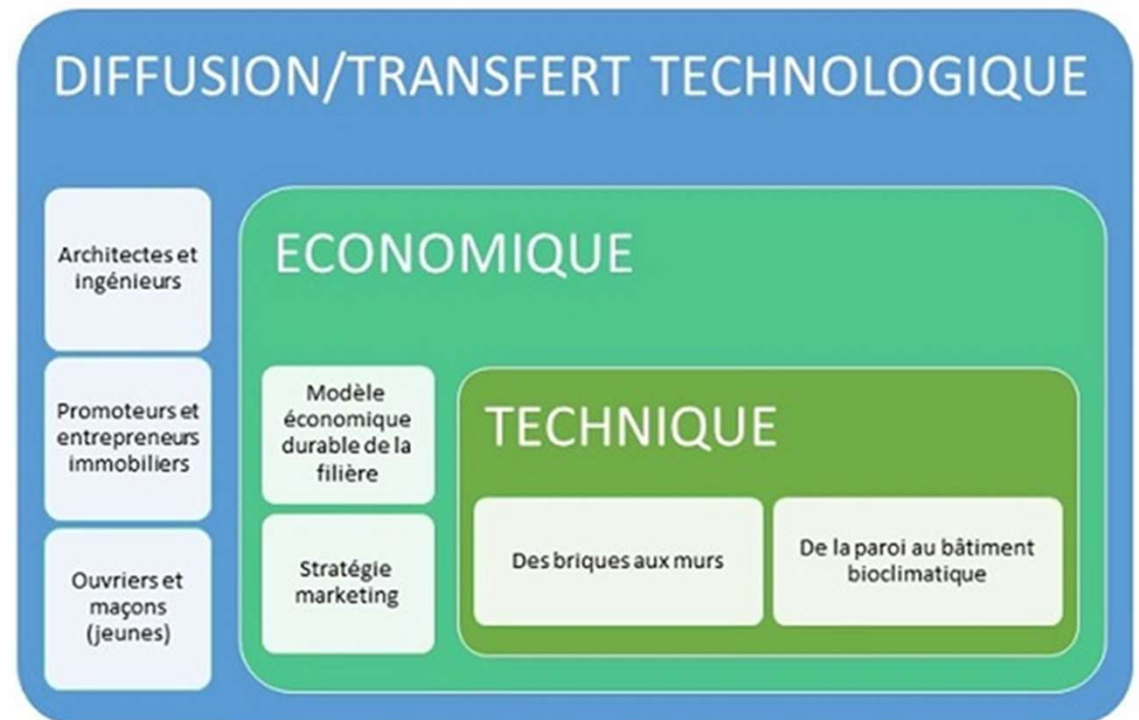
- En terme d'investissement (1 m² maçonnerie)
 - BTC simple: 38% d'économie par rapport au parpaing
- En terme d'exploitation (simulation thermique d'un bâtiment)
 - BTC: réduction des heures d'inconfort thermique (20% de moins d'inconfort thermique) *vs* bâtiment construit en parpaing
 - BTC: économie sur la climatisation (10%) *vs* bâtiment construit en parpaing

A venir

HABIMO Vers un habitat bio-climatique et modulable en BTC



- Filière (extraction/fabrication/conception/construction)
- Concept architectural spécifique et complet
- Modèle de dimensionnement de murs



Merci à ...



ACADÉMIE
DE RECHERCHE ET
D'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR



Belgique

partenaire du développement



2iE Institut International
d'Ingénierie de l'Eau
et de l'Environnement



Et en particulier merci à



- NSHIMIYIMANA Philbert ¹
- HEMA Césaire ¹
- ZOUNGRANA Ousmane ¹
- MESSAN Adamah ¹
- COURARD Luc ²
- VAN MOESEKE Geoffrey ³
- PIROTTE Gautier ⁴
- FAGEL Nathalie ⁵
- LAWANE Abdou ¹
- BOLOGO TRAORÉ Maïmouna ¹
- WETSHONDO Osomba Dominique ⁶

¹ Laboratoire LEMHaD, Institut 2iE, Burkina Faso.

² UUE, Uliège, Belgique

³ Architecture et Climat, UCLouvain, Belgique

⁴ Laboratoire OMER, ULiège, Liège, Belgique

⁵ AGEs, ULiège, Belgique

⁶ Département de Géosciences, UniKin, RD Congo



HABIMo – Vers un habitat bio-climatique et modulable en terre crue améliorée au Burkina Faso

Atelier de restitution 5 mai 2022 à Ouaga – 80 personnes

1. Mettre à disposition des intervenants des critères clairs de sélection de la terre et des **compositions types** en vue de les stabiliser. Il est important à ce stade de jouer sur la stabilisation mécanique (compression) et la stabilisation chimique (chaux ou ciment ou géopolymère). Les facteurs principaux sont la granulométrie, la teneur et la réactivité des argiles (kaolinite, la teneur en eau) et aussi les conditions de maturation.
2. **Promotion immobilière** : professionnaliser le secteur et rendre à l'état ses prérogatives en termes d'aménagement du territoire
3. Réfléchir au **dimensionnement de parois** intégrant un isolant (« triple paroi » : BTC, isolant, parement). Prévoir la recyclabilité du système. Développer des codes de calcul adaptés aux BTC, en fonction du vieillissement, en particulier pour le dimensionnement de bâtiments en hauteur. Accélérer le processus de normalisation en accord avec les ABNormes existantes
4. **Analyser l'économie de toute la filière**. Calculer les prix de revient total et étudier les conditions de mise en place d'une filière rentable et durable
5. Développer des **mortiers spécifiques** pour la maçonnerie et les enduits
6. Prendre en compte l'**aspect environnemental** pour l'exploitation des ressources. Estimer le coût de cette pris en charge pour les producteurs. Mettre en place des politiques de reboisement.
7. **Former des ouvriers qualifiés** et travailler spécifiquement à la **formation des jeunes**
8. Mettre en place une **structure permanente de contacts** entre les différents intervenants, en particulier avec les ordres des architectes et des ingénieurs
9. **Réaliser des bâtiments** beaux, solides, durables en BTC
10. **Imposer un minimum** (25%) de matériaux locaux dans les contrats publics