

NUNC Architectes

14 rue du canal

67201 Eckbolsheim

A l'attention de Madame Groh

RAPPORT n° X1581-2

du 26/08/2011

Caractérisation d'éprouvettes de terre crue

Échantillons : 4 éprouvettes cylindriques et 6 éprouvettes rectangulaires de terre crue chaux-ciment
4 éprouvettes cylindriques et 6 éprouvettes rectangulaires de terre crue chaux
4 éprouvettes cylindriques et 6 éprouvettes rectangulaires de terre crue ciment
reçues le 26/05/11

Références :

Vos références

Eprouvettes terre crue chaux ciment
Eprouvettes terre crue chaux
Eprouvettes terre crue ciment

Nos références

X1581-C-+CH
X1581-CH
X1581-C

Sommaire

1. Contexte.....	2
2. Observations préliminaires.....	2
3. Mesure de la chaleur spécifique c par analyse calorimétrique différentielle (DSC).....	4
4. Mesure de conductivité thermique par « optical scanning ».....	5
5. Mesure de perméabilité à la vapeur d'eau.....	6
6. Conclusion.....	9

Laurence SERREAU
Ingénieur d'étude

Fabrice SURMA
Chef de département matériaux durables et patrimoine

1. Contexte

La société NUNC Architectes a adressé au CRITT Matériaux Alsace des éprouvettes en terre crue stabilisée au ciment, à la chaux et avec un mélange ciment-chaux. L'étude comprend pour chaque type d'éprouvette une mesure de chaleur spécifique, une mesure de la perméabilité à la vapeur d'eau et une mesure de la conductivité thermique.

2. Observations préliminaires

Les éprouvettes de terre crue ont été reçues au CRITT Matériaux Alsace quinze jours après leur fabrication. Les éprouvettes sont arrivées humides suite à leur transport et ont donc été mises à séchées à l'air libre pendant une dizaine de jours avant analyse (Planche photo 1, Planche photo 2, Planche photo 3).

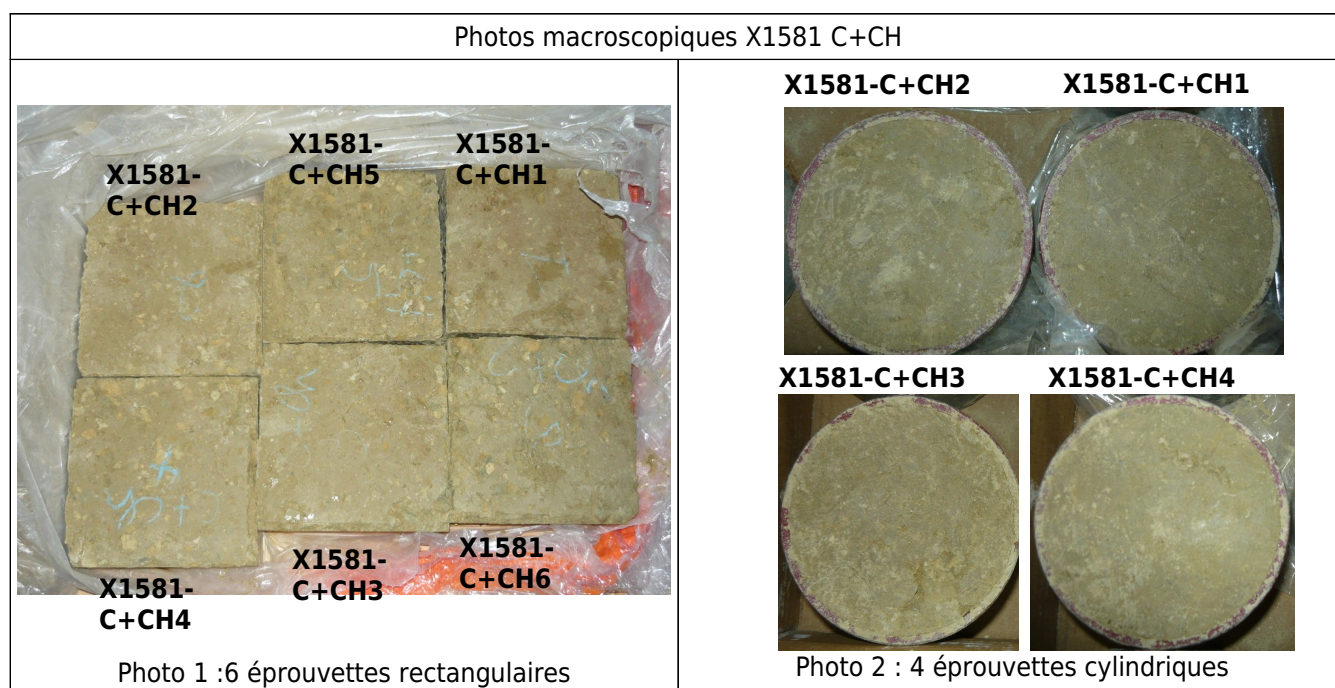


Planche photo 1

Photos macroscopiques X1581-C



Photo 1 : 6 échantillons rectangulaires

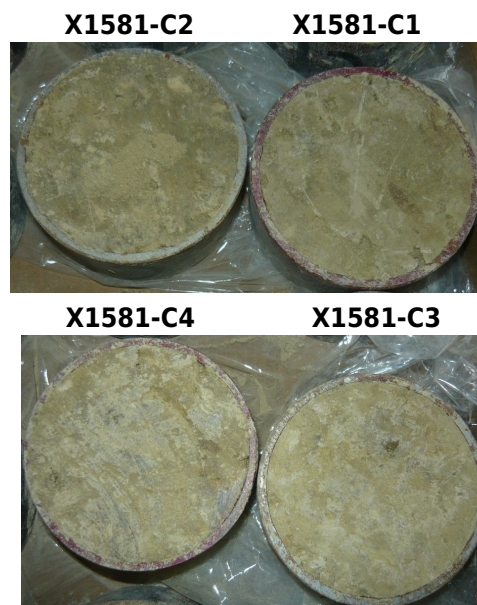


Photo 2 : 4 échantillons cylindriques

Planche photo 2

Photos macroscopiques X1581-CH



Photo 1 : 6 échantillons rectangulaires

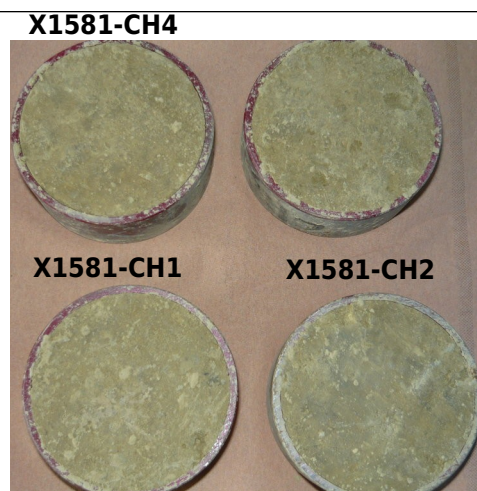


Photo 2 : 4 échantillons cylindriques

Planche photo 3

3. Mesure de la chaleur spécifique c par analyse calorimétrique différentielle (DSC)

3.1. Conditions opératoires

■ Préparation de l'échantillon :

La terre crue formulée avec de la chaux ou avec du ciment est un matériau très hétérogène. Pour avoir des mesures qui reflètent le plus l'ensemble du matériau, une fraction 1/7 de l'échantillon est prélevée soit 1kg. Puis le prélèvement est concassé au marteau, réduit en poudre, tamisé à 4 mm puis quarté. Le quartage consiste à répartir de façon équitable la matière concassée.

■ Éprouvettes :

- ◆ Type de creuset : utilisation de creusets en aluminium
- ◆ Nombre d'éprouvettes : 3 prises d'essai de 25mg par échantillon

■ Appareil :

- ◆ Appareil DSC Netzsch DSC 204 F1 Phoenix® équipé d'un système de refroidissement à l'azote liquide de type CC 200 F1.
- ◆ Programme de température :
 - 1 isotherme à 30°C pendant 10 min
 - 1 montée en température de 30°C à 80°C à 10°C/min
 - 1 isotherme à 80°C pendant 10 min

- ◆ Balayage sous azote :

Débit de gaz : 50 mL/min

- ◆ Méthode de calcul :

Calcul de la chaleur spécifique Cp selon la méthode ASTM (utilisation d'un étalon de référence en saphir)

3.2. Résultats

Les valeurs moyennes de chaleur spécifique indiquées dans le tableau 1 sont mesurées à 40°C.

Échantillon	Cp
X1581-C+CH	1044 J/(kg.K) ± 58 J/(kg.K)
X1581-C	977 J/(kg.K) ± 88 J/(kg.K)
X1581-CH	987 J/(kg.K) ± 98 J/(kg.K)

Tableau 1-Valeur moyenne de la chaleur spécifique à 40 °C.

4. Mesure de conductivité thermique par « optical scanning »

4.1 Principe de la méthode

Cette méthode permet une mesure rapide, sans contact de la conductivité thermique d'un échantillon. Elle consiste en un balayage de la surface d'un échantillon avec une source de chaleur constante, ponctuelle et mobile combinée à deux capteurs thermiques. Les capteurs de température et la source de chaleur se déplacent à vitesse constante et sont positionnés à égale distance les uns des autres (figure 1).

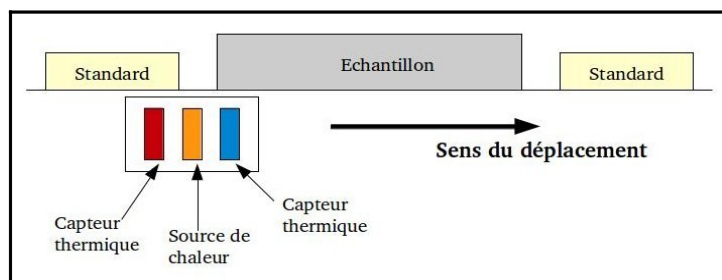


Figure 1- Schéma du dispositif de mesure optique de la conductivité thermique ou « optical scanning »

La source de chaleur émet un rayonnement qui va être réfléchi, absorbé et réfracté par l'échantillon. Il va permettre de chauffer ponctuellement la surface de l'échantillon et les températures avant et après chauffage sont alors mesurées. La mesure se fait le long d'un profil sur la surface plane d'un échantillon.

La détermination de la conductivité thermique λ repose sur la comparaison entre les différences de température entre les standards, de conductivité thermique connue λ_s , et l'échantillon à caractériser. Le rapport Q et Q_s est proportionnel aux potentiels électriques mesurés U et U_s et s'écrit :

$$\lambda = \lambda_s (Q_s / Q) = \lambda_s (U_s / U)$$

où λ et λ_s sont les conductivités thermiques respectives de l'échantillon inconnu et des standards,

Q et Q_s les températures respectives de l'échantillon et du standard

U et U_s les potentiels électriques mesurés

La conductivité thermique de l'échantillon est déterminée comme une valeur moyenne des conductivités locales mesurées tout au long du profil. Il s'agit d'une conductivité thermique de surface puisque la source de chaleur va pénétrer seulement de quelques centimètres. La gamme de conductivité thermique accessible est comprise entre 0.2 et 35W/mK et l'erreur de mesure est inférieure ou égale à 2 %.

4.2 Protocole expérimental

Les échantillons de terre crue rectangulaires fournis peuvent être analysés directement en « optical scanning ». Les surfaces planes de l'échantillon qui ont été analysées, sont recouvertes d'une fine couche de peinture noire qui empêche la diffraction du laser à la surface de l'échantillon. Les standards sont choisis en fonction de la conductivité thermique attendue pour l'échantillon. Pour cette étude, ce sont des standards en verre avec une conductivité thermique de 1W/m.K qui ont été utilisés. L'échantillon est ensuite placé sur le

banc en présence des standards et la mesure laser se fait instantanément le long du profil choisi. Les résultats sont directement visualisés sur un ordinateur.

4.3 Résultats

La conductivité thermique a été mesurée suivant la face du dessus des pavés et suivant une de leur tranche. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous.

Conductivité thermique (W/m.K)	Face dessus	Tranche
X1581-C+CH	0.98	1.17
X1581-C	0.88	0.90
X1581-CH	0.75	0.84

Tableau 2- Mesure de conductivité thermique par « optical scanning »

5. Mesure de perméabilité à la vapeur d'eau

5.1 Principe de la méthode

La mesure de la perméabilité à la vapeur d'eau traduit l'aptitude d'un matériau à laisser passer la vapeur d'eau. Pour cela une éprouvette est scellée au-dessus de la coupelle d'essai contenant un dessiccatif. L'assemblage est ensuite placé dans une chambre d'essai régulée en température et en humidité. Du fait de la différence de pression partielle de vapeur régnant dans la coupelle d'essai et dans la chambre, de la vapeur d'eau migre à travers les éprouvettes perméables. On procède à des pesées périodiques de l'assemblage afin de déterminer le débit de transmission de vapeur d'eau en régime stationnaire.

5.2 Conditions opératoires

Pour réaliser les essais de perméabilité à la vapeur d'eau, nous nous sommes appuyés sur la norme NF-EN-ISO 12572. Les éprouvettes cylindriques de référence X1581-C+CH1 à X1581-C+CH4, X1581-C1 à X1581-C4, et les 3 éprouvettes cylindriques de référence X1581-CH1, CH2 et CH4 ont été utilisées. Le démoulage de l'éprouvette X1581-CH3 a conduit à une fracture importante de l'échantillon qui ne permettait pas son utilisation.

Chaque éprouvette a d'abord été conditionnée dans les conditions suivantes 23°C et 55±5%HR jusqu'à ce que leur masse soit constante. Chaque éprouvette est scellée à une coupelle d'essai contenant du chlorure de calcium anhydre (%HR=0) (Planche photo 4). Puis les cellules sont introduites dans une enceinte contenant une solution saturée de NaCl (HR=75%) et maintenue à température constante. Une pesée quotidienne de chaque cellule est effectuée sur une balance précise à 0.01g.

L'expérience s'achève lorsque la variation de vitesse de prise en poids de chaque éprouvette devient constante à ±5% de la moyenne des 5 dernières mesures.

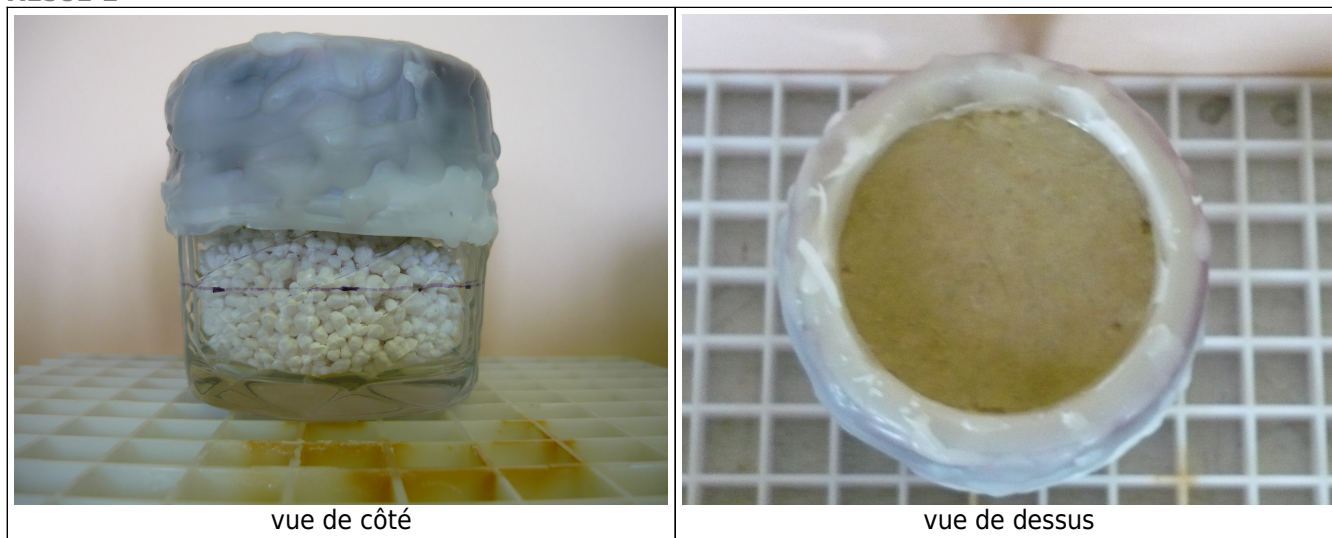


Planche photo 4- Photos d'une coupelle d'essai scellée à la cire

5.3 Résultats

Les figures 2, 3 et 4 présentent la variation en masse en fonction du temps des coupelles d'essai pour les éprouvettes terre crue ciment chaud, terre crue-ciment et terre crue-chaux.

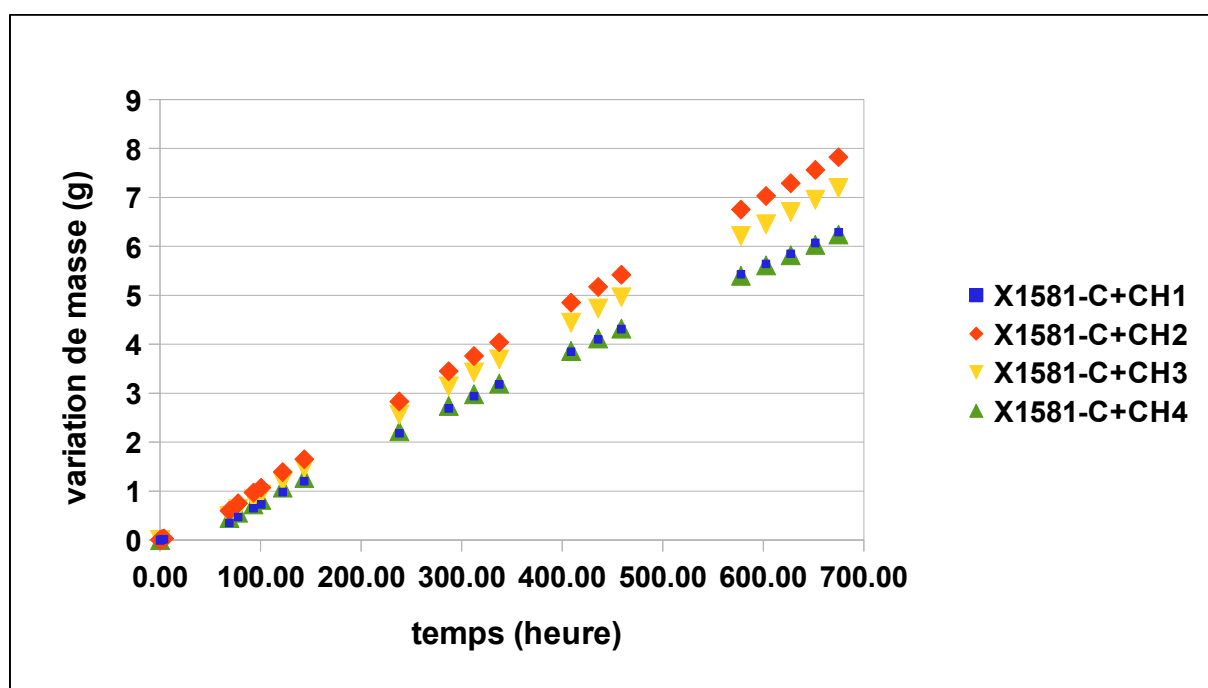


Figure 2- Evolution de la prise en masse en fonction du temps pour les éprouvettes de terre crue ciment-chaux.

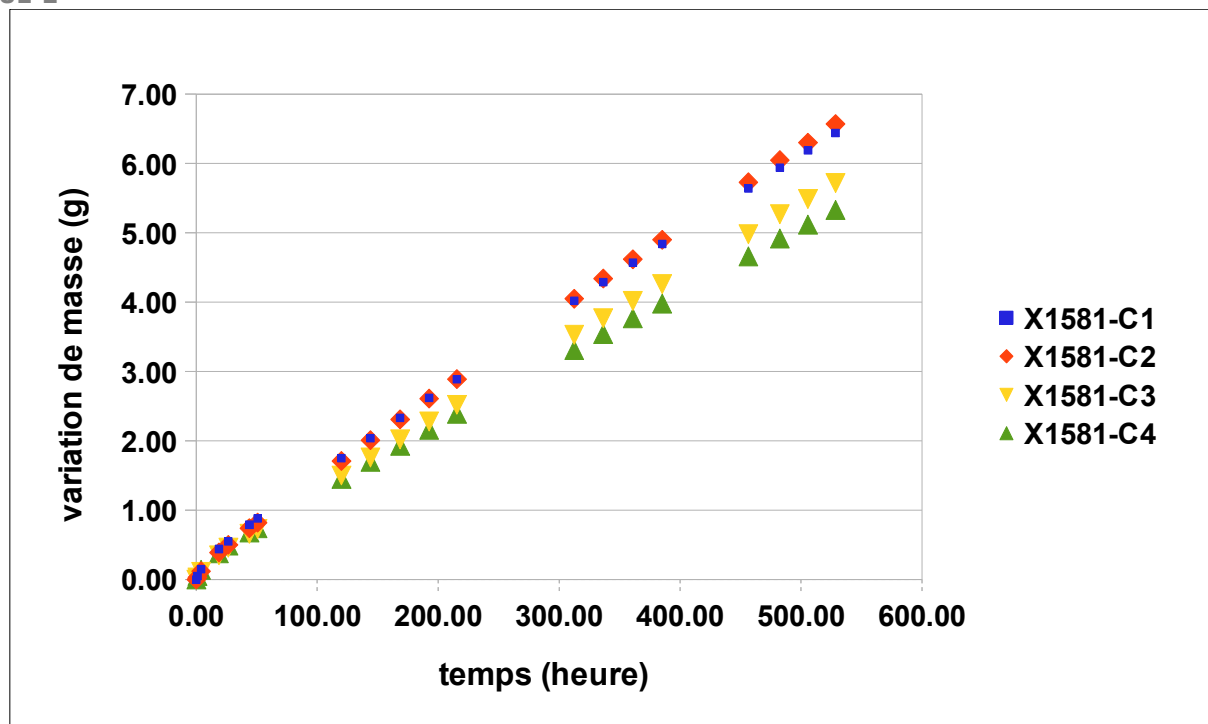


Figure 3- Evolution de la prise en masse en fonction du temps pour les éprouvettes de terre crue ciment.

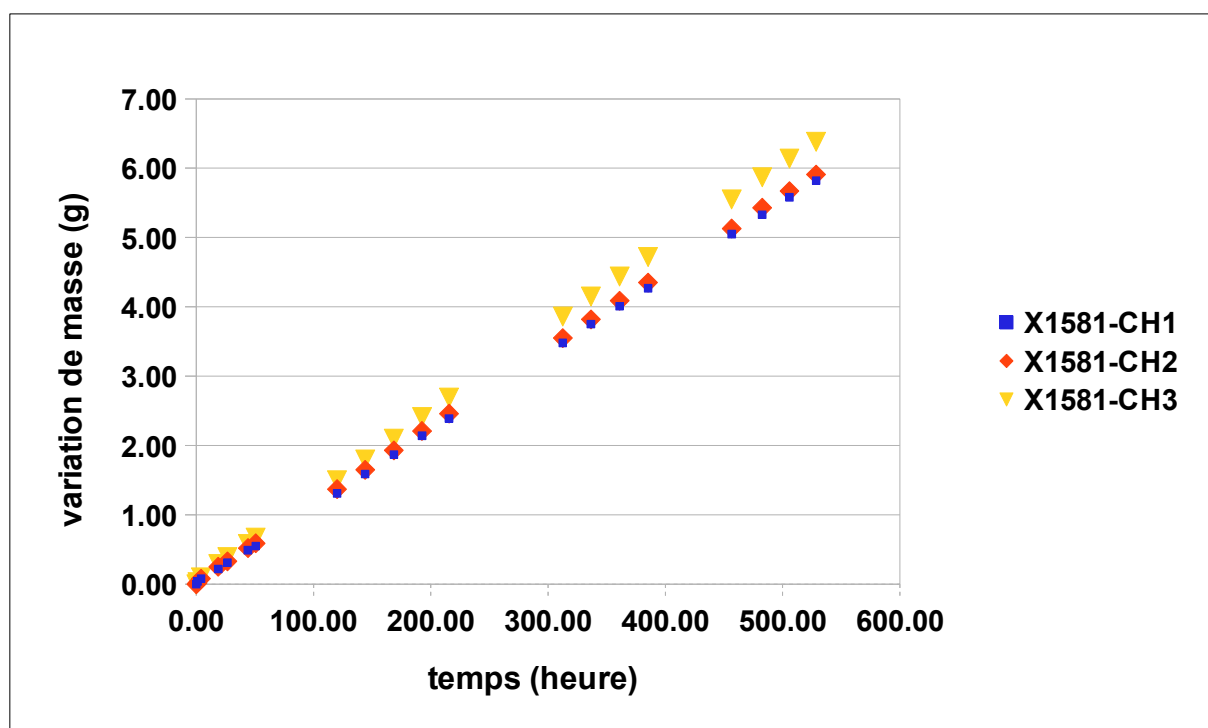


Figure 4- Evolution de la prise en masse en fonction du temps pour les éprouvettes de terre crue chaux.

Pour pouvoir calculer la perméance, la stabilisation du flux de vapeur d'eau au travers de l'éprouvette en poids des cellules doit être atteinte. La perméance est la quantité de vapeur d'eau qui traverse 1 m² du matériau pendant une heure, lorsque la différence de pression de vapeur est de 1 mm de mercure.

Le calcul de la perméance (W) prend en compte les paramètres suivants:

- pression partielle dans la cellule (p_2),
- pression partielle dans l'enceinte (p_1),
- température constante au cours de l'expérimentation (22.5°C pour la série terre crue ciment-chaux et 21.0°C pour les séries terre cue ciment et terre crue chaux),
- surface d'échange. (A)
- perméabilité à la vapeur d'eau de l'air par rapport à la pression partielle de vapeur d'eau (δa)

A partir du calcul de la perméance on peut calculer le facteur de résistance à la vapeur d'eau μ .

Dans les tableaux 3, 4 et 5 sont rassemblées respectivement les valeurs de résistance à la vapeur d'eau obtenues sur les éprouvettes terre crue-ciment-chaux, les éprouvettes terre crue ciment et sur les éprouvettes terre crue-chaux.

	Δm (kg)	A (m ²)	Δt (s)	g (kg/(m ² .s))	δa (kg/Pa.m.s)	p1 (Pa)	p2 (Pa)	μ	moyenne
X1581-C+CH1	0.00138	0.00221	524700	1.19E-006	1.95E-010	1893.2	0	11.5	11.1
X1581-C+CH2	0.00143	0.00221	524700	1.24E-006	1.95E-010	1893.2	0	11.1	
X1581-C+CH3	0.00141	0.00221	524700	1.22E-006	1.95E-010	1893.2	0	11.2	
X1581-C+CH4	0.00146	0.00221	524700	1.26E-006	1.95E-010	1893.2	0	10.8	

Tableau 3

	Δm (kg)	A(m ²)	Δt (s)	g (kg/(m ² .s))	δa (kg/Pa.m.s)	p1 (Pa)	p2 (Pa)	μ	moyenne
X1581-C1	0.00160	0.00269	515700	1.15E-06	1.94E-10	1765.7	0	10.6	11.2
X1581-C2	0.00167	0.00271	515700	1.20E-06	1.94E-10	1765.7	0	10.2	
X1581-C3	0.00146	0.00272	515700	1.04E-06	1.94E-10	1765.7	0	11.4	
X1581-C4	0.00135	0.00272	515700	9.61E-07	1.94E-10	1765.7	0	12.4	

Tableau 4

	Δm (kg)	A(m ²)	Δt (s)	g (kg/(m ² .s))	δa (kg/Pa.m.s)	p1 (Pa)	p2 (Pa)	μ	moyenne
X1581-CH1	0.00155	0.00303	515700	9.93E-07	1.94E-10	1765.7	0	12.2	10.9
X1581-CH2	0.00156	0.00272	515700	1.11E-06	1.94E-10	1765.7	0	11.0	
X1581-CH3	0.00166	0.00272	515700	1.18E-06	1.94E-10	1765.7	0	9.6	

Tableau 5

Les facteurs de résistance à la vapeur d'eau, μ , pour les éprouvettes de terre crue ciment-chaux, terre crue ciment et terre crue chaux sont voisins et proches de la valeur de 11.

6. Conclusion

La tableau 6 présente un récapitulatif des résultats obtenus pour la caractérisation des différentes éprouvettes de terre crue.

	Chaleur spécifique à 40°C J/(kg.K)	Conductivité thermique (W/m.K)		Facteur de résistance à la vapeur d'eau
		sur face du dessus	sur tranche	
X1581-C+CH	1044 ± 55	0.98	1.17	11.1
X1581-C	977 ± 88	0.88	0.90	11.2
X-1581-CH	987 ± 98	0.75	0.84	10.9

Tableau 6