

La Terre, matière à imprimer?

Arnaud Perrot

Université de Bretagne Sud

IRDL - ENSIBS



Institut de Recherche Dupuy de Lôme
CNRS FRE 3744



Fabrication additive et construction

- Depuis 2010 : Développement rapide de l'impression 3D béton



XTreeE, 2016



Construction 3D , 2015



Pourquoi imprimer les structures et la terre ?

- Intérêts impression 3D pour la construction
 - Sécurité / Rapidité / Fiabilité de la fabrication robotique
 - Liberté architecturale
 - Solution au manque de main d'œuvre
 - Efficacité mécanique (Optimisation topologique – Biomimétisme)



Pourquoi imprimer la terre ?

- Les applications de l'impression terre



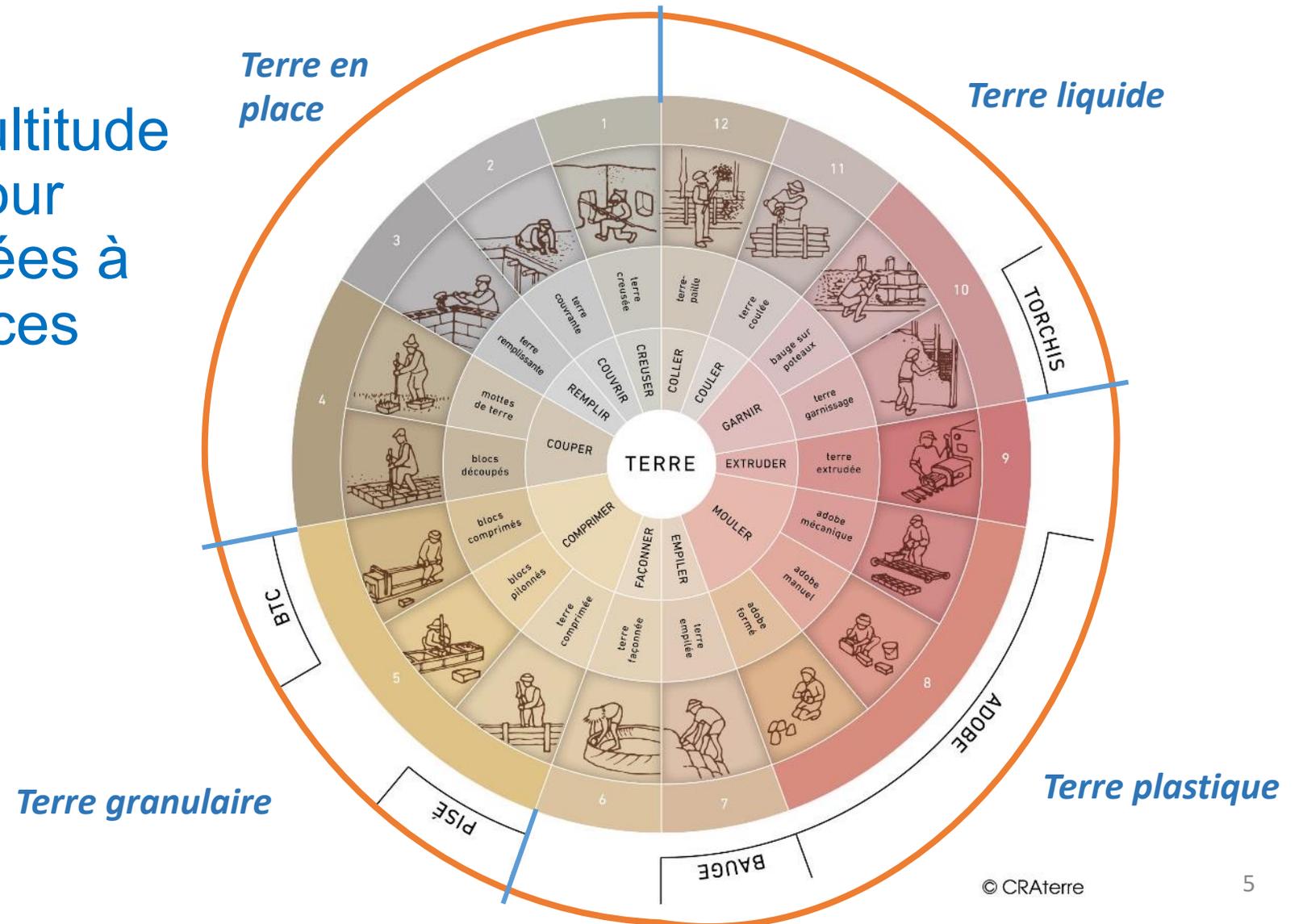
WASP - Italie



Université de Virginie - USA

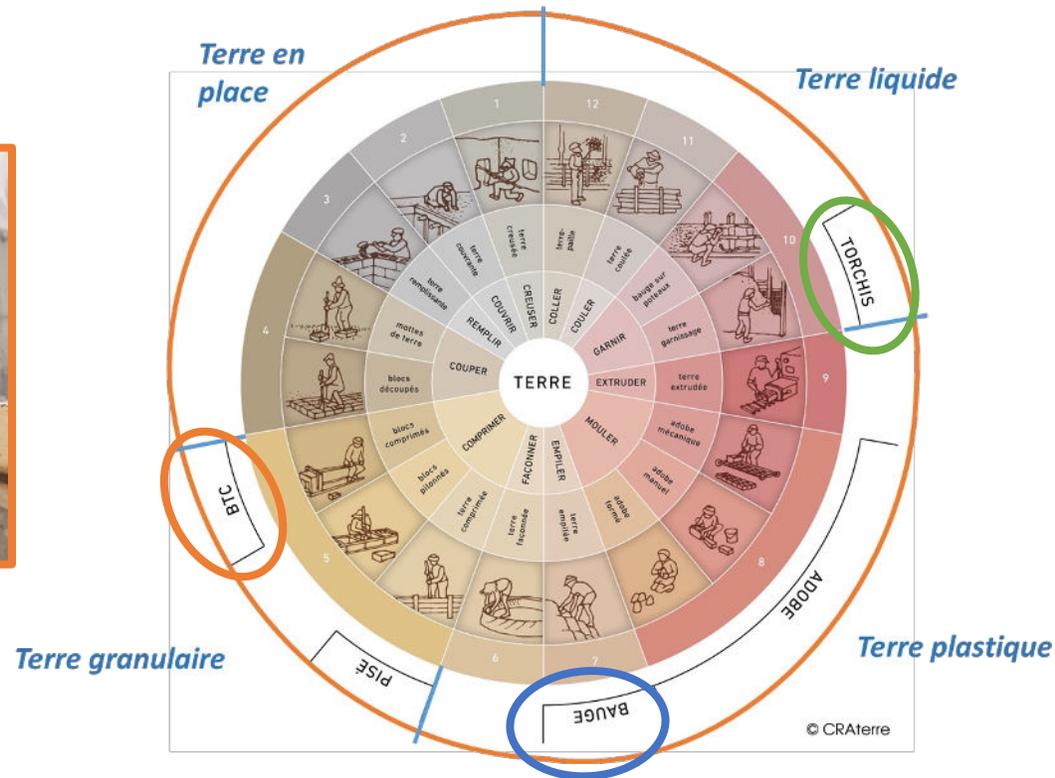
Terre - une matière à modeler !

- La terre : une multitude de techniques pour construire adaptées à toutes consistances



Terre - une matière à imprimer ?

- Peut-on robotiser les techniques vernaculaires ?

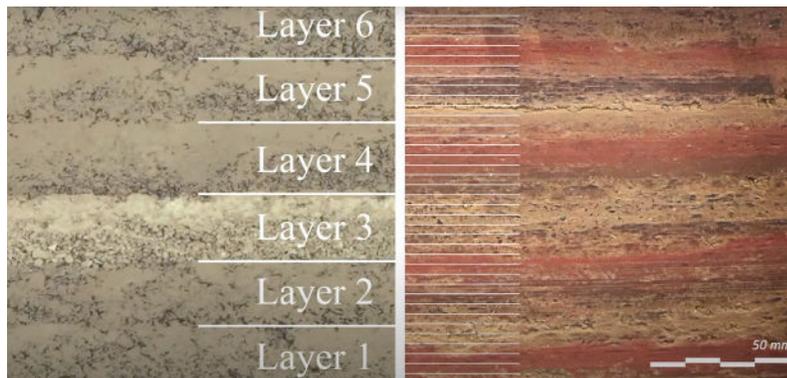
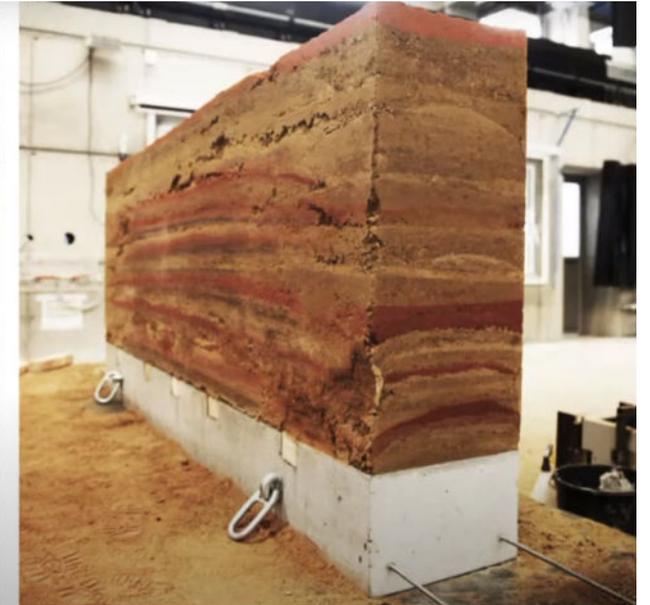


Comment imprimer la terre ?

- La robotisation du pisé



- 1: 6 Axis Industrial Robot suspended from gantry
- 2: Steel frame
- 3: Active slip form
- 4: Compaction device



Comment imprimer la terre ?

- La bauge moderne



UBS / INSA Rennes

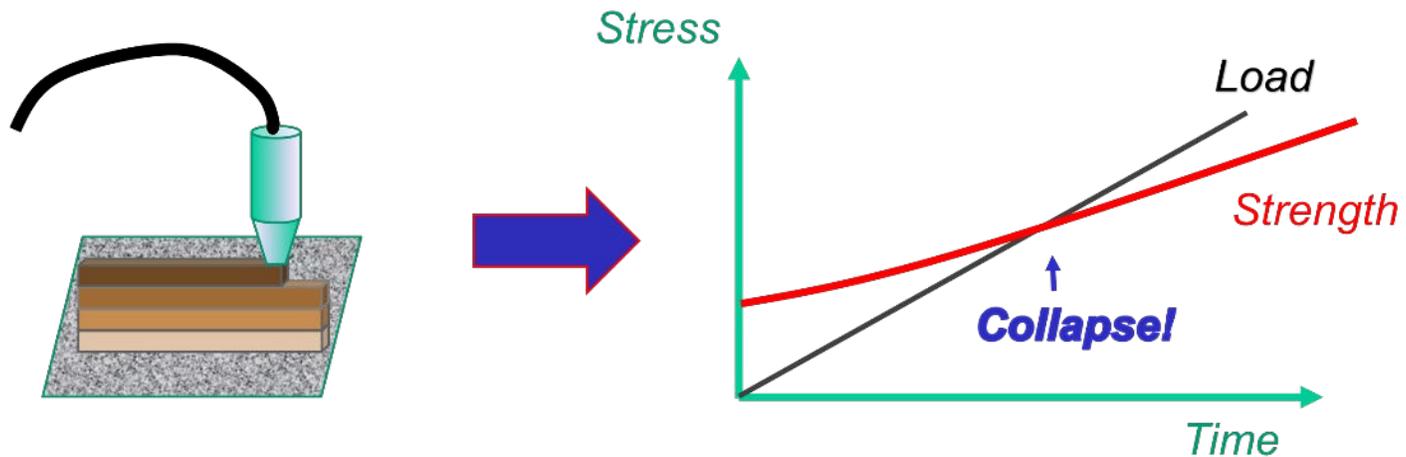


ETH Zurich



Comment imprimer la terre ?

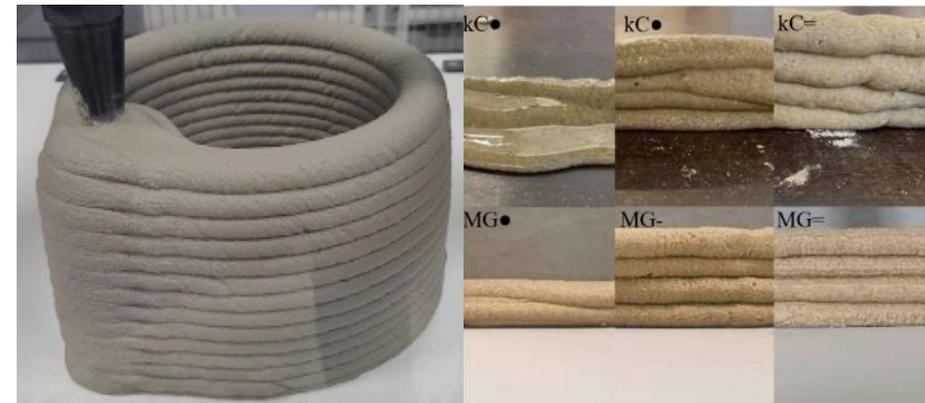
- La bauge moderne – La problématique du durcissement
 - Gradient de **résistance** / Augmentation de la **charge avec l'impression**



- **Terre crue = Durcissement lié au Séchage (lent) ≠ Impression rapide**
- Quel type d'ajout peut aider à accélérer l'augmentation des résistances?

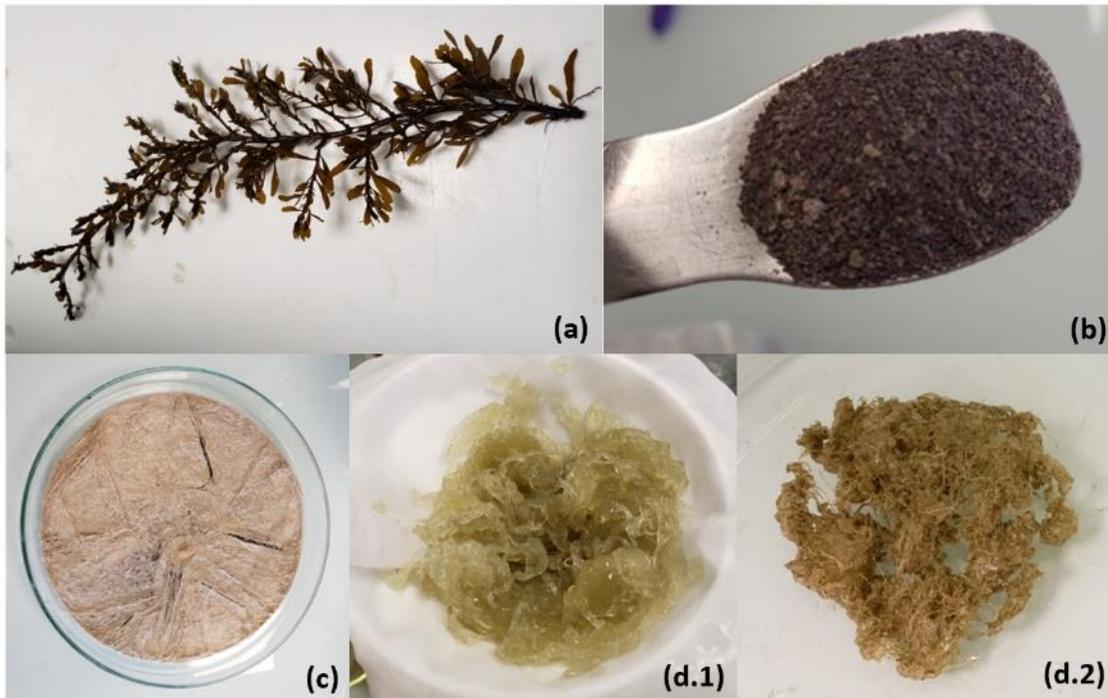
Comment imprimer la terre ?

- La bauge moderne – La problématique du durcissement
 - Quel type d'ajout (<1%) peut aider à accélérer l'augmentation des résistances?
 - *Liants hydrauliques à prises rapides (Ciment prompt, plâtre)*
 - *Biopolymères thermo-sensibles (cire, gélatine, ...T°C fusion entre 40 et 60°C)*
 - *Biopolymères gélifiants : alginate*
 - *Accélérer le séchage*

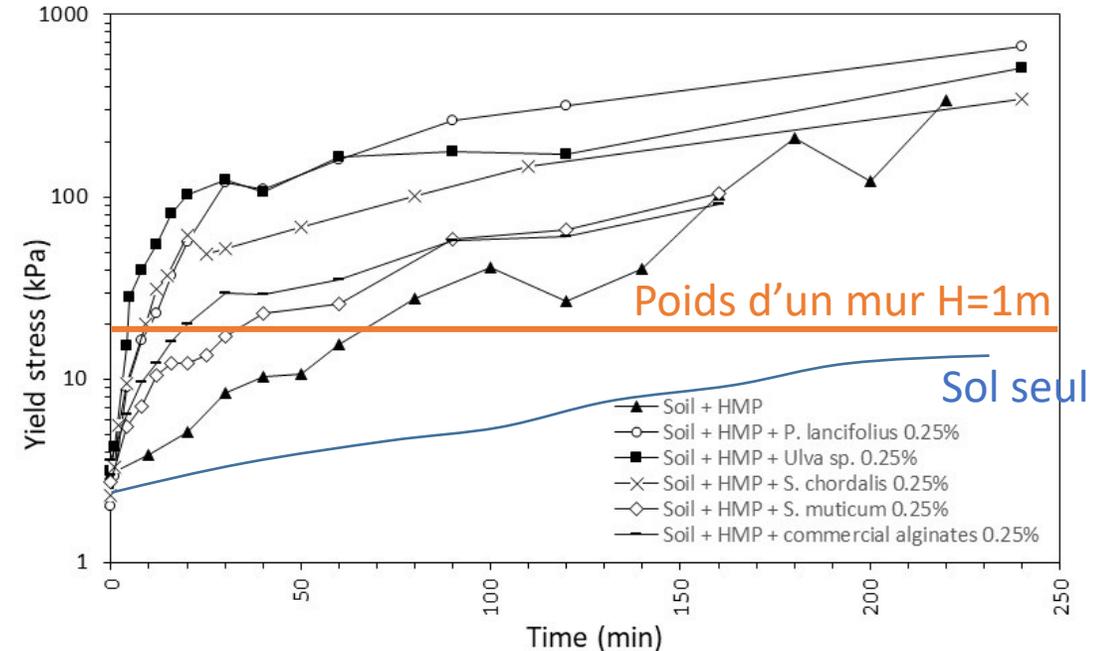


Comment imprimer la terre ?

- La bauge moderne – La problématique du durcissement
 - Focus sur les biopolymères à base d'algues



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



Comment imprimer la terre ?

- La bauge moderne – La problématique du pompage

- Pour assurer le pompage = matériau « fluide »

- *Solution 1 = ajouter de l'eau*

- *Néfaste pour le retrait*

- *Néfaste pour le comportement mécanique*

- *Solution 2 = utiliser un « superplastifiant* »*

- *Meilleure dispersion des argiles*

- *Fluidification du mélange*

**Calgon, Superplastifiant ciment, Tannins.*



Comment imprimer la terre ?

- **La bauge moderne – Cas d'étude / terre de Saint-Sulpice-La-Forêt**
 - *Objectif 1 : assurer la pompabilité*
 - *Addition de Calgon: seuil de cisaillement plus faible*
 - *Pompabilité / Diminution de la teneur en eau (45%)*
 - *séchage plus rapide, résistance plus forte*
 - *Contrainte de cisaillement mesurée 1,5 kPa*
 - *Objectif 2 : assurer la stabilité durnant l'impression*
 - *Addition d'alginate : Cimalgin HS4 (Vinpai)*
 - *Capable de porter 1m de mur = 10 minutes*
 - *Capable de porter 3m de mur = 2 heures*

**Résistance
à la compression : 2 MPa**



Quand
pourra t'on
imprimer la
terre ?

- **Dés maintenant** dans les **laboratoires** de recherche
- **Pas tout de suite** sur chantier (hors mobilier)
- **Freins réglementaires / Problème assurantiel :**
 - Pas de réglementation sur la fabrication additive dans la construction
 - Manque de réglementation sur la construction terre utilisant :
 - Des techniques non courantes et non traditionnelles
 - Des stabilisants bio-sourcées