



**FORMATION PROFESSIONNELLE
CONSTRUIRE EN TERRE COULÉE
17 > 21 .07.2017**

RAPPORT D'ACTIVITÉ

AVEC LE SOUTIEN DE



ATELIER
MATIÈRES À
CONSTRUIRE

amòco



TABLE DES MATIÈRES

- 4 Introduction
- 5 Programme de la semaine
- 6 Matrice pédagogique

8 JOUR 01

9 LES MURS PORTEURS : BÉTONS VERTICAUX PORTEURS

- 10 Briser la glace
- 11 World café
- 21 Exercice encadré : Test Habert
- 25 Défi expérimental : Découvrir la terre coulée

28 JOUR 02

29 LES DALLES : BÉTONS HORIZONTAUX NON PORTEURS

- 31 Exercice encadré : Disperser la terre
- 35 Atelier créatif : Prototype de dalle en terre coulée
- 39 Expérimentation à l'échelle 1 : Couler dans des coffrages absorbants

40 JOUR 03

41 LES ARMATURES : TERRE COULÉE ARMÉE

- 42 Exercice encadré : Sable coulé armé
- 46 Projet collectif : Sable coulé, armature et séisme

44 JOUR 04

45 LES FINITIONS : TRAITEMENTS & ASPECTS DE SURFACE

- 50 Exercice encadré : Texture et matérialité
- 54 Atelier créatif : Tableau de terre coulée

58 JOUR 05

59 EXPÉRIMENTATIONS AUTOUR DE LA TERRE COULÉE

- 60 Expérimentation à l'échelle 1 : Couler avec un coffrage perdu
- 62 Expérimentation des participants
- 64 Evaluation des acquis de la formation

- 66 Liste des intervenants et des participants

INTRODUCTION

Ce document rapporte les activités qui se sont déroulées lors de la formation professionnelle « Construire en terre coulée » durant une semaine du 17/07/17 au 21/07/2017 aux Grands Ateliers à Villefontaine.

La formation professionnelle « Construire en terre coulée » a proposé d'acquérir de solides connaissances sur le matériau terre, les bétons d'argile et la technique de la terre coulée. Pour cette première édition, les participants ont co-construit et fait évoluer les savoir-faire liés à la formulation et à la mise en œuvre de la terre coulée. A travers une série d'exercices encadrés, de retours d'expérience, d'ateliers créatifs et de manipulation de la matière, les participants ont été amenés à appréhender la terre coulée de manière pluridisciplinaire en vue d'en connaître tous les principes de fabrication et d'application.

L'objectif général de cette formation est de permettre le développement et la diffusion de cette technique innovante. Cette formation rentre dans le cadre d'un programme plus large de formations professionnelles proposées par amàco et Les Grands Ateliers. En effet, suite à cette formation, d'autres ont vu le jour, comme « L'art du pisé », « Construire en bauge aujourd'hui » et « Construire en paille porteuse ».

Objectifs de la formation

- Découvrir les potentiels et les limites de la technique de la terre coulée,
- Appréhender les caractéristiques du matériau, les notions de résistances mécaniques, les lignes de production et les formulations de matériaux,
- Découvrir et expérimenter la matière, les outils et les gestes professionnels de la technique de la terre coulée,
- Être capable de reproduire, expérimenter et réaliser des constructions en terre coulée.

Qui a participé ?

Artisans, entreprises de construction, architectes, ingénieurs, chercheurs, industriels, producteurs de matériaux, formateurs, maitres d'ouvrage, etc.

Centre de recherche amàco

amàco est un centre de recherche et d'expérimentation à but pédagogique. Il vise à valoriser les matières brutes les plus communes comme le sable, la terre, l'eau ou les fibres végétales. Par l'expérimentation, la transdisciplinarité, la créativité et l'émotion, amàco propose des contenus pédagogiques pour comprendre le comportement de ces matières et inspirer de nouvelles pratiques techniques, architecturales ou encore artistiques. Depuis 2012, amàco reçoit le soutien des Investissements d'Avenir à travers les Initiatives d'Excellence en Formations Innovantes (IDEFI). Il est porté par cinq partenaires : les Grands Ateliers, l'ENSA de Grenoble et son laboratoire CRAterre-AE&CC, l'ESPCI Paris, l'INSA de Lyon.

Les Grands Ateliers

Plateforme d'enseignement, de recherche et d'expérimentation de la construction, les Grands Ateliers font converger les disciplines telles que l'art, l'architecture et l'ingénierie vers une nouvelle façon de former leurs étudiants à la construction. Depuis 2002, les Grands Ateliers sont un espace de formation, de recherche et de diffusion des savoirs dans le domaine de la construction autour des matériaux et de la matière, des techniques et technologies de la construction, des structures et de l'expérimentation, du bâtiment et de l'espace habité.

PROGRAMME

JOUR 01	9H00 > 19H00	LES MURS PORTEURS : BÉTONS VERTICAUX PORTEURS
JOUR 02	9H00 > 19H00	LES DALLES : BÉTONS HORIZONTALS NON PORTEURS
JOUR 03	9H00 > 18H00	LES ARMATURES : TERRE COULÉE ARMÉE
JOUR 04	9H00 > 19H00	LES FINITIONS : TRAITEMENTS & ASPECTS DE SURFACE
JOUR 05	9H00 > 18H00	EXPÉRIMENTATIONS AUTOUR DE LA TERRE COULÉE

INFOS PRATIQUES

- **Nombre de participants** : 40
- **Durée** : 35 heures réparties sur 5 jours
- **Coût** : avec prise en charge employeur ou OPCA : 1500 € / remise possible en fonction de la situation
- **Repas du midi** : 12€ / jour (règlement total à part)
- **Non compris** : transport, hébergement, petit-déjeuner et repas du soir non compris
- **Evaluation** : questionnaire (durée : 1h) avec attestation de réussite
- **Lieu de la formation** : les Grands Ateliers, Boulevard de villefontaine, 38090 Villefontaine

MATRICE PÉDAGOGIQUE

Lors de la préparation de la formation, nous travaillons avec un modèle de matrice pédagogique qui nous permet de définir précisément nos objectifs pédagogiques, nos contenus, méthodes et évaluations. L'idée est de vérifier que ces quatre paramètres sont bien alignés, c'est à dire qu'ils sont cohérents les uns avec les autres.

Objectifs	Contenu	Méthode	Évaluation
« à la fin de la formation, l'apprenant devrait ... »	« à la fin de la formation, l'apprenant devrait avoir entendu parler de... »	« durant la formation, l'apprenant sera passé par... »	« durant la formation, l'apprenant fera la preuve de son apprentissage via... »
Identifier les potentiels et les limites de la technique de la terre coulée dans la construction (potentiels techniques, esthétiques, économiques, environnementaux, sociaux)	<ul style="list-style-type: none"> Historique de la science des bétons et parallèle béton de ciment/béton d'argile Actualités sur les recherches en cours sur la technique et la formulation Gestes de gerbage, vibrage, coffrage et décoffrage de la terre coulée Exemples de réalisation en terre coulée (coût, outils, mise en œuvre) Utilisation d'armatures dans les murs en terre coulée : avantages et inconvénients Utilité sociale : démocratisation de la construction en terre par la baisse des coûts de production 	<ul style="list-style-type: none"> Conférences d'experts par Henri Van Damme et Cédric Avenier Retour d'expérience d'Alban Pinel, d'Yves Jorand et de Guillaume Habert Défi expérimental : couler et décoffrer un bloc Retour d'expérience de Martin Pointet Retour d'expérience de Yolenda Arenda et de Bernard Schmitt World café : pourquoi et comment couler la terre ? 	<ul style="list-style-type: none"> Conférence optionnelle non évaluée - Jeu de questions/réponses au cours de la présentation - Temps de discussion à la fin - QCM Restitution des travaux du groupe à travers une présentation devant l'ensemble des participants - Jeu de questions/réponses au cours de la présentation - Temps de discussion à la fin - Jeu de questions/réponses au cours de la présentation - Temps de discussion à la fin Panneaux de restitution, processus du World Café
Identifier les caractéristiques de la terre coulée (propriétés mécaniques, thermiques, hygroscopiques)	<ul style="list-style-type: none"> Science des grains et des argiles, comportement mécanique Exemples de mise en œuvre Exemples et résultats du programme de recherche BAE Notions de résistance mécanique des armatures Panoramas des armatures, des fibres végétales et synthétiques 	<ul style="list-style-type: none"> Conférence expérimentale de Romain Anger sur les grains et les argiles Retour d'expérience de Bernard Schmitt Retour d'expérience de Yves Jorand Exercice kinesthésique - Retour d'expérience de Yolanda Arenda et de Bernard Schmitt - Conférence expérimentale de Romain Anger sur la terre renforcée 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de discussion, questions des apprenants à la fin de la conférence. Réponse (en sous-groupe) à une question posée par le conférencier durant la présentation. - QCM - Questions des apprenants et discussion menée par le conférencier. - QCM - Questions des apprenants et discussion menée par le conférencier - QCM Compter le nombre d'accidents ! - Questions des apprenants et discussion menée par le conférencier. - QCM
Être en mesure de citer, décrire et reconnaître les matières premières et les outils utilisés pour la terre coulée	<ul style="list-style-type: none"> - Présentation des matières premières et outils - Exemple de réalisation en terre coulée 	<ul style="list-style-type: none"> - Visite des Grands Ateliers - Retour d'expérience de Martin Pointet 	<ul style="list-style-type: none"> - Réponse (en sous-groupe) à une question posée par le conférencier durant la présentation. - Questions des apprenants et discussion menée par le conférencier. - QCM

Objectifs (suite)	Contenu (suite)	Méthode (suite)	Évaluation (suite)
« à la fin de la formation, l'apprenant devrait... »	« à la fin de la formation, l'apprenant devrait avoir entendu parler de... »	« durant la formation, l'apprenant sera passé par... »	« Durant la formation, l'apprenant fera la preuve de son apprentissage via... »
Être en mesure de citer, décrire et reproduire les gestes professionnels de mise en œuvre de la terre coulée	Gestes de gerbage, vibrage, coffrage et décoffrage, talochage de la terre coulée	Exercices pratiques : atelier créatif, défi expérimental, projet collectif	- Restitution des travaux du groupe à travers une présentation devant l'ensemble des participants - Reproduction des gestes dans l'atelier créatif
Décrire les particularités des lignes de production de la terre coulée	Exemples de réalisations et chantiers en terre coulée Réaliser des échantillons en terre coulée avec des phases de malaxage, de coffrage, etc.	Retour d'expérience de Martin Pointet Ateliers créatifs (participation des apprenants)	- Question en début de présentation et réponse en sous-groupe à la fin - QCM - Organisation du chantier collectif de l'atelier créatif
Décrire les paramètres importants de la formulation du matériau terre coulée	Paramètres de la formulation des bétons : types de grains et de fibres, rapport grains/boue, fluidifiants Importance de l'eau et mécanismes de dispersion des liants hydrauliques Effet du type de grains et des dispersants sur les boues d'argile Caractéristiques physiques des dispersants et super-plastifiants	Exercice encadré : test Habert Conférence expérimentale de Romain Anger Atelier encadré : savoir couler liquide Conférence d'ouverture par Romain Anger	- Jeu de questions / réponses pendant et à l'issue de l'exercice - Restitution par l'encadrant - Temps de discussion, questions des apprenants à la fin de la conférence - Réponse (en sous-groupe) à une question posée par le conférencier durant la présentation - QCM - Jeu de questions / réponses pendant et à l'issue de l'exercice - Restitution par groupe Conférence optionnelle - Temps de discussion, questions des apprenants à la fin de la conférence
Avoir pris conscience de l'utilité des outils et méthodes d'apprentissage collaboratifs et d'intelligence collective et être mesure de travailler en groupe multi/pluridisciplinaire	- Méthode de travail et d'organisation utilisée durant les ateliers créatifs. - Apport de la pluridisciplinarité des participants	Mise en situation des participants au cours des ateliers créatifs Présentation des méthodes de travail en intelligence collective : - World café - Brainstorming - Balades déambulatoires - Ateliers créatifs défis - météo du jour	- Capacité du groupe à s'auto-organiser, lors des restitutions en groupe les participants décrivent leur méthode d'organisation - Questionnaires de post-formation
Prendre conscience de l'importance du concept de la construction avec la matière « à portée de main et sous nos pieds »	Science de la matière : - grains - argiles - eau Concept de cycle de la construction Intérêt de construire en terre coulée avec des matériaux locaux	- Conférences expérimentales, conférences par les experts - Discussion durant le world café	- QCM - Questionnaires post formation - Discussion durant le World café
Avoir pris conscience de l'importance de l'expérimentation pour construire avec des matériaux prélevés sous nos pieds ou à portée de main	- Formulation personnelle de matériaux - Conception puis mise en œuvre soi-même de matériaux, éléments et structures	- Ateliers créatifs, projet collectif, défi - Exercice kinesthésique	- Qualité de la production et de la démarche expérimentale - Demande d'explicitation de la démarche expérimentale - Questionnaire post-formation
Pouvoir discuter de manière critique et argumentée de la pertinence de l'utilisation de la terre coulée dans un projet concret	- Avantages et inconvénients du matériau - Disponibilité de la ressource matérielle - Disponibilité de la ressource humaine	Méthodes participatives Atelier créatif, projet collectif, défi Contenu de l'ensemble de l'atelier	-QCM



01
JOUR

LES MURS PORTEURS

BÉTONS VERTICAUX PORTEURS

- 08H30 Accueil des participants
- 09H00 **Présentation de la semaine et des participants**
- 10H15 **Visite des Grands Ateliers** et présentation des outils et matériaux disponibles
- 10H30 Pause café
- 11H00 **World café //** Pourquoi et comment couler la terre ?
- 12H00 **Actualités sur la recherche //** Les bétons d'argiles sans ciment
avec Alban Pinel, chercheur à l'INSA Lyon et Guillaume Habert, docteur professeur à l'ETH Zürich
- 12H30 Repas sur place
- 14H00 **Exercice encadré //** « Le test Habert » : boue d'argile et squelette granulaire
- 15H00 **Conférence expérimentale //** Science des grains et des argiles pour la terre coulée
- 16H00 Pause
- 16H30 **Défi expérimental //** Couler et décoffrer un bloc de terre en une heure
- 18H00**
OUVERT
AU PUBLIC
- Conférence « Du béton de ciment au béton d'argile »**
*par Henri Van Damme, physicien,
ancien professeur de l'ESPCI Paris*



Mur en terre coulée lors de la construction d'une cuverie dans le Jura
architecte M.Chevallier



Vue intérieure sur mur en terre coulée de la maison des associations
de la ville de Manom, architecture Mil-lieux

01
JOUR

BRISER LA GLACE

PRÉSENTATION DE LA SEMAINE ET DES PARTICIPANTS

Afin de « briser la glace », les présentations se font sous forme de jeu où chaque participant-e serre la main et salue une personne en se présentant normalement, mais la main est lâchée uniquement lorsqu'une autre est serrée. Se forme alors un joyeux conglomérat.



01
JOUR

WORLD CAFÉ

POURQUOI ET COMMENT COULER LA TERRE ?

« Le World café est un processus créatif qui vise à faciliter le dialogue constructif et le partage de connaissances et d'idées, en vue de créer un réseau d'échanges et d'actions. Ce processus reproduit l'ambiance d'un café dans lequel les participants débattent d'une question ou d'un sujet en petits groupes autour de tables. À intervalles réguliers, les participants changent de table. Un hôte reste à la table et résume la conversation précédente aux nouveaux arrivés. Les conversations en cours sont alors 'fécondées' avec les idées issues des conversations précédentes avec les autres participants. Au terme du processus, les principales idées sont résumées au cours d'une assemblée plénière et les possibilités de suivi sont soumises à discussion » Nikki Stocum (United Nations University – Comparative Regional Integration Studies), fondation roi Baudoin, mars 2006.

Les questions sont écrites sur un papier kraft, sur lequel les participants prennent des notes, rédigent leurs idées et dessinent.

Les participants ont répondu aux quatre questions suivantes :

- Comment couler la terre ?
- Quels sont les freins au développement de la technique de la terre coulée ?
- Pourquoi couler la terre ?
- Quelle éthique pour construire en terre coulée ?



GROUPE 3

- Digue vibrante
- On coule 60/80cm de béton.
- On rentre dedans / on remonte
- Le béton se met en place.
- Présoaique à plat: on met sur 1 plaque vibrante → lisse ou 1 seule fois.
- ⇒ Peut-on lever ensuite si c'est du béton de terre?
- Cadre en béton ciment pour lever.
- Coffrage à mémoire de forme.

Comment couler la terre?

Tout est dans la proportion du mélange.
 Chercher la compacité dans le mélange: sables / graviers / terre.
 Il faut trouver des plastifiants naturels réducteurs d'eau.

Sechage ^{très} beaucoup de temps ⇒ chauffage + soleil à plat.

GROUPE 2. long temps de séchage → on immobilise des coffrages.

- Comment on rigidifie? (béton, notamment tout seul?)
- ⇒ bambou, fibres végétales / perçures / bois métal.
- la question: la ouest est-il structural ou pas?
- ⇒ la manière de couler est-elle différente? tout est coulé horizontalement et relevé? *
- Quantité d'eau: fluidité et granulométrie.
- Coffrage permettant pour éliminer l'humidité dans la masse. J'aimerais du béton.
- + On ne vitre pas pour horizontaliser ou verticaliser.
- Est-ce que cela se coule tout le temps? (changer le PH de la terre / Adjuvant: faire plus rapide + facile de décoffrer)

GROUPE 1 - (LE PERÇAGE)

- Comment la couler dans le coffrage?
- Mélange dans les eaux et verser dans les bacs.
- Couler avec pompe comme le béton.
- Réservoir à la suite des machines.
- Gros entonnoirs + tube simple 300/400 de diamètre.
- Gachets: mûles ou sur des petits bacs.
- Hauteur: 3m max.
- X peut être par que échapper l'eau.
- de mélange de graviers se fait au mélange.
- Propriété d'eau pour couler.

FAIRE UN BETON D'ESSAI
 EPROUVETTE POUR ESSAI RESISTANCE
 TROUVER LE BON TPS DE DECOFFRAGE

Comment couler la terre?

COULE KAGE → PERSPIRANT
 BANCHE
 MATRIE

MACHINE
 ↳ EXTRACTION
 ↳ MELANGE
 ↳ TRANSFERT / POMPAGE
 ↳ ARMOLE VIBRANTE

ARMER OU PAS??
 POUR AUTRES EFFORTS
 QUE CISAILLEMENT

RENDRE LIQUIDE, FLUIDE
 LIMITER LA Q D'EAU
 REFORMULER
 ADSUVANTER
 STABILISER

CHIMIQUE OU PAS!
 CIMENT } MINERAL
 CHAUX }
 SEVE } VEGETAL

01
JOUR

WORLD CAFÉ

RESTITUTION

COMMENT COULER LA TERRE ?

PROBLÉMATIQUES

Le séchage prend beaucoup de temps donc on immobilise les coffrages.

Comment rigidifie-t-on la terre coulée (le béton de ciment fait une prise hydraulique) ?

Le mur est-il structural ? si oui, la manière de couler est-elle différente ? Faut-il couler horizontalement puis relever le mur ?

Est-ce que le mélange coule tout le temps ? Comment couler la terre dans les coffrages ?

RENDRE LIQUIDE

Il faut trouver des plastifiants naturels réducteurs d'eau. On rend liquide en jouant sur la fluidité et la granulométrie. Attention, il faut rendre liquide, fluide tout en limitant la quantité d'eau.

DÉCOFFRER

Coffrage perspirant pour éliminer l'humidité dans la masse. Coffrage à mémoire de forme. Pour décoffrer, on peut chauffer le mur, à plat c'est plus facile.

VIBRER

Vibrer la matière pour qu'elle se mette en place. Il faut vibrer pour faire échapper l'air. À l'aide d'une aiguille vibrante que l'on rentre dans le béton puis que l'on remonte. À l'aide d'une plaque vibrante lorsque l'on préfabrique à plat (le mur est alors lisse sur une seule face). Question : peut-on ensuite lever le mur s'il est réalisé en terre coulée ?

REFORMULER

Tout est dans le mélange, chercher la compacité dans le mélange (sable/gravier/terre). Changer le pH de la terre. Avec des adjuvants la terre peut prendre plus rapidement donc plus facile à décoffrer. Adjuvanter : chimique ou pas ? Stabiliser (chaux, ciment, sève, etc) ?

ARMER

Armer la terre avec du bambou, des fibres végétales, voire du métal ? Armer ou pas (pour les autres efforts que le cisaillement) ?

PROCÉDÉ DE MISE EN ŒUVRE

Mélanger dans des seaux et verser dans les banches. Couler avec une pompe comme le béton. Prévoir des réservoirs à la sortie des malaxeurs. Godets malaxeurs sur pelleteuses. Le mélange des granulats se fait lors du malaxage. Faire un béton d'essai, éprouvette pour essai de résistance mécanique et trouver le bon temps de décoffrage.

Machine/extraction/mélange/transport/pompage/vibrage.

bureau de contrôle / études

Assurances

normes professionnelles / règles
formulation propre à chaque chantier

prop. néca
érosion
résistance
savon où elle est performante

? polyvalence / béton ciment
- technique mise en œuvre
- compatibilité technique
mixe en œuvre
temps de séchage
saison/humidité

ressource locale
↓
transfert de technologie béton
technique "industrielle" → peut être aussi un atout
/ savoir-faire traditionnel
? Autoc construction

Quels sont les freins au développement de la terre cuite ?

Coût

main d'œuvre
faible nb d'ouvriers

- technique peu maîtrisée
ou qui n'a pas été maîtrisée

entreprises
quels secteurs de spécialisation
travaux plus?
/ grands groupes
moyens d'investissement
→ prix de revient

Culturel / image de la terre cuite
- terre = source visible
- autre image = technique ancienne
enseignement / éducation

composition

? nouveauté

existence de la technique

→ communication
valorisation
formation
diplomante

→ approche
des matériaux
matières
écarts d'achats
et autres coûts
à intégrer

↓ maître d'ouvrage
↓ grand public
↓ les corps de métier

Quels sont les freins au développement de la technique de la terre cuite ?

Coût

Coût

Coût

Scaling up question

Assurance
MAK
SINISTRE

techniques marginales

industrialisation
la technique de la terre cuite

Coût
Piscine
réflecteur d'espérance
pas de terre cuite

technique d'attente
technique d'attente
mises à jour de béton

QUELS SONT LES FREINS AU DÉVELOPPEMENT DE LA TECHNIQUE DE LA TERRE COULÉE ?

ASSURANCES

Blocage des bureaux de contrôle et des bureaux d'études car absence de normes (Normes/référentiels/règles professionnelles, DTU, guide de bonnes pratiques, normes matériaux...). Donc problème pour assurer les ouvrages (Maaf, SMABTP...) En l'absence de ces normes, on doit parfois déposer un dossier ATEX B (coût/temps) spécifique par chantier et terre.

MATÉRIAUX

Complexité d'utiliser un matériau, une ressource locale. Il faut faire des formulations/caractérisations pour chaque chantier. Etablir des protocoles d'essai propres à la technique. On connaît peu les propriétés mécaniques (résistance à l'érosion, à la compression, perméabilité du matériau...)

CULTUREL

L'image de la terre est d'un côté pauvre/misérable et de l'autre trop contemporaine, trop chère. De plus, il y a une barrière psychologique car la technique est bâtarde entre terre et ciment. Négative donc aussi bien pour les terrophiles que pour les cimentophiles. Est-ce que la construction en terre veut s'industrialiser à travers cette technique ?

La connaissance sur l'existence de la technique est trop marginale. Il faudrait plus de communication/vulgarisation.

FORMATION

Il y a un faible nombre d'acteurs, de professionnels connaissant cette technique. Elle est peu maîtrisée et par un nombre faible de personnes.

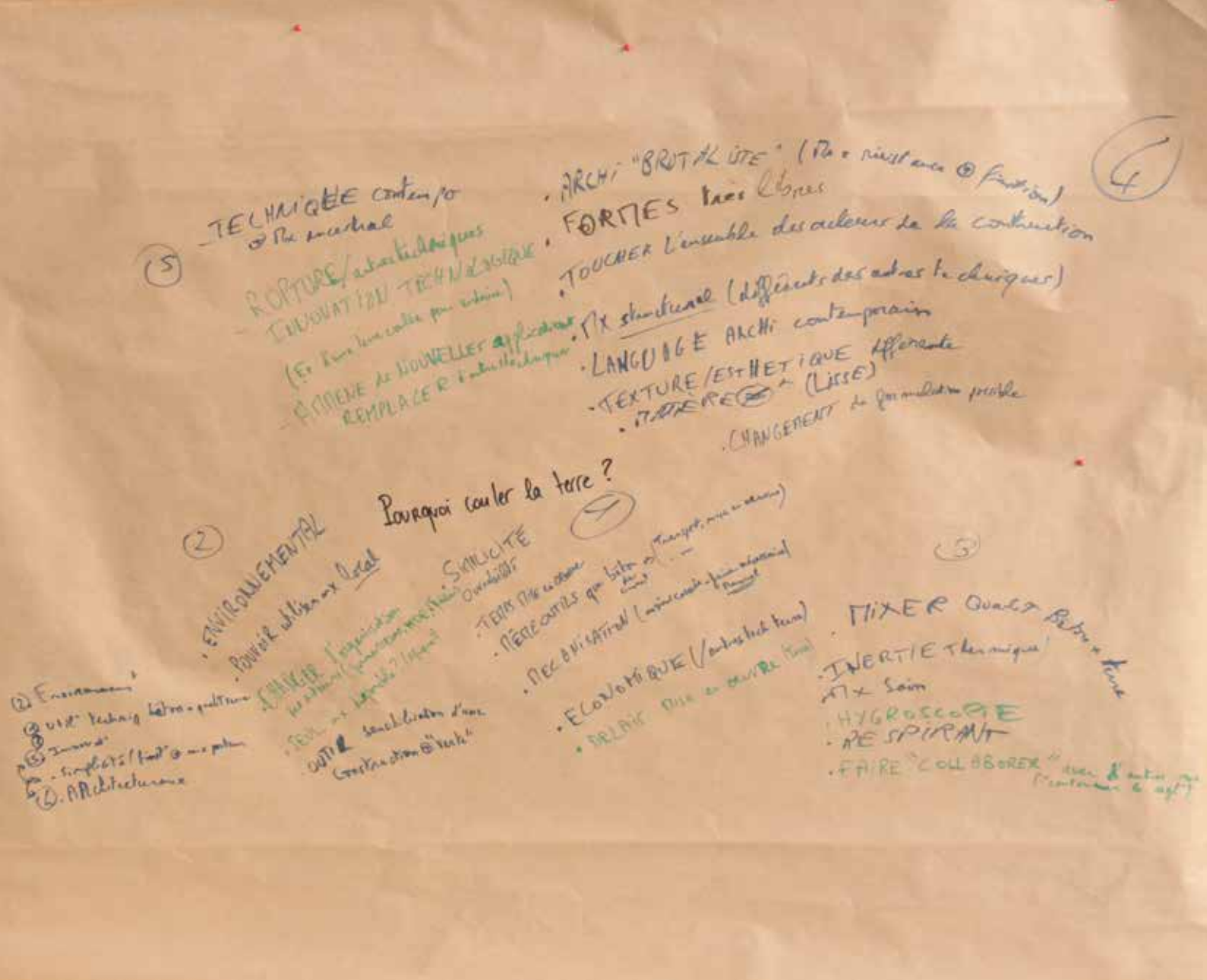
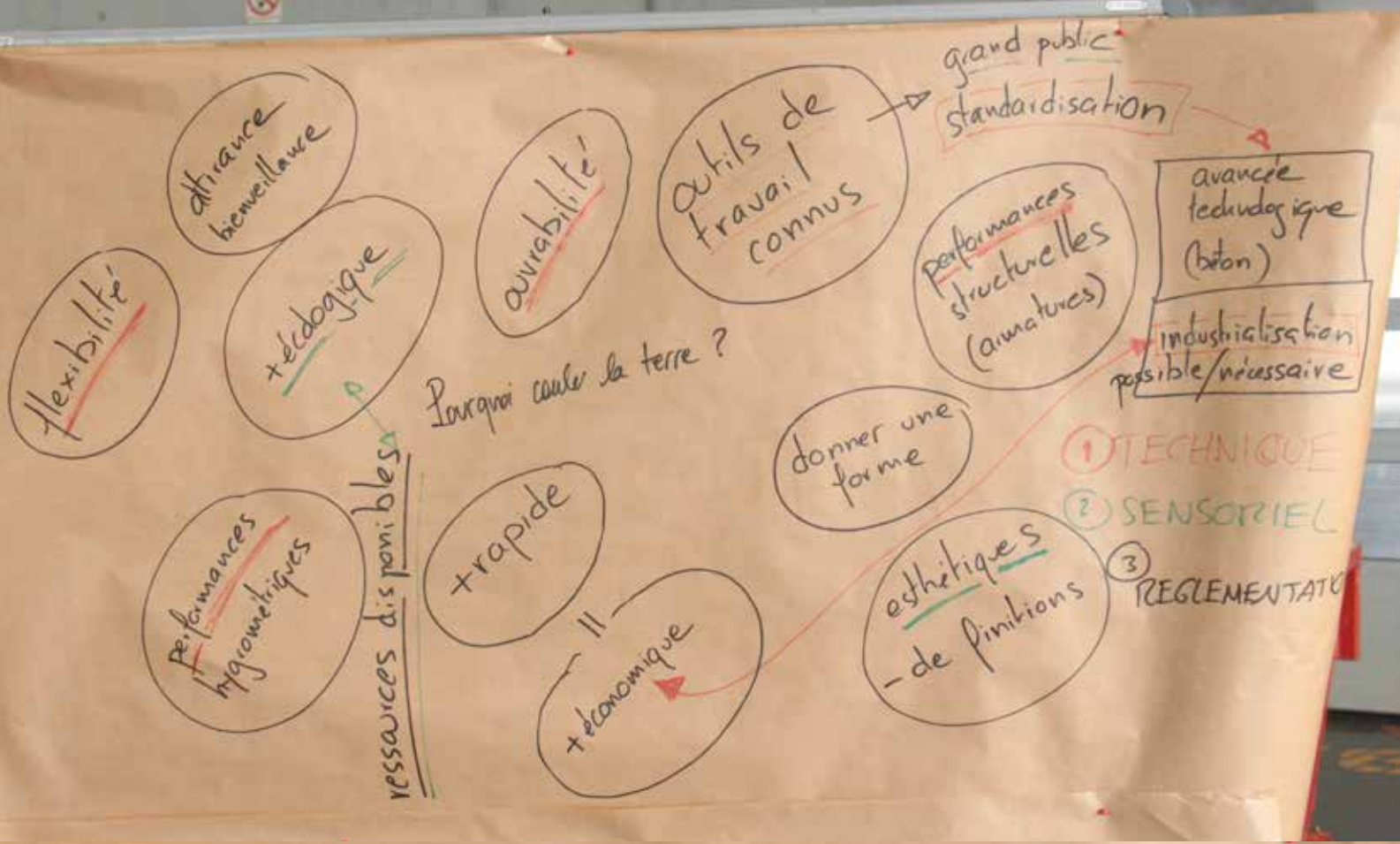
Il faudrait faire monter en compétence les acteurs du bâtiment : enseignement/éducation (MO/Grand public/tous les corps de métiers...). Mettre en place des formations diplômantes.

MISE EN ŒUVRE

La technique demande un temps de séchage important pour le bâtiment. Les possibilités de construire sont réduites par rapport aux saisons, à l'humidité. C'est complexe à mettre en œuvre. Quelle est l'adaptabilité de cette technique ?

C'est une technique marginale qui a donc un coût élevé. On a peu de retours d'expériences. Mais transfert de technologie avec le béton possible.

Pour les entreprises = quelle valeur ajoutée économique ? Pour les grands groupes = moyen d'investissement – prise de risque ?



01
JOUR

WORLD CAFÉ

RESTITUTION

POURQUOI COULER LA TERRE ?

MISE EN ŒUVRE

Le temps de mise en œuvre est assez rapide, on gagne en ouvrabilité par rapport à d'autres techniques de construction en terre. On utilise les mêmes outils que le béton (transfert de technologie avec le béton de ciment...), ce sont des outils de travail connus, la mise en œuvre gagne donc en reproductibilité.

La terre coulée permet la mécanisation.

On peut imaginer une standardisation possible et avec des avancées technologiques = industrialisation possible/nécessaire ?

Le temps de mise en œuvre est plus rapide donc plus économique que les autres techniques de construction en terre crue porteuse.

ENVIRONNEMENTAL

C'est plus écologique que le béton de ciment.

On peut optimiser l'utilisation de ressources locales disponibles. La terre est parfois la seule ressource disponible.

C'est un moyen pour sensibiliser à la construction écologique.

MATÉRIAUX

La construction en terre permet, en général, d'atteindre de bonnes performances pour la régulation hygrothermique. La terre coulée peut apporter une bonne inertie.

C'est un matériau sain, hygroscopique et perspirant. L'argile est une matière que l'on peut mixer, faire collaborer avec d'autres matières.

TECHNIQUES

C'est une technique contemporaine/ancestrale. Il y a une rupture par rapport aux autres techniques de construction en terre crue.

C'est une innovation technologique. La terre coulée apporte, ouvre à de nouvelles applications.

ARCHITECTURE

Architecture brutaliste. Les formes peuvent être très libres. Le langage architectural peut être contemporain. Cette technique permet de toucher tous les acteurs de la construction. Il y a une texture, une esthétique, des finitions particulières.

Le matériau forme la structure (comme le pisé ou le béton de ciment banché).

URGENCE
REGLES / NORMES

pourquoi il y a du ciment
- diffusion
- les ministres récaupés

CADRE REGLEMENTAIRE
légis & dirige.
→ règles pro- diffuser la qualité
→ le M... → industrial.
→ Changer & ouvrir de
SAVOIR

La terre en elle-même
n'a pas de plus grande
éthique que celle qui
la construit sans rapport à
l'individu.
→ Qualité de
Stabilité de
CARRÉFOUR
Entre
méthode & technique

TC → Diffusion massive de la terre en
dans la construction.
→ et des atouts de matériaux
normes
éc.

on travaille pour qui
les gens ou les petits?

Technique Trad
petite. échelle / action
TC.
→ indus
Ethique ← Effet / ...

accès à tous.
Ces gens → développer des notions
facilités de leur
habitat.

Quelle éthique pour construire
en terre cuite ?

Prix & versions éthique
→ toutes
absolues.
uniformisation / dénormation
→ uniformité

→ les techniques
→ les matériaux

→ valeur
éthique
→ valeur
éthique

- La main d'œuvre crée la TC sur le
territoire.
- Quand on construit → on s'inscrit un
dir.

→ norme
locale → main d'œuvre
locale +

- Qu'est-ce que l'Éthique?

ÉTHIQUE CONSTRUC EN TERRE CUIE ?
ou " EN TERRE CUIE ?

TERRE CUIE → INDUSTRIEL
UTILISATION DU CIMENT → CONTRADICTION

LA MAIN D'ŒUVRE + TC → affecter la
prix.

→ uniformisation avec la TC.
- peut-on faire de la TC à l'échelle
local

Quelle éthique pour construire en
terre cuite ?

→ impact positif
supérieur
→ impact négatif
→ impact positif
supérieur

- Cadre de Valeur
→ bilan carbone le plus bas.
→ Terre cuite et industriel.
et Adéquation. (mes !)

→ Impact énergétique.
→ Affaiblissement du ciment.
→ Normes techniques pro

→ impact positif
supérieur / coût en baisse
→ impact négatif
supérieur

→ le double les plumes.
→ les plus → construction / durée de vie du bat / déconstruction.
→ pour compenser avec les / adéquation
le transport.

→ Evaluation fine de détails / quel chantier.
→ Généralisation de matériaux
→ grande pression
→ Ouvre à tout le monde de terre cuite # éthique.
→ plus écologique et économique que conventionnel.

- Impact moins le plus bas.
- Terre et industriel
- Pas de Norme.
- Démocratisation / utilisable par tous
- Cycle fermé construction / durée
de vie du bat / déconstruction.

QUELLE ÉTHIQUE POUR CONSTRUIRE EN TERRE COULÉE ?

DÉMOCRATISATION VS STANDARDISATION

La terre coulée permet une vulgarisation, une démocratisation de la construction en terre crue. C'est une technique accessible à tous et utilisable par tous. La terre coulée permet une diffusion massive de la terre crue dans la construction. Il faut une démocratisation des matériaux en terre. Il faut ouvrir à tout le monde la construction en terre qui est encore trop élitiste. Cette démocratisation passe par l'industrialisation (?) et donc vers l'uniformisation de la construction en terre. Il ne faut pas de norme, il ne faut pas normer la construction en terre.

TERRE COULÉE ET STABILISATION AU CIMENT

La terre coulée stabilisée n'a pas de plus-value éthique par rapport à la construction en terre stabilisée. Attention, le prix peut aller contre l'éthique car on rend abordable en mettant du ciment dedans. L'utilisation du ciment est contradictoire avec la terre crue. La construction en terre crue doit se faire sans ciment. Pourquoi il y a du ciment dans la terre coulée : pour décoffrer plus vite et pour augmenter la résistance mécanique. L'éthique dépend de la quantité de stabilisant hydraulique que l'on met dans la terre. C'est un compromis entre la quantité de terre utilisée, la quantité de ciment ou d'adjuvant et la quantité de matière transportée.

INDUSTRIALISATION

Les techniques traditionnelles sont bien adaptées aux petites entreprises et aux artisans, par contre la terre coulée est une voie vers l'industrialisation, veut-on avoir l'éthique de Eiffage ? On travaille pour qui : les grands ou les petits ?
Les règles professionnelles/les normes : les règles pro définissent la qualité. Il faut arriver à garantir les processus/qualité.
Filières courtes : cycle fermé – construction/durée de vie du bâtiment. Revalorisation des terres de déblais et des gros chantiers.
Economie circulaire. Circuit court.

TERRE COULÉE ET MAIN D'ŒUVRE

La terre coulée permet de développer des métiers hautement qualifiés. Facilitation de travail par la mécanisation et des outils plus adaptés. C'est une technique qui utilise une main d'œuvre sur le territoire. La main d'œuvre est moins importante pour la terre coulée que pour le pisé. Il faut remplacer le coût du matériaux par le coût mise en œuvre.

QU'EST-CE QUE L'ÉTHIQUE ?

Urgence d'avoir des règles/des normes car le cadre réglementaire peut définir l'éthique.

L'éthique, c'est mettre en ordre des valeurs comme :

- Bilan carbone le plus bas
- Impact énergétique faible/Impact environnemental le plus bas
- Affranchissement du ciment ou réduction du ciment
- Normes pro/règles pro ou absence de norme
- La main d'œuvre est locale
- Les ressources sont locales
- Plus écologique et économique que le conventionnel
- Slow building
- Créativité collective



01
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

« TEST HABERT »

BOUE D'ARGILE ET SQUELETTE GRANULAIRE

MOTS CLÉS : grains, liants, teneur en eau, mise en œuvre, consistance, bétons d'argile

ENONCÉ

Exploration de l'influence de la teneur en eau et de la proportion de grains dans un mortier de terre coulée.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Prendre conscience que le comportement d'un matériau varie en fonction des matières qui le composent.

Appréhender les concepts de formulation d'un mortier de terre pour une mise en œuvre à l'état fluide.

Travailler en équipe en vue d'une réalisation collective.

Appréhender le concept de seuil de viscosité.

Chercher le minimum d'eau pour un maximum de fluidité.

Chercher le maximum de sable et d'argile dans la pâte pour un écoulement maximal.

Être capable de citer les différentes classes d'affaissement d'un béton (S1,S2,S3,S4).

DURÉE : 1h

DESCRIPTIF

Les participants réalisent plusieurs mortiers constitués d'agrégats mélangés à une pâte argileuse (fines argileuses et eau). On obtient ainsi un mortier de terre modèle dont on maîtrise la composition.

En faisant varier la proportion d'eau dans la pâte argileuse et la quantité d'agrégats, les participants réalisent au total 16 mortiers différents.

Chaque mortier est versé dans une case de la matrice afin d'observer sa consistance et déterminer s'il conviendrait pour la technique de la terre coulée.

CONTENUS

Composants d'un mortier et leur fonction (squelette granulaire, liant).

Phénomènes liés au comportement d'un mortier (étalement, ségrégation, fissuration au séchage, etc.).

Mise en œuvre par coulage (coffrages, aiguilles vibrantes, cône d'Abrahms).

BIBLIOGRAPHIE

Anger, R. (2011). Approche granulaire et colloïdale du matériau terre pour la construction, Thèse de l'INSA Lyon (pp. 53 à 76).

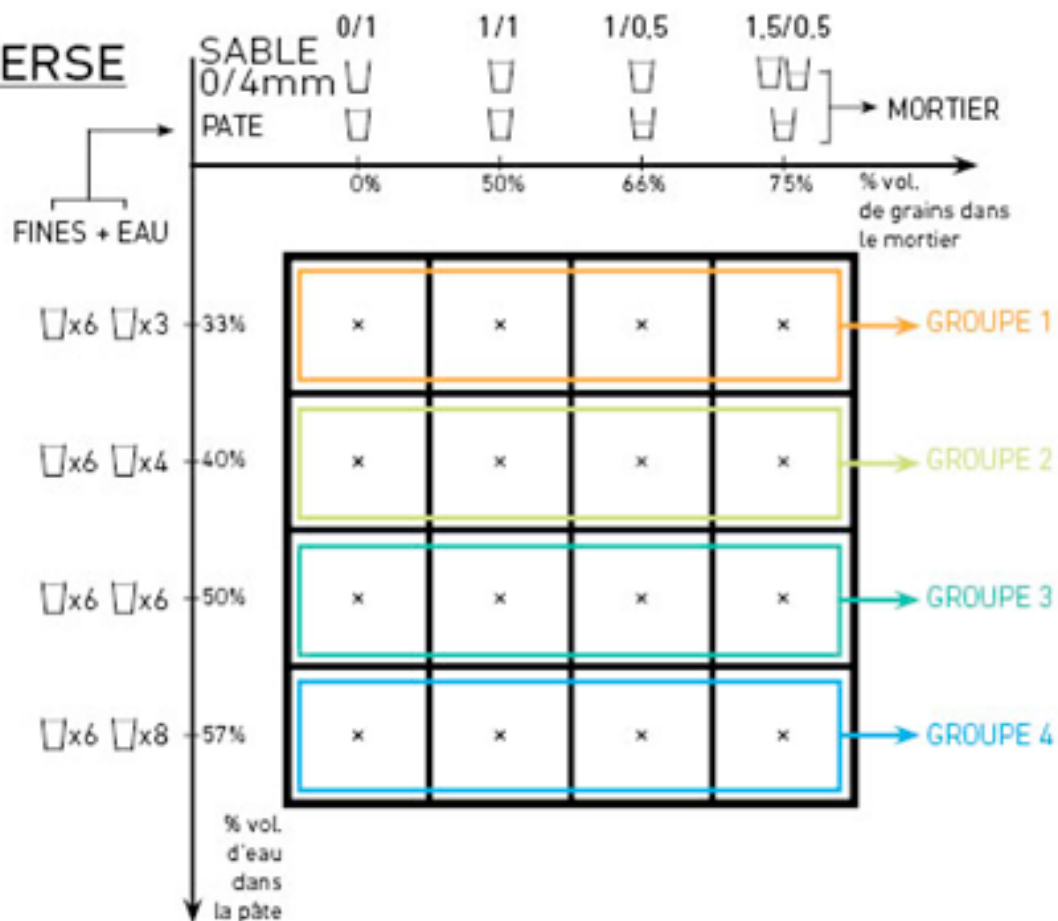
Projet Béton d'Argile Environnementale (B.A.E), Rapport final (2013). Programme C2D2.

Anger, R., Fontaine, L. (2009). Bâtir en Terre, du grain de sable à l'architecture, Belin

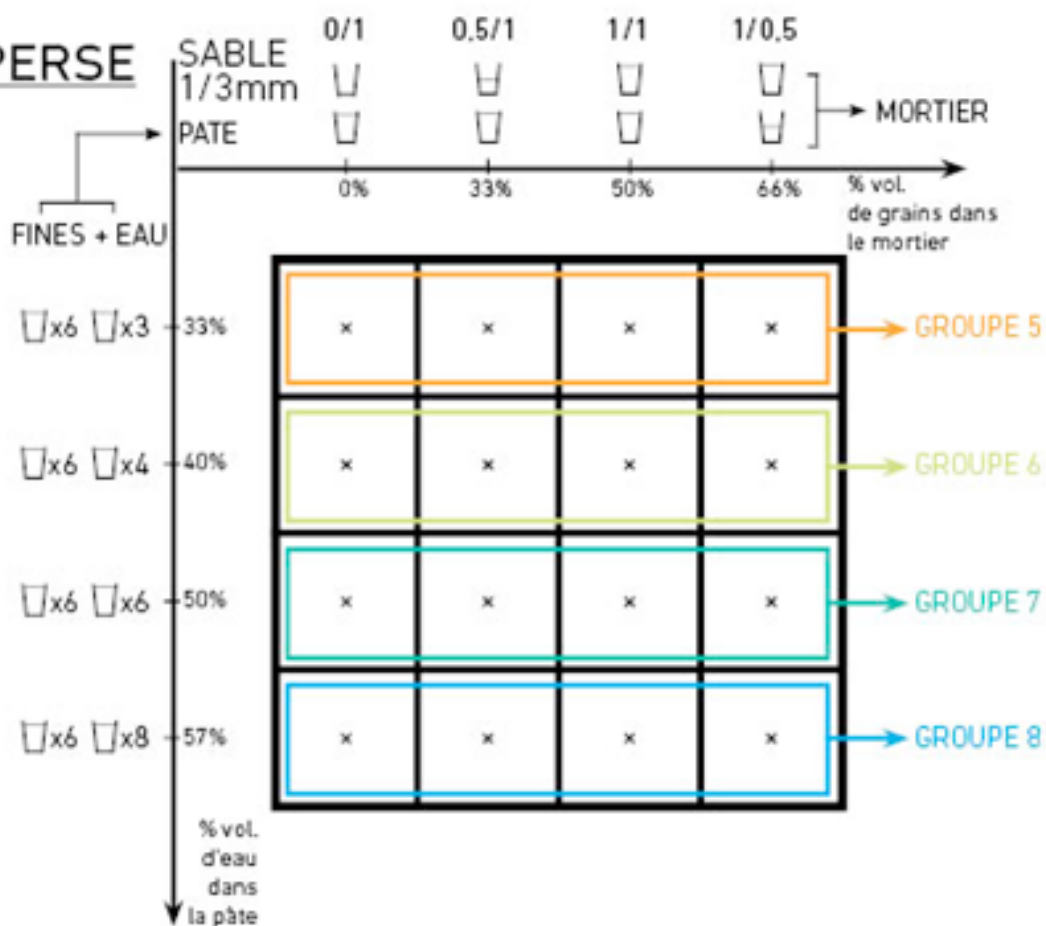
www.amaco.org

Manips (matière en grains, matière liante, matière eau, matière molle)

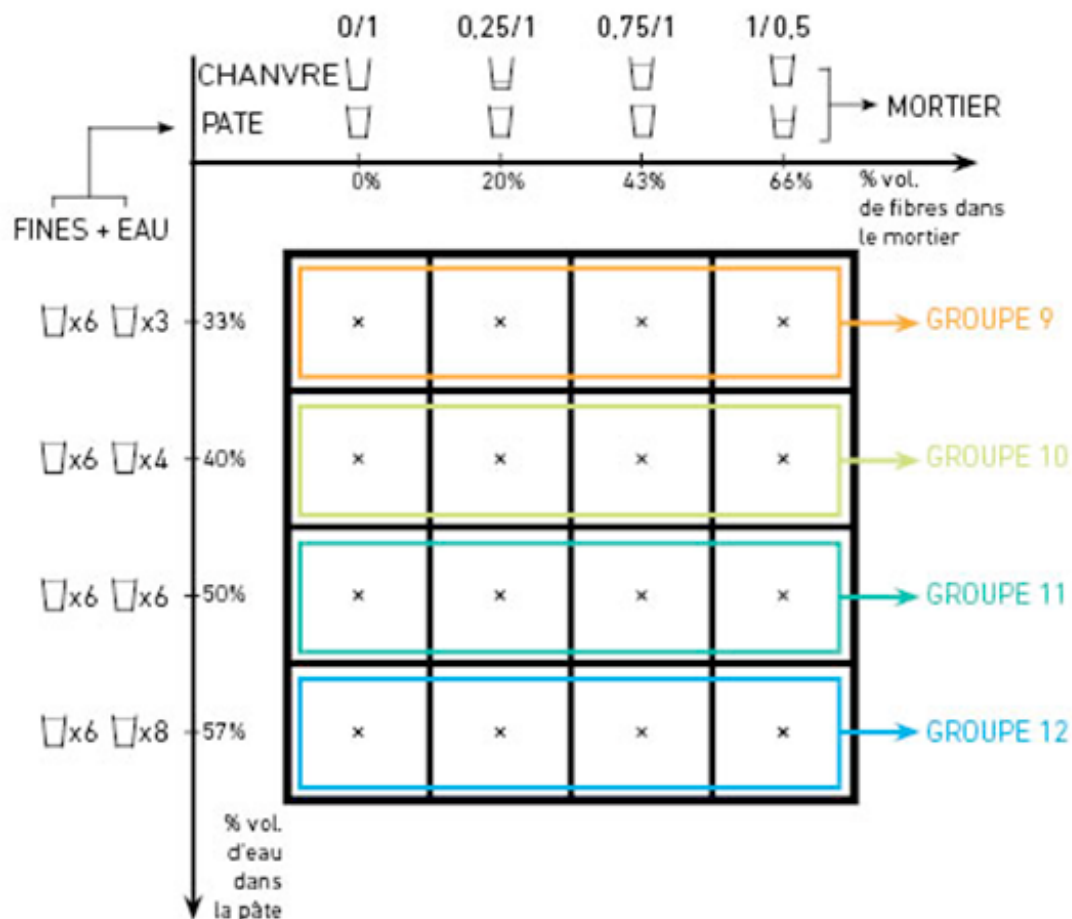
SABLE POLYDISPERSE



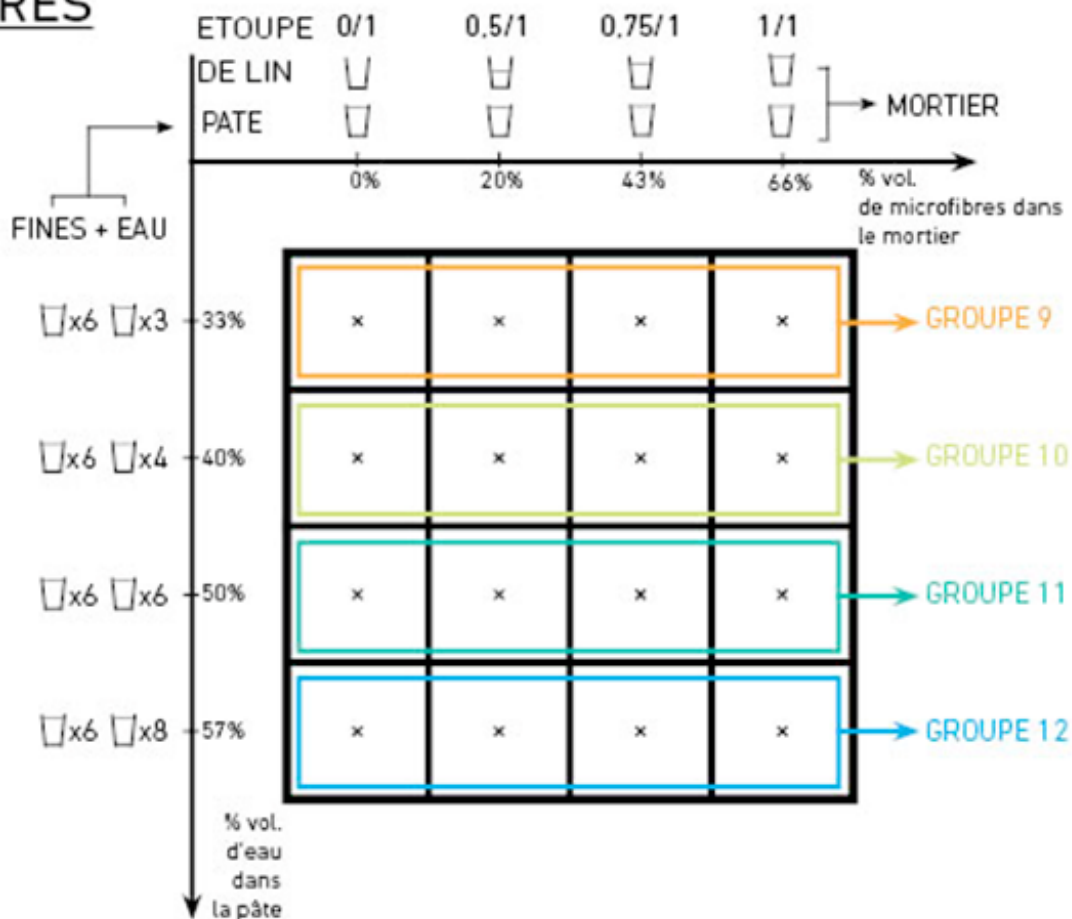
SABLE MONODISPERSE

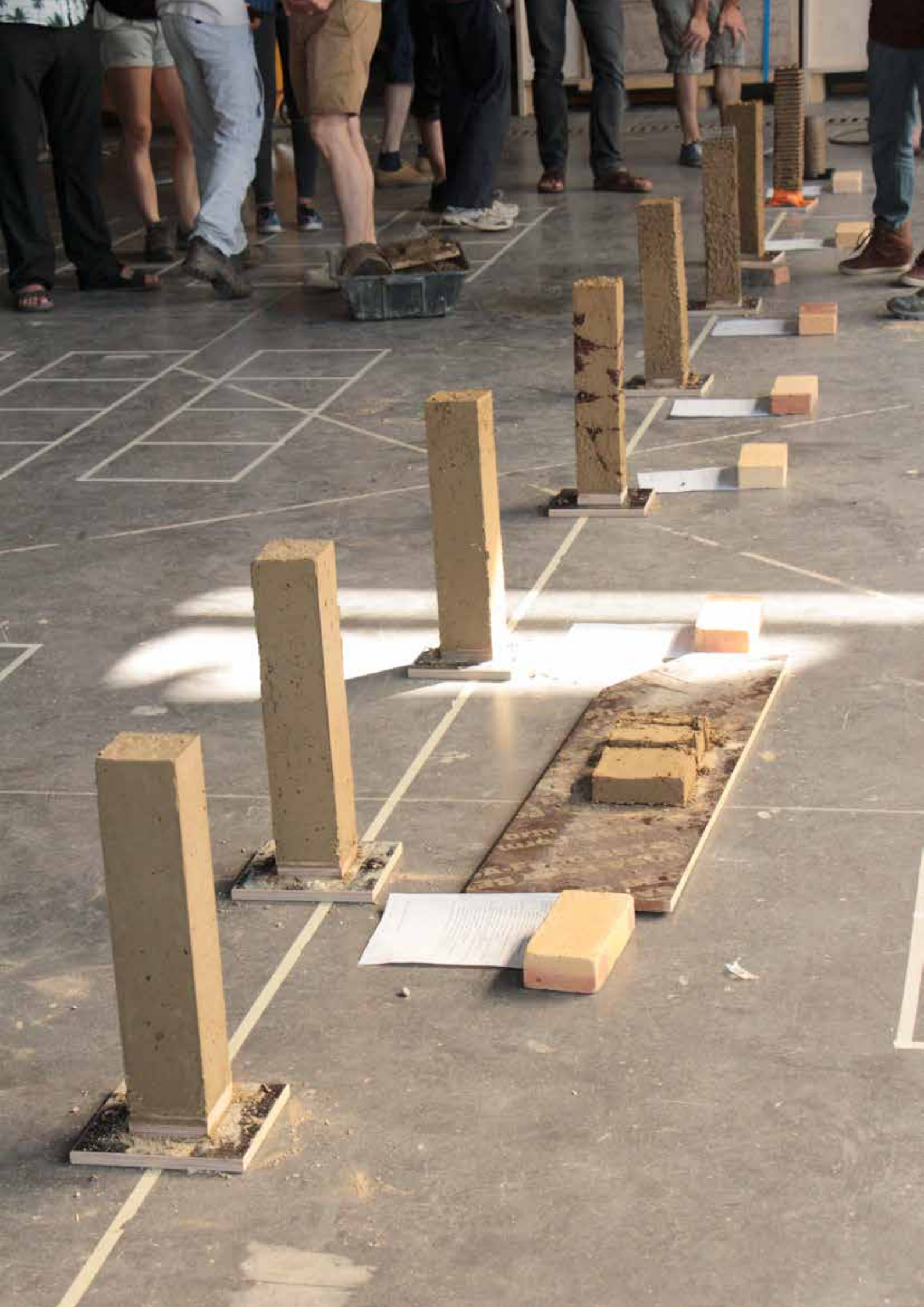


FIBRES



MICROFIBRES





01
JOUR

DÉFI EXPÉRIMENTAL

COULER ET DÉCOFFRER UN BLOC DE TERRE

UNE HEURE POUR COULER ET DÉCOFFRER

MOTS CLÉS : terre coulée, coulage, décoffrage

INTITULÉ

Sous forme de défi, les participants décoffrent, après 1 h, un bloc de terre coulée sans qu'il n'y ait d'affaissement. Dans un premier temps, ils coulent un bloc de terre en une heure, dans des coffrages de dimensions identiques, avec un mélange ayant la même viscosité. Les participants s'inscrivent dans un tableau orientant vers différents types de tests/essais.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Être en mesure d'avoir une vision d'ensemble des différentes possibilités pour durcir un béton rapidement.

Expliquer la problématique du décoffrage rapide pour la technique de la terre coulée.

Décrire les paramètres importants qui favorisent un décoffrage rapide.

Connaître les 4 grandes familles de solidification possible des bétons d'argile.

DURÉE : 1h30

DESCRIPTIF

Par groupe de 4 (soit 10 groupes) les participant-e-s ont réalisé un ou plusieurs échantillons de terre coulée (dans des coffrages 10 x 10 x 50 cm). Ils ont à disposition une terre (terre à pisé) et les mêmes granulats (sable à béton) qu'ils peuvent utiliser dans des proportions différentes (une formulation de base leur sera donnée). Une bibliothèque de matériaux est aussi disponible pour potentiellement amender la terre coulée (chaux, ciment, prompt, dispersant, sable sec, armature, fibre, papier...) et aussi du petit matériel (truelle, aiguille, marteau...).

- 10 min : objectifs, consignes, outils/matériaux disponibles et choix de l'expérimentation dans le tableau.

- 40 min : expérimentations par groupe avec l'accompagnement des encadrants.

- 20 min : restitution collective, une personne de chaque groupe présente en 1 min la méthode de travail, d'organisation et de recherche ainsi que les résultats et les questionnements soulevés par l'expérimentation (fiche type avec les différents critères ci-dessous). Une formalisation des savoirs est effectuée par les formateurs sur les 5 dernières minutes de la restitution.

- 20 min : nettoyage.

CONTENUS

Familles de solidification possibles des bétons d'argile :

- liants hydrauliques (chaux, ciment, plâtre).

- absorption de l'eau et évaporation.

- maintenir le béton avec un coffrage perdu, une armature.

- gélifier/coaguler les argiles.

BIBLIOGRAPHIE

Béton d'Argile Environnemental BAE, Rapport Final, 2013

Rapport de Stage, Elisabetta Carnevale, amàco www.amaco.org

01
JOUR

DÉFI EXPÉRIMENTAL

COULER ET DÉCOFFRER UN BLOC DE TERRE

PISTES DE RECHERCHES POUR FACILITER LE DÉCOFFRAGE

Famille	Sous famille	Matériaux
<i>liants hydrauliques</i>	ciment	ciment 32.5 ciment 52.5 ciment Prompt
	chaux	vive aérienne hydraulique NHL 2
	plâtre	plâtre gros plâtre de moulage
<i>absorption/évaporation de l'eau</i>	coffrages absorbants	briques plâtrières coffrage plâtre
	granulats absorbants	pouzzolane
	coffrages perspirants	terre cuite pilée
<i>maintenir la terre coulée</i>	coffrage perdu	coffrage ajouré (grille)
	armature	ossature bois + canisse cerclage échelle horizontale
<i>gélifiant/coagulant</i>	gélifiant	
	coagulant	



Phase de décoffrage 12h après les coulages des différents échantillons

01
JOUR

DÉFI EXPÉRIMENTAL

COULER ET DÉCOFFRER UN BLOC DE TERRE

RÉSULTATS



Coffrage perdu en cannisses



Chainages en anneaux circulaires



Coffrage absorbant en béton cellulaire



Coffrage perdu en grille



Chainage en échelle bois



Grains absorbants



Terre stabilisée au ciment



02
JOUR

LES DALLES

BÉTONS HORIZONTALS NON-PORTEURS

- 08H30 Accueil des participants
- 09H00 Introduction et présentation de la journée
- 09H15 Travaux et recherches des participants // 6 minutes pour partager son expérience
- 10H15 Exercice encadré // Comment couler liquide sans ajouter d'eau et éviter les fissurations ?
- 11H00 Pause café
- 11H30 Conférence expérimentale // Importance de l'eau et mécanismes de dispersion des boues d'argiles et des liants hydrauliques
- 12H15 Retour d'expériences // Exemples de réalisation en terre coulée : murs porteurs, dalles, remplissage, chantiers pilotes... avec Martin Pointet, Bureau d'études Terre et amàco
- 13H00 Repas sur place
- 14H30 Atelier créatif // Quelles dalles pour quels usages ? Formulations et mise en œuvre de la terre coulée en vue de réaliser des prototypes de dalles.
- 17H30 Pause
- 18H00
OUVERT
AU PUBLIC
- Conférence « Dispersant et super-plastifiant »
par Romain Anger, docteur ingénieur matériaux, directeur pédagogique et scientifique au centre de recherche et d'expérimentation amàco



Réalisation d'une dalle en terre coulée à l'aide d'une règle vibrante



Dalle en terre coulée finition avec l'incorporation d'un chauffage au sol



02
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

DISPENSER LA TERRE

COULER LIQUIDE SANS AJOUTER D'EAU ET ÉVITER LES FISSURATIONS

MOTS CLÉS : terre coulée, dispersant, ouvrabilité, pH, salinité

INTITULÉ

Explorer l'influence de certains paramètres (pH, salinité, adjuvants naturels...) sur la dispersion de la terre crue.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Prendre conscience qu'il existe de nombreuses manières de disperser la terre.

Appréhender l'optimum de dispersant (physique et économique).

Observer que chaque terre réagit différemment.

DURÉE : 1h

DESCRIPTIF

Il est possible de modifier la fluidité d'un mortier sans changer la quantité d'eau. Il s'agit de jouer sur d'autres paramètres comme le pH, la salinité ou encore l'ajout d'adjuvants naturels. Les participants observent l'influence de ces différents paramètres sur la dispersion de différents types de terre. Il n'existe pas de recette pour la dispersion, notamment dans le cas des adjuvants organiques. En effet, suivant leur composition, les terres peuvent se comporter de façons très différentes.

Les participants réalisent différents mélanges en changeant divers paramètres puis effectuent des tests d'étalement afin de comparer leur fluidité.

- 15 min : énoncé
- 20 min : réalisation du test
- 15 min : restitution en groupe

CONTENUS

Voir manuel pédagogique « Disperser la terre » en pièce jointe

BIBLIOGRAPHIE

www.amaco.org

Béton d'Argile Environnemental BAE, Rapport Final, 2013

Anger, R., Fontaine, L. (2009). Bâtir en Terre, du grain de sable à l'architecture, Belin

02
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

DISPERSER LA TERRE

RESULTATS – ARGILES DE LA TERRE DE COMELLE

	100 ml eau 28 % en eau	125 ml eau 35 % en eau	150 ml eau 43 % en eau	175 ml eau 50 % en eau
Teneur en eau 350g terre				

	0g de HMP 0 % de HMP	0,10g HMP 0,03 % de HMP	0,30g HMP 0,09 % de HMP	1,0g HMP 0,3 % de HMP
Teneur en HMP 350g terre 100ml eau				

	0g de soude 0 % de soude	5,5g de soude/L 0,16 % de soude	10g de soude/L 0,30 % de soude	12g de soude/L 0,35 % de soude
Teneur en soude 350g terre 100ml eau				

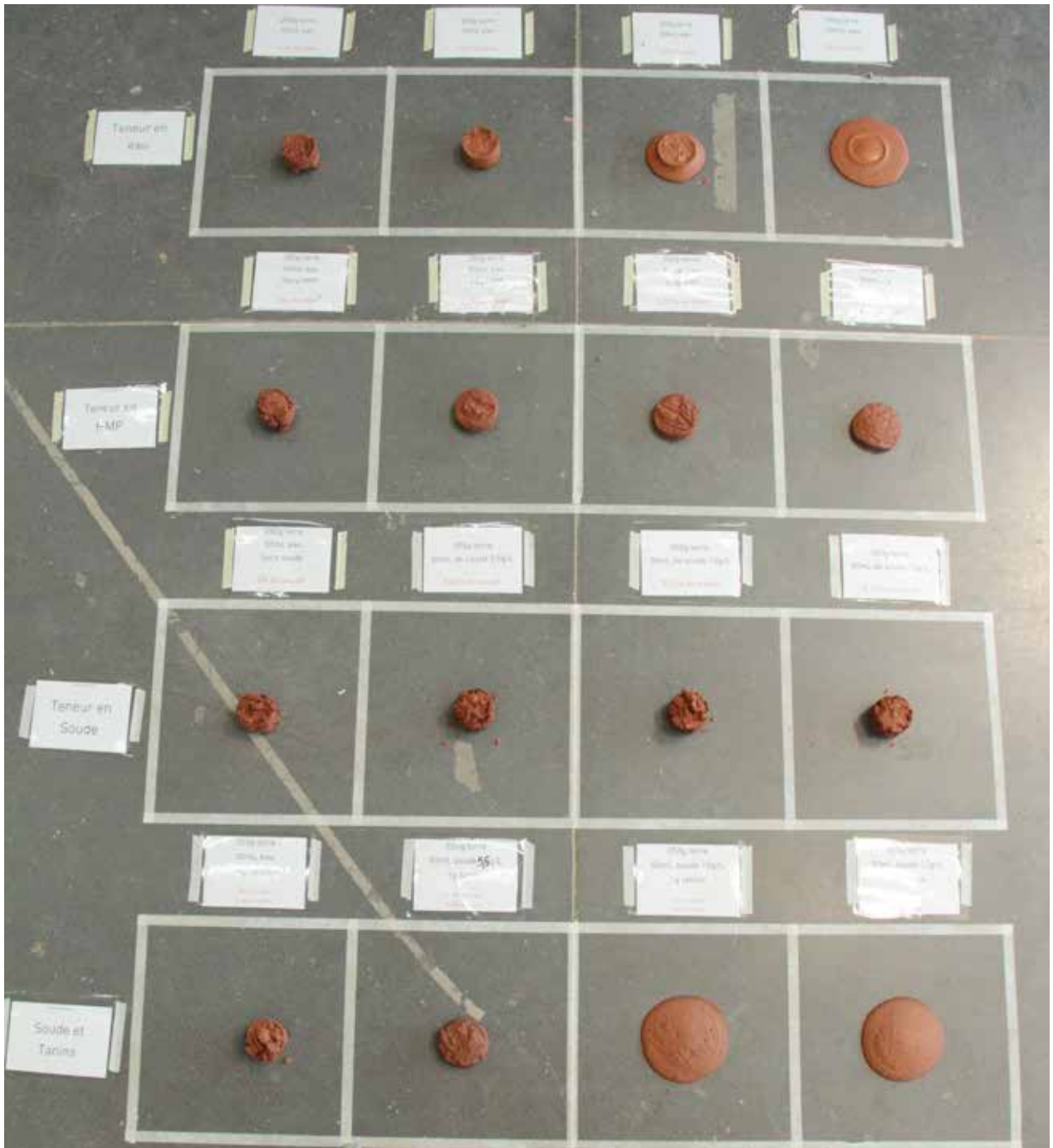
	0g de soude/l 0 % de soude 0,30 % de tanins	5,5g de soude/l 0,16 % de soude 0,30 % de tanins	10g de soude/l 0,30 % de soude 0,30 % de tanins	12g de soude/l 0,35 % de soude 0,30 % de tanins
Teneur en soude et tanins 350g terre 100ml eau 1g de tanins				

02
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

DISPERSER LA TERRE

RESULTATS - ARGILES DE LA TERRE DU ROYANS



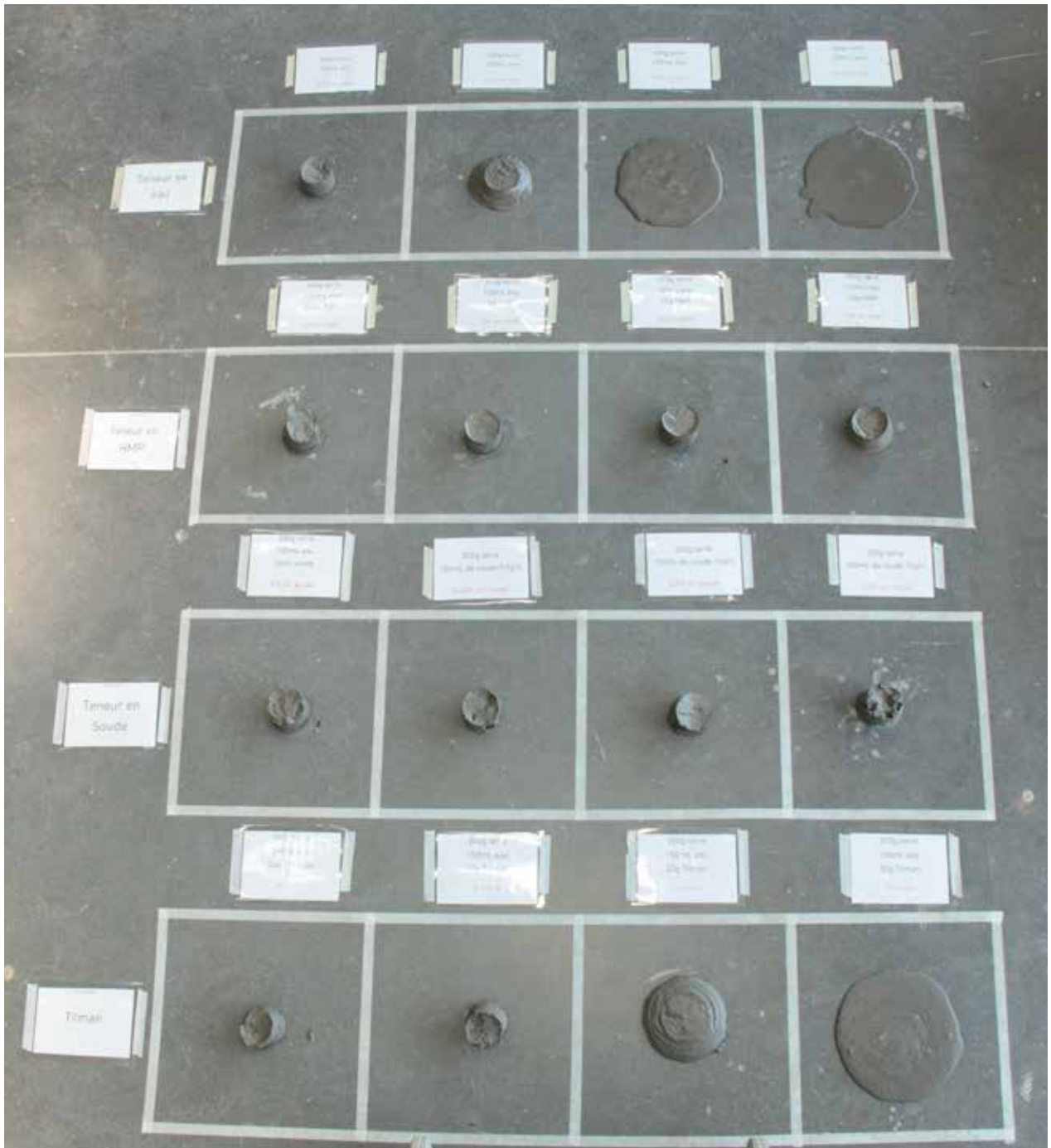
Teneur en soude et tanins

02
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

DISPERSER LA TERRE

RESULTATS - ARGILES DE LA TERRE DE BIGANOS



Teneur en soude et tanins

ATELIER CRÉATIF

QUELLES DALLES POUR QUELS USAGES ?

PROTOTYPES DE DALLES : FORMULATIONS ET MISE EN ŒUVRE

MOTS CLÉS : dalle en terre, coulée à l'horizontale, formulation

INTITULÉ

Formulation et mise en œuvre de la terre coulée en vue de réaliser des prototypes de dalle.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Être en mesure d'avoir une vision d'ensemble des différentes possibilités de réalisation des dalles en terre coulée.

Être capable de décrire les potentiels et limites de cette technique adaptée aux dalles (mise en œuvre, temps de séchage).

Être en mesure d'expliquer la problématique de la formulation avec l'effet de l'eau, des dispersants et des granulats.

Être capable de décrire les différents types (variétés) de dalles et leurs potentiels usages.

DURÉE : 3h

DESCRIPTIF

Les participants coulent une dalle de 1 m² (épaisseur à définir), avec ce qu'ils ont à disposition. Suite au brainstorming, il est possible de réaliser des dalles en terre coulée suivant différentes techniques : autoplaçante, béton gras tiré à la règle et béton sec taloché, dalle allégée, etc. Les participants utilisent différents outils (taloche, règle, règle vibrante, aiguille) et types de malaxage. Les participants ont une même terre de base qu'ils modifient avec les matières disponibles.

- 35 min : brainstorming. Lors de ce brainstorming, les formateurs aident les participants à faire ressortir le plus possible de types de dalles. Dans une deuxième phase, les participants sélectionnent 4 types de dalles (dalle auto-plaçante, dalle béton sec, dalle isolante, chape). Par sous-groupe de 10, les participants proposent pour chaque type de dalle des solutions techniques ou pratiques de formulation et/ou de mise en œuvre.

- 1 h 30 : essais et expérimentations. Chaque groupe se scinde en deux pour mener deux expérimentations sur le type de dalle et la technique choisie. Les groupes s'organisent pour choisir leurs matériaux parmi ceux disponibles, pour faire leur plan d'expérience et des essais et finir par la réalisation d'un échantillon de 1 m² sur un support qui leur est fourni. Le rôle des encadrants est de guider/aiguiller les participants vers des solutions réalisables en 1 h 30.

- 20 min : restitution collective. Une personne de chaque groupe présente en 2 min la méthode de travail, d'organisation et de recherche ainsi que les résultats et les questionnements soulevés par l'expérimentation (fiche type avec les différents critères ci-dessus). Demander aux participants de faire un pronostic sur le séchage et résultat visé : est-il/va-t-il être atteint ? Les encadrants prennent la parole pour faire ressortir les paramètres importants visibles lors de ces expérimentations.

CONTENUS

Gestes de mise en œuvre, fonctions et usages des dalles

Approche des dispersants et empilement granulaire

BIBLIOGRAPHIE

Béton d'Argile Environnemental, BAE, Rapport Final, 2013

Document Formation Dalle, Terre Coulée, Amàco

www.amaco.org

02
JOUR

ATELIER CRÉATIF

QUELLES DALLES POUR QUELS USAGES ?

ESSAIS ET MISE EN ŒUVRE



Préparation des mélanges dans des bacs à gâcher ou au malaxeur planétaire



Mise en oeuvre des mélanges tirés à la règle ou simplement déversés et coulés suivant la plasticité de la composition.



Les dalles sont talochées, lissées ou vibrées afin d'obtenir le parement souhaité.

02
JOUR

ATELIER CRÉATIF

QUELLES DALLES POUR QUELS USAGES ?

RÉSULTATS



Dalle talochée (S2), mise en œuvre en 2 couches



Dalle talochée monocouche (S2), finition éponge à sec



Dalle auto-plaçante (S4), composition sableuse + dispersant



Dalle allégée (S2), avec une couche d'isolation phonique



Dalle allégée avec pouzzolane + finition enduit micro-fibré

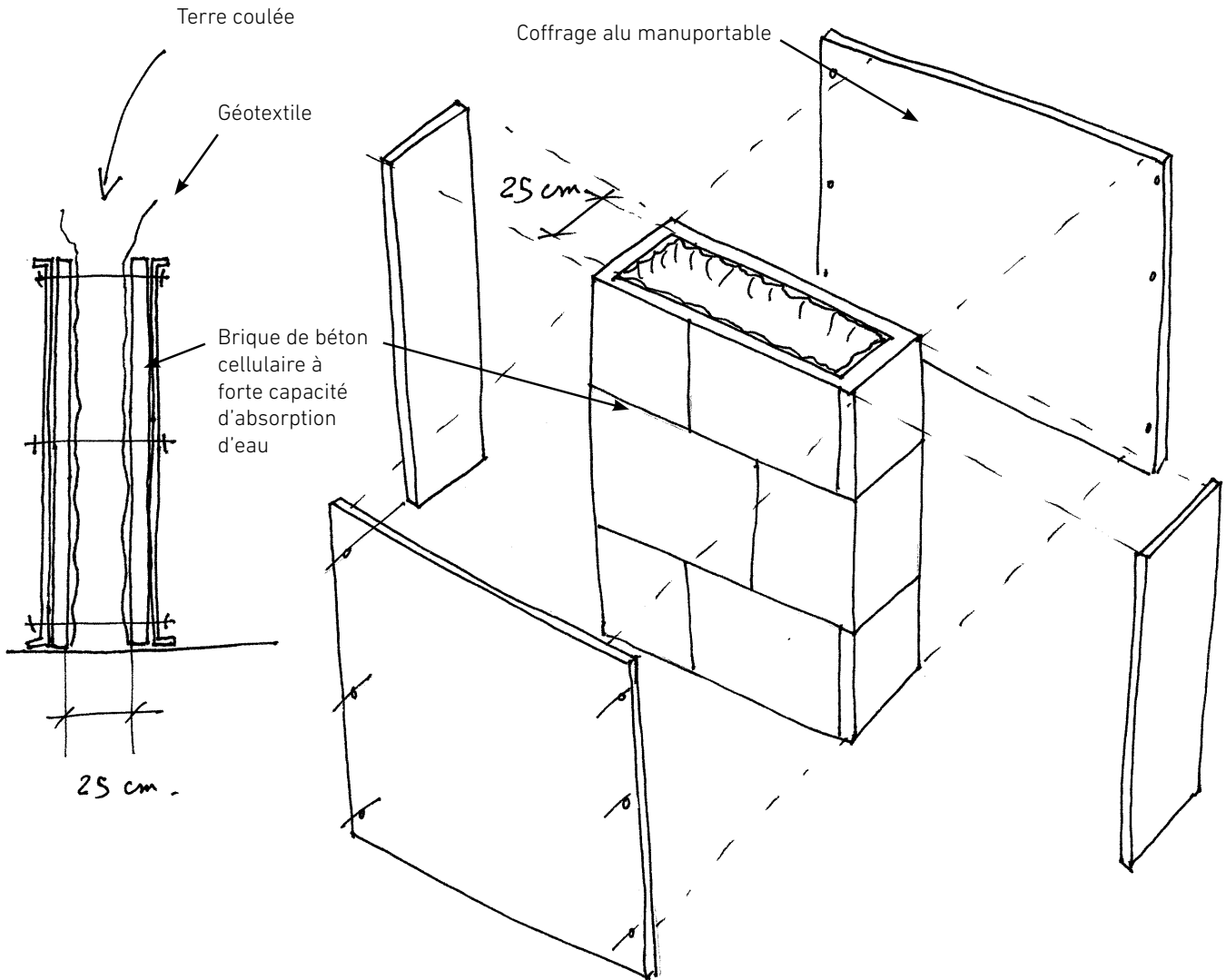


Chappe vibrée, autoplaçante (S4)

02
JOUR

EXPERIMENTATION ÉCHELLE 1

MUR COULÉ DANS UN COFFRAGE ABSORBANT



Le géotextile permet d'éviter l'adhésion de la terre coulée sur les briques de béton cellulaire.

La terre est coulée dans un état visqueux (S2/S3) puis vibrée à l'aide d'une aiguille vibrante.



Le coffrage absorbant en briques est installé dans un premier temps, puis les coffrages alu sont positionnés et fixés autour. Des essais de malaxage sont réalisés dans une pompe à béton afin de faciliter le transport et coulage de la terre dans les coffrages. Mais la granulométrie (0/12 mm) ne passe pas dans cette machine de type machine à projeter.



Le mur a comme dimensions 80x20x200 cm. Le mélange est composé uniquement de terre à pisé tamisée à 10 mm et de sable à béton (0/12 mm). Le mur est décoffré après 24 h et s'effondre immédiatement. Malgré la bonne absorption des briques de béton cellulaire (photo ci-dessus), le mur contient encore trop d'eau pour être auto-portant.



03
JOUR

LES ARMATURES

TERRE COULÉE ARMÉE

- 08H30 Accueil des participants
- 09H00 Introduction et présentation de la journée
- 09H15 **Kinesthésie de l'armature** // Appréhender les forces de tension et de traction avec le corps
- 09H45 **Exercice encadré** // Sable coulé armé : réaliser un échantillonnage de blocs de terre coulée avec différentes armatures
- 10H45 Pause café
- 11H15 **Conférence expérimentale** // La terre renforcée : nature des armatures, des fibres végétales et synthétiques
- 12H00 **Retour d'expériences** // Exemples de réalisations en terre coulée : structure bambou, armatures en acier, chantiers pilotes... *par Yolanda Aranda, architecte et Bernard Schmitt, ingénieur et responsable du bureau d'études structure Vessière*
- 13H00 Repas sur place
- 14H30 **Projet collectif** // Conception d'un immeuble en terre coulée en zone sismique et réalisation de plusieurs dispositifs parasismiques
- 18H00 Fin de la journée



Muret bas armé : essais d'une armature avec des géogrilles positionnées à l'horizontale dans un bloc de terre coulée (festival grains d'isère 2013)



Terre renforcée en bambou mur en terre coulée armée à l'aide d'une armature en bambou, Mexique, architecture Yolanda Aranda

03
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

SABLE COULÉ ARMÉ

RÉALISER UN ÉCHANTILLONNAGE DE BLOCS DE SABLE COULÉ AVEC DIFFÉRENTES ARMATURES

MOTS CLÉS : armature, béton armé, sable, géogrid, fibres

INTITULÉ

Réalisation d'un échantillonnage de blocs en sable coulé en utilisant différentes armatures.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Prendre conscience qu'il y a une variété d'armatures possibles.
Appréhender les différentes grandes familles d'armatures.
Appréhender physiquement les différentes résistances obtenues.
Prendre conscience du rôle mécanique des armatures.

DURÉE : 1h

DESCRIPTIF

Les participants sont par groupes de 2 et réalisent au moins 2 échantillons. Ils ont à disposition des coffrages 10 x 10 x 20 cm, ainsi que toute une variété d'armatures (géogrid, toile de verre, échelle de bois, grille 3D, fibre d'acier, microfibre, fibre végétale, tirant métallique, armature classique béton, etc.).

Les échantillons de sable armé sont testés en direct : supportant le poids d'un participant qui monte dessus (bien droit sur une plaque interposée entre pied et pâte) afin d'observer rapidement quelques différences de déformations.

- 10 min de consigne
- 30 min de réalisation
- 10 min de restitution
- 10 min de rangement

CONTENUS

Résistance mécanique à la compression, traction, flexion.
Familles d'armatures (cages, chaînages, fibres, etc.).

BIBLIOGRAPHIE

www.amaco.org
manuel pédagogique « La tour de sable »

03
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

SABLE COULÉ ARMÉ

PISTES DE RECHERCHES POUR ARMER LE SABLE COULÉ

Catégorie	Thème	Sous-thème
<i>cages</i>	gabion	<ul style="list-style-type: none"> fibres de verre métallique
	3 dimensions	<ul style="list-style-type: none"> impression 1 impression 2
	kapla	empilement
<i>chaînage</i>	chaînage extérieur	<ul style="list-style-type: none"> cercle métallique cadre bois
<i>fibres</i>	micro fibres	<ul style="list-style-type: none"> ouate de cellulose ouate de chanvre ouate de bois
	fibres	<ul style="list-style-type: none"> métallique synthétique
	bois déchiqueté	chênevotte
<i>armature verticale</i>	grille	<ul style="list-style-type: none"> fibres de verre métallique
	tirant	tiges filetées
<i>armature horizontale</i>	toile de verre	<ul style="list-style-type: none"> 1 par bloc 3 par bloc 5 par bloc
	cannisses	1 par bloc



Gabion formé en cage de toile de verre



Chaînage extérieur avec des cadres bois

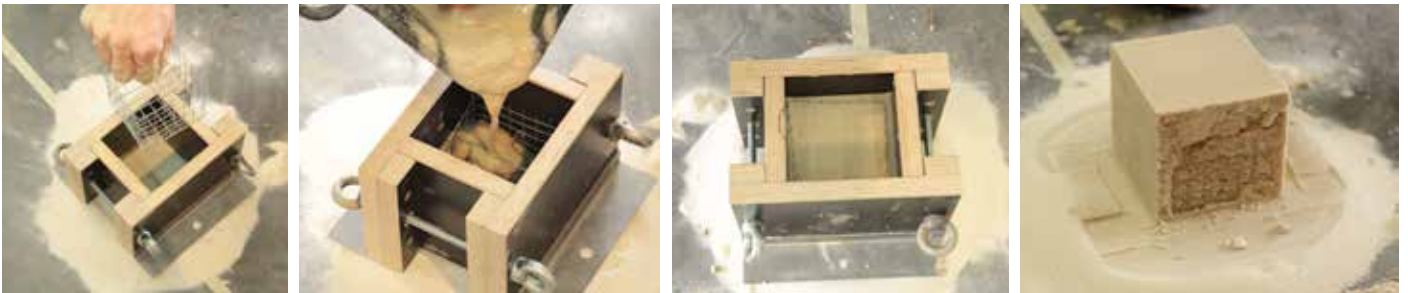


Armature horizontale en toile de verre

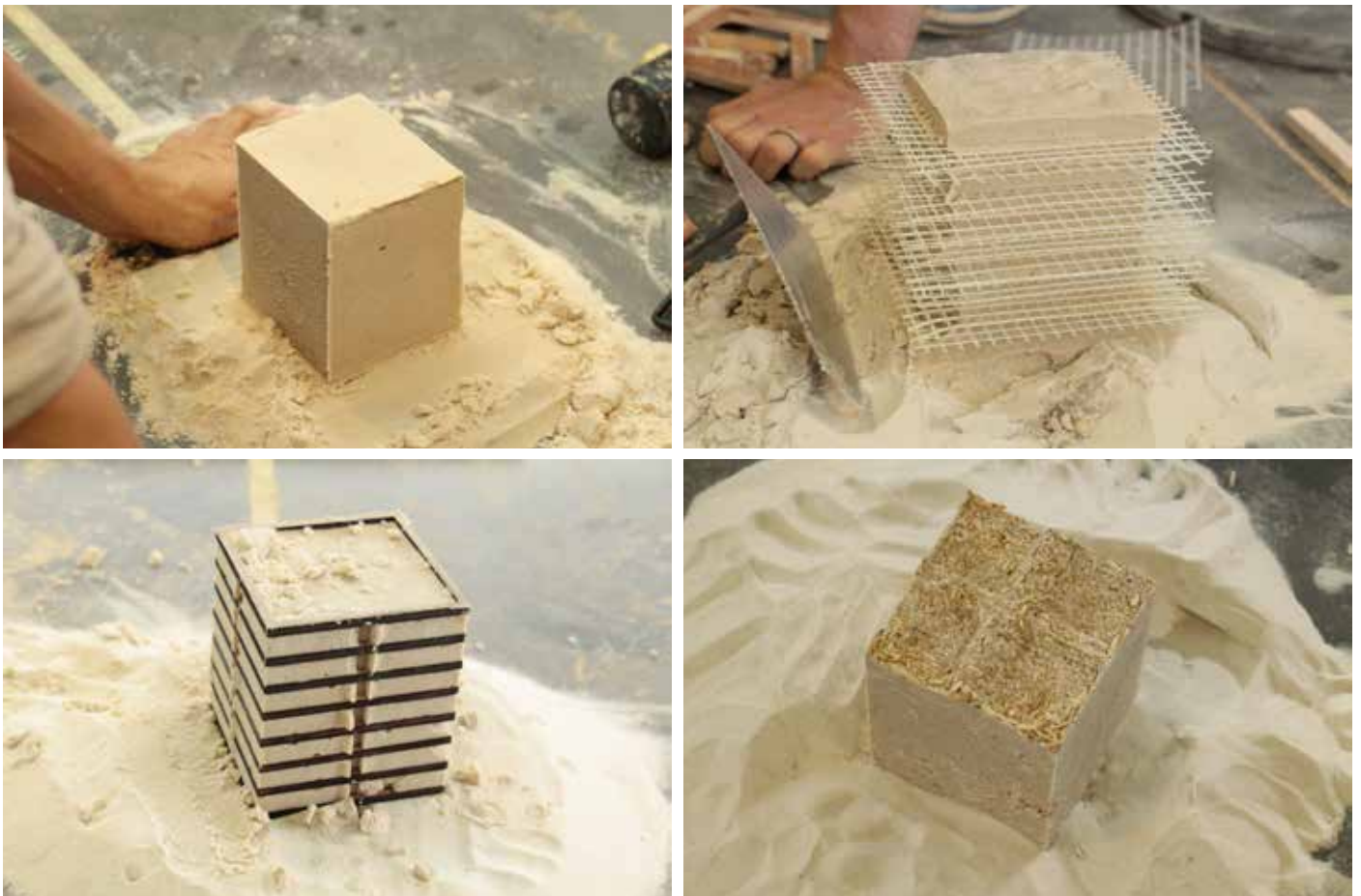
03
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ SABLE COULÉ ARMÉ

MISE EN ŒUVRE ET RÉALISATION DES DIFFÉRENTS ÉCHANTILLONS



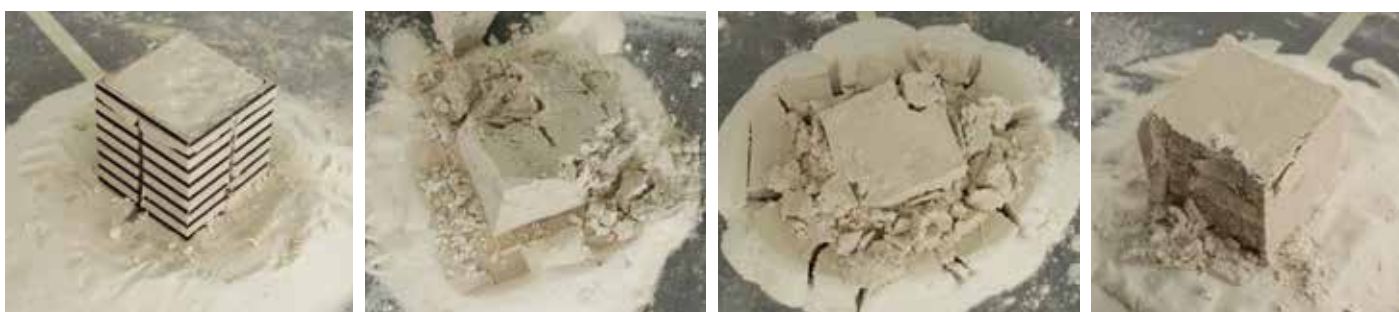
Les armatures sont réalisées soit hors coffrage, soit directement dans le coffrage. Ce dernier est posé sur un tas de sable sec. Le sable liquide est coulé dans le coffrage. Après quelques secondes, l'eau est absorbée par capillarité par le sable sec et l'on peut décoffrer immédiatement l'échantillon.



Ces différents échantillons ont été réalisés lors de l'exercice : sable coulé non armé, armature horizontale en toile de verre, chaînage extérieur en cadre bois, mélange de sable fibré à l'aide de chènevotte.



Les échantillons sont simplement testés à la compression en faisant monter différentes personnes sur une planche de répartition.



On a pu observer une réelle différence de résistance entre les systèmes d'armature, bien qu'une analyse plus fine permettrait de valider les premières hypothèses. L'intérêt de cette démarche expérimentale était de voir et de tester très vite un ensemble assez large de systèmes constructifs.

03
JOUR

PROJET COLLECTIF

TERRE COULÉE EN ZONE SISMIQUE

CONCEPTION D'UN IMMEUBLE EN TERRE COULÉE EN ZONE SISMIQUE ET RÉALISATION DE PLUSIEURS DISPOSITIFS PARASISMIQUES

MOTS CLÉS : sable, tour, coffrage, armature, sismique

INTITULÉ

Les participants construisent une tranche d'une tour en terre coulée. Ils conçoivent, expérimentent et réalisent plusieurs dispositifs constructifs parasismiques. Par groupes, ils réalisent un élément/dispositif à base de terre coulée (au lieu de la terre coulée) formant une tranche de la tour. Les dispositifs conçus sont testés sur une planche vibrante.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Être en mesure de citer un ensemble de différentes possibilités pour armer la terre coulée et donc la terre coulée

Être en mesure d'expliquer les notions de résistances mécaniques liées aux armatures (traction, flexion) et les phénomènes d'absorption d'eau par capillarité

Être capable de travailler en pluridisciplinarité

Appréhender la pertinence des systèmes constructifs en fonction de leur emplacement dans le bâtiment

DURÉE : 3h

DESCRIPTIF

Par groupes mixtes et pluridisciplinaires imposés de 4 personnes, les participants conçoivent un système constructif d'un élément en terre coulée pouvant répondre à des contraintes sismiques. Chaque groupe fabrique son dispositif parasismique en maquette d'échelle 1/10e avec les coffrages des murs trumeau en L. Les prototypes sont testés à la fin de l'exercice sur une table vibrante.

- 15 min : objectifs et consignes pour le projet, présenter le matériel, les outils, les conditions.

- 45 min : brainstorming par groupe de 4, une personne de chaque groupe se met dans la position du facilitateur. Le thème : afin d'augmenter la résistance mécanique d'un matériau assez faible, quelles armatures et quels systèmes constructifs utiliser ? Par groupe, faire émerger une idée afin de la tester dans la suite de l'exercice

- 1h30 : essais et expérimentations par groupes de 4 et suivant le projet choisi.

- 20 min : restitution collective de l'atelier créatif. Chaque groupe utilise la table vibrante en faisant subir à sa structure des mouvements latéraux (même protocole destructif) puis observer les résultats.

- 5 min : restitution des encadrants

- 30 min : nettoyage

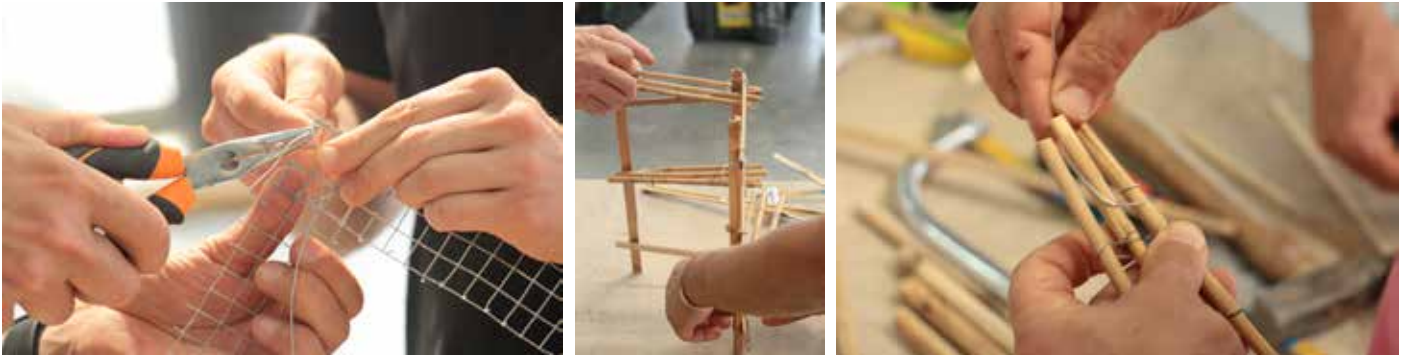
CONTENUS

Les armatures dans la terre coulée

Les systèmes constructifs parasismiques

BIBLIOGRAPHIE

www.amaco.org



Chaque groupe conçoit et réalise librement un système d'armatures avec les matières et matériaux disponibles sur place.



Les échantillons sont réalisés en sable coulé afin de bien enrober les armatures, certaines sont mises en place après coulage.



Les échantillons sont testés de manière empirique sur une table vibrante faite maison. Certains systèmes constructifs résistent davantage aux vibrations horizontales. Le meilleur échantillon est celui réalisé avec plusieurs élastiques formant un sorte de contrainte sur le sable coulé.



04
JOUR

LES FINITIONS

TRAITEMENTS & ASPECTS DE SURFACE

- 08H30 Accueil des participants
- 09H00 Introduction et présentation de la journée
- 09H15 Travaux et recherches des participants // 6 minutes pour partager son expérience
- 10H15 **Exercice encadré** // Texture et matérialité de la terre coulée : réalisation d'échantillons de terre coulée stabilisée à l'aide de coffrages et de peaux spécifiques.
- 11H15 Pause café
- 11H45 **Retour d'expérience** // Exemples de réalisations en terre coulée et design d'objets en terre coulée avec Milena Stefanova architecte, agence Design et architecture, enseignante à l'ENSA de Grenoble
- 13H00 Repas sur place
- 14H30 **Atelier créatif** // Conception et réalisation d'un mur de parement en terre coulée.
- 17H30 Pause
- 18H00**
OUVERT
AU PUBLIC
- Conférence d'ouverture « Terre coulée et béton coulé, matière et esthétique »**
par Cédric Avenier, docteur chercheur à l'unité de recherche AE&CC de l'ENSA de Grenoble, architecte et historien de l'art



Parement de mur réalisé en terre coulée lors du festival Grains d'Isère 2016

EXERCICE ENCADRÉ

TERRE COULÉE : TEXTURE ET MATÉRIALITÉ

RÉALISER DES ÉCHANTILLONS DE TERRE COULÉE STABILISÉE À L'AIDE DE COFFRAGES ET DE PEAUX SPÉCIFIQUES

MOTS CLÉS : matérialité, plasticité, texture, aspect de surface

INTITULÉ

Réalisation d'échantillons de terre coulée stabilisée (au plâtre ou ciment) à l'aide de coffrages et peaux spécifiques. Les participants expérimentent des jeux de matières (taille des grains, pigmentations, couleur de terre, etc.), des jeux de formes (formes des coffrages, etc.) et des jeux de textures (peaux de coffrage ou traitements de surface : gratter, arracher, frotter la surface, etc.). Les participants ont une même base (mélange à béton, coffrage muret) qu'ils peuvent et doivent faire varier uniquement suivant la thématique choisie :

- Matière : grains/couleur/autres
- Texture : peau de coffrage, traitement de surface, autre
- Forme : organique, à facette, autres

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Appréhender un panel de matérialités à base de terre coulée.
Prendre conscience du potentiel plastique de la terre coulée.
Appréhender les outils spécifiques pour réaliser des bétons architectoniques.

DURÉE : 1h

DESCRIPTIF

Par groupes de 2 (soit 20 groupes) :

- 10 min : Consignes et formation des groupes. Les participants doivent s'inscrire dans le tableau fourni.
- 15 min : Conception du muret matrice/texture.
- 15 min : Préparation des coffrages et peaux ou du mélange. Préparation des bétons : les participants ont la possibilité d'utiliser le même mélange ou de le modifier (mélanger à sec terre et ciment, puis ajouter l'eau).
- 10 min : Coulage des échantillons.
- 10 min : Nettoyage des outils.

CONTENUS

Travail sur les matérialités créées à base de terre coulée.
Créativité des participants. Faire émerger la sensibilité de la matière.
Savoir s'organiser en équipe, organiser son chantier, avoir de la méthode et être propre.
Qualité du rendu : textures, couleurs, finitions...

BIBLIOGRAPHIE

www.amaco.org

Rapport de Stage Anne-Lyse Antoine, Elisabeta Carnavale DSA Terre

04
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

TERRE COULÉE : TEXTURE ET MATÉRIALITÉ

PISTES DE RECHERCHE ET EXPÉRIMENTATIONS SUR DIFFÉRENTES TEXTURES ET MATÉRIALITÉS DE LA TERRE COULÉE

Catégorie	Thème	Sous-thème
matériau	grains	minéraux végétaux
	couleurs	terre de couleur pigment
	consistance	liquide visqueux sec
	mise en oeuvre	mal vibré sur vibré compacté par couche
texture	peau	plastique tissu cannisses planche de bois
	traitement de surface	brossé sablé essuyé bouchardé désactivé
forme	réservations	ballon bouteille tube pvc
	déformation	coffrage à facettes insertion entre peau et coffrage

04
JOUR

EXERCICE ENCADRÉ

TERRE COULÉE : TEXTURE ET MATÉRIALITÉ

EXPÉRIMENTATIONS ET RÉSULTATS



Différentes peaux de coffrages sont mises à disposition des participant-e-s de même qu'une variété de terres et de granulats pour formuler la terre coulée.



Les échantillons de terre coulée sont stabilisés au plâtre afin de pouvoir décoffrer rapidement. La terre est coulée puis vibrée dans des coffrages identiques pour chaque groupe.



Les textures possibles obtenues avec la terre coulée sont assez proches des bétons de ciment matricés. Coulée, la terre peut facilement épouser les formes et peaux des coffrages.



Les échantillons réalisés en terre coulée stabilisée au plâtre ont été décoffrés le lendemain matin afin d'obtenir une dureté suffisante pour laisser apparaître les détails des matrices et peaux de coffrage.

04
JOUR

ATELIER CRÉATIF

TABLEAUX DE TERRE COULÉE

RÉALISER DES ÉCHANTILLONS DE TERRE COULÉE STABILISÉE À L'AIDE DE COFFRAGES ET DE PEAUX SPÉCIFIQUES

MOTS CLÉS : mur, textures, forme, surface

INTITULÉ

Réalisation d'un mur esthétique en terre coulée. Les participants vont être amenés à concevoir, dessiner et réaliser un mur en terre coulée en mettant l'accent sur l'aspect et le traitement de surface. Un cadre de base (formant partie du coffrage) sera fourni au groupe. Tous les groupes auront le même format et pourront faire varier les paramètres influençant la texture.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

Prendre conscience de la variété des textures possibles
Appréhender les gestes et outils de mise en oeuvre pour réaliser des bétons architectoniques
Travailler en groupe

DURÉE : 3h

DESCRIPTIF

- 45 min : individuellement les participants réfléchissent à un projet puis graduellement fusionnent les projets pour arriver à un objet final par groupe de 8. Dans cet objet final il y a la possibilité de travailler sur deux faces différentes soit 2 sous-groupes de 4 personnes.
- 60 min : réalisation d'échantillons et d'essais pour valider son projet (en terre et plâtre gros ou ciment prompt) et les exposer au sol. Mise à disposition de différents outils, matériaux de surfaçage et peaux de coffrage et d'un large panel de matières : (argile, sable, graviers, fibres, ciment, chaux, coagulant, dispersant).
- 45 min : coffrage et coulage du mur. Un mélange à béton sera préparé par l'équipe amàco afin d'accélérer le coulage des murs.
- 30 min : nettoyage

CONTENUS

Gestes, outils, mise en œuvre
Formulation bétons d'argile fins (pour moulure)
Connaître les différentes peaux et coffrages

BIBLIOGRAPHIE

www.amaco.org
Rapport Anne-Lyse Antoine, Elisabeta Carnavale, DSA terre



Chaque groupe a travaillé librement sur les expérimentations à réaliser. Un jeu de coffrage et une formulation ont été fournis à chaque groupe afin d'avoir la même base de travail.

Les échantillons réalisés en terre coulée stabilisée au ciment ont été décoffrés le lendemain matin afin d'obtenir une dureté suffisante pour laisser apparaître les détails des matrices et peaux de coffrage.



Le décoffrage a été l'occasion de valider ou pas les hypothèses, mais aussi de finaliser le traitement de surface des murs en enlevant des réservations ou en retravaillant la peau du mur à frais.

04
JOUR

ATELIER CRÉATIF

TABLEAUX DE TERRE COULÉE

RÉSULTATS DES EXPÉRIMENTATIONS

- 1/ Travail sur la pigmentation et l'insertion de granulats colorés lors du coulage
- 2/ Travail sur des réservations en bois et poches de granulats à retirer après décoffrage
- 3/ Travail sur des réservations en tube PVC et sur les peaux de coffrage
- 4/ et 5/ Travail testant des formes en positif et en négatif
- 6/ Incorporation de planches de réservation dans le coffrage afin de faire varier la forme du mur.

Ci-dessous, différentes textures obtenues après décoffrage.







05
JOUR

EXPÉRIMENTATIONS

AUTOUR DE LA TERRE COULÉE

- 08H30 **Accueil des participants**
- 09H00 **Introduction et présentation de la journée**
- 09H15 **Mener une expérimentation //** Par groupes, les participants choisissent un sujet de recherche parmi les thèmes abordés dans la semaine
- 09H30 **Balade déambulatoire //** Réflexion par groupes pour proposer de nouvelles pistes de développement du thème de recherche choisi
- 10H15 **Expérimentations //** Tests des propositions élaborées
- 11H15 **Pause café**
- 11H30 **Expérimentations //** Nouvelles phases de tests
- 12H30 **Retour d'expérience //** Retour sur le programme de recherche sur la terre coulée « Béton d'Argile Environnementale » *par Yves Jorand, enseignant chercheur à l'INSA Lyon*
- 13H00 **Repas sur place**
- 14H30 **Restitution collective des expérimentations //** Recherche, résultats et techniques abordées
- 16H45 **Pause café**
- 17H00 **Évaluation des participants //** sous forme de questionnaire (1 h)

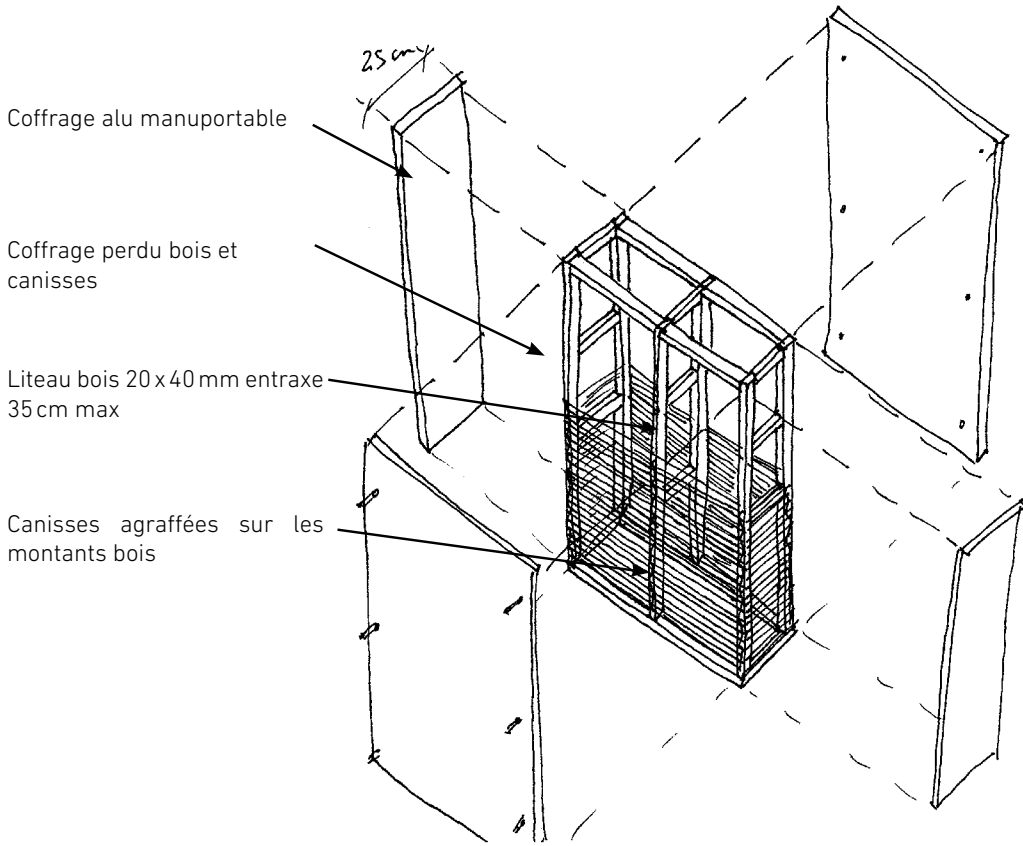


Expérimentation et recherche sur des matériaux en terre coulée lors du festival Grains d'Isère 2013

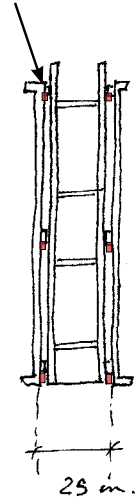
05
JOUR

EXPERIMENTATION ÉCHELLE 1

MUR COULÉ DANS UN COFFRAGE PERDU



Écarteur en bois pour permettre l'enrobage complet du coffrage perdu.



COUPE sur coffrage perdu dans le coffrage alu rigide.



Préparation du coffrage perdu bois/canisses



Installation des coffrages alu rigides avant coulage



Mur en terre coulé juste après décoffrage



Un film polyane est scotché à l'intérieur du coffrage afin de faciliter le décoffrage (terre très collante). La terre coulée est un mélange de terre à pisé dans laquelle on a rajouté du sable à béton 0/12 mm afin d'éviter la fissuration au séchage. La terre est coulée puis vibrée à l'aide d'une aiguille vibrante.



Mis à part un arrachement sur le bas du mur, le décoffrage s'est bien déroulé. La terre coulée a intégralement enrobé les canisses, laissant apparaître un bloc monolithique. Juste après le décoffrage une toile de lin est marouflée sur une face du pilier afin de voir si elle a un impact sur de potentielles fissures.

05
JOUR

EXPERIMENTATIONS MUR EN TERRE COULÉE

RÉSULTATS



Coffrage perdu

Coffrage perdu à base de palettes de chantier recyclées pour réaliser une cloison low tech à base de matériaux de récupération.



Mur double

Mur coulé dans un coffrage avec une isolation. Une partie du mur est porteuse, l'autre sert de parement et de finition extérieure.



Coffrages perspirants

Grille rigide en métal doublée d'une géogrille. Sur une façade la grille rigide a été doublée d'un grillage plus dense. La terre est coulée dans un géotextile.



Coffrage perspirant

Coffrage perspirant permettant d'évacuer l'eau et de sécher rapidement la terre coulée. Le coffrage est réutilisable. Utilisation de palettes en plastique perforées doublées d'un côté par une toile de verre et de l'autre côté par une géogrille.



Coffrage perspirant

Réalisation d'une structure bois pour le maintien du coffrage. La peau du coffrage est un géotextile doublé d'une toile de lin.



Mur coulé à plat

Trouver une façon de préfabriquer un mur à plat en intégrant une face de parement, un mur porteur et un isolant en panneau de roseaux.



Absorber l'eau du mur

Tester l'absorption d'une semelle en pisé stabilisé avec de la terre coulée non stabilisée, mais avec l'ajout d'un peu de fibres.



Drainer l'eau en pied de mur.

Utilisation de briques creuses en terre cuite situées verticalement au centre du mur et posées elles-mêmes sur des briques creuses à plat, perpendiculairement au mur. Ces dernières sont perforées pour récupérer l'eau des alvéoles des briques verticales.

QUESTIONNAIRE À CHOIX MULTIPLES

Les réponses proposées aux questions du QCM ne sont que des propositions : elles peuvent être complétées ou raccourcies, en fonction des besoins des enseignements.

- Choix unique
- Choix multiple

1. COMMENT SOLIDIFIER LA TERRE UNE FOIS COULÉE DANS LES COFFRAGES

- En la stabilisant avec des liants hydrauliques **OUI**
- En la chauffant à plus de 90°C **NON**
- En accélérant l'évaporation de l'eau **OUI**
- En coagulant les argiles **OUI**

2. POURQUOI DOIT-ON DÉCOFFRER RAPIDEMENT LA TERRE COULÉE?

- Pour accélérer la prise hydraulique **NON**
- Pour permettre une bonne rotation des coffrages **OUI**
- Pour éviter l'apparition de fissures **NON**
- Pour des raisons esthétiques **NON**

3. QUELS SONT LES PARAMÈTRES IMPORTANTS LORS D'UNE FORMULATION D'UN BÉTON D'ARGILE ?

- La quantité d'eau **OUI**
- Les vides entre les molécules d'eau **NON**
- Le type de sable et graviers utilisés **OUI**
- L'utilisation de sable mono dispersé **NON**

4. POUR QUELLES RAISONS INSERT-ON DES ARMATURES DANS LA TERRE COULÉE ?

- Pour favoriser un décoffrage plus rapide **OUI**
- Pour augmenter les résistances mécaniques à la flexion et traction **OUI**
- Pour permettre de bonnes connexions avec les cloisons **NON**

5. QUELLES SONT LES PISTES DE RECHERCHE POUR COULER DE LA TERRE SANS STABILISANT HYDRAULIQUE ?

- Utilisation d'un faible dosage de chaux **NON**
- Gélification des argiles **OUI**
- Coffrages perspirants **OUI**

6. QU'EST CE QUI FAIT TENIR UNE CONSTRUCTION EN TERRE?

- Le frottement entre les grains **NON**
- L'eau entre les grains **OUI**
- L'air entre les grains **NON**

7. POURQUOI UTILISE-T-ON DES TIRANTS VERTICAUX DANS LA TERRE COULÉE ?

- Pour tenir les grains par frottement **NON**
- Pour tenir les chaînages en tête de mur **NON**
- Pour transmettre les charges obliques en charges verticales **OUI**

8. LES DISPERSANTS UTILISÉS DANS LA TERRE COULÉE PERMETTENT

- D'augmenter la résistance mécanique **OUI**
- De rendre plus liquide sans ajouter d'eau **OUI**
- D'économiser la quantité d'argile utilisée **NON**

9. AVEC QUEL TYPE D'OUTIL PEUT-ON VIBRER LA TERRE COULÉE

- Avec un malaxeur planétaire **NON**
- A l'aide d'un marteau **OUI**
- Avec une aiguille vibrante **OUI**

10. COMMENT BIEN MÉLANGER UNE TERRE COULÉE

- En la malaxant au pied **NON**
- En la broyant dans un concasseur **NON**
- En mélangeant différents types de grains **NON**
- En brassant la terre dans un malaxeur **OUI**

11. QU'EST CE QUE LA TERRE ?

- La terre est un mélange de grains minéraux (cailloux, de graviers, de sables, de silts) et de matière organique. **OUI**
- La terre est une sorte de béton d'argile (mélange de grains agglomérés par de l'argile). **OUI**
- La terre est un mélange de grains minéraux (cailloux, de graviers, de sables, de silts) et d'eau. **OUI**
- La terre est un mélange de grains minéraux (cailloux, de graviers, de sables, de silts), d'argiles, d'eau et de matière organique, en proportions variables. **OUI**

12. POUR POUVOIR CONSTRUIRE EN TERRE COULÉE, IL FAUT ABSOLUMENT :

- Une terre avec beaucoup de matière organique et peu de cailloux **NON**
- Une terre sans matière organique, mais avec des grains minéraux et des argiles **OUI**
- Faire cuire la terre, comme pour les briques **NON**
- Rajouter de l'eau, pour qu'elle colle **NON**
- Ajouter un peu de ciment, pour la stabiliser **OUI**

13. POUR RENDRE PLUS LIQUIDE UNE TERRE, IL FAUT :

- Ajouter plus d'eau **OUI**
- Changer le PH de la terre **OUI**
- Utiliser un empilement granulaire espacé **OUI**
- Utiliser un certain type d'argile **NON**

14. POUR QUELLES RAISONS UTILISER LA TECHNIQUE DE LA TERRE COULÉE :

- Pour des raisons économiques **OUI**
- Car on utilise des agrégats locaux **OUI**
- Pour des raisons esthétiques **OUI**
- Pour des raisons de confort intérieur **OUI**

LES INTERVENANTS

LORS DE LA FORMATION

Yolanda ARANDA

architecte enseignante chercheur
à FADU UAT Tampico, México

Guillaume HABERT

docteur professeur à l'ETH de Zürich

Adrien ARAUD

maçon Cabestan
mob@hotmail.fr

Yves JORAND

enseignant chercheur à l'INSA Lyon

Cédric AVENIER

docteur chercheur à l'unité de recherche
AE&CC à l'ENSA de Grenoble, architecte
et historien de l'art

Alban PINEL

chercheur à l'INSA Lyon

Mathilde BEGUIN

architecte

Bernard SCHMITT

ingénieur et responsable du bureau d'études
structure Vessière, Grenoble

Isabella BREDA

architecte artiste
isabreda@yahoo.it

Milena STEFANOVA

architecte, enseignante à l'ENSA de Grenoble
responsable agence Design et Architecture

Dominique GAUZIN-MÜLLER

architecte

Henri VAN DAMME

physicien, ancien professeur à l'ESPCI Paris

INTERVENANTS ORGANISATEURS

Romain ANGER

docteur, ingénieur
matériaux, directeur pédagogique et scientifique
d'amàco

Patrick RIBET

artisan spécialisé
dans les techniques de construction en terre crue

Basile CLOQUET

docteur, architecte, amàco

Marion BISIAUX

chargée d'évaluation pédagogique amàco

Martin POINTET

architecte chercheur amàco
et responsable de BE Terre

Lionel RONSOUX

ingénieur chercheur matériaux amàco

Léo BOULICOT

ingénieur chercheur matériaux amàco

Fanny BARNIER

ingénieur chercheur matériaux amàco





POUR PLUS D'INFOS

contact@amaco.org
www.amaco.org

ADRESSE

amàco
Les Grands Ateliers
96 Boulevard de Villefontaine
38090 VILLEFONTAINE



PROPOSÉE PAR



organisée avec le prestataire de formation



avec le soutien de



avec le soutien des partenaires fondateurs d'amàco

