



# Géopolymérisation de terres excavées : effet de la composition de précurseur argile/limon et de l'activateur $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sur la géopolymérisation

**Khadidja Gorine, Badreddine El Haddaji, Yassine El Mendili, Daniel Chateigner.**



**Université de Caen Normandie / ESTP.**



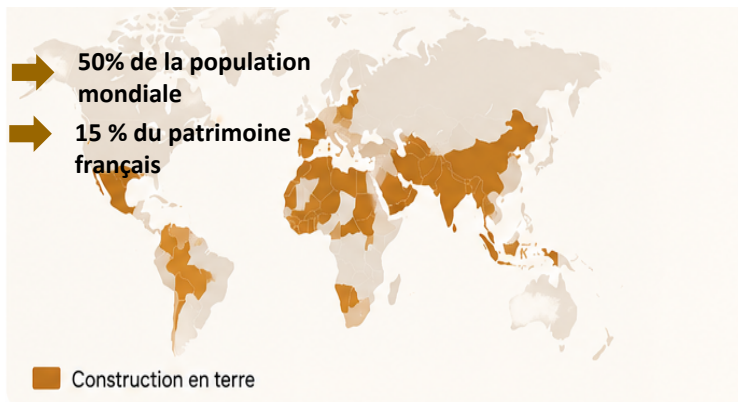
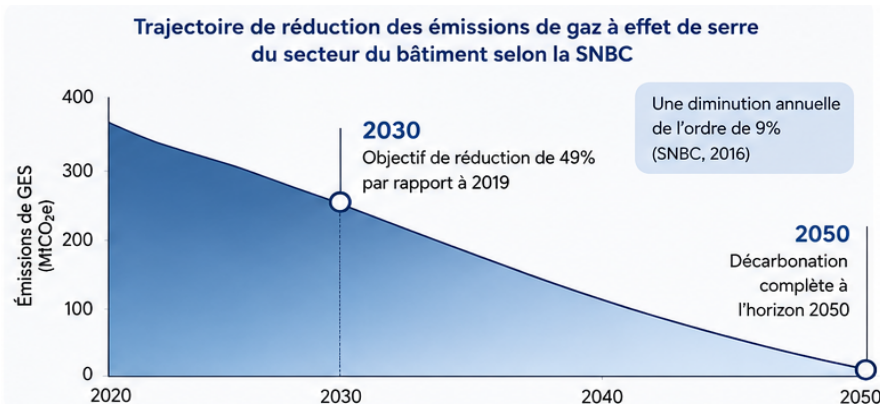
# Contexte et problématique



Le secteur du bâtiment représente près de **43%** de l'énergie consommée en France et émet **23%** des émissions nationales de gaz à effet de serre (GES). 7 à 8% de ciment portland.



**OBJECTIF 2050:  
DÉCARBONATION  
COMPLÈTE**



## LA CONSTRUCTION EN TERRE ÉMERGE COMME UNE SOLUTION PROMETTEUSE

- Écologique, disponible, recyclable
- Bonne inertie thermique & acoustique
- Régulation humidité/température (MBV élevé)
- Perméable à la vapeur
- Mise en œuvre facile (petits chantiers)

Cependant, deux problèmes majeurs freinent leur utilisation dans la construction :

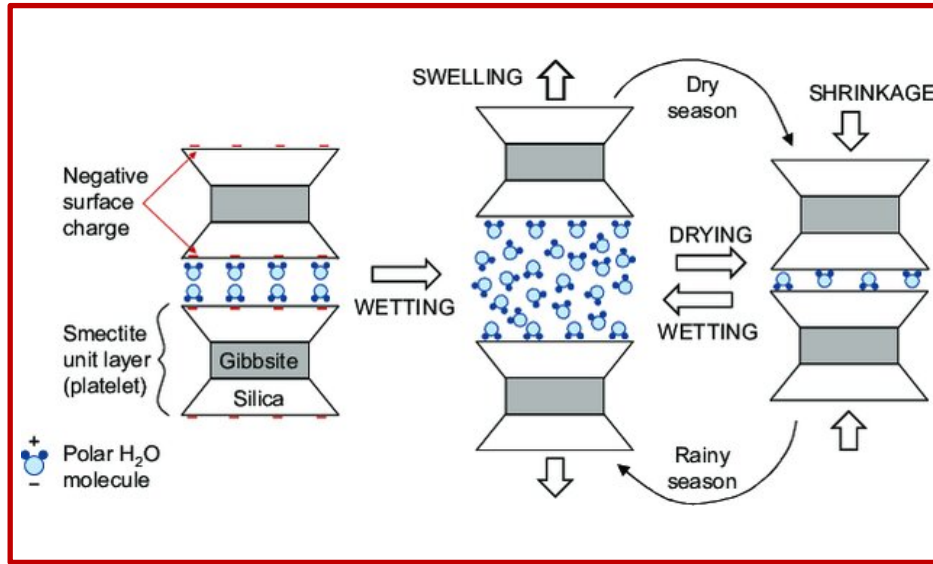


**L'industrialisation pour des méga-chantier**  
car le processus de séchage est très chronophage.



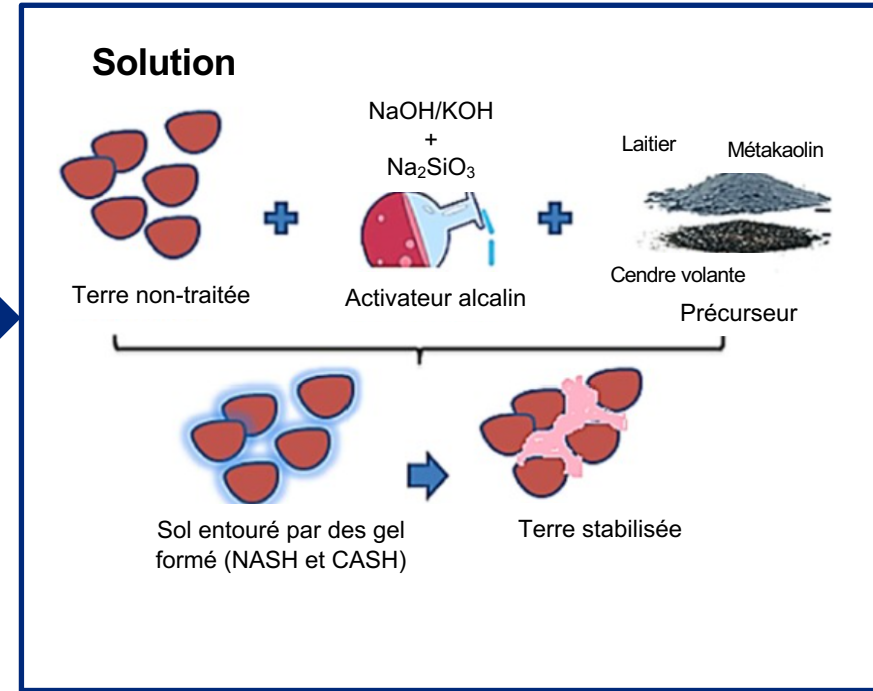
**Le comportement vis-à-vis l'eau**  
(problèmes de retrait et gonflement dues aux cycles d'humidification/séchage de la terre).

# Contexte et problématique



Les problèmes de gonflement et retrait de la terre

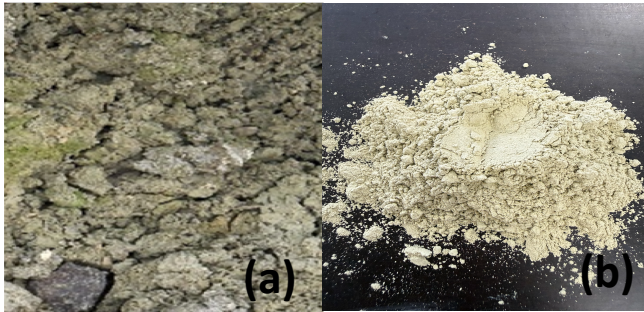
1.



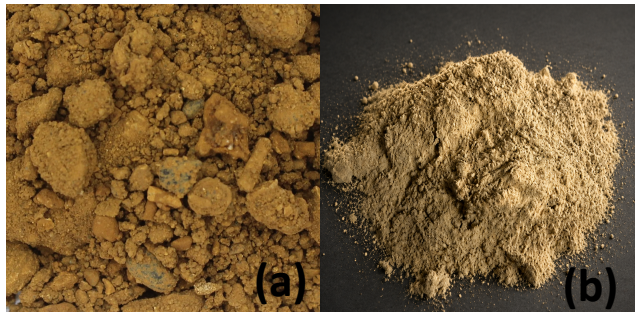
Méthodologie de stabilisation des terres à l'aide de géopolymères 2.

# Matériaux et méthodes

- Matériaux utilisés



**Fig.1.** (a) Argile issue de terre excavée à l'état naturel ; (b) poudre obtenue après broyage.



**Fig.2.** (a) Limon issue de terre excavée à l'état naturel ; (b) poudre obtenue après broyage.

D'après la littérature, l'optimum est:

- Indicateur Ca/Si  $\sim 0.8 - 1.2$
- Indicateur Al/ Si  $\sim 0,5 - 0,3$

**Table 1.** Composition chimique de l'argile et limon.

Elément (%)	Argile	Limon
Na <sub>2</sub> O	4,5	-
MgO	1,5	3,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,2	15,4
SiO <sub>2</sub>	54,0	52,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,4	0,7
SO <sub>3</sub>	0,4	0,5
Cl	0,2	0,2
K <sub>2</sub> O	2,4	5,1
CaO	18,0	13,0
TiO <sub>2</sub>	1,1	1,2
MnO	0,2	0,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,0	8,4
ZrO <sub>2</sub>	0,1	0,1
Ratio	Argile	Limon
Ca/Si	0,5	0,4
Al/Si	0,2	0,3

# Matériaux et méthodes

- Préparation de la matière première



Séchage à 105°C/24H



Broyage (TM300)

Le broyeur (**TM300**) à billes a été utilisé pour préparer la matière première:

- 1/3 de matière première
- 1/3 de billes de 3 tailles différentes (2 cm, 1 cm et 0,5 cm)
- 1/3 de vide

Le broyage a été effectuée avec une vitesse de 80 rpm pendant 60 minutes, tamisage < 100 µm



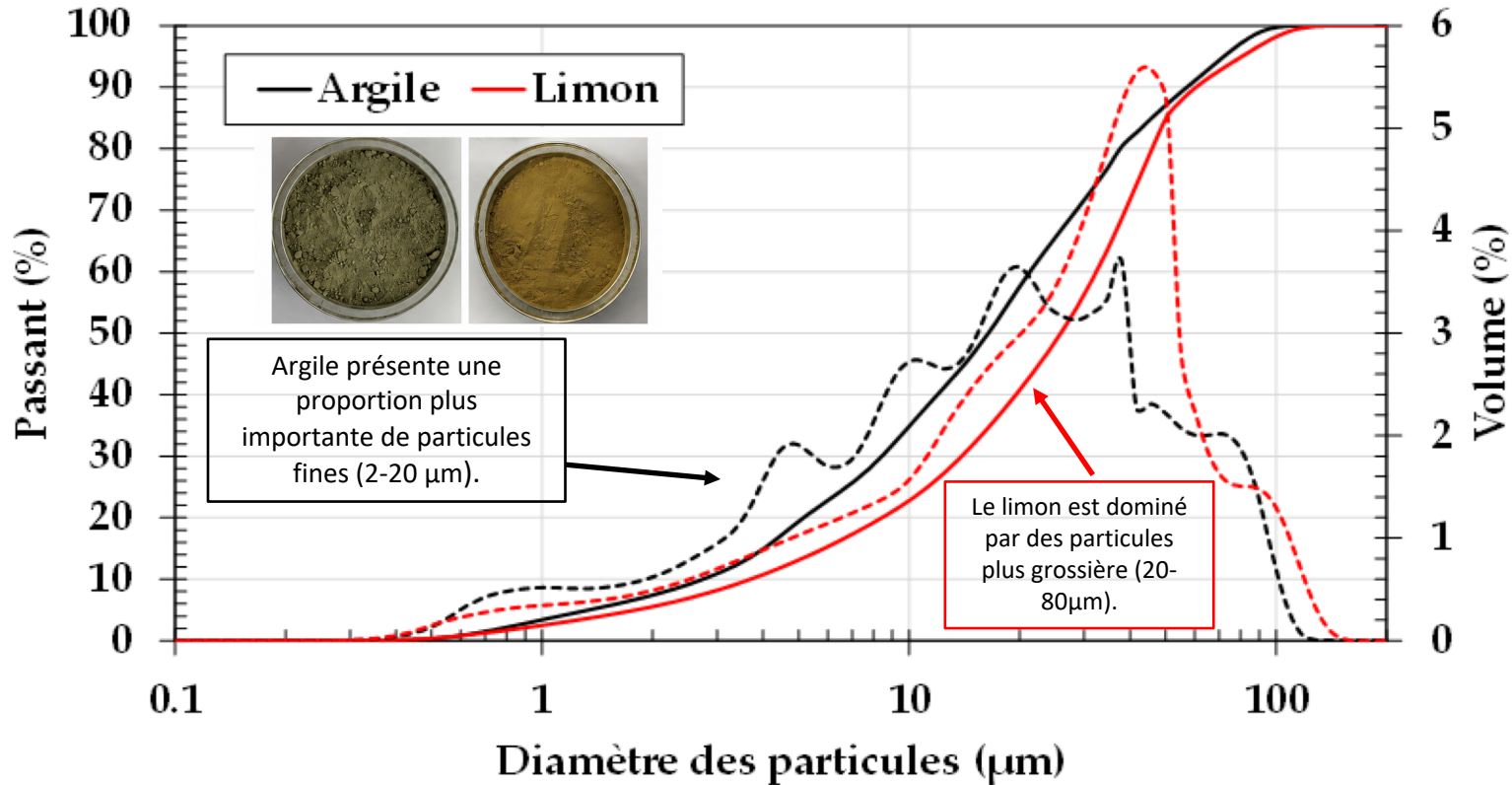
Argile



Limon

# Matériaux et méthodes

- Caractérisation des fines ( Argile et limon) : Granulométrie

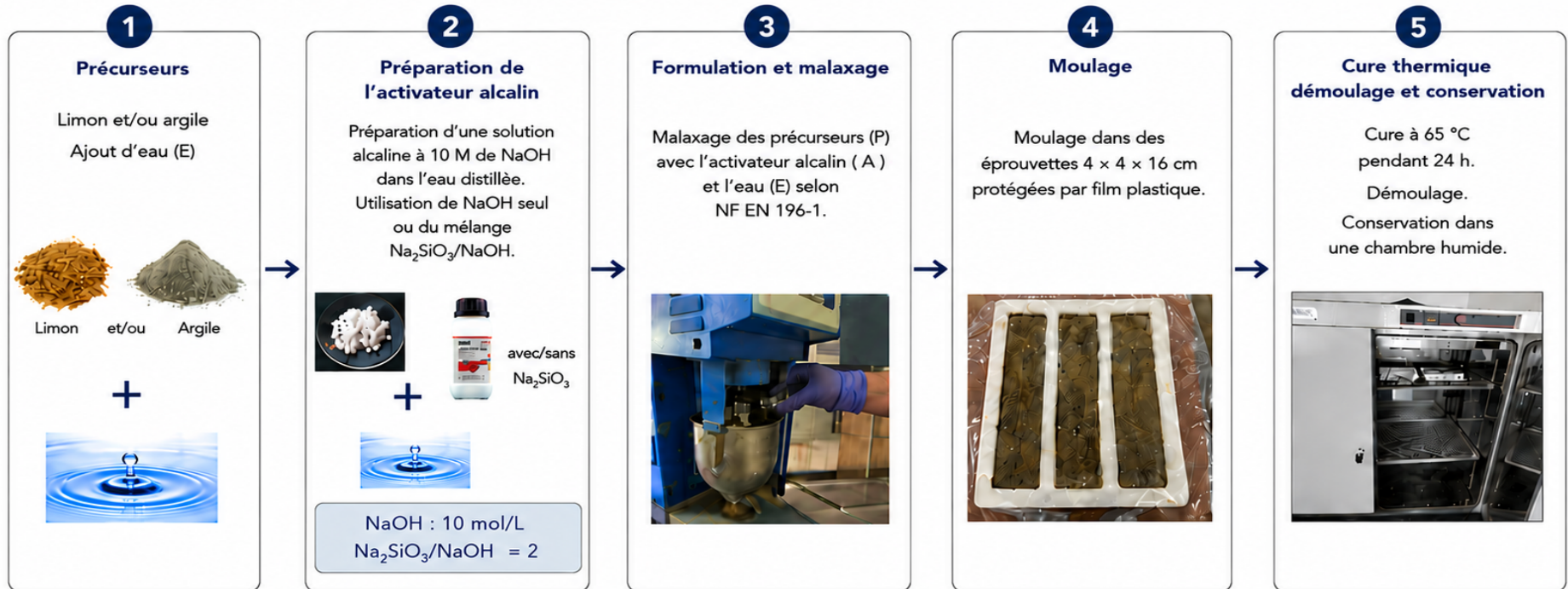


L'argile présente une proportion plus importante de particules fines par rapport au limon, ce qui favorise les réactions de géopolymérisation.

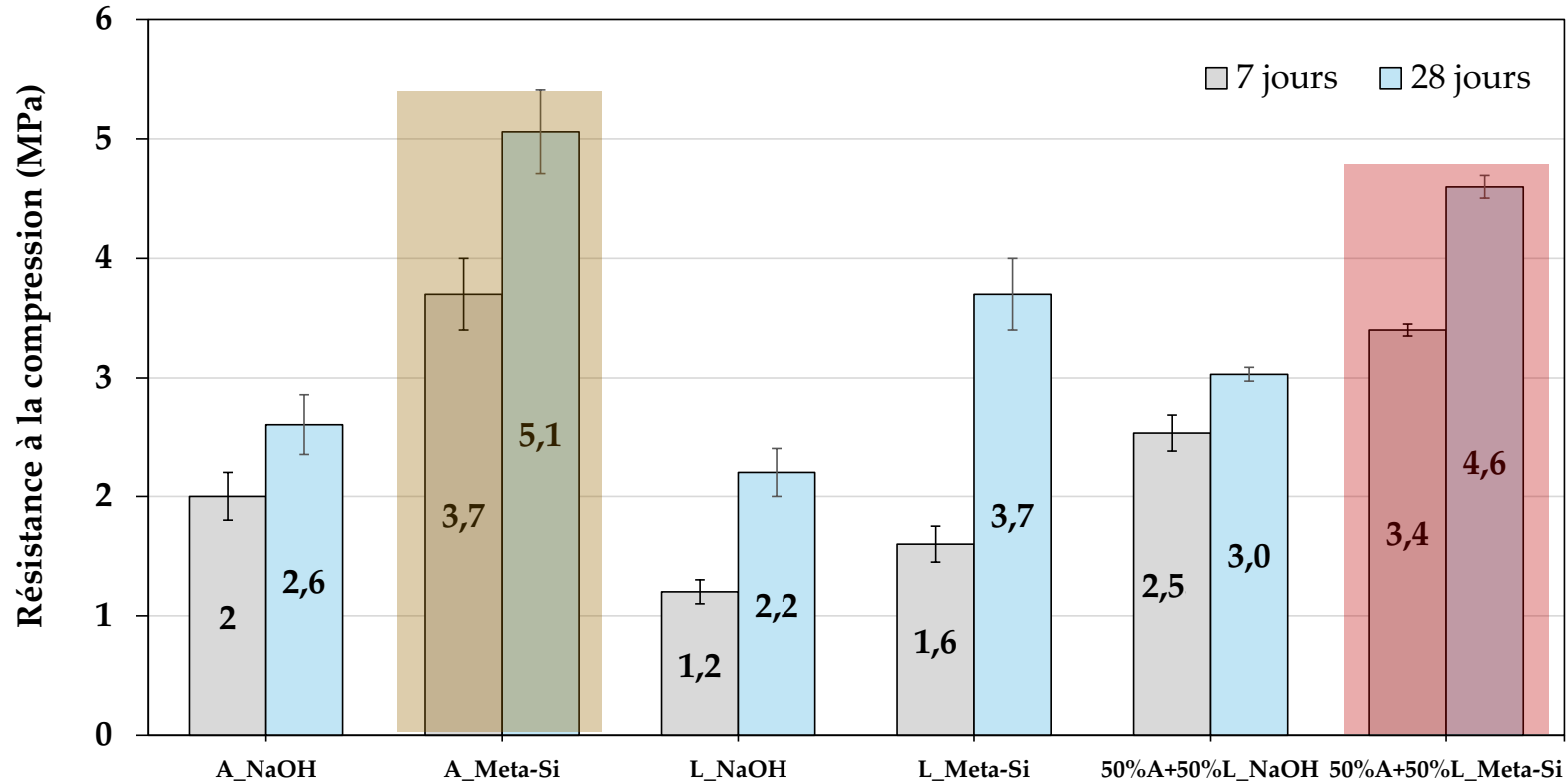
# Matériaux et méthodes

- Protocole de préparation des échantillons

Formulation	
A/P	0.4
NaOH	10 mol/L
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> /NaOH	2
Cure	65 °C – 24 h
E (eau)	Eau à ajouter (teneur en eau optimale – Essai Proctor)



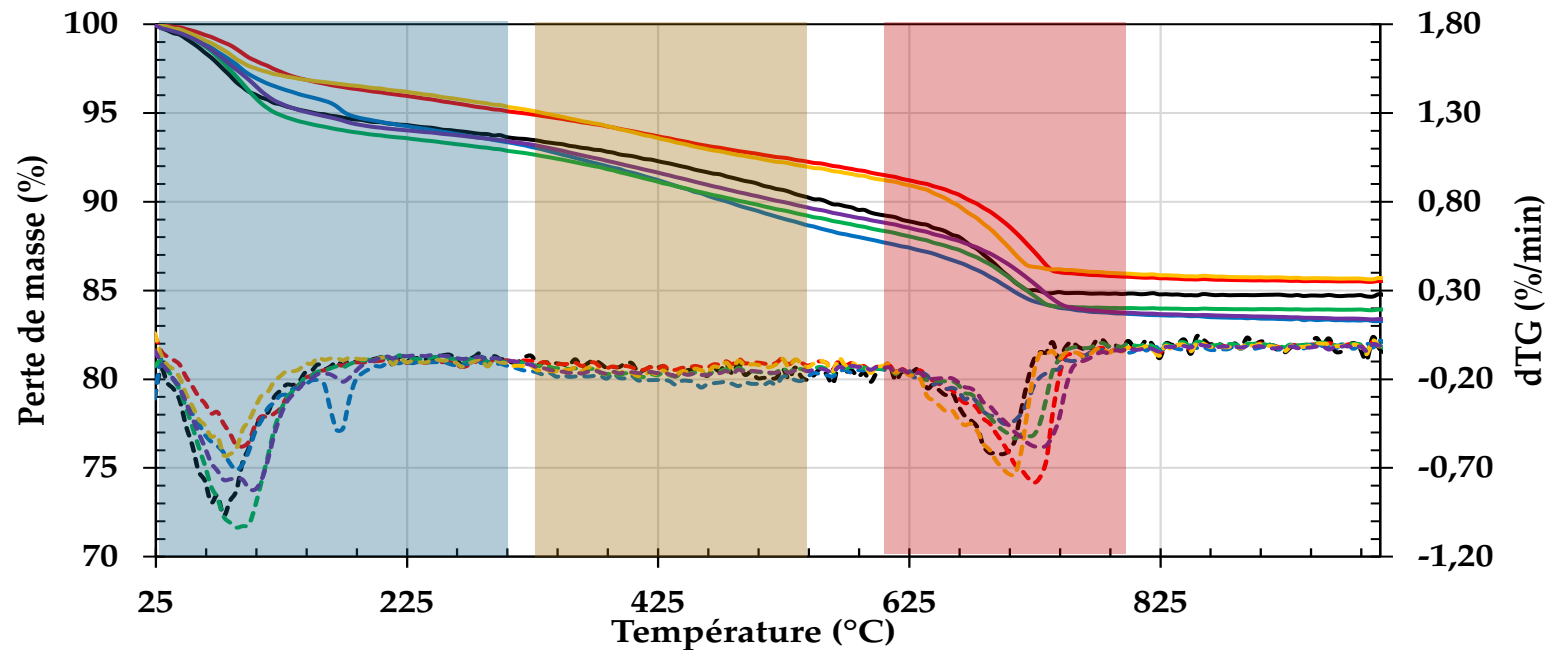
# Résultat : Résistances mécaniques à la compression



- Le meilleur précurseur: Argile
- Le meilleur activateur: Meta-Si

Meta-Si:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=2$

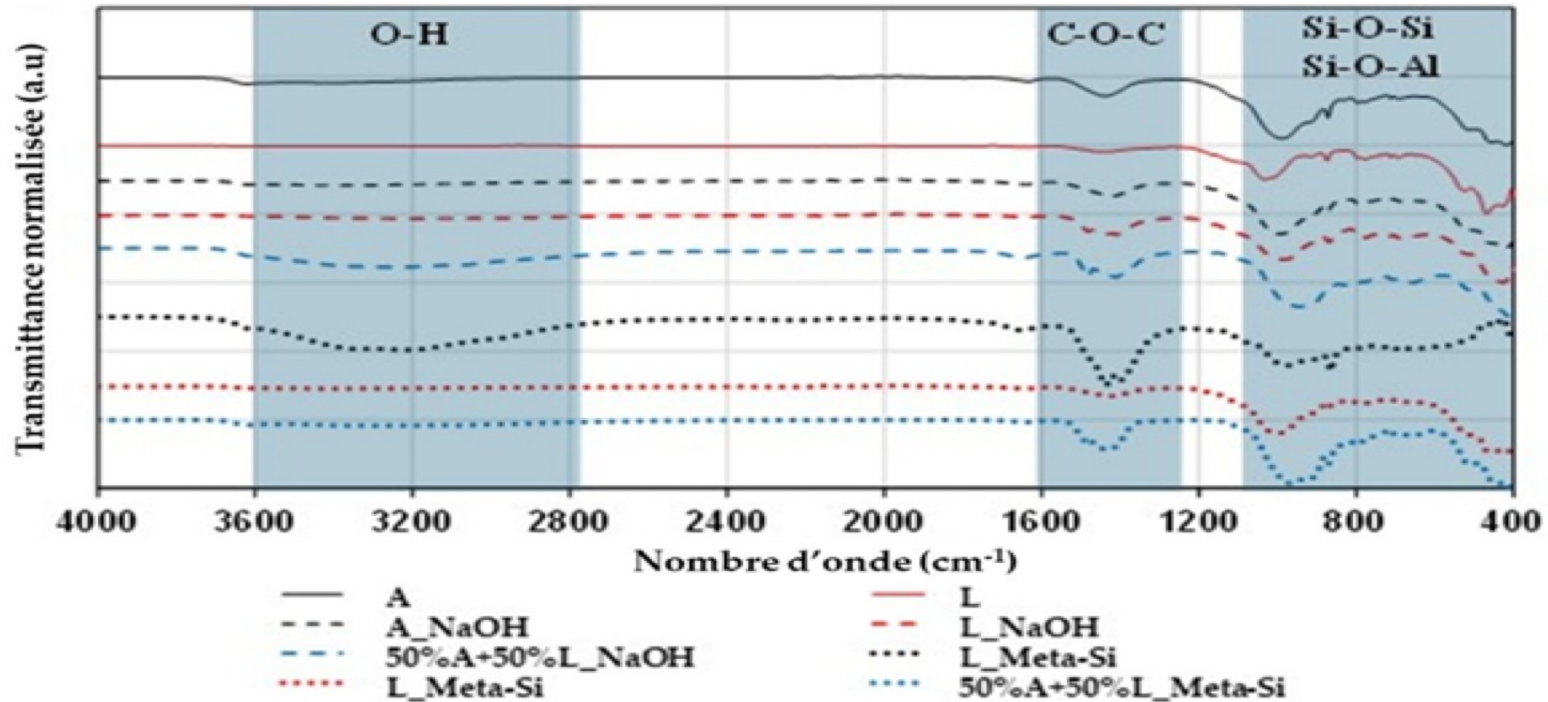
# Résultat : ATG



A\_NaOH                       L\_NaOH                       50%A+50%L\_NaOH  
 A\_Meta-S                       L\_Meta-S                       50%A+50%L\_Meta-S

- < 300 °C : Déshydratation : 25-105°C départ d'eau physiquement liée adsorbée à la surface des particules minérales et des gels géopolymères, 105-300°C déshydratation de l'eau associée à la microstructure des gels géopolymères (N-A-S-H et C-A-S-H)<sup>1</sup>.
- 400 - 550 °C; la décomposition de l'illite et de la montmorillonite <sup>2</sup>.
- 600 - 800 °C: perte de masse due à la décomposition du carbonate lors de la calcination à haute température <sup>3</sup>

# Résultat :FTIR



- 2800-3600 cm<sup>-1</sup> : vibrations O-H, liées à l'eau physiquement adsorbée et à l'eau liée dans les gels N-A-S-H et C-A-S-H. Elle est plus marquée pour A\_Meta-Si.
- 1500 cm<sup>-1</sup> : Attribuée aux vibrations des groupes carbonates (O-C-O).
- 1100-1000 cm<sup>-1</sup> : Zone principale des liaisons Si-O-Si et Si-O-Al du réseau aluminosilicaté.
- 400 cm<sup>-1</sup> : Correspond aux vibrations des liaisons Si-O-Si et Si-O-Al.

# Conclusion

Cette étude met en évidence le potentiel des terres excavées, notamment l'argile et le limon, comme précurseurs pour l'élaboration de liants géopolymères.

L'activation par Meta-Si améliore significativement les performances mécaniques en favorisant la formation des gels C-A-S-H et N-A-S-H, conduisant à des matériaux plus compacts et performants.

- ➔ Étudier l'influence des additions minérales et des ratios  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  sur les performances des géopolymères
- ➔ Approfondir la caractérisation microstructurale des géopolymères afin de mieux comprendre les mécanismes de géopolymérisation (DRX)



# MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Université de Caen Normandie / ESTP.

