

Valorisation de déchets et de co-produits bio et géo-sourcés dans la formulation de matériaux de construction en terre crue

Présentation Batylab – 16/03/2023 - Rennes

Simon Guihéneuf – IRDL/UBS – simon.guiheneuf@univ-ubs.fr

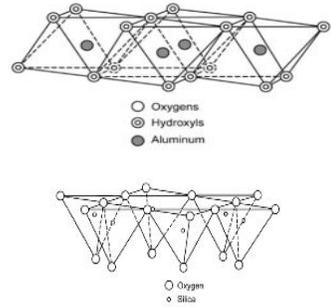
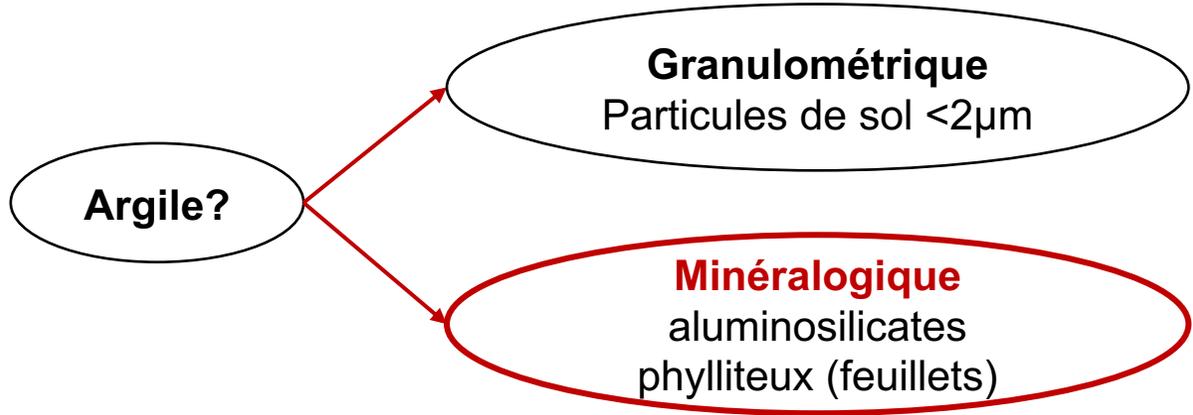


- 1. La terre crue, une variabilité à appréhender**
- 2. Valorisation de boues de lavage dans des matériaux isolants**
- 3. Valorisation de co-produits de carrières dans des briques de terre crue**
- 4. Valorisation d'extraits d'algues bretonnes dans la composition de briques de terre crue**
- 5. Valorisation de sédiments de dragage dans des matériaux de construction**
- 6. Une base de données pour prédire les performances de la terre crue?**

1- La terre crue, une ressource variable



Pourquoi peut-on construire en terre crue? – Les argiles et l'eau



Composition et arrangement des feuillets → grande variété d'argiles

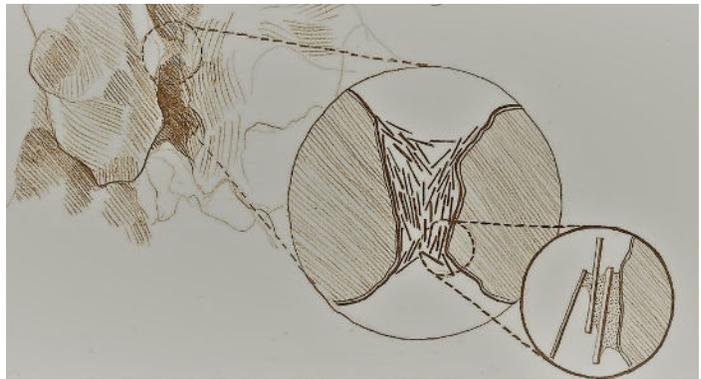


Schéma des ponts capillaires se formant entre les argiles, (faible teneur en eau)

Nature Argile	Kaolinite	Chlorite // Illite	Vermiculite // Smectites
Taille des Grains	Gros Grains		Grains Fins
	Activité Argileuse →		
	Dimensions stables Peu sensibles à l'eau Peu cohésives		Argiles Gonflantes Sensibles à l'eau Très cohésives

Sources : Murray H.H. (2006); Brigatti et al. (2006); Van Olphen H. (1977); Gelard D. (2005); Van Damme H. (2013); Gelard et al. (2008); Hugget J.M. (2015)

1- La terre crue, une ressource variable



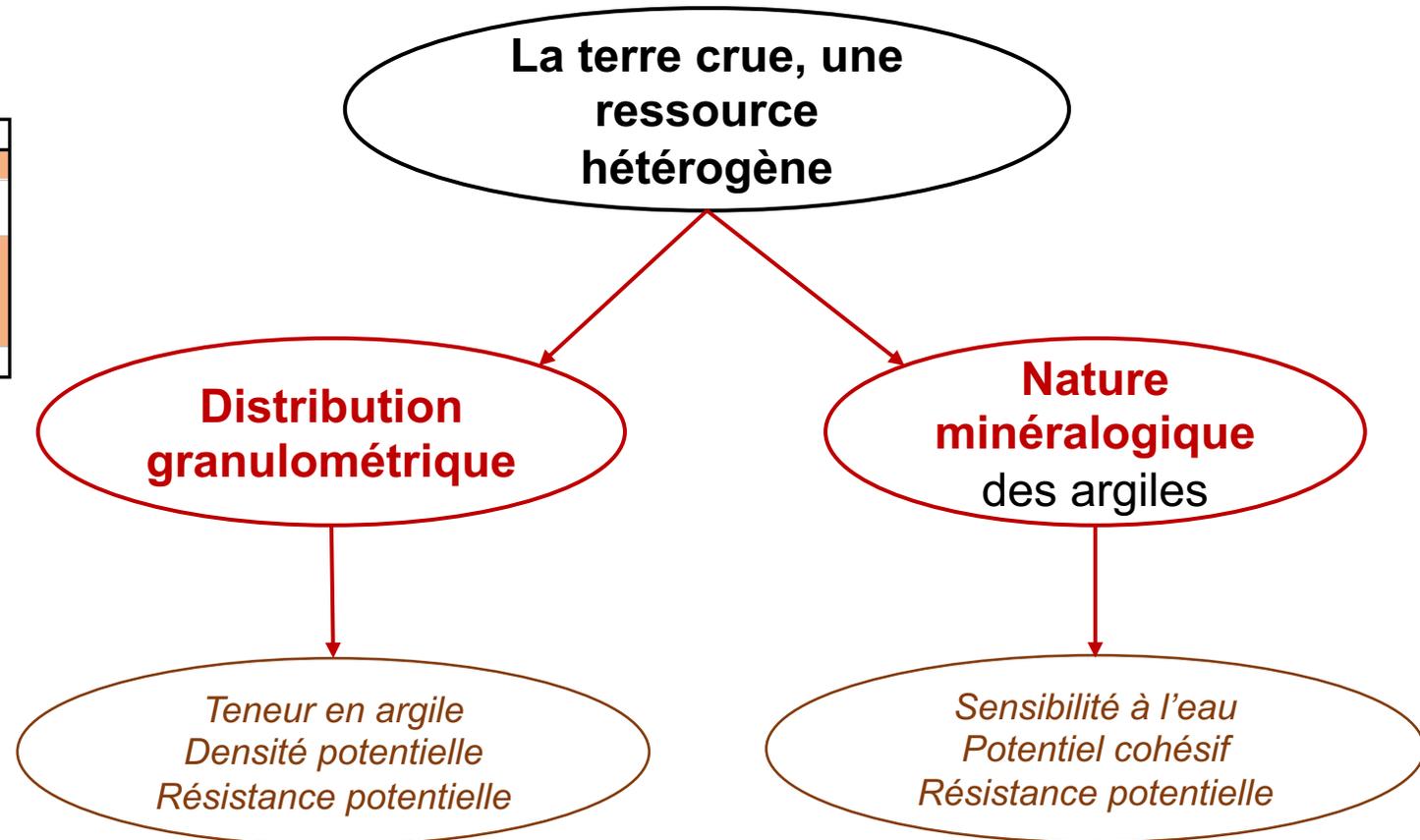
Pourquoi peut-on construire en terre crue? – Une variabilité à prendre en compte

Nature de la terre

Type de grain	Argiles	Limons	Sables fins	Sables Grossiers	Graviers
Dimensions	< 2 µm	2-63 µm	63-200 µm	0,2-2 mm	2-20 mm
Forme	Plaque ou en bâtonnet		Sphérique		
Minéraux	Smectites, illites, kaolinites, chlorites, vermiculites, ...		Quartz /quelques Feldspaths et Micas		
Interactions	Colloïdales		Granulaires		

Classement retenu des différentes particules composant la terre selon la granulométrie et quelques-unes de leurs caractéristiques

Sources : Houben H., Guillaud H., CRAterre (2006); AFNOR (2017) XP P 13-901; Jiménez Delgado et Guerrero (2007); Thèse - Anger R. (2011) ; Briaud J-L. (2013); Magnan J-P., Techniques de l'ingénieur (2017)



2- Valorisation de boues de lavage dans des matériaux isolants



- Béton de chanvre conventionnel → Mélange chaux-chanvre → **Réduire l'utilisation de chaux ?**
- Épuisement des ressources / Réemploi de co-produits ou de déchets → **Utilisation de co-produits de carrières fin et argileux comme liants ?**
- **Cadre de l'étude :**

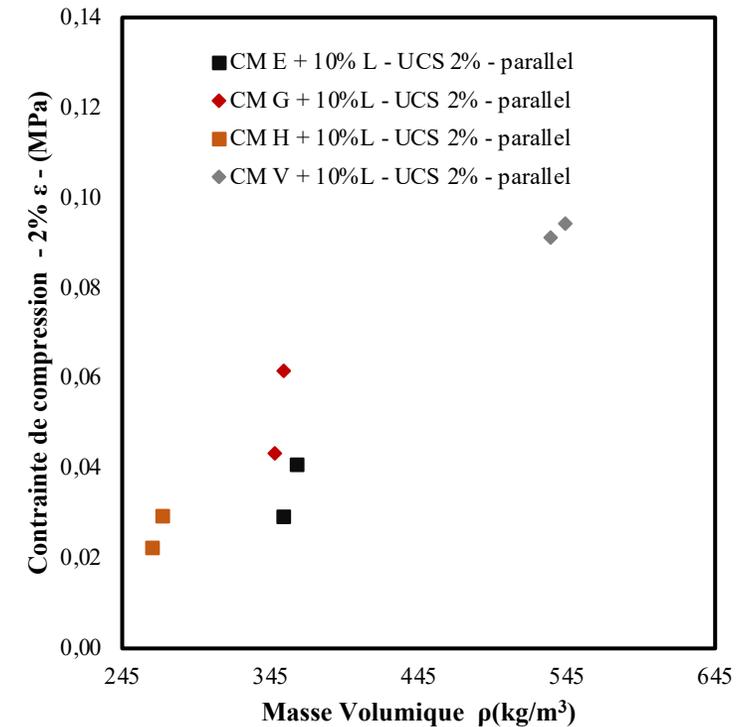
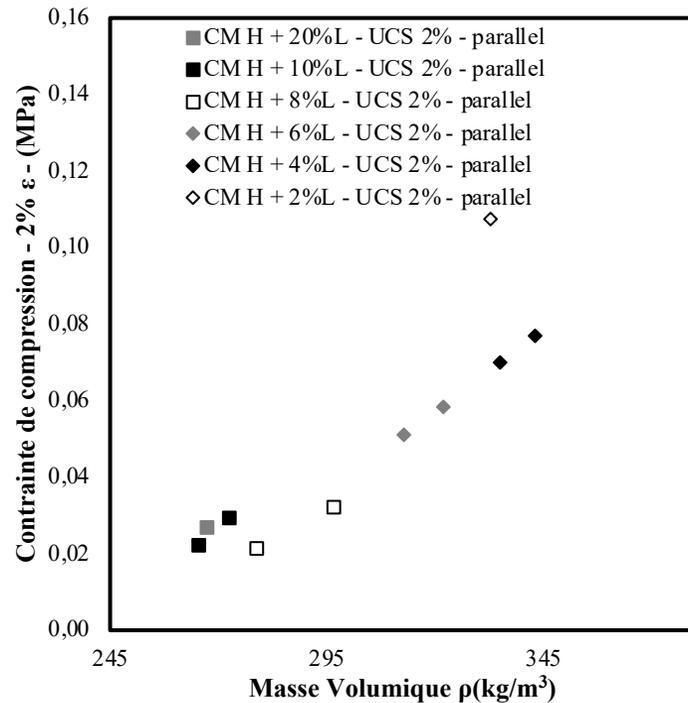
→ 4 boues de lavage de carrières au caractéristiques variables

Type de Boue de lavage	Boue V	Boue E	Boue H	Boue G
Activité argileuse	- argileuse	Peu argileuse	Argileuse	Très argileuse
Granulométrie	+ grossière	+ fine	Intermédiaire	Intermédiaire

→ Un ratio massique G/L (fibres/liant) fixe (0.55) – Une consistance « béton de chanvre projeté »

→ Etude de l'influence du **type de boue**, du **procédé de mise en œuvre** et du **taux de chaux** (de 2% à 20%) sur différentes caractéristiques (**conductivité thermique et propriétés mécaniques**)

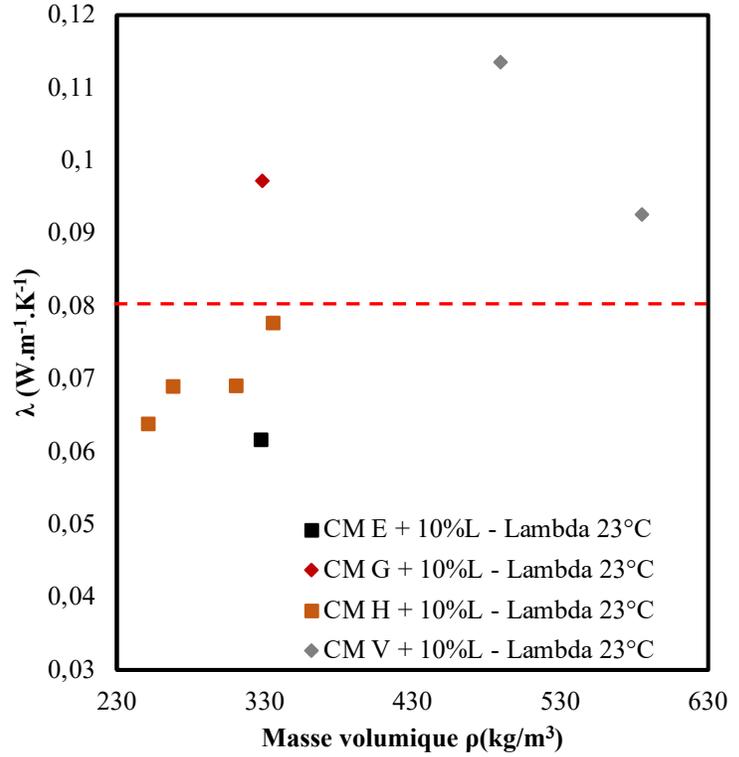
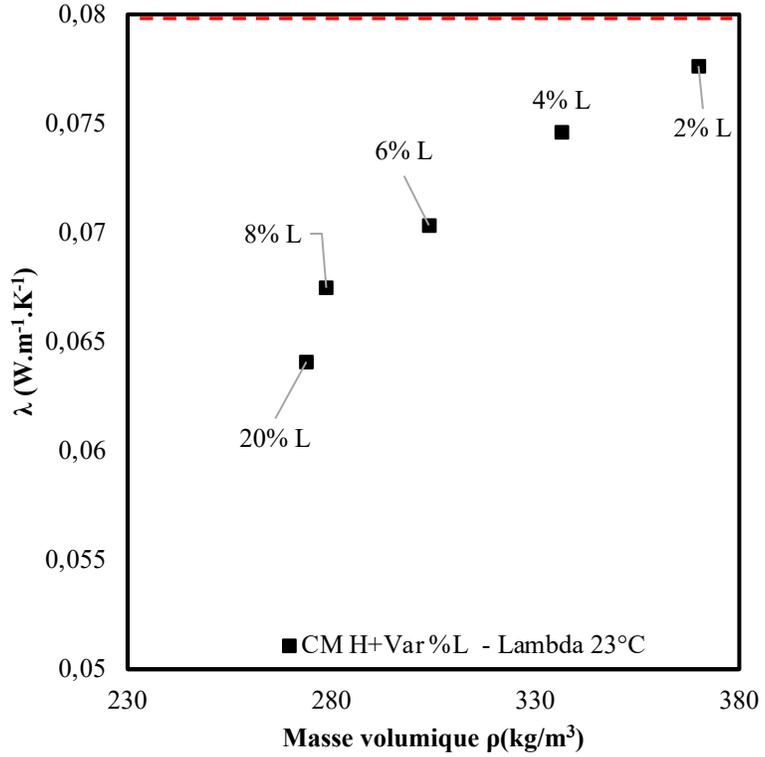
2- Valorisation de boues de lavage dans des matériaux isolants



- Pour une terre donnée et une consistance donnée – **Augmentation de la teneur en chaux** → **Diminution de la densité** et de la **résistance à la compression**

- À consistance donnée –10% de chaux **Changement des propriétés de la terre** → Variation des **densités obtenues** et des gammes de **résistance à la compression**

2- Valorisation de boues de lavage dans des matériaux isolants



- Pour une terre donnée et une consistance donnée – **Augmentation de la teneur en chaux** → **Diminution de la densité** et de la **conductivité thermique λ**

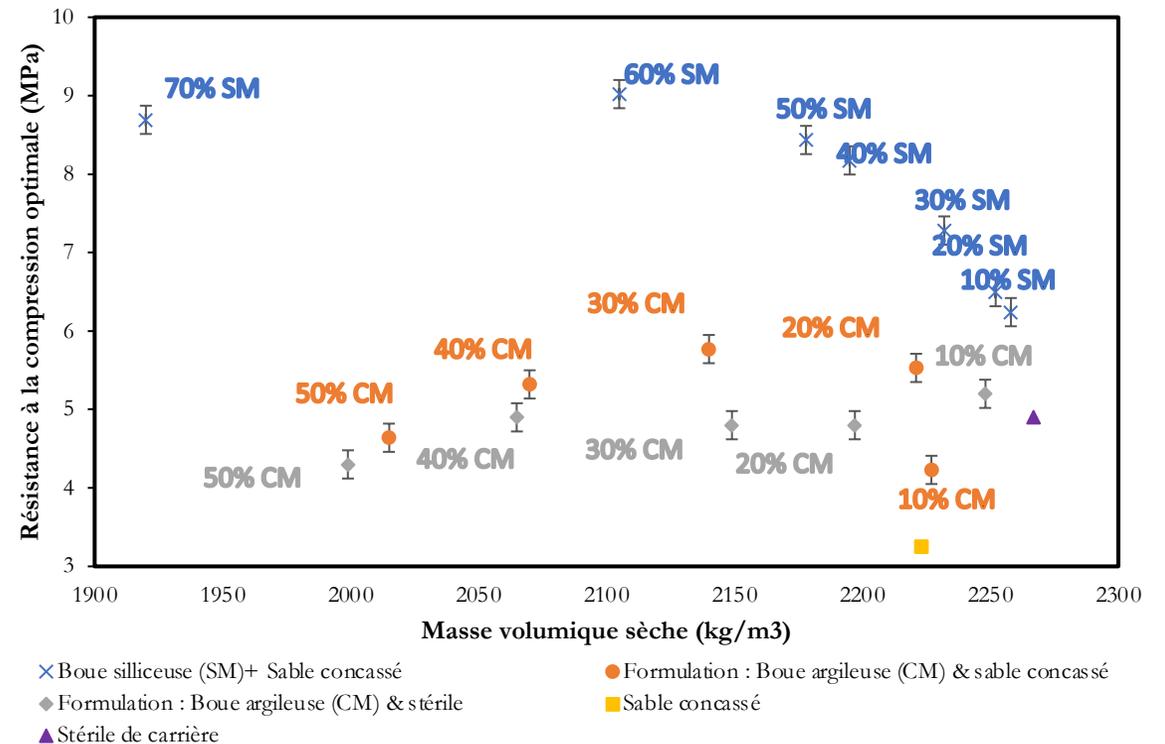
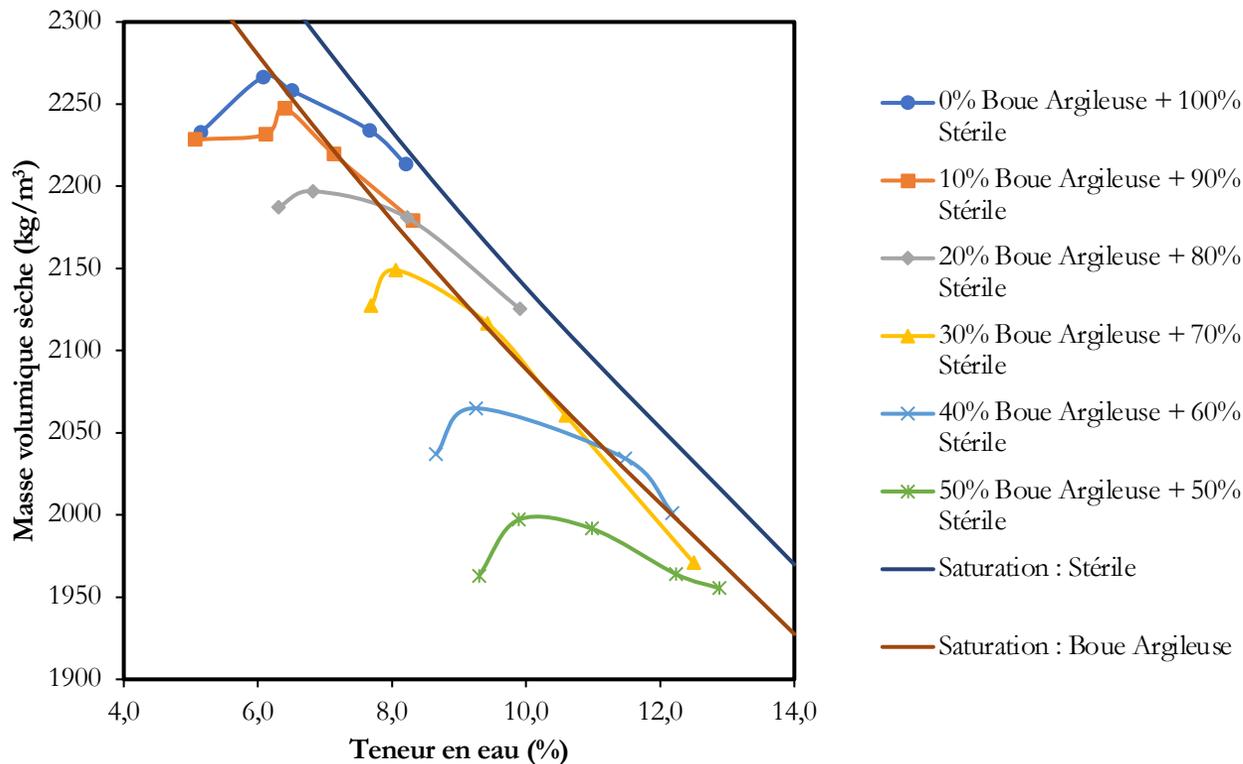
- À consistance donnée – 10% de chaux **Changement des propriétés de la terre** → Variation des **densités obtenues** et des gammes de **conductivité thermique λ**

3- Valorisation de co-produits de carrières dans des BTC



Thèse de M. Audren :

- **Formulation optimale des matériaux terre crue à partir de co-produits de carrières (boues de lavages / stériles de carrière / sables concassés)**

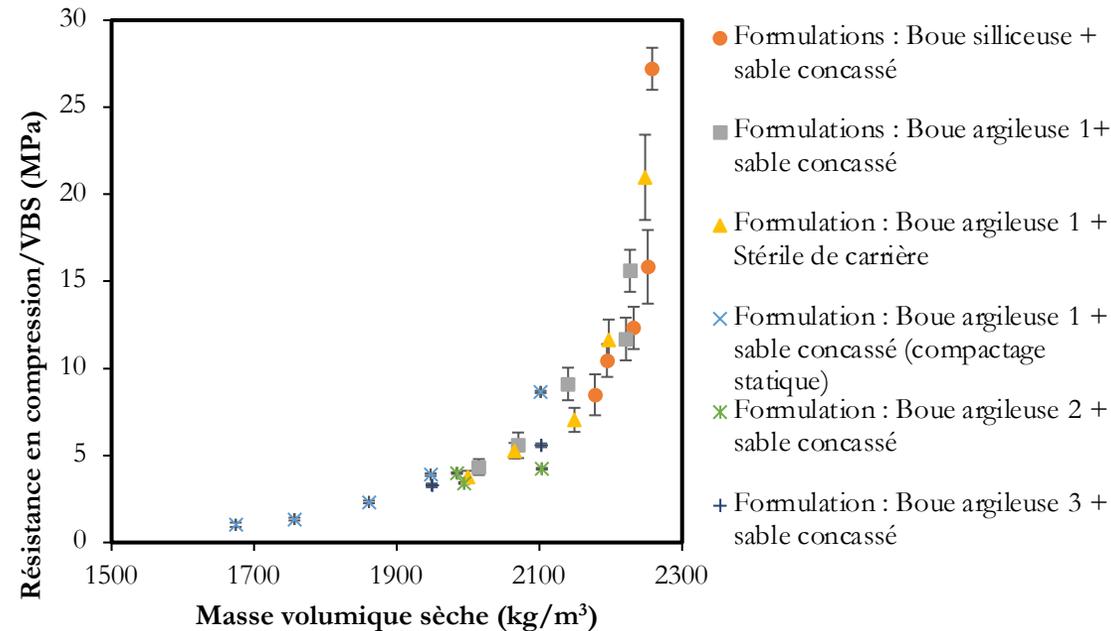


3- Valorisation de co-produits de carrières dans des BTC



Thèse de M. Audren :

- **Formulation optimale des matériau terre crue à partir de co-produits de carrières (boues de lavages / stériles de carrière / sables concassés)**



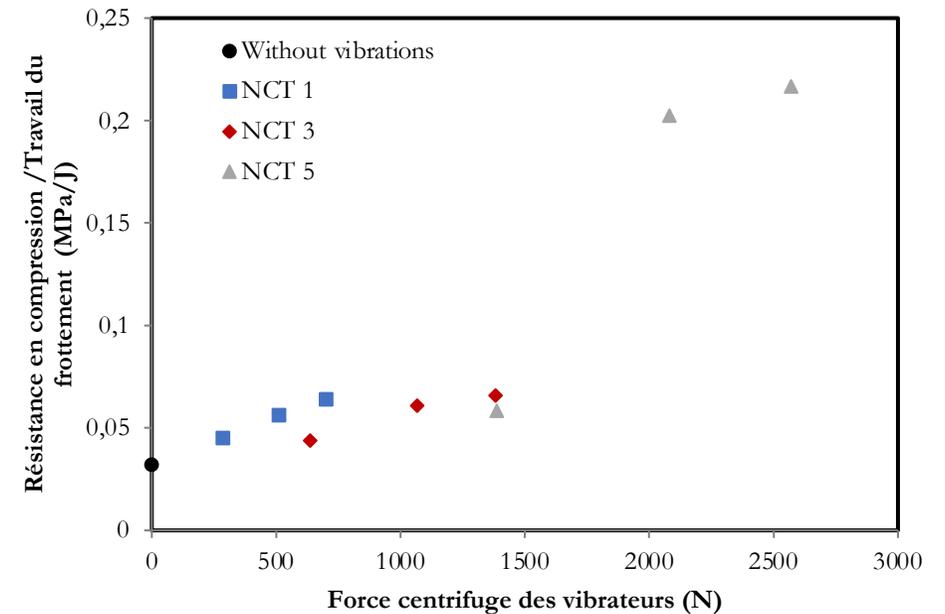
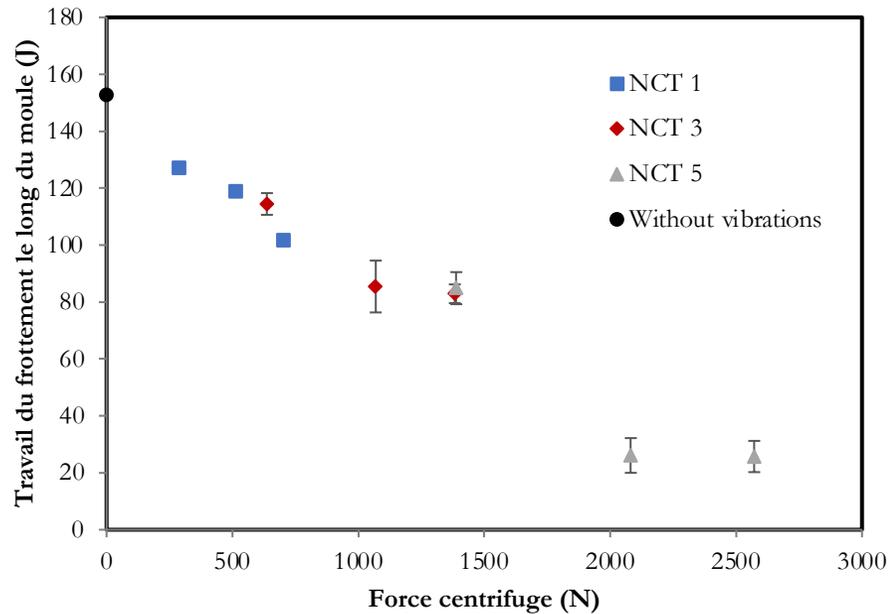
- **Vers un modèle de prédiction de la résistance avec granulométrie et argilosité ?**

3- Valorisation de co-produits de carrières dans des BTC



Thèse de M. Audren :

- **Influence du mode de mise en œuvre → Vers la vibro-compaction**
- **3 types de vibrateurs (NCT 1, NCT 3, NCT 5) / 3 pressions → Différentes forces centrifuges**



→ Vibration = Diminution de l'énergie et du temps de compactage nécessaire pour atteindre des résistances optimisées

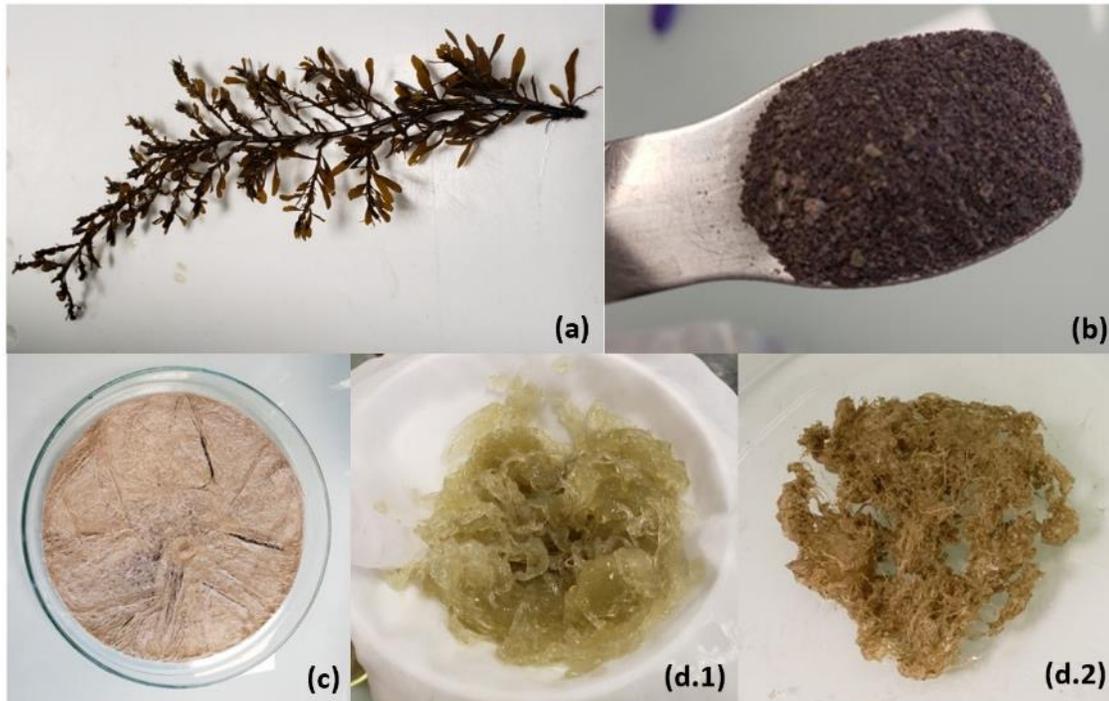
- **Eco-conception (ACV = aide à la décision en R&D)**

4- Valorisation d'extraits d'algues bretonnes dans des BTC

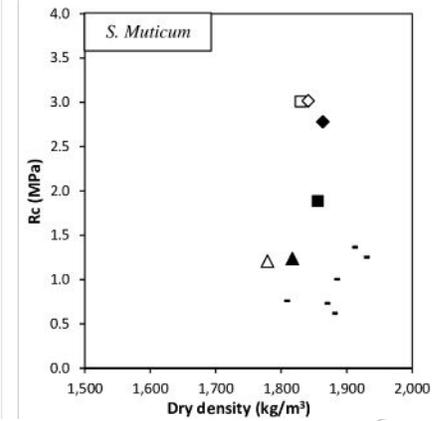
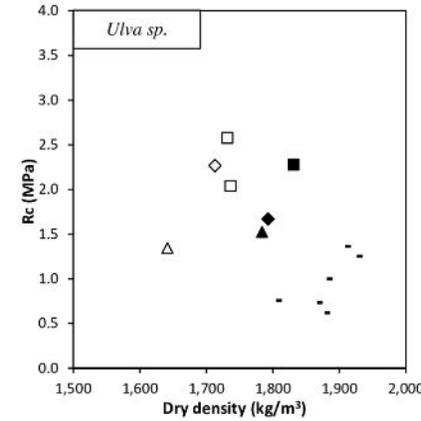
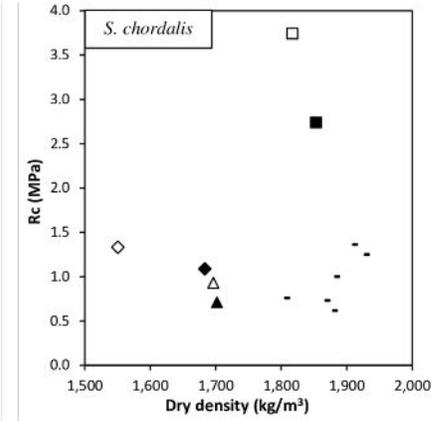
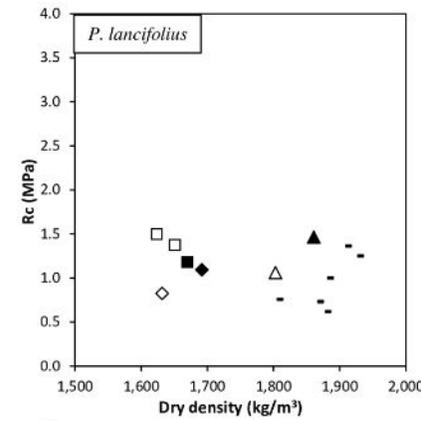


Stage M2 de Y. Autem:

- Valorisation d'algues invasives bretonnes (Presqu'île de Rhuy) – biopolymères extraits d'algues (aller vers le moins de transformation possible?)



(a) raw seaweed (*S. muticum*); (b) dried and ground seaweed (*S. chordalis*); (c) : freeze-dried extract (*P. lancifolius*); (d.1) and (d.2) : wet and dry precipitated polysaccharides (*P. lancifolius*)



Légende:

△▲ Algues broyées

◇◆ Jus d'algue

■□ Polysaccharide purifié

- Sans ajout

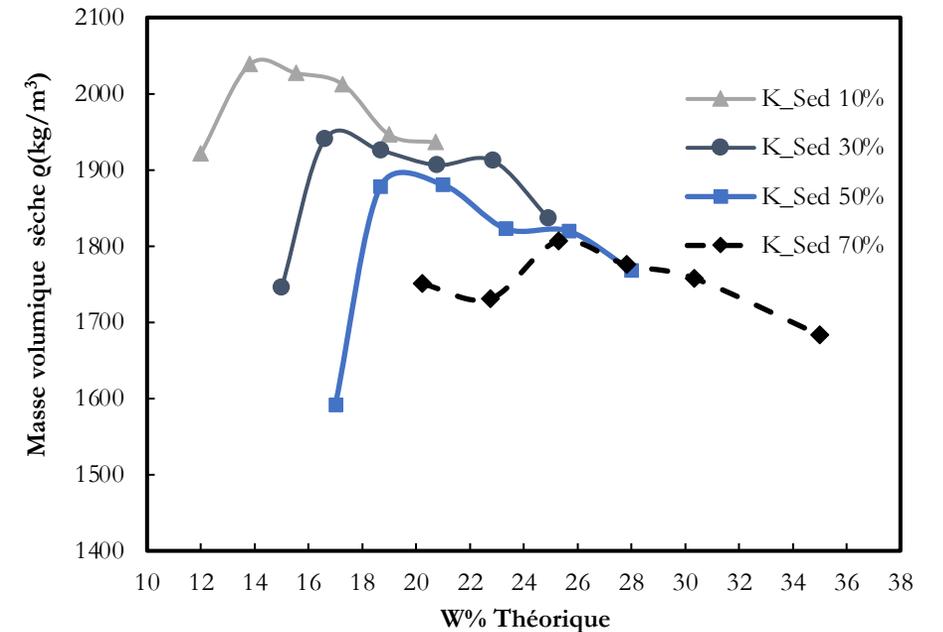
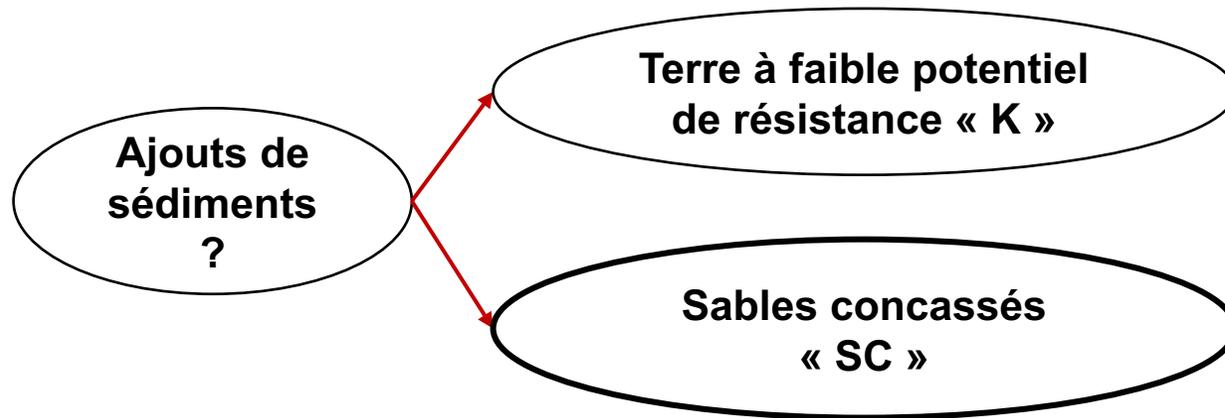
Résistance accrue

5- Valorisation de sédiments de dragage



Stage M2 de S. El Gotai:

- **Valorisation de sédiments de dragage (rade de Lorient) dans des briques de terre crue ?**
Amélioration des propriétés mécaniques de terres à faible potentiel?



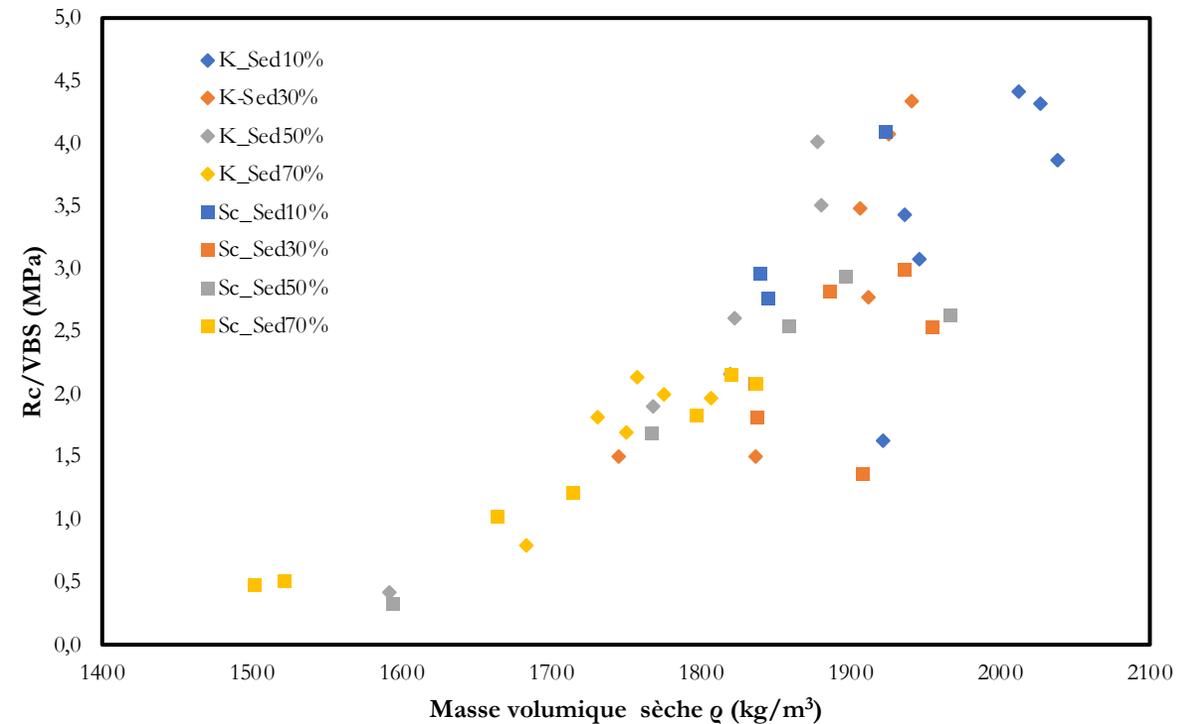
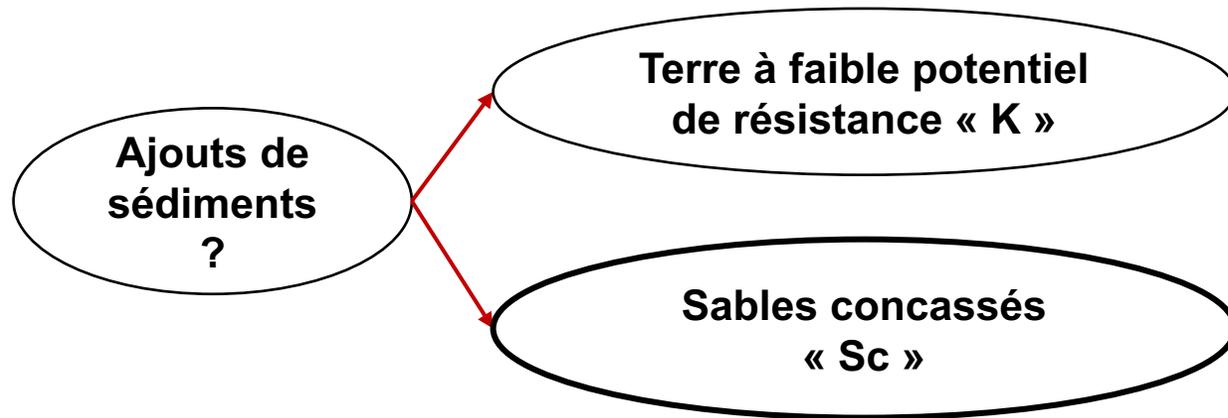
Même philosophie que pour la thèse de M. Audren – procédé de mise en œuvre moins maîtrisé (low tech / moulage de briques)

5- Valorisation de sédiments de dragage



Stage M2 de S. El Gotai:

- **Valorisation de sédiments de dragage (rade de Lorient) dans des briques de terre crue ?**
Amélioration des propriétés mécaniques de terres à faible potentiel?



- **Modèle de prédiction? Malgré un process peu maîtrisé?**

6- Une base de données pour prédire les performances de la terre?



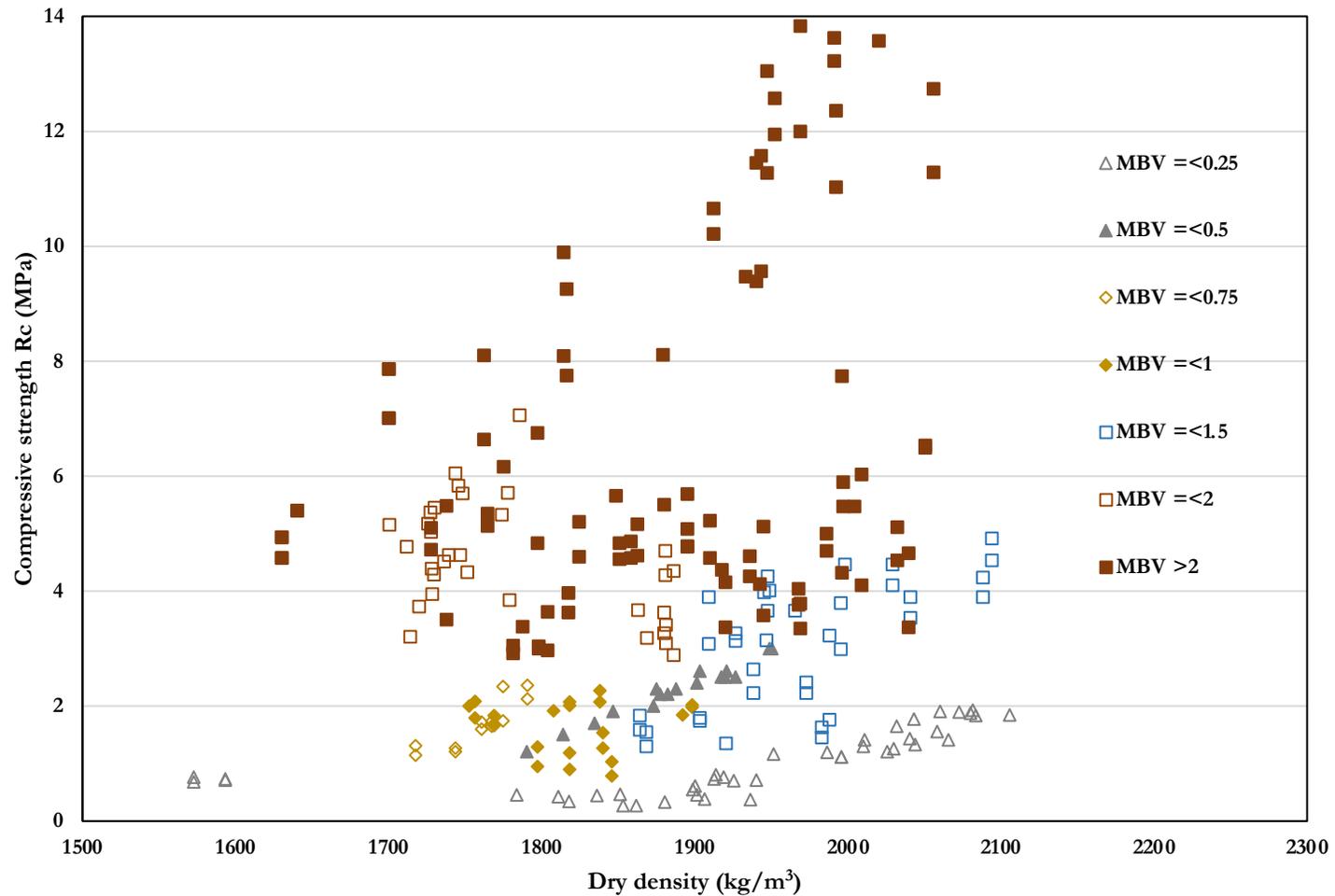
- Environ **400 essais de compression**
- **35 terres différentes**
- **15 paramètres de caractérisation** par terre (distribution granulométrique, activité argileuse et limites de consistance)
- **4 paramètres** pour décrire chaque **essai de compression** (Masse volumique, résistance à la compression, élancement et teneur en eau)
- **Procédés** de mise en œuvre **variables**

Earth properties																Compressive test results				
Earth code name	PSD (HA + Sieving) - Cumulative undersized particles mass (%)					PSD (LD + Sieving) - Cumulative undersized particles mass (%)					Clay activity		Atterberg's limits				Dry density (kg/m ³)	R _c (MPa)	Aspect Ratio	W %
	Clay (< 2 μm) (%)	Clay + Fine silts (2 - 20 μm) (%)	Clay + Fine silts + Coarse silts (20 - 50 μm) (%)	Clay + Silts + Fine sands (50 - 200 μm) (%)	Clay + Silts + fine sands + Coarse sands (0,2 - 2 mm) (%)	Clay (< 2 μm) (%)	Clay + Fine silts (2 - 20 μm) (%)	Clay + Fine silts + Coars silts (20 - 50 μm) (%)	Clay + Silts + Fine sands (50 - 200 μm) (%)	Clay + Silts + fine sands + Coarse sands (0,2 - 2 mm) (%)	Methylene Blue Value	CEC (mEq/100g)	W _p (%)	W _L (%)	I _p (%)					
35-Redon	10.82	35.59	44.06	66.72	94.99	2.56	54.09	62.64	73.87	96.02	0.5	3	36.5	21.8	14.7	1874.9	2.3	1	0	
																1872.9	2	1	0	
																1901.1	2.4	1	0	
																1903.3	2.6	1	0	
																1926.4	2.5	1	0	
																1919.6	2.5	1	0	
																1887.5	2.3	1	0	
																1882.2	2.2	1	0	
																1917	2.5	1	0	
																1920.5	2.6	1	0	
																1948.7	3	1	0	
																1950.2	3	1	0	
																1877.1	2.2	1	0	
																1846.3	1.9	1	0	
															1790.3	1.2	1	0		
															1834.4	1.7	1	0		
															1813.9	1.5	1	0		

6- Une base de données pour prédire les performances de la terre?



**Influence activité
argileuse**



6- Une base de données pour prédire les performances de la terre?



Objectifs:

- **Partitionnement des données** → Identifier les **paramètres** qui pourraient **influencer** la **résistance à la compression**
- **Apprentissage automatique supervisé** → Utiliser les paramètres identifiés comme données indépendantes pour définir (estimer) une donnée dépendante → **Résistance à la compression**

Potentiel : limiter les tests en laboratoire pour justifier un potentiel de résistance d'une terre donnée

Limites :

- Données → Méthodes choisies en laboratoire / terres du grand ouest seulement / terres relativement fines