

TERRA Award COP22 - Marrakech - Maroc
ENA Marrakech - amàco - Agence MUSEO

RAPPORT D'ACTIVITÉS

EXPOSITION

ARCHITECTURE EN TERRE D'AUJOURD'HUI

06 > 30.11.2016

WORKSHOP

CONSTRUIRE EN TERRE CRUE

Ateliers autour de la technique du pisé

15 > 18.11.2016

ATELIER
MATIÈRES À
CONSTRUIRE

amàco

TABLE DES MATIÈRES

02	ARCHITECTURE EN TERRE D'AUJOURD'HUI
04	L'exposition à Marrakech
06	TERRA Award - COP 22
08	WORKSHOP CONSTRUIRE EN TERRE CRUE
10	Contexte de la formation
12	Matrice pédagogique
13	Programme
15	Préparation
16	Pisé granulométrique
17	Mini-malette grains de bâtisseurs
21	Déroulé du Workshop
22	Matières et matériaux
24	Matériel
25	Profil des participants
26	Variations sur matrice du test Carazas
28	Restitution
30	Ateliers scientifiques
32	Ateliers créatifs
40	Conclusion



ARCHITECTURE EN TERRE D'AUJOURD'HUI



L'exposition à Marrakech

04



À l'initiative de la Commission nationale française pour l'UNESCO (CNFU), du centre de recherche et d'expérimentations amàco (atelier matières à construire), de la Chaire UNESCO « Architectures de terre, cultures constructives et développement durable » (CRATERre) et de l'agence MUSEO, la manifestation « TERRA Award – COP 22 » a été présentée à Marrakech dans le but de faire connaître et de sensibiliser à l'architecture contemporaine en terre crue à l'occasion du Sommet mondial sur le climat (COP 22). Un plus large recours à ce matériau, peu gourmand en énergie, largement disponible sur toute la planète et adapté à des chantiers participatifs, pourrait contribuer à couvrir une partie des besoins en logements et équipements écologiques et économiques. Certains membres du Programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP) commencent d'ailleurs à réfléchir à une campagne mondiale sur la construction frugale, en terre et matériaux biosourcés.

Des centaines de bâtiments remarquables en adobe, pisé ou bauge sont aujourd'hui présents sur les cinq continents, souvent conçus et mis en œuvre par des pionniers de l'architecture durable, mais la plupart de ces magnifiques réalisations sont encore malheureusement méconnues. La manifestation organisée à Marrakech a permis de mettre en lumière des bâtiments exemplaires, sélectionnés pour le TERRA Award, premier prix mondial de l'architecture contemporaine en terre crue, lancé en 2015 par la Chaire UNESCO-CRATERre sous la direction de Dominique Gauzin-Müller, architecte-chercheur et professeur honoraire associée de cette chaire. Le jury, présidé par le célèbre architecte chinois Wang Shu, a distingué 9 lauréats en juillet 2016. La manifestation à Marrakech a été l'occasion de présenter les réalisations des 40 finalistes. Elle a connu un grand succès et affirmé le rôle de l'architecture en terre crue en tant que contribution majeure aux défis du changement climatique.

La présentation d'une partie de l'exposition sur le boulevard Mohammed VI, une rue très passante à proximité de la gare, a permis à la population de découvrir l'architecture en terre. ➔



↑ Des étudiants de l'école d'architecture de Marrakech en train de monter l'exposition sur le boulevard Mohammed VI.



TERRA Award - COP 22

06

La manifestation « TERRA Award - COP 22 » était constituée de trois volets.

- L'exposition des 40 bâtiments finalistes du TERRA Award, agrémentée de grandes photographies, a été divisée en deux parties pour toucher un maximum de personnes et des publics différents. Elle a été présentée dans des espaces publics, ouverts à tous : le boulevard Mohammed VI et le siège de la Région Marrakech-Safi.
- Dominique Gauzin-Müller a donné une conférence dans le cadre d'une table ronde de la COP 22 consacrée à l'architecture de terre crue, et elle est intervenue dans le cadre du symposium « Architecture et changement climatique », organisé par l'Union internationale des architectes (UIA).
- Des ateliers expérimentaux, mis en œuvre et encadrés par amàco, ont accueilli une cinquantaine d'étudiants venus de tout le Maroc à l'École nationale d'architecture de Marrakech, dont le directeur est membre de la Chaire UNESCO-CRAterre ;

Le travail scientifique en vue de la manifestation a été réalisé par Dominique Gauzin-Müller, commissaire de

l'exposition, avec amàco, l'équipe du TERRA Award et la Chaire UNESCO-CRAterre. L'agence MUSEO, qui gère l'itinérance de l'exposition, a assuré la concrétisation du projet. L'École nationale d'architecture de Marrakech a apporté son concours pour la réalisation technique, et son directeur, Tayyibi Abdelghani, a géré les contacts avec les autorités marocaines. La manifestation a été soutenue par la Caisse des dépôts et consignations. La Fondation d'entreprise Hermès a apporté son aide, en particulier, pour les ateliers.

Le public des différentes manifestations a été nombreux et divers : environ 10 000 personnes, dont des architectes, des professionnels, des participants à la COP 22, des étudiants et des habitants de Marrakech, qui se promenaient sur le boulevard Mohammed VI.

L'exposition TERRA Award a vocation à circuler dans d'autres pays du monde : une vingtaine de lieux, sur quatre continents, sont prévus en 2017 et 2018. Des ateliers pourront l'accompagner de manière à transmettre les techniques et savoir-faire de la construction en terre crue.



L'exposition a été présentée pendant tout le mois de novembre dans le hall d'entrée du siège de la Région Marrakech-Safi. ↗

L'exposition au siège de la Région Marrakech-Safi a été inaugurée par le Ministre de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire et le Préfet de région. →





**WORKSHOP
CONSTRUIRE
EN TERRE CRUE**



Contexte de la formation

10



Ce workshop a été réalisé dans le cadre de la COP 22 à Marrakech du 15 au 18 novembre 2016, en collaboration avec l'école nationale d'architecture de Marrakech (ENAM) et amàco, l'atelier matière à construire. Il s'inscrit dans le cursus d'enseignement de l'ENAM et a

regroupé près de 50 étudiants et étudiantes de première, deuxième et troisième année des écoles nationales d'architecture de Marrakech, Casablanca et Rabat.

Durant les 4 jours de workshop, les étudiants ont été amenés à explorer par la manipulation les enjeux de la terre, matière à construire complexe et à fortes qualités plastiques. Dans un premier temps, chaque étudiant a pu interroger les différentes propriétés de la matière en grains lorsqu'elle est associée à l'eau et aux liants minéraux, afin de comprendre et connaître les potentialités de ces matériaux à l'égard des différentes utilisations pour la construction. Ces questionnements prennent tout leur sens dans le cadre marocain et particulièrement à Marrakech, ville dans laquelle le patrimoine bâti en terre crue est très présent. Dans un second temps, les étudiants ont mobilisé leurs sens pour révéler les qualités esthétiques de la terre et en particulier la technique du pisé, par des variations de mise en œuvre, couleur, texture et granulométrie.

INFORMATIONS

Cadre de l'atelier

COP 22

Nom de l'atelier

Construire en terre crue

Contenu

Ateliers autour du pisé

Organisateurs ENAM

Abdelghani Tayyibi, Keltouma Ben-Bzik, Carlos Bancolini

Encadrants amàco

Basile Cloquet - Fanny Barnier

Participants

Etudiants en architecture (L1 - L3)

Durée

4 jours

Lieu

Marrakech - ENAM

Date

15 au 18 novembre 2016

Ce travail dans le cadre de l'événement « TERRA Award - COP 22 » a été rendu possible grâce à plusieurs soutiens : la Commission nationale française pour l'UNESCO, le groupe Caisse des Dépôts, la Fondation d'entreprise Hermès.



Centre de recherche amàco

Amàco est un centre de recherche et d'expérimentations à but pédagogique. Il vise à valoriser les matières brutes les plus banales 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 (IDFI). Il est porté par cinq partenaires : les Grands Ateliers, l'ENSA de Grenoble et son laboratoire CRAterre-AE&CC, l'ESPCI Paris, l'INSA Lyon et l'ENSA de Lyon. www.amaco.org



L'école d'architecture de Marrakech

L'ENA de Marrakech est une jeune école d'architecture dont le décret de création remonte à août 2013. Anciennement liée à l'école de Rabat et autonome financièrement depuis peu, elle compte aujourd'hui environ 130 étudiants, tous niveaux confondus.

L'école a pour objectif de transmettre à ses étudiants des valeurs autour de la construction durable et du patrimoine. Les cultures constructives marocaines y sont ainsi enseignées afin de sensibiliser les étudiants à l'architecture traditionnelle en terre et notamment aux techniques du pisé et de l'adobe.



Matrice pédagogique

12

OBJECTIF	CONTENU	METHODE D'ENSEIGNEMENT	METHODE D'ÉVALUATION
<i>A la fin de la formation les participants devraient...</i>	<i>A la fin de la formation les participants devraient avoir entendu parler...</i>	<i>Durant la formation il faudra faire passer les étudiants par...</i>	<i>La bonne compréhension est vérifiée par...</i>
pouvoir transformer le matériau terre pour l'amener à différents états hydriques en faisant appel à ses sens (toucher, vue, odorat, ouïe).	des états hydriques, transformations et mise en œuvre de matière terre en matériaux de construction. des 3 phases du matériau terre.	un exercice encadré de la matrice du test Carazas.	la discussion au cours de l'exercice.
appréhender et juger de l'intérêt de l'utilisation de fibres dans la construction en terre.	de la résistance mécanique et de la fissuration. de l'ouvrabilité d'un matériau en fonction de l'ajout de fibres.	un exercice encadré d'une variation de la matrice du test Carazas, terre /fibre.	idem.
manipuler et reconnaître les états hydriques afin de réaliser une bonne mise en œuvre du pisé. avoir un aperçu du processus conception/ réalisation et constater les éventuelles différences de vision du projet. estimer le potentiel esthétique de la matière. savoir s'accorder sur un projet en groupe.	des paramètres qui influencent l'ouvrabilité de la matière. de la diversité des terres et des argiles (couleur, cohésion, composition granulaire).	un projet collectif autour de la construction d'une colonne en pisé de 15x15x60 cm. une phase d'exploration de la dimension esthétique du pisé par divers moyens (texture, couleur, granulométrie).	autoévaluation.
reconnaître les différentes techniques de construction et les couples mise en œuvre/ états hydriques associés.	des différentes techniques de mise en œuvre de la terre crue (avec un fort accent sur le pisé). de connaissances générales sur l'architecture de terre.	une restitution des variantes du test Carazas sous forme de conférence participative. une présentation théorique sous forme de cours participatif autour des différentes techniques de construction en terre crue.	
comprendre le comportement de la matière terre, du point de vue physique, à différentes échelles (du microscopique au macroscopique) et le lien avec la construction.	de la physique de la matière en grains (secs et humides) et des argiles.		

Programme

13

SESSION 01

JOUR 1 : MARDI 15/11

- 09h00 - 12h30** Atelier encadré matrice du test Carazas terre, terre/sable, et argile rouge
- 12h30 - 13h30** Pause
- 13h30 - 15h00** Manips scientifiques sur la physique de la matière en grains sèche et humide
- 15h00 - 16h30** Ateliers créatifs autour du pisé, « Pisé, architecture de grains »
-

JOUR 2 : MERCREDI 16/11

- 09h00 - 11h00** Atelier encadré matrice du test Carazas terre/paille
- 11h00 - 12h30** Restitution de la matrice du test Carazas sous forme de conférence, introduction sur les techniques de construction en terre crue
- 12h30 - 13h30** Pause
- 13h30 - 16h30** Ateliers créatifs autour du pisé, finalisation des projets
-

SESSION 02

JOUR 1 : JEUDI 17/11

- 09h00 - 12h30** Atelier encadré matrice du test Carazas terre et terre/sable
- 11h00 - 12h30** Restitution de la matrice du test Carazas sous forme de conférence, introduction sur les techniques de construction en terre crue
- 12h30 - 13h30** Pause
- 13h30 - 15h00** Manips scientifiques sur la physique de la matière en grains sèche et humide
- 15h00 - 16h30** Ateliers créatifs autour du pisé, « Pisé, architecture de grains »

JOUR 2 : VENDREDI 18/11

- 09h00 - 12h30** Atelier encadré matrice du test Carazas terre et matrice terre/fibre ateliers créatifs autour du pisé finalisation des projets
-



1

PRÉPARATION

Pisé granulométrique

16

Le but de l'atelier créatif pisé est de jouer sur l'esthétique d'une colonne de pisé (15x15x60 cm), notamment à l'aide d'un détournement des paramètres de formulation d'un pisé classique. Par cet exercice, il s'agit de mieux comprendre la physique des grains et plus largement la mise en œuvre de la terre. En amont de l'atelier créatif, une phase de prototypage a été mise en place pour garantir la faisabilité d'une mise œuvre : la variation granulométrique, c'est à dire la variation de la taille des grains dans une terre donnée. Un test de pisé a été réalisé avec 4 fractions différentes : en dessous de 2 mm, entre 2 mm et 5 mm, entre 5 mm et 10 mm et enfin au dessus de 10 mm.

Les grains sont ensuite pisés dans les coffrages, de la plus petite à la plus grande fraction. Le but ici n'est pas d'avoir un pisé résistant mécaniquement (puisque'en

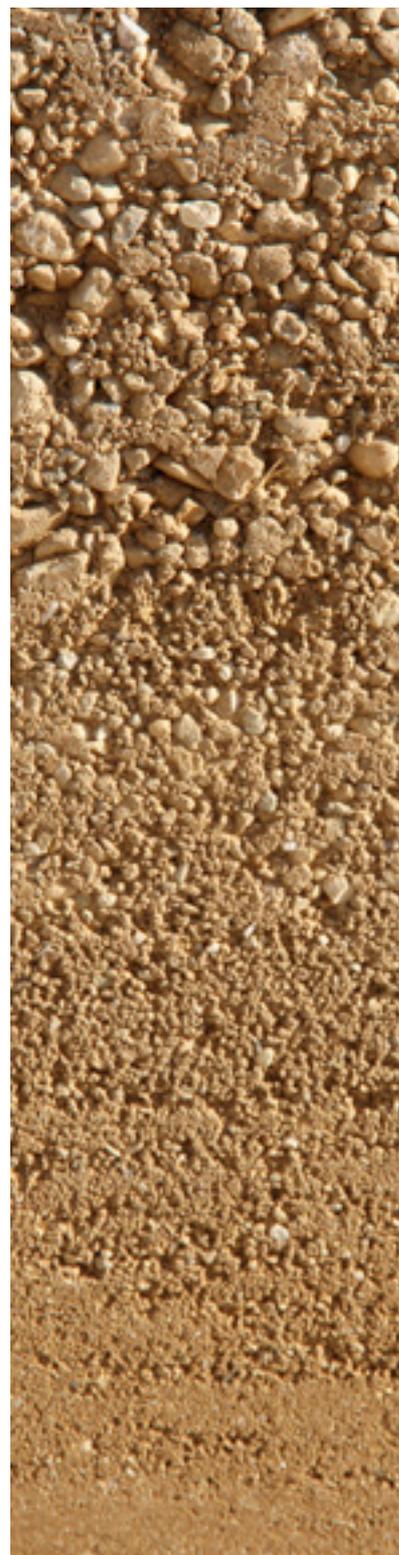
séparant les différentes tailles de grains, on rend le pisé moins homogène, moins dense) mais de comprendre, par l'expérience, l'influence de la granulométrie dans la mécanique du pisé, tout en jouant avec les possibilités esthétiques de la terre. L'expérience est également intéressante puisqu'elle permet de faire le lien entre conception et réalisation.

Le pisé granulométrique réalisé n'est structurellement pas optimal, notamment dans la partie « gros grains » qui a tendance à se désolidariser du fait de trop grands espaces entre les grains. Cette strate est ainsi mise en œuvre sur la partie supérieure de la tour de pisé pour garantir, sur le bas de la tour, une résistance mécanique suffisamment importante pour que la base de la tour ne s'écroule pas et puisse supporter le poids des autres granulométries.

Test de tour de pisé granulométrique. La colonne est haute de 50 cm environ. De la terre à pisé du Dauphiné a été tamisée en 4 fractions granulométriques, humidifiée et tassée pour réaliser la tour. ↓



Le décoffrage de la tour de pisé granulométrique est délicat car la partie supérieure de la tour, constituée uniquement de gros grains, est assez fragile. ↓



Mini-malette Grains de Bâtisseurs

17

Une vingtaine de manips sur le comportement de la matière en grains (sèche et humide) ont été choisies, regroupées et optimisées en terme de place et de poids, pour être transportées jusqu'à Marrakech.

En plus du matériel nécessaire à la réalisation des expériences, des matières font également partie du matériel :

- 4 bouteilles de sable HN38, séché et tamisé
- 1 bouteille de sable grossier pour l'expérience du « bâton béton »
- 1 bouteille de mélange de sable HN38 et de sable grossier pour l'expérience de ségrégation

Des bouteilles en plastique, légères, ont été utilisées afin de stocker des matières en grains fins tels que les sables. De même, des plaques de PMMA ont été utilisées à la place de plateaux métalliques. De plus, l'accent a été mis sur la mutualisation du matériel pour les différentes manips. Cet aspect a transparu dans la manière d'organiser l'atelier sur place : toutes les manips ont été disposées sur une seule grande table. Les thèmes ont été abordés au fur et à mesure de l'avancée de la réflexion des participants.

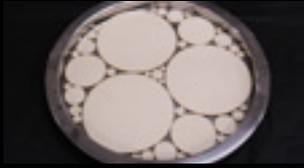
La liste des expériences, un lien vers les vidéos ainsi qu'une liste du matériel sont recensés dans les tableaux des pages suivantes.

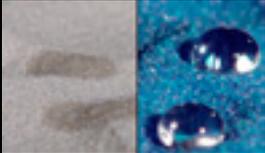
Expérience de la ségrégation granulaire d'un tas (ségrégation sapin) réalisée uniquement avec une plaque de PMMA et une gamate. Un sable hétérogène constitué de gros grains marrons et de petits grains fins blancs (sable HN38) est contenu dans une bouteille en plastique et versé dans la gamate, contre la plaque en PMMA. Il apparaît alors, du côté de la plaque une ségrégation en forme de sapin en fonction de la taille des grains. De l'autre côté, le tas se forme normalement mettant en évidence la ségrégation produite lorsqu'on verse par exemple un tas de terre au sol, les gros grains sont présents en grand nombre en bas, et les petits en haut. ↓



EXPÉRIENCES ET MATÉRIEL

18

NOM DE LA MANIP	MATÉRIEL	PHOTO
Granulométrie, la composition d'une terre	Cailloux, graviers, sables, silts, argiles et support en bois	
Empilement de grains 1+1=2 ? (lien web)	Cadre, verres en plastique transparents, grains grossiers, sable, passoire, saladier	
Empilement apollonien	Grains ronds en bois de différentes tailles	
Angle de repos du sable (lien web)	Sable HN38 sec	
Angle d'avalanche (lien web)	Sable NH38 sec	
Effet Volcan (lien web)	Plateau, maillet, sable	
Tour de lattes de bois	Lattes de bois, support, sable HN38	
Ségrégation sapin (lien web)	Gamate, sable hétérogène (gros grains et petits grains de différentes tailles), plaque de PMMA	
Ségrégation par vibration (lien web)	Plateau, maillet, sable hétérogène (grains grossiers et fins)	
Bâton béton (lien web)	Tube, bâton en bois, maillet	

NOM DE LA MANIP	MATÉRIEL	PHOTO
photoélasticimétrie des grains (lien web)	Cadre propre à la malette amàco	
Effet de voûtes (arc de billes) (lien web)	Cadre propre à la malette amàco	
Stalagmite (lien web)	2 gobelets troués, sable HN38, 2 assiettes	
Tour de gouttes de sable (lien web)	Assiette, sable HN38, seringue coupée	
Pâté de sable sec et humide (lien web)	Verres, sable, eau, gamate	
Super pâté de sable (lien web)	3 gobelets, sable HN38, armature, eau, pisoir, gamate, poids	
Pont capillaire (lien web 1 - 2 - 3)	Eau, assiette, billes de verre	
Plaquettes de verre collées entre elles (lien web)	Plaquettes en verre et eau	
Sable hydrophile / hydrophobe (lien web)	Sable hydrophile et hydrophobe, eau	
Dilatance par vibration (lien web)	Maillet, plateau, eau sable	



2

DÉROULÉ DU WORKSHOP

Matières et matériaux

22

Les matières et matériaux qui ont été utilisés pour le workshop ont été achetés sur place au Maroc.

De la terre à pisé locale a été utilisée pour la matrice du test Carazas. Pour les variantes, les professeurs de l'ENAM ont recolté un large panel de matériaux. Il y avait à disposition de l'argile rouge et de l'argile verte, de la terre blanche, du sable orange fin et grossier ainsi que du sable gris classique et du charbon de bois.

Il y avait également à disposition pour tout l'atelier différents types de fibres comme de la paille hachée, de la paille longue, de la filasse, et de la fibre de chanvre.

↓ Terre à pisé locale utilisée durant l'ensemble du workshop



↓ Argile rouge locale



↓ Terre blanche locale



↓ Argile verte locale



↓ Charbon de bois



↓ Sable orange fin



↓ Sable orange grossier



↓ Paille hachée fine



↓ Fibre de chanvre



↓ Paille longue en botte

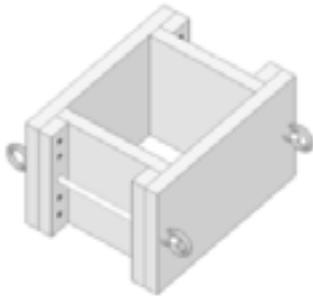


Matériel

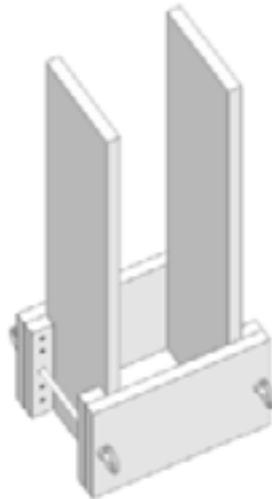
24

Le matériel nécessaire aux manips « Grains de Bâtisseurs » a été emporté directement par les intervenants amàco. Les coffrages indispensables à la réalisation de la matrice du test Carazas et ses variantes, ont été fabriqués à Marrakech par un artisan. Le matériel classique (gamates, truelle...) a été acheté sur place par l'ENAM.

COFFRAGES



↑ Petit coffrage pour la réalisation du test Carazas



↑ Coffrage à joues hautes pour l'exercice de pisé artistique



↑ Petit coffrage

AUTRE MATÉRIEL



↑ Pulvérisateur



↑ Truelle



↑ Terre à pisé locale utilisée durant l'ensemble du workshop



↑ Gamate auge plastique



↑ Seau



↑ Verre doseur (plastique)

Profil des participants

25

Participant	Profil	Participant	Profil
Chafiq Zaynab	1ère année Ena Marrakech	Sefraoui Salah-eddine	École d'architecture de Casablanca
Slimani Maryame	1ère année Ena Marrakech	Khoujahi Oumaima	1ère année Ena Marrakech
Darkaoui Oumaima	1ère année Ena Marrakech	Aya El Hariri	École d'architecture de Casablanca
Benadder Safaa	1ère année Ena Marrakech	Malak Amellah	École d'architecture de Casablanca
Othmani Khadija	1ère année Ena Marrakech	Sofia Sibari	École d'architecture de Casablanca
Charik Hanane	1ère année Ena Marrakech	Eddahmani Oumaima	École d'architecture de Casablanca
Amloul Abdelwahab	1ère année Ena Marrakech	Azedou Safaa	1ère année Ena Marrakech
Yassine Ech-chaib	1ère année Ena Marrakech	Diouri Hanaa	
Badrana Salma	1ère année Ena Marrakech	Ben Laassel Dounia	
Wafa Bassiouni	1ère année Ena Marrakech	Al Assaoui Nadia	1ère année Ena Marrakech
Elkiyaila Saloua	1ère année Ena Marrakech	Ouikassi Rania	1ère année Ena Marrakech
Mouguina Mohamed taha	1ère année Ena Marrakech	Abdou Zeid	1ère année Ena Marrakech
Kabore Wendyam aime	2ème année Ena Marrakech	Keltouma Ben-Bzik	Administration ENAM
Patrick Aime	2ème année Ena Marrakech	Tonde Thierry	1ère année Ena Marrakech
Konga Palakiyem	2ème année Ena Marrakech	Ibrahim Al Amin	1ère année Ena Marrakech
Abbadi Chaimae	3ème année Ena Marrakech	Oussama Baich	3ème année Ena Marrakech
Tolaimate Mehdi	Ena Rabat	Hamza Boufous	3ème année Ena Marrakech
Mariam Jebbari	Architecte diplômée	Hamza Znie El Abidine	3ème année Ena Marrakech
anas Mouataouakil	Ena Rabat	Amnay Kich	3ème année Ena Marrakech
Tazi Majdouline	Ena Rabat	Chaymaa Hafid	3ème année Ena Marrakech
Majda Idrissi Alami	3ème année architecture à l'UIR (Rabat)	Karim Diwane	3ème année Ena Marrakech
Mohamed Yassine Mesfioui	3ème année architecture à l'UIR (Rabat)	Salona Lakzit	3ème année Ena Marrakech
Chakir Alaoui	Enseignant Chercheur en STC	Najoua Benraffas	3ème année Ena Marrakech
Ibrahimi Sofia	École d'architecture de Casablanca	El Hasse Lamrchott	3ème année Ena Marrakech
Bennani Dounia	École d'architecture de Casablanca	Rihane El Akramine	3ème année Ena Marrakech
		Hajar Guersihi	3ème année Ena Marrakech

Variations sur la matrice du test Carazas

26

L'objectif de la matrice du test Carazas est d'appréhender par l'expérimentation les différentes propriétés du matériau terre afin de comprendre leur importance pour les performances techniques des constructions et pour leur mise en œuvre. Il s'agit de comprendre le côté triphasique du matériau terre - solide, liquide et gazeux. Jouer sur différents paramètres concernant la matière, sa mise en œuvre, permet de réaliser une variété de matériaux avec différentes caractéristiques. La transformation de la matière en matériau est une « grande cuisine » et la terre est un béton d'argile. Les coffrages utilisés afin de construire chacune des cases de la matrice sont des cubes de 15x15x15 cm.

Au cours de l'exercice une matrice de 2x3 m est remplie en faisant varier en abscisse l'état hydrique et en ordonnée, le mode de mise en œuvre. Lors des consignes, les états hydriques et les gestes de mise en œuvre sont explicités.

La matrice du test Carazas se réalise avec la terre seule. Lors de ce workshop, les matrices Carazas ont été réalisées avec la terre à pisé locale. Nous avons également réalisé des matrices avec des fibres (paille longue, paille hachée), ou avec de l'argile (rouge ou blanche), ou encore avec du sable en utilisant les modalités du test Carazas (variation hygrométrique, variation de mise en œuvre).

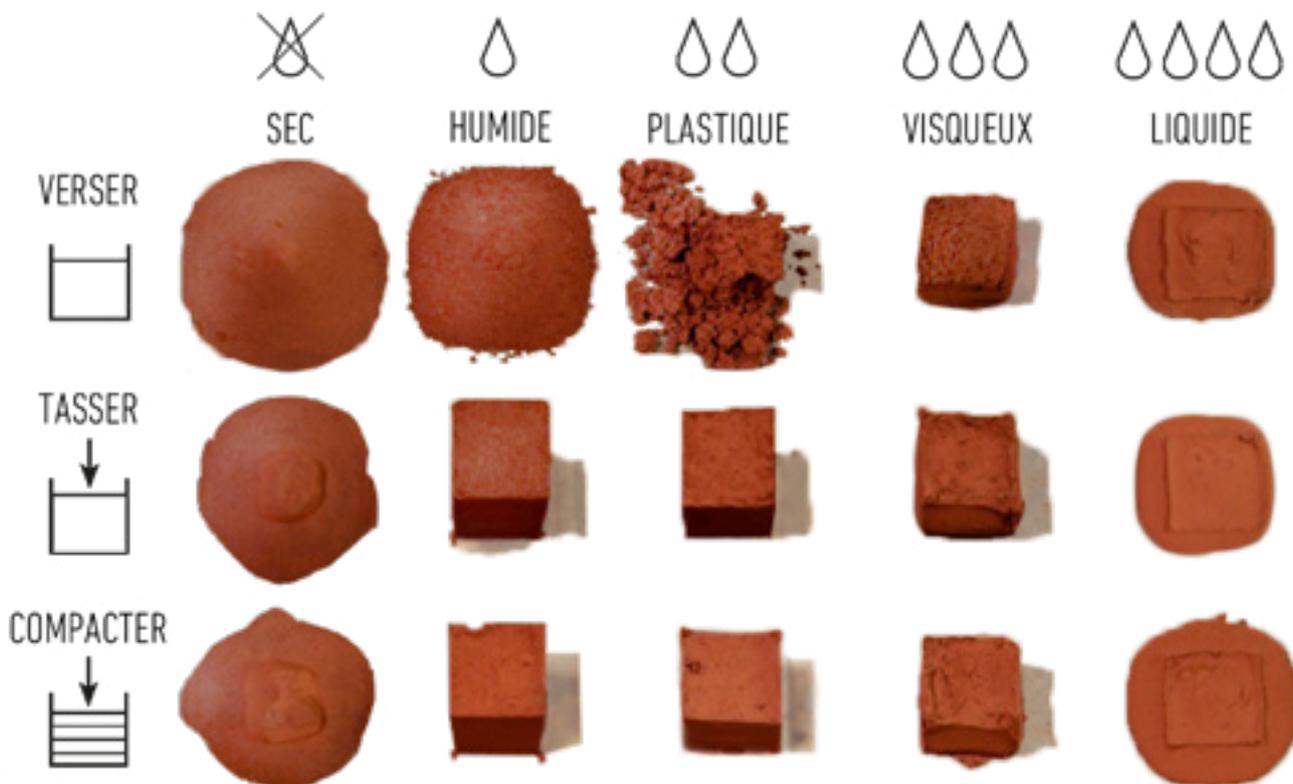
Wilfredo CARAZAS

Architecte péruvien, spécialiste de la construction en terre, il est membre du laboratoire CRATerre-ENSAG et de l'unité de recherche AE&CC.

Il est l'auteur de nombreux ouvrages sur les techniques de construction en terre notamment sur les questions parasismiques.

Il est l'auteur du test CARAZAS, qu'il a initialement créé pour les étudiants du DSA terre de l'école nationale supérieure d'architecture de Grenoble.

Matrice du test Carazas terre - Variation états hydriques (sec - humide - plastique - visqueux - liquide) méthodes de mise en œuvre (verser - tasser - compacter) ↓



Durant la phase de consignes de l'exercice, il est nécessaire de clarifier les états hydriques ainsi que les gestes de mise en œuvre.

Pour être porteur, le matériau doit avoir une certaine résistance. Elle dépend de plusieurs paramètres que nous avons fait varier : la composition (proportion de liant argileux, de fibres, de grains) et la manière dont le mélange est mis en œuvre, caractérisé par les deux directions de la matrice.

Le paramètre qui varie en ordonnée est la densité, c'est à dire la quantité d'air contenue dans le matériau.

Ainsi, « verser » correspond à l'état de matière simplement déposée dans le coffrage, « tasser » correspond à de la matière versée dans le coffrage puis tassée une seule fois et enfin, « compacter » signifie qu'elle est versée et compactée par fines couches. Il faudra veiller à toujours commencer, pour chaque coffrage réalisé, avec une quantité de terre sèche identique (en général égale à celle d'un coffrage rempli) pour pouvoir comparer les différences de tassement dues aux variations de mise en œuvre.

Le paramètre qui varie en abscisse est la teneur en eau, c'est à dire la quantité d'eau contenue dans le mélange.

Ainsi, l'état « sec » signifie qu'il n'y a pas eu d'ajout d'eau à la terre. Puis, l'état « humide » correspond à une consistance permettant la formation d'une boule par pression de la paume de la main qui, lâchée d'une hauteur d'un mètre, s'écrase sur le sol en se brisant en plusieurs morceaux. L'état « plastique » correspond à une consistance permettant de former une boule malléable « comme de la pâte à modeler » qui, lâchée d'une hauteur d'un mètre, s'écrase sur le sol en s'étalant sans se casser. L'état « visqueux » est proche d'une consistance ne permettant pas de former une boule car trop collante mais qui s'étale facilement. Tandis que le mélange « liquide » coule entre les doigts.

Il existe une multitude de possibilités pour mettre en œuvre une même terre, il n'existe pas une seule et unique recette. Les deux paramètres (état hydrique

et mise en œuvre) sont couplés et l'un doit être adapté à l'autre.

Les mélanges se réalisent dans les gamates pour être ensuite versés dans les coffrages. Les étudiants s'organisent en groupe de 3 à 5 personnes. Chaque groupe réalise une colonne de la matrice qui correspond à un état hydrique en particulier.

Une première restitution a lieu sur place directement devant la matrice. Les étudiants peuvent alors poser des questions à chaud. Une seconde restitution a lieu sous forme de conférence participative, avec une présentation qui met en relation les résultats obtenus dans la matrice et les différentes techniques de construction en terre crue, traditionnelles et contemporaines.

Réalisation par les étudiants de la matrice du test Carazas avec de la terre à pisé locale sur les colonnes correspondant aux états hydriques liquide et humide. ↓



Matrice du test Carazas avec de la terre à pisé. Il est possible de distinguer les états liquide, visqueux, plastique, humide et sec, ainsi que différents types de mise en œuvre. ↓



Restitution en extérieur de la matrice du test Carazas et des matrices fibres. Des matrices ont également été réalisées avec de l'argile rouge et de la terre blanche. ↓



Restitution

28

La restitution de la matrice du test Carazas a lieu sous forme de conférence participative avec un support numérique. Le but est d'amener les étudiants à s'interroger et à échanger sur les techniques de construction ainsi que sur l'exercice qu'ils ont réalisé. Des questions sont posées pendant la conférence pour susciter la discussion.

On aborde différentes notions de résistance mécanique, notamment la compression. Cette résistance (cohésion à l'état sec) dépend de plusieurs paramètres que nous avons fait varier : la composition (proportion de liant argileux, de fibres, de grains) et la manière dont le mélange est mis en œuvre, caractérisé par les deux directions de la matrice.

Le paramètre qui varie dans la direction horizontale est la teneur

en eau (quantité d'eau contenue dans le mélange lors de la mise en œuvre). Le paramètre qui varie dans la direction verticale est la densité (quantité d'air contenu dans le matériau). La terre est un mélange triphasique, c'est à dire qui est constitué de 3 phases :

- solide (les grains)
- liquide (l'eau)
- gazeuse (l'air)

L'équilibre entre ces trois phases définit les propriétés du matériau.

Un panorama des architectures de terre est présenté, ainsi que les différentes méthodes de construction, avec un accent sur la technique du pisé, très présente au sein du patrimoine marocain.

Pour aller plus loin

- Essais de terrain [lien web](#)
- Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture, éditions Belin, 2009 [lien web](#)

Démoulage d'un des moules du test carazas, terre à l'état plastique ➤



↑ Enduits en terre



↑ Technique du pisé

dessin : A.Misse dans l'ouvrage *Bâtir en terre, du grains de sable à l'architecture*



↑ Construction de pisé artistique © Collectif Alba



↑ Restitution du test de la matrice du test Carazas et des matrices fibres en salle sous forme de conférence participative



Ateliers scientifiques

30

Les manips réalisées visent à expliquer le comportement physico-chimique de la matière en grains. Les expériences sont pour la plupart tirées de la série de manips « Grains de Bâisseurs » et de la série de vidéos « Matières à construire ».

Les expériences portent sur la physique des grains secs ainsi que des grains humides, et visent à être « contre-intuitives », c'est-à-dire que le résultat n'est pas celui attendu intuitivement. Suivant la configuration, l'atelier peut être suivi par un public comprenant entre 15 et 30 personnes. Les expériences se veulent interactives, la parole est souvent laissée aux apprenants et des questions peuvent être posées afin d'être dans un format participatif qui pousse à l'échange. Les différentes manips s'enchaînent au rythme des réflexions des

étudiants et de leurs professeurs, ainsi que de leurs remarques (exemples, parallèles avec d'autres phénomènes). Les expériences mènent à la discussion et sont mises en rapport avec de nombreux phénomènes physiques relatifs à la matière qui nous entoure, et plus particulièrement à la construction. Il est également possible pendant ce temps de revenir sur certains points de la conférence de restitution des matrices du test Carazas et de faire des liens avec les techniques constructives déjà explicitées. Deux sessions d'ateliers scientifiques ont été réalisées à Marrakech durant ce workshop.

Cette série de manips scientifiques peut être diffusée et appréhendée de différentes façons. Elles ont été regroupées dans le mémoire de DSA de Romain Anger, puis dans

le livre « Bâtir en terre » dont il est co-auteur avec Laetitia Fontaine. Ces expérimentations font également l'objet de vidéos, de conférences expérimentales et d'expositions (Mat(i)erre première, Exposition éponyme « Grains de Bâisseurs »).

Les ateliers peuvent s'organiser sous différentes formes : des formes plus classiques de cours magistraux, des ateliers par tables pour les scolaires organisées par thématiques et enfin, des ateliers comme celui-ci où les expérimentations et le discours avancent au fil de la discussion avec les étudiants, en partant d'éléments concrets (du tas de sable juste à côté ou d'un mur en pisé dans la cour de l'école...).



Les étudiants sont invités à porter leur regard sur le tas de sable et de terre présent à côté de la table de manips, sur le lieu même de l'atelier. Quels sont les éléments remarquables ? Les réponses des étudiants sont variées : la couleur est souvent la première chose qui les marque. Les tailles des grains, la forme et la pente sont particulières. Mais pourquoi ? Une suite de questions leur a été posée pour les aider à formuler des hypothèses de réponses. Nous les invitons à utiliser et/ou à regarder telle ou telle manip pour mieux voir et comprendre les phénomènes physiques en jeu.



Pour aller plus loin

- Chainette de billes de polystyrène [lien web](#)
- Comprimé de poudre [lien web](#)
- Mémoire DSA Romain Anger [lien web](#)
- Livret Grains de Bâtisseurs [lien web](#)

↓ Atelier scientifique en extérieur sur la science des grains secs et des grains humides

← Manip scientifique de l'effet volcan : les grains sont propulsés dans l'air à cause des vibrations et en retombant prennent la forme de cônes de révolution. L'angle de talus de 30° est bien visible.



Ateliers créatifs

32

Cet atelier a pour but de mener les étudiants à concevoir et à construire, par groupe, une colonne de pisé, avec un double regard technique et artistique.

Les coffrages à disposition sont identiques à ceux de la matrice du test Carazas, précédemment utilisés, auxquels ont été ajoutées des joues de coffrage de 60 cm.

Il s'agit pour les apprenants de mobiliser les connaissances acquises lors de la réalisation de la matrice du test Carazas et ses variations, de la conférence de restitution, pour imaginer des solutions aux défis proposés, en abordant les potentialités artistiques de la matière.

Les étudiants sont invités à réfléchir en groupe afin de concevoir et de mettre en oeuvre une colonne de pisé esthétique. Ils formalisent ensuite leurs idées en dessinant leur projet et en indiquant les matières qu'ils souhaitent utiliser. Dans chacun des groupes, un apprenant capitalise et répertorie le travail effectué et présente les résultats.

La réalisation se fait en deux temps. Dans un premier temps, les étudiants sont amenés à tester leur idée dans un petit coffrage de 15x15x15 cm. Une liste de thèmes est donnée afin d'orienter les recherches, tels que :

- Quelle taille de grains utiliser ?
- Quel empilement granulaire réaliser ?
Comment ranger au mieux les grains ?
- Quelle mise en oeuvre ?
- Quelle quantité d'eau mettre dans le mélange ? (afin d'avoir une bonne cohésion mais également de décoffrer immédiatement)
- Quelle quantité d'argile (afin que la cohésion ait lieu sans fissures au séchage) ?

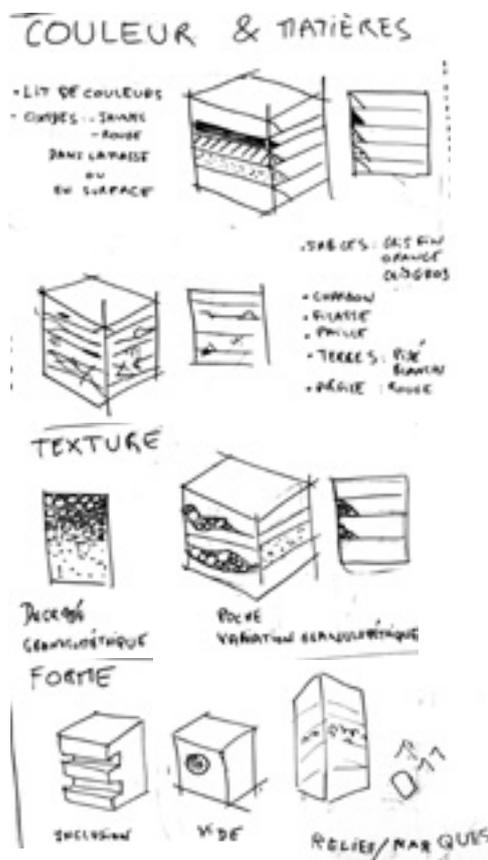
Dans un second temps, les étudiants réalisent une colonne de plus grand format de 15x15x60 cm, suivant ce qu'ils auront pu tester au préalable. Les paramètres que les étudiants sont amenés à varier dans leur projet sont les suivants :

- Les couleurs et les matières (sable gris fin et grossier, sable orange fin et grossier, terre blanche, argile rouge et verte, charbon de bois, paille hachée fine, paille longue, filasse de chanvre)
- Les textures grâce à la granulométrie de la terre.

Les grains sont séparables grâce à des tamis.

- La forme de la colonne grâce à des inclusions (tasseaux, cailloux) qu'il sera possible d'enlever une fois la colonne terminée. Il est également possible de réaliser des zones en sable sec qui seront amovibles une fois la colonne terminée afin de laisser un vide ou un creux.
- L'aspect extérieur avec des reliefs, des textures, ou encore des marques.

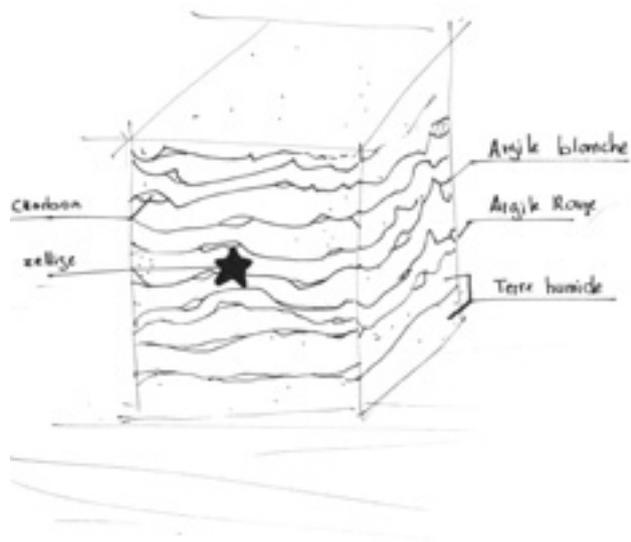
L'intérêt pour l'atelier précédent, les manipulations scientifiques, et l'enthousiasme des étudiants, a limité le temps disponible pour les essais de l'atelier artistique. La phase de brainstorming en équipe a abouti à une intention sur dessin. Peu d'étudiants ont pu réaliser un premier test qui aurait pu permettre de choisir ou d'écartier certaines pistes. Le résultat des petites colonnes est donc « brut ». Les étudiants ont été confrontés aux décalages possibles qu'il existe entre conception et réalisation.



↑ Paramètres variables pour l'exercice du pisé artistique

THE MARBLE BLOC

INTENTION



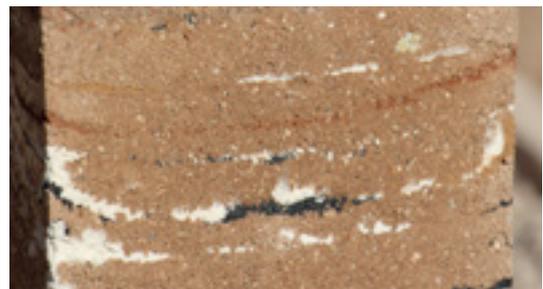
REMARQUES SUR LE PROJET

La terre a été tamisée à 3 mm. Cette finesse permet d'obtenir un mélange propice à une mise en œuvre de pisé dans un petit coffrage.

Le mélange, rendu au bon état hydrique de la terre, a rendu le décoffrage plutôt facile et a procuré une bonne tenue mécanique du bloc.

La terre à pisé a été utilisée pour l'ensemble de la tour ce qui rend un ensemble plutôt résistant et homogène. Les inclusions sont de natures et de couleurs variées : terre blanche, charbon, argile rouge, sable fin et grossier orange. Les matières ont été mises en œuvre en petites quantités sur le bord des coffrages, en couches très fines, maintenant une cohésion de l'ensemble du bloc.

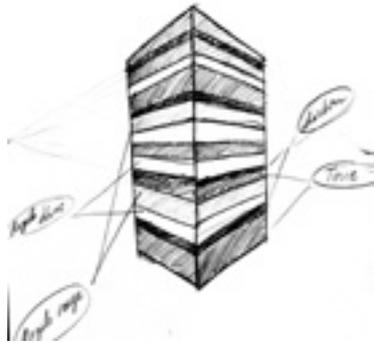
RÉALISATION



MILLE ET UNE COUCHE

34

INTENTION



REMARQUES SUR LE PROJET

Il s'agit d'une superposition de couches pleines (l'entièreté de la couche est constituée de la même matière) de couleurs chaudes (terre à pisé, argile rouge, charbon, argile blanche). Le mélange a été mis en œuvre à la limite de l'état plastique ce qui a rendu le décoffrage difficile. L'argile rouge, sans ajout de sable, est difficile à amener à l'état humide. Le décoffrage a été fait au fur et à mesure de la construction de la colonne, sans séchage. Cela a provoqué l'écrasement de la base, et quelques fissures sont apparues.

Entièrement décoffré, l'ensemble a plutôt une bonne tenue mécanique. La pierre centrale était prévue à l'origine pour laisser place à une cavité, elle n'a pas pu être retirée à la suite du décoffrage, sous peine de fissurer le bloc. Il aurait

sûrement fallu utiliser du sable humide (sans liant argileux), gratté et brossé au terme du décoffrage.

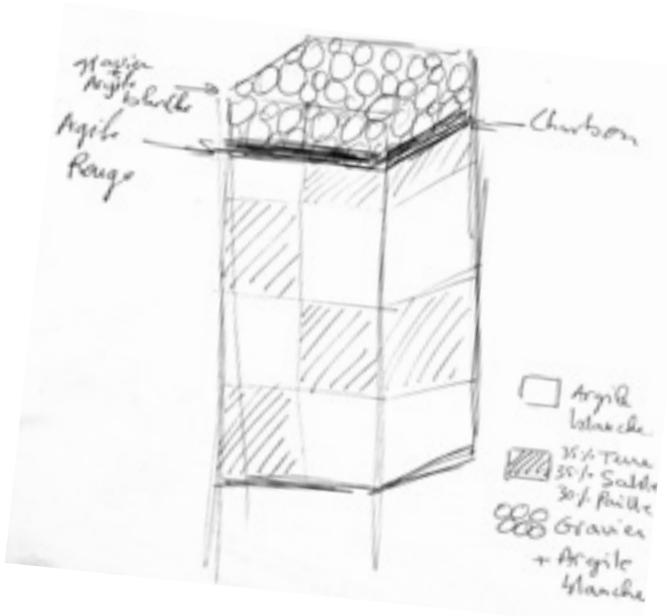
Une fois la tour décoffrée, on remarque que les lignes de couleurs ne sont finalement pas régulières et bavent les unes sur les autres. Il est difficile de maintenir des couches de couleur constantes en taille. L'utilisation d'une pige (le pivoir marqué par exemple) pour vérifier la planéité et la régularité de la couche de matière, aurait permis de diminuer l'effet de vague de couleur provoqué par le mélange des couches à la mise en œuvre.

RÉALISATION



DAMIER

INTENTION



REMARQUES SUR LE PROJET

La terre est mise en œuvre au bon état hydrique pour la technique du pisé, c'est à dire humide. La terre blanche manque de cohésion, puisqu'elle s'effrite, et paraît très sableuse (manque d'argile).

La volonté de séparation nette entre les deux couleurs avec l'utilisation d'une plaque de plastique entre les deux parties de la tour a provoqué une faiblesse dans la masse de la colonne, la scindant en deux.

En réaction, un chapeau en argile rouge et charbon a été produit pour maintenir les deux parties ensemble. Il n'est pas impossible de voir apparaître une fissure verticale dans cette couche dans l'alignement de la fissure inférieure, le bloc de pisé n'étant pas résistant en traction. D'autres mélanges ou dispositifs incluant des fibres, résistantes en traction, auraient pu être utilisées pour créer cette couche.

La dernière partie (mélange de gravier et de terre blanche) est très plastique, ce qui ne correspond pas à une mise en œuvre classique du pisé.

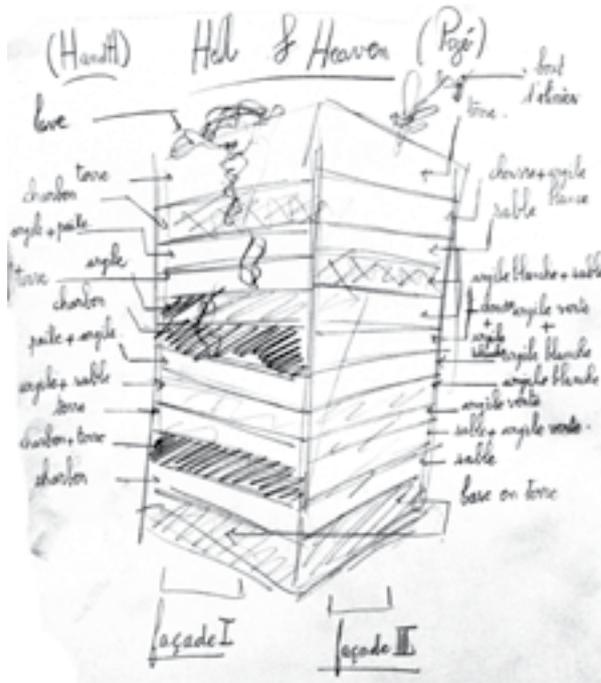
RÉALISATION



HELL & HEAVEN

36

INTENTION



REMARQUES SUR LE PROJET

Deux faces différentes ont été réalisées : l'une dans des tons chauds et l'autre dans des tons froids.

La terre a été mise en œuvre à la limite du plastique, mais étant donné la taille de la tour, cela n'a pas créé de problèmes d'affaissement. L'argile rouge seule, aurait pu être amendée de sable pour être plus facilement mise en œuvre à l'état humide.

Le projet visait à avoir deux faces clairement séparées l'une de l'autre pour signifier une réelle démarcation.

Au décoffrage, ce n'est pas le cas, la face intermédiaire est floue et se dessine comme un mélange entre les deux côtés de la tour distincts de couleurs.

Le choix est fait d'enduire cette face pour masquer ce mélange. Un choix plus esthétique que technique qui fait intervenir une autre technique que celle de l'exercice (pisé) : l'enduit terre. Outre l'aspect esthétique, le séchage de la couche de terre mise en œuvre à l'état visqueux sur un support de terres hétérogènes pourra provoquer des fissurations.

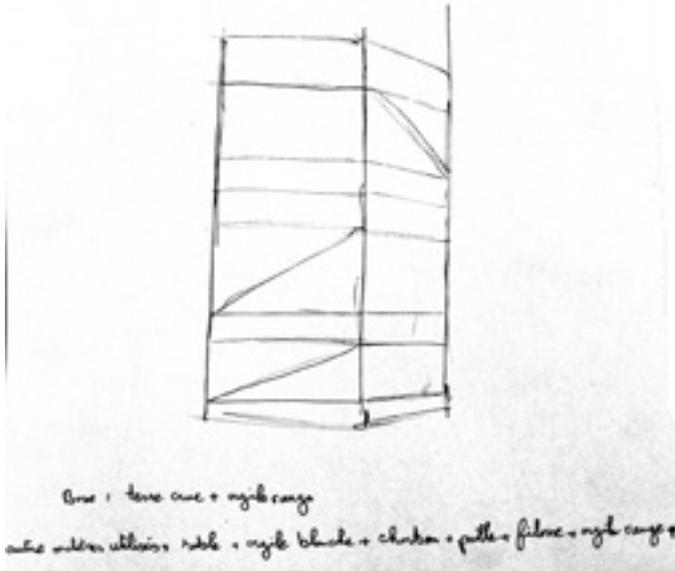
RÉALISATION



LA DIVERSITÉ DES MATIÈRES

37

INTENTION



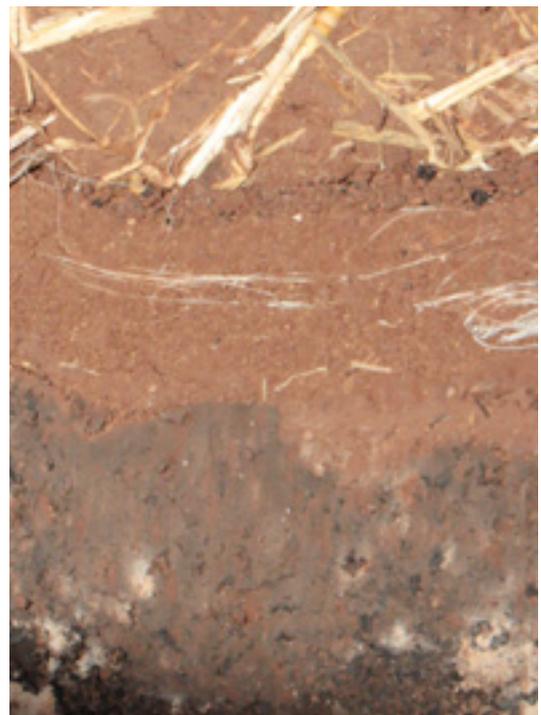
REMARQUES SUR LE PROJET

Le mélange de terre a été mis en œuvre au bon taux hygrométrique. Cependant, l'ajout d'argile rouge très cohésive à la terre à pisé tamisée, a rendu trop collant le mélange, presque plastique à la mise en œuvre.

Les étudiants ont pris conscience de la difficulté de réaliser certains effets. Par exemple, les lignes de coupure en biais dans le pisé sont délicates à former sans l'utilisation de guides ou de piges qui permettent de vérifier en permanence la linéarité de la mise en œuvre. Cette linéarité n'est jamais garantie à 100 %, mais il est possible de tendre vers. La terre argileuse, trop collante, a été difficile à décoffrer.

Des fibres courtes et longues ont été utilisées afin de créer des variations dans le bloc. Certaines couches du bloc ont inclus une granulométrie différente pour créer des effets de textures.

RÉALISATION



BILAN DE L'ATELIER CRÉATIF

Les étudiants se sont prêtés au jeu du pisé créatif. Ils furent très motivés à concevoir et à réaliser en groupe un projet. Les apprenants ont pu voir la différence entre le projet papier et sa réalisation. Ils ont pris conscience de **la constante nécessité de faire des aller-retours entre conception et réalisation par l'intermédiaire de modèles et de prototypes.**

La matière première de l'exercice est une terre à l'état humide propice à la mise en oeuvre du pisé. Afin de réaliser la bonne texture au bon taux d'humidité, les étudiants utilisent l'expérience acquise lors de la matrice du test Carazas, pour déterminer le meilleur mélange possible prêt à être mis en oeuvre. Il s'avère intéressant de comparer, à la fin de l'exercice, les résultats obtenus et de remarquer la difficulté à rendre une certaine terre à un certain taux d'humidité pour une technique donnée, en l'occurrence celle du pisé. Tous les groupes n'ont pas réussi à s'adapter aux caractéristiques de leur matière première, notamment ceux qui avaient choisi l'argile pure.

Certains groupes de travail ont rencontré des problèmes de tenue mécanique. La tour doit être stable et s'auto-porter, c'est-à-dire être stable une fois décoffrée et supporter au moins deux fois son poids. Pour cela, il est nécessaire de limiter les inclusions perturbant l'homogénéité de la matière.

Pour permettre à tous les groupes de fixer clairement l'idée première du projet sur papier la phase de brainstorming doit tenir une place importante dans la réalisation de l'exercice.

Certains professeurs de l'ENAM ont trouvé un fort intérêt pour cet exercice, notamment les professeurs de dessin et d'arts plastiques. Ils ont eu la possibilité de venir réaliser leur propre bloc de pisé artistique.

Dans l'avenir, cet atelier pourrait avoir sa place dans l'enseignement de l'art plastique à l'ENAM.

Quelques déséquilibres en effectif d'une journée à l'autre pour certains des groupes ont entraîné des ralentissements dans l'exécution des colonnes. La préparation de la terre et la mise en oeuvre du pisé est longue. Ce constat a été fait par les étudiants, qui ont pointé **l'importance de penser en amont la mise en place et l'exécution de la ligne de production, en n'omettant ni les ressources matérielles (matières, outils, etc.), ni le temps nécessaire à la réalisation.**

Pour aller plus loin

- Lehm ton Erde, Martin Rauch [lien web](#)
- Atelier Alba [lien web](#)
- Œuvres en terre d' [Andy Goldsworthy](#)

Il s'agissait de construire une colonne qui soit continue de 4 coffrages de haut, tel un extrait d'une colonne beaucoup plus grande. L'exercice est réalisé dans un temps très court, il est donc important de **se limiter à une idée par colonne, quelque chose de simple pour plus de clarté quant à l'intention et le message**, et ainsi obtenir une certaine homogénéité sur toute la tour. La majorité des groupes a tout de même souhaité ajouter un dernier élément sur la colonne, un chapeau, qui diffère du reste de la colonne par sa matière, sa nature et sa forme.

Pour la majorité des groupes d'étudiants le choix s'est porté sur des variations de couleurs. En revanche, les variations de textures et notamment granulométriques n'ont pas été creusées.

Une autre variante aurait été de jouer également sur des paramètres comme la granulométrie, ou les textures en les faisant varier seuls.

De manière subjective, les groupes ont pu trouver l'esthétique de leur colonne réussie ou, a contrario, loin de leurs espérances. Mais l'exercice n'en est pas moins réussi pour autant.

Ils ont pris conscience des différences de résultats liées au choix de la mise en oeuvre.

Conclusion

40

La diversité des participants au niveau de leur école d'origine (Marrakech, Casablanca, Rabat) ainsi que de leur année était très intéressante, autant pour les ateliers scientifiques, où ils ont pu échanger, chacun avec leurs connaissances, que pendant les ateliers pratiques. Certains étudiants ont également servi de tuteurs et de relais sur certains exercices pour d'autres qui ne pouvaient pas être présents tous les jours du workshop.

Ils ont abordé des notions de physique, lors des mélanges et de la mise en oeuvre. Ils ont mis en pratique les savoirs et savoir-faire abordés par la matrice du test Carazas et par les ateliers scientifiques. Ils ont découvert les variétés des terres et l'importance de la granulométrie et du type de mélange. Ils ont globalement été satisfaits d'avoir réussi à matérialiser une idée, et ensuite de la partager avec les autres étudiants de l'école. Ils ont abordé le travail en groupe, par collaboration, et ont réussi à s'accorder sur une idée, à la transcrire par le dessin et à la réaliser.

Le matériel nécessaire à la réalisation des exercices est dorénavant disponible pour les enseignements de l'ENAM. Ils auront donc la possibilité de refaire ces ateliers s'ils le désirent par la suite.

Il y a eu également un grand intérêt de la part de l'école de manière générale et des enseignants de Marrakech mais aussi de Casablanca, de domaines d'enseignements très variés (structure, projet, arts plastiques, urbanisme).

Les étudiants ont été très motivés et l'ambiance de travail très agréable. Les professeurs des écoles d'architecture ont également participé à certains des exercices aux côtés de leurs étudiants comme apprenants.

Il ressort une volonté de présenter ces techniques de construction et ces matériaux aux étudiants des ENA marocaines en y intégrant l'ensemble des contenus et matériels pédagogiques apportés par amàco.



Merci à l'équipe administrative et aux professeurs de l'ENAM pour leur disponibilité et leur accueil.

Merci aux étudiants pour leur motivation, leur enthousiasme et leur investissement.

