



**HAL**  
open science

# Ambiances et esthétique de l'architecture en terre crue

Justine Raoul

► **To cite this version:**

Justine Raoul. Ambiances et esthétique de l'architecture en terre crue. Architecture, aménagement de l'espace. 2020. dumas-02624550

**HAL Id: dumas-02624550**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02624550>**

Submitted on 26 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

The image shows a close-up, low-angle view of a curved, earthen interior. The walls and ceiling are made of rough, textured earth or mud. Two bright, circular recessed lights are visible on the ceiling, casting a warm glow. The overall atmosphere is rustic and organic.

AMBIANCES  
ET  
ESTHÉTIQUES  
DE  
L'ARCHITECTURE  
EN  
TERRE CRUE

MÉMOIRE DE MASTER  
JUSTINE RAOUL

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

---

# AMBIANCES ET ESTHÉTIQUES DE L'ARCHITECTURE EN TERRE CRUE

---

MÉMOIRE DE MASTER  
SÉMINAIRE : BIEN-VIVRE

Directeurs d'études : Virginie Meunier et Christian Marenne  
École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mes enseignants de mémoire Virginie Meunier et Christian Marenne pour leur accompagnement, leur patience, leur soutien et leurs conseils tout au long de ce mémoire.

Bettina Horsch et Riccardo de Paoli qui m'ont permis de découvrir et d'expérimenter le matériau terre à travers L'UET : Matières à construire, Terre crue et fibres naturelles.

À Timur Ersen, Martin Pointet, Amélie le Paith pour leurs conférences instructives et enrichissantes qui m'ont aidé à faire évoluer ma réflexion sur le matériau terre.

À Isabelle Thierry pour son aide et son enthousiasme à la lecture de mon sujet.

À ma famille et mes amis qui m'ont soutenue tout le long de ce mémoire.

Depuis quelques années, nous observons un retour en force des matériaux naturels dans le domaine de la construction. La transition écologique qui aujourd'hui est un enjeu majeur de notre société nous pousse à revoir et à repenser nos modes de consommation. Si petit à petit, à l'échelle individuelle, de nouvelles habitudes s'installent comme le recyclage, le covoiturage ou le déplacement en vélo il est essentiel de repenser nos modes de construction qui représentent 44% de l'énergie consommée en France et émettent plus de 133 millions de tonnes de Co2 par an. Ces chiffres placent le domaine du bâtiment loin devant celui des transports qui représente 31,3% de la consommation annuelle.

D'ici 2050, notre gouvernement a pour ambition de réduire considérablement nos émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, dans le secteur du bâtiment, de nombreuses politiques sont mises en place pour favoriser un renouveau de l'architecture. La RT2012 par exemple impose trois exigences en matière de construction : efficacité énergétique du bâtiment, faible consommation et confort d'été dans des bâtiments non climatisés (facteur de consommation le plus important dans le tertiaire). La RT2020 sera un nouveau tournant puisqu'elle mettra en oeuvre le principe de bâtiment à énergie positive, c'est-à-dire qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.

Ainsi, le recours à des matériaux moins polluants devient primordial. Actuellement, l'industrie de la construction bois a le vent en poupe puisqu'elle permet de répondre à toutes ces exigences. Cependant, pour répondre à la réglementation, le matériau doit être traité par des produits chimiques pour garantir sa résistance au feu et contre les insectes. L'utilisation de techniques telle que le CLT peuvent aussi être remise en question puisqu'aujourd'hui, les colles utilisées pour solidariser les épaisseurs entre elles sont polluantes et empêchent le recyclage du matériau. De plus, l'utilisation de ces produits peut être controversée car ceux-ci se retrouvent à terme dans l'air que l'on respire quotidiennement ce qui peut avoir des conséquences sur notre santé.

Dans sa mise en oeuvre, on observe que la construction bois se dessine souvent comme l'architecture en béton. En effet, le principe poteaux poutres, largement utilisé dans la conception, peut s'appliquer aux deux

.....

matériaux. Ainsi, même si le bois est utilisé depuis de nombreux siècles, le savoir-faire et l'esthétique qu'ils pouvaient générer ont largement été transformés. L'industrialisation du bois gomme la particularité de chaque morceau qui devient ainsi un produit standardisé et parfaitement rectiligne. Dans sa forme, il perd l'aspect vernaculaire que l'on pouvait par exemple observer sur les maisons à Pans de bois.

Dans les intérieurs, le bois est apprécié par ses utilisateurs car il confère une certaine chaleur et une impression de nature dans l'espace. À l'extérieur, c'est un matériau qui, en fonction de son traitement, peut être un témoin du temps qui passe par l'aspect grisé qu'il prendra au fur et à mesure des années.

Aujourd'hui, l'utilisation de ce matériau s'est beaucoup démocratisée et est ainsi mieux connue même s'il existe encore certains à priori.

Le bois n'est cependant pas le seul à pouvoir répondre aux problématiques environnementales que nous rencontrons. En effet, le matériau terre revient peu à peu dans l'architecture.

Aujourd'hui, on estime que 30% de la population mondiale vit dans un habitat en terre. Chaque année, ce sont plus de 200 000 personnes qui construisent leur maison à l'aide de ce matériau. Si en France, celui-ci a été laissé de côté pendant de nombreuses décennies au profit du béton, il existe cependant un patrimoine important témoin de la qualité de ce matériau. La terre est un produit écologique par excellence, si celle-ci n'est pas stabilisée, elle demeure recyclable à l'infini. De plus, elle a pour particularité de réguler le taux d'humidité dans les intérieurs et possède un déphasage qui lui permet de restituer la chaleur au moment opportun. Si l'intérêt écologique pour ce matériau ancestral est indéniable, il pourrait aussi représenter une volonté esthétique importante de par les multiples mises en œuvre qu'elle peut engendrer. Pour ces raisons, il est intéressant de se demander : le matériau terre dans l'architecture contemporaine est-il source d'une ou d'esthétiques et d'ambiances singulières ?

Pour répondre à cette problématique, le mémoire s'appuiera sur une analyse bibliographique ainsi que sur des documentaires, interviews, conférences... Les cours de matière à construire du semestre précédent pourront être intégrés notamment pour l'aspect expérimentation technique et esthétique. La partie concernant les ambiances s'appuiera quant à elle sur des analyses d'entretiens et de mesures.

.....

## SOMMAIRE

### I) LA TERRE, UN MATÉRIAU AUX MISES EN ŒUVRES MULTIPLES :

I.1) Origine de la construction en terre .....	p.13
A) L'architecture Dogon .....	p.17
B) Shibam : La Manhattan du désert .....	p.23
C) L'Europe .....	p.27
I.2) 4 méthodes de constructions traditionnelles les plus répandues ..	p.35
A) Le pisé .....	p.37
B) L'adobe .....	p.41
C) Le torchis .....	p.45
D) La bauge .....	p.49
I.3) Vers l'industrialisation et la préfabrication du matériau .....	p.53
A) le pisé préfabriqué .....	p.55
B) Le BTC .....	p.59
C) La terre coulée .....	p.63
D) Les stabilisants .....	p.67

### II) L'ESTHÉTIQUE DE LA TERRE DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE :

II.1) L'architecture en terre par Martin Rauch .....	p.75
A) Rauch House .....	p.77
B) Ricola herbal centre .....	p.85
II.2) L'architecture en terre par Anna Heringer .....	p.91
A) Handmade school .....	p.93
B) Omicron living rooms .....	p.99
II.3) L'architecture en terre par Marcelo Cortes .....	p.105
A) Centre d'écologie appliquée .....	p.107
II.4) L'architecture en terre par Daniel Duchert .....	p.111
A) Exposition ma terre première .....	p.113

### III) HABITER LA TERRE ENTRE AMBIANCES, CONFORT ET QUALITÉ DE VIE :

III.1) Découverte visuelle .....	p.121
III.2) Expérimentation corporelle .....	p.127
III.3) Mémoire olfactive .....	p.135
III.4) Perception sonore .....	p.141

### CONCLUSION

## LA TERRE, UN MATÉRIAU MILLÉNAIRE AUX MISES EN ŒUVRES MULTIPLES

Si la terre demeure l'un des matériaux de construction les plus anciens, celui-ci a été au fil des années délaissé au profit de nouveaux matériaux plus innovants, symbolisant le progrès. Souvent considérée comme un matériau pauvre et peu qualitatif, la terre présente pourtant la capacité d'être réinventée à l'infini. En fonction des régions du monde, les bâtisseurs ont su la mettre en oeuvre pour l'adapter aux différents climats et créer de cette façon une identité architecturale qui leur est propre.

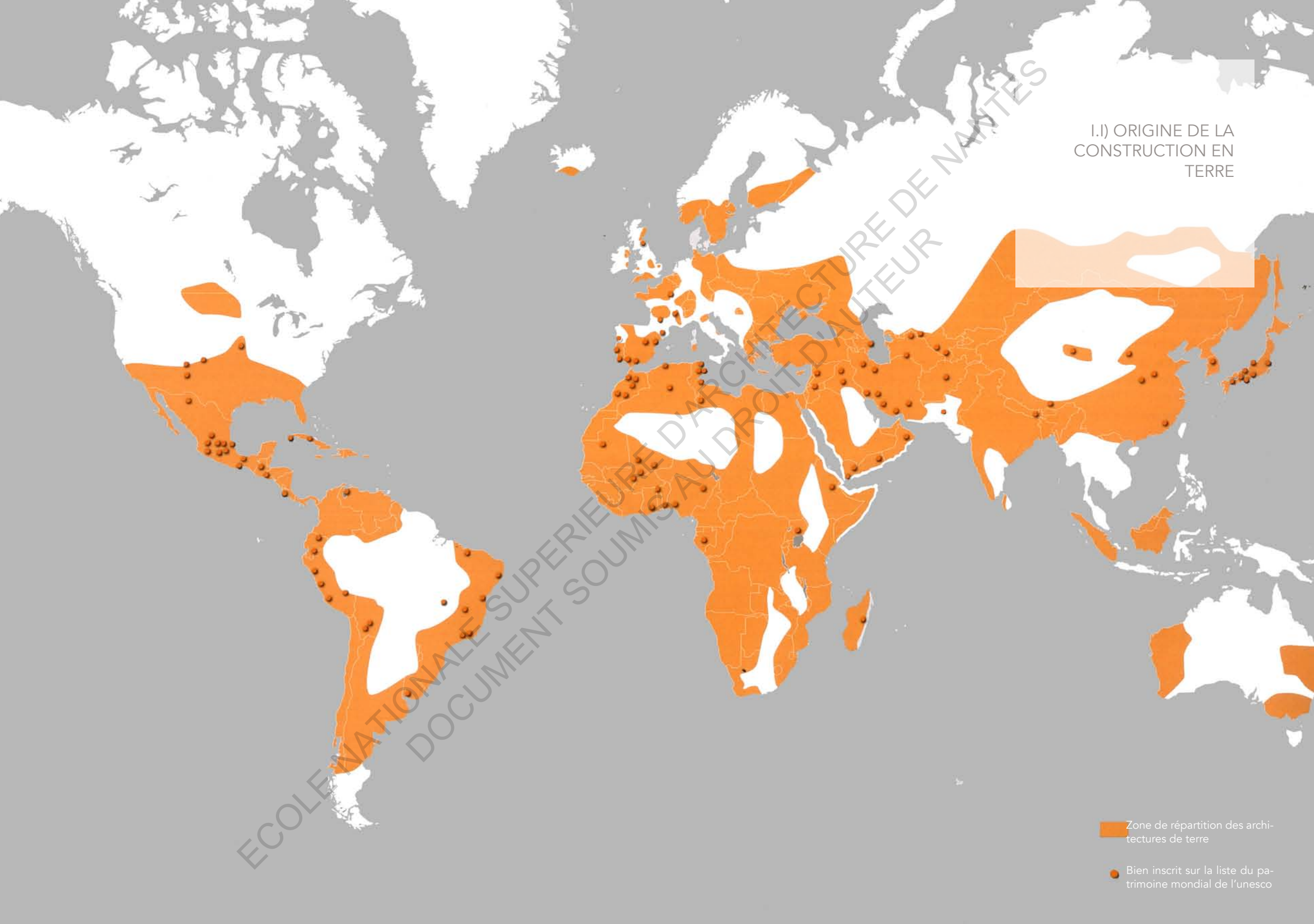
*« La terre offre des potentialités plastiques incomparables qui transforment les bâtiments en véritables architectures-sculptures. Cette liberté que n'offre aucun autre matériau de construction, conduit à une prodigieuse diversité architecturale dans le monde entier. L'édifice cesse d'être un objet utilitaire pour devenir le reflet de l'identité des peuples qui l'ont créé. »<sup>(1)</sup>*

Cette première partie propose tout d'abord un rapide retour historique sur la construction terre. Celui-ci sera suivi d'un rappel sur les techniques de construction traditionnelle puis de la mise en évidence de 3 techniques contemporaines.

1) Laëticia Fontaine et Romain Anger, *Bâtir en terre : du grain de sable à l'architecture*, Paris, Belin, 2009 p.62



I.I) ORIGINE DE LA  
CONSTRUCTION EN  
TERRE



Zone de répartition des architectures de terre

Bien inscrit sur la liste du patrimoine mondial de l'unesco

figure 1 : Carte © Arnaud Misse



Figure 2 : Reconstitution habitat antique égyptien / Photographie : © Assassin's creed Origins



Figure 3 : Vestige de la capitale Tell el Amarna / Photographie : © Antikforever

La construction en terre demeure l'une des techniques de construction les plus anciennes utilisées par l'être humain. Si aujourd'hui on estime que 30% de la population mondiale habite dans une construction réalisée en terre crue, il est intéressant de constater les évolutions que ce type d'architecture ont pu connaître à travers l'histoire.

Les premières réalisations en terre sont estimées à plus de 12000 ans et situées au sud de la Palestine. Alors que l'homme devient progressivement sédentaire, les abris qu'il créait vont petit à petit se complexifier par le mélange de différents matériaux. Tout d'abord les constructions les plus simples mettent en œuvre une structure composée de branches et recouverte par un enduit de terre. Petit à petit, l'homme va apprivoiser la matière dont il dispose en fonction de son lieu d'occupation. Ainsi, il va observer que la terre peut exister sous différents états mais aussi que sa composition est variable. Par exemple, à proximité des fleuves, les sols humides riches en argile vont permettre d'utiliser la terre avec une certaine facilité pour sa mise en œuvre. Dans d'autres environnements, la terre peut aussi être creusée tout comme le font les animaux pour réaliser leurs abris.

Durant l'Antiquité, les Égyptiens ont su mettre à profit l'utilisation de la terre pour bâtir leur habitat. La vallée du Nil riche en limon argileux et propice au développement des cultures céréalières, a permis la création d'un nouveau mélange composé de terre, de sable et de fibres. Celui-ci est modelé puis moulé pour créer des briques crues qui sèchent ensuite au soleil. On observe ici, l'apparition de la technique de l'adobe. Si cette méthode est au départ utilisée pour tous types d'édifices, elle sera au fur et à mesure destinée à l'architecture civile urbaine et rurale (*figure2*) tandis que les édifices sacrés seront construits en pierre, perçue comme un «matériau d'éternité». Si l'utilisation de la terre comme matériau de construction par les Égyptiens est reconnue par les historiens, il existe cependant peu de traces archéologiques car le matériau a mal résisté au temps. Les principaux vestiges qui nous sont parvenus sont la capitale de Tell el Amarna ainsi que la nécropole de Thèbes (*figure 3*). Si le savoir-faire des Égyptiens est reconnu à travers le monde, les constructions africaines ont cependant été influencées par d'autres peuples qui ont développé leurs propres techniques comme le peuple Dogon au Mali par exemple.



I.I) ORIGINE DE LA  
CONSTRUCTION EN TERRE

A) ARCHITECTURE  
DOGON

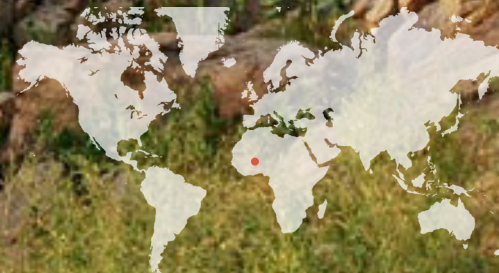


Figure 4 : Tali, village Dogon / Photographie : © Dorothy Voorhees



Figure 5 : Habitation Dogon / Photographie : © Wolfgang Lauber

L'architecture Dogon est visible au Centre-Est de la république du Mali. Tout d'abord nomades, les Dogons parcouraient le Sud-Ouest du Sahara alors encore verdoyant avec leurs troupeaux. La sédentarisation de ces nomades s'est avérée nécessaire en raison de la désertification de cette zone prospère. Pour les Dogons, savoir s'adapter à l'environnement est un enjeu majeur pour leur survie. Situés dans des territoires montagneux aux massifs accidentés, ceux-ci sont intersectés par des vallées profondes ainsi que de multiples torrents. Les précipitations dans cette région sont un élément important puisque la saison des pluies se déroule sur 3 mois : juillet, août et septembre. Ces précipitations irrégulières sont une forte problématique notamment pour les paysans.

Pour développer leur habitat, les Dogons se sont implantés dans des sites particulièrement difficiles : éboulis, rebord rocheux... Ce choix s'explique par la volonté de se protéger des autres tribus puisque le lieu d'habitation est rendu difficilement accessible par le terrain naturel. De plus, les villages parfois appuyés contre la falaise étaient plus aisés à défendre (figure 4). Un autre point important dans le choix du terrain d'implantation est de ne pas utiliser les surfaces de terres cultivables pour bâtir des habitations. Ainsi, l'implantation des habitations Dogons s'effectue de manière raisonnée entre protection et conservation des terres cultivables.

*« Cette attitude révèle la mise en pratique d'un urbanisme fondé sur le bon sens, une exploitation écologique des ressources foncières qu'on retrouve dans certaines régions d'Europe - les îles de la mer Égée, le sud de la France - marquées par de fréquents conflits et où les villages fortifiés ont été édifiés selon des critères similaires. »<sup>(2)</sup>*

L'habitat des Dogon se construit de manière progressive ce qui est en partie la raison de cette esthétique si particulière pour nous occidentaux. Les constructions se constituent de cellules qui ont chacune une vocation différente (figure 5). Ces cellules sont construites par ordre de priorité et leur attribution est directement liée aux croyances et aux modes de vie des Dogon. Selon la situation, on observe une variation quant à la composition des murs et l'esthétique des réalisations. Pour les habitations abritées par la corniche de la falaise les murs en terre sont érigés à même le sol sans précaution particulière pour les fondations. Les toits quant à eux sont construits en terrasse et drainés par des gargouilles car

2) Sous la direction de Wolfgang Lauber, *L'architecture Dogon : construction en terre au Mali*, éditions Hatje Cantz, 2011, p.28

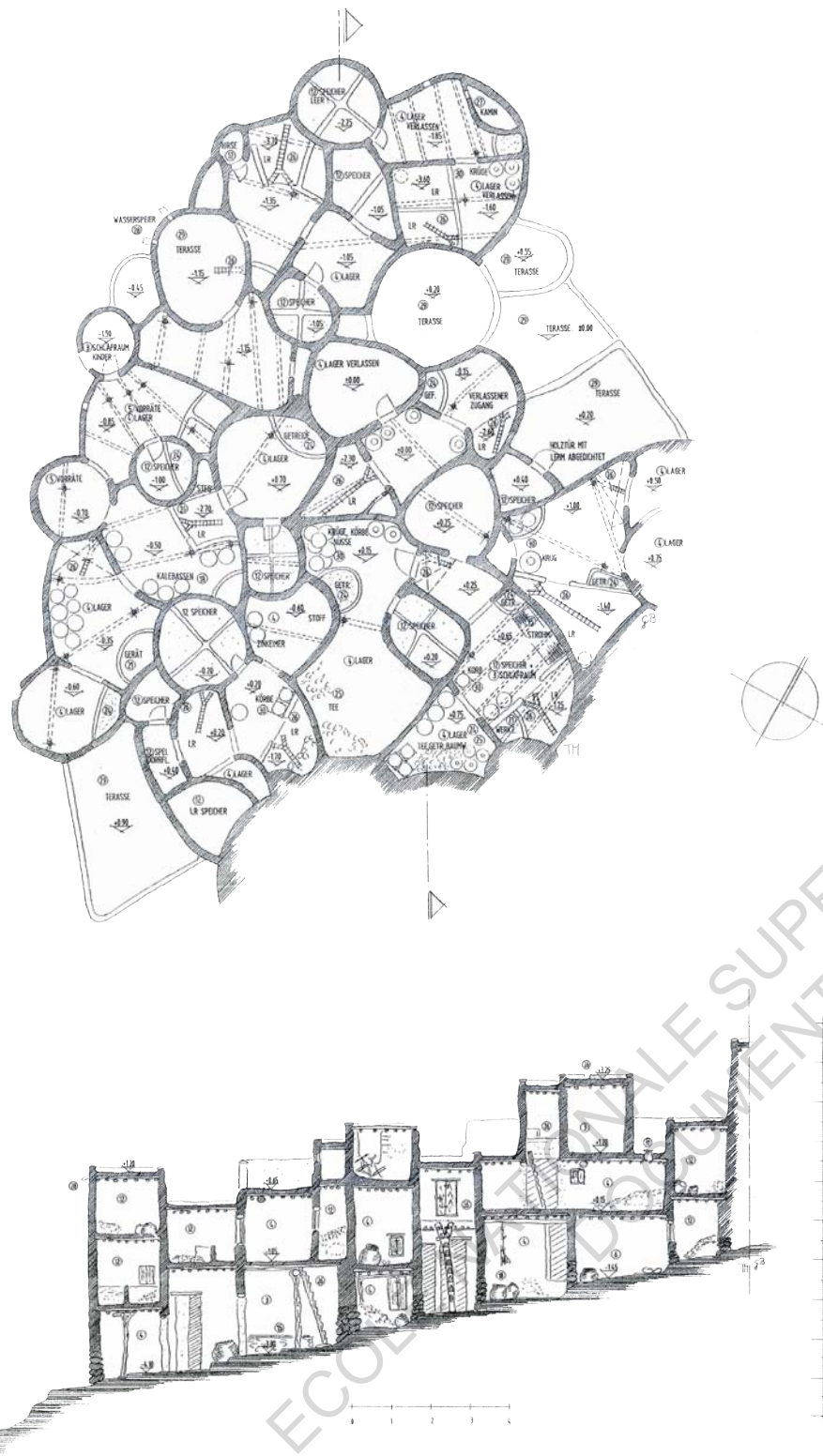


Figure 6 : Plan et coupe habitation Dogon / Photographie : Tobias Müller & Gunter Braun

ils subissent peu l'érosion pluviale. Pour les cellules exposées aux aléas météorologiques, leurs fondations se composent de moellons inaltérables pour limiter les infiltrations. La toiture quant à elle, toujours composée de terre, prend la forme d'un dôme et est recouverte par de l'herbe pour la protéger des violentes averses. Dans les villages fortifiés l'organisation de l'espace est atypique vis-à-vis de notre définition d'un habitat. Toujours composées de ces formes cellulaires, les habitations s'organisent de manière organique autour d'une tour centrale qui abrite plusieurs niveaux de greniers (figure 6). Pour réaliser ces formes circulaires, la technique traditionnelle consiste à empiler des boudins de glaise qui sont préalablement façonnés à la main. Pour des questions techniques les boudins sont pétris en forme de fuseaux et empilés de manière décalée en forme de coquille d'œuf (figure 7). Cette technique d'empilement permet d'obtenir des parois de fine épaisseur tout en garantissant la solidité de l'édifice. Esthétiquement cette technique a son importance car au-delà de l'aspect organique du bâtiment elle produit un dessin visible en façade qui rappelle un tissage en points jersey.

L'ensemble de ces édifices forme une certaine harmonie avec la falaise sur laquelle ils s'implantent puisque la couleur de la terre est la même que celle de la roche. Dans une vue d'ensemble, seules les ouvertures des portes et fenêtres trahissent la présence de ces habitations particulières qui semble greffées à la falaise. La forme circulaire des cellules rappelle l'arrondi lié à l'érosion des corniches.



Figure 7 : Habitation Dogon / Photographie : © Wolfgang Lauber & Constance



I.1) ORIGINE DE LA  
CONSTRUCTION EN TERRE

B) SHIBAM : LA  
MANHATTAN  
DU DÉSERT



Figure 8 : Shibam / Photographie : © Jean-Jacques Gelbart



Figure 9 : Shibam / Photographie : © Lia Camel



Figure 10 : Shibam / Photographie : © Jean Robert

Située au Yémen, la ville de Shibam s'est érigée entre deux montagnes au bord d'une vallée inondable et isolée (figure 9). Cette cité inscrite au patrimoine mondial de L'UNESCO depuis 1982, est un joyau de l'architecture de terre du Moyen-Orient. Celle-ci, implantée au milieu du désert s'est forgée à l'aide de matériaux disponibles sur place : la terre. La majorité des édifices construits datent du XVI<sup>ème</sup> siècle ce qui démontre la durabilité du matériau. En effet, celui-ci est particulièrement adapté au milieu désertique. Composée de 500 bâtiments pouvant aller jusqu'à 8 étages (environ 30 mètres), Shibam représente les habitations en terre crue les plus hautes du monde (figure 8).

D'un point de vue urbain le tissu de construction est très dense et entouré pour un mur de fortification qui protège la ville des envahisseurs. Cette implantation permet aux habitants de créer des passerelles entre les maisons (un bâtiment égale une maison) ce qui permet de circuler facilement entre les étages de vie.

Pour permettre leur édification, la structure relativement épaisse dans les premiers niveaux s'affine au fur et à mesure des étages pour gagner en légèreté. Ce principe structurel a son importance dans l'esthétique du bâtiment puisqu'elle induit la création de petites ouvertures en faible quantité dans la masse des murs au rez-de-chaussée. Plus la structure s'allège, plus il devient aisé d'augmenter la taille et le nombre d'ouvertures. Ainsi, du point de vue de la rue les façades conservent un aspect massif qui dissimule les pièces de stockage (figure 10). Pour réaliser les murs la technique utilisée est celle de l'adobe, les briques de terre sont ensuite recouvertes par un enduit épais afin de les protéger des intempéries. Cet enduit peut varier de couleurs allant de rouge (issu de la terre locale) jusqu'au blanc et doit être renouvelé régulièrement pour garantir son efficacité.

Si la méthode de construction utilisée est la même que pour l'habitat Dogon, nous pouvons cependant constater que l'esthétique générée est très différente. En effet, l'architecture Dogon organisée de manière cellulaire propose un aspect organique et des formes molles. Pour la ville de Shibam, la construction est plus conventionnelle vis-à-vis des typologies de bâtiment que nous pouvons trouver en Occident.



I.I) ORIGINE DE LA  
CONSTRUCTION EN TERRE

C) L'EUROPE

Figure 11 : Vannes / Photographie : © Charles Bowman





Figure 12 : Colombages médiéval , Rennes / Photographie : © Bertrand Rieger



Figure 13 : Maison réalisée selon technique de colombages du XVe siècle , Normandie / Photographie : © Francis Plagnol

La construction en terre en Europe tire son influence des principaux foyers de civilisation : Mésopotamie, Inde, Chine et Égypte. Cependant, la différence de climat impose d'adapter les méthodes de construction et la mise en œuvre des matériaux. Pour cela, la terre est combinée à différents matériaux naturels peu transformés comme le bois ou la pierre. L'une des techniques les plus remarquables que nous pouvons encore observer dans certains centres-villes est celle des maisons à pans de bois (figure 11 et 12). Ces bâtiments issus de l'architecture médiévale étaient déjà présents dans l'architecture crétoise (1900-1600 avant J-C), les structures en bois étaient remplies par du torchis ou des briques de terre crue. Cette technique du colombage fut peu à peu remplacée par des édifices réalisés uniquement en terre crue comme on peut l'observer à Athènes au III<sup>ème</sup> siècle jusqu'au 1<sup>er</sup> siècle avant J-C. Le pisé quant à lui serait apparu dès le II<sup>ème</sup> siècle comme le révèlent des fouilles à Carthage, ces bâtiments pouvaient s'élever jusqu'à 6 étages.

La ville de Rome quant à elle était tout d'abord une bourgade agricole composée de huttes en bois enduites de terre et recouvertes par un toit de chaume. Ces habitations seront remplacées par la brique crue puis par le tuf et le marbre. L'utilisation de la terre sera repoussée en dehors de la ville pour les maisons plus modestes et l'habitat populaire. On observe un phénomène similaire dans les territoires celto-gaulois de l'Âge de fer (750-50) où les maisons de torchis sont remplacées par la brique crue et le pisé.

Il faudra attendre le Moyen Âge pour voir le retour de l'architecture à colombages. Le développement des techniques de charpenterie permettra de développer le colombage à bois court hordé de torchis ou de briques (figure 13). Ces habitations en structure légère seront dominantes jusqu'au XVIII<sup>ème</sup> siècle où le siècle des lumières permettra de revisiter des méthodes de construction massive comme la bauge, la brique ou encore le pisé.

*«Le siècle des lumières, qui se préoccupe du bien-être social, voit se développer tout un mouvement en faveur du logement populaire. Plusieurs personnalités dont François Cointeraux, mettent en avant les qualités du matériaux terre qui permet de bâtir des maisons économiques et incombustibles.»<sup>(3)</sup>*

3) Bruno Pignal , *Terre crue : techniques de construction et de restauration*, Paris, Eyrolles, 2005, p.12

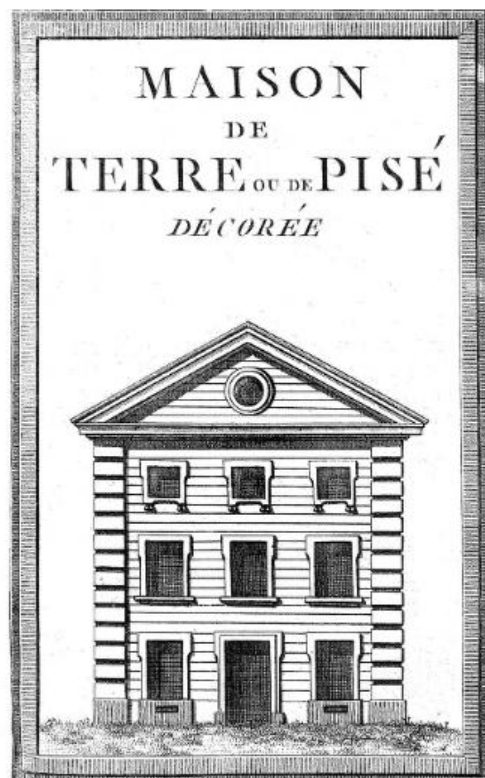
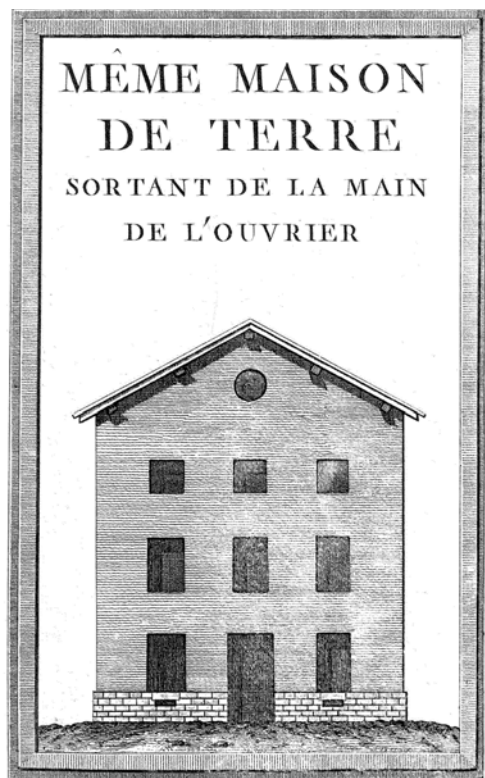


Figure 14 : Maison en pisé sans / avec ornements / Gravures : François Cointeraux

## LE PISÉ LYONNAIS : FRANÇOIS COINTERAUX

L'architecture de terre réalisée selon la technique de pisé doit sa notoriété à François Cointeraux. Cet architecte et géomètre est en effet à l'origine du regain d'intérêt pour le pisé en France. Au cours de sa carrière, il réalisera plus de quarante bâtiments faisant appel à cette technique de construction dont des habitats sociaux pour les ouvriers à Lyon. Ces maisons mettent en avant des façades qui laissent apparaître la matière à l'état brut sans chercher à les recouvrir par un matériau plus « noble » (figure 14).

Cet intérêt pour la terre s'explique par sa volonté de créer des maisons incombustibles, création pour laquelle il remportera le prix de la société royale d'agriculture de Paris en 1789. Pour cela, il utilise l'ancienne méthode de construction en pisé mais crée aussi une technique qui s'apparente à la préfabrication. Ce procédé consiste à mouler des éléments de terre battue dans un espace couvert, ceux-ci seront ensuite édifiés sur le chantier. Cointeraux sera aussi à l'origine d'un enduit qui imite la pierre taillée que l'on trouve sur de nombreux bâtiments Lyonnais. Cependant, si ses travaux présentent certaines innovations, le travail de l'architecte montre surtout une dimension sociale importante.

*« Sur cet héritage de savoir déjà bien formulé, l'apport de Cointeraux ne doit donc pas être recherché dans le caractère innovant du propos (bien qu'il le fût à d'autres égards) mais davantage dans l'attitude de l'homme, véritable militant actif et déterminé à promouvoir une architecture rurale de meilleure qualité, plus durable, plus saine, plus économique, plus accessible et donnant toute son énergie à cette cause. Cette attitude le conduisait, non seulement à produire une œuvre écrite plus abondante que ses prédécesseurs, mais surtout à poser les premiers fondements théoriques de la modernité de la construction en terre. »<sup>(4)</sup>*

Si cet héritage est aujourd'hui redécouvert à travers le monde grâce aux nombreux ouvrages légués par François Cointeraux, la construction en terre a connu des heures difficiles au XX<sup>ème</sup> siècle qui remettront en question l'utilisation de ce matériau dans la construction.

4) Hubert Guillaud, *Les grandes figures du patrimoine régional Rhône-Alpes François Cointeraux (1740-1830) pionnier de la construction moderne en pisé*, 1997, p.5



Figure 15 : Maison Cointeraux, Lyon / Photographie : © Région Rhône-Alpes, Inventaire général du patrimoine culturel



Figure 16 : Domaine de la terre Îlot 1, Isle d'Abeau / Photographie : © Olivier le Gall



Figure 17 : Domaine de la terre Îlot 11, Isle d'Abeau / Photographie : © Pierres & Terres

## LA CONSTRUCTION EN TERRE AU XX<sup>ème</sup> SIÈCLE

Alors que la construction en terre prédomine depuis le Moyen-Âge, le XX<sup>ème</sup> siècle marquera un tournant dans l'évolution des techniques de construction. En effet, les deux guerres mondiales successives révèlent de nouvelles problématiques dans le domaine du logement notamment : il faut reconstruire vite et à moindre coût. Pour cela, on fait appel à des matériaux industrialisés et donc standardisés qui permettent une rapidité d'exécution non négligeable.

« L'urgence de la reconstruction d'après guerre n'était pas conciliable avec cette approche très locale, ni le rythme saisonnier de la construction en pisé. D'autre part, l'effort de standardisation imposé par la reconstruction industrielle était peu compatible avec la diversité des terres du territoire. » <sup>(5)</sup>

Cette tendance à la standardisation mène à la création du style international qui met en avant l'utilisation du béton, du verre et de l'acier. La volonté de ce mouvement architectural porté par les trente glorieuses est de s'inscrire en rupture avec les traditions du passé. Pour répondre à la pénurie de logements les architectes réalisent des projets d'envergure, réalisant parfois des villes nouvelles composées d'un ensemble de barres et de tours en seulement quelques années. Ce recours à la préfabrication marque l'abandon de l'architecture vernaculaire autant dans sa forme que dans sa matérialité. Ainsi, la terre est perçue comme un matériau pauvre dont le savoir-faire va être peu à peu abandonné notamment en France.

Ce n'est qu'à la fin des années 70 que la terre suscitera de nouveau l'intérêt des architectes en Europe. L'intérêt croissant pour les matériaux moins gourmands en énergie et plus respectueux de la santé permettra de requestionner l'utilisation de ce matériau dans le domaine de l'architecture. Dès les années 80 des expérimentations seront menées comme le quartier urbain du «Domaine de la terre» entre 1981 et 1985 près de Lyon (figure 16 et 17). Ce projet qui avait pour but de réaliser des logements sociaux en utilisant le matériau terre, à notamment été soutenu par le collectif CRAterre qui est aujourd'hui une référence incontournable en France.

5) Sous la direction de Sébastien Moriset et Thierry Joffroy, *Réhabiliter le pisé : Vers des pratiques adaptées*, Centre international de la construction en terre Arles, Actes Sud, 2018 p.15

## 1.2) 4 MÉTHODES DE CONSTRUCTION EN TERRE PARMIS LES PLUS RÉPANDUES

Qu'elle soit creusée, modelée, enduite sur un support ou bien utilisée comme mortier, l'utilisation de la terre s'effectue selon différents états. En effet, en fonction des sols, celle-ci présente des qualités différentes qui favorisent le recours à certaines techniques et à différents mélanges. Les terres composées de beaucoup d'argile sont utilisées avec beaucoup d'eau et favorable aux modelages et aux mélanges composés de fibres végétales, tandis que les terres plus faibles en argile pourront être utilisées avec moins d'eau pour être compactées. Pour cela, la terre peut être portée à l'état sec (eau : 0-5%), humide (eau : 5-20%), plastique (eau : 15-30%), visqueuse (eau : 15-35%) ou liquide.



Figure 18 : Haute Savoie / Photographie : © Architektur photographie Philip



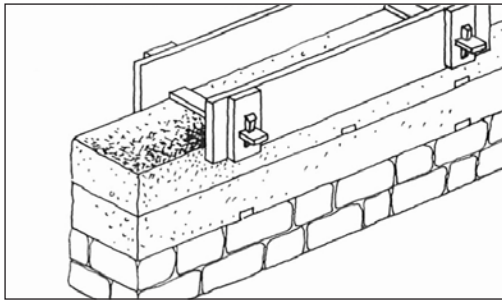
Figure 19 : Haute Savoie / Photographie : © Architektur photographie Philip



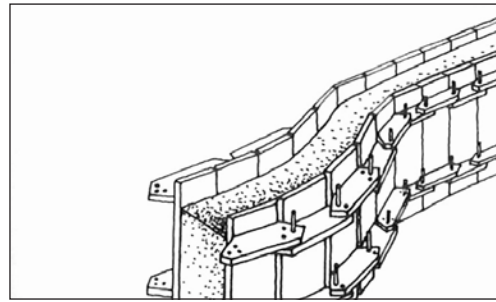
1.2) 5 MÉTHODES DE  
CONSTRUCTION EN TERRE  
PARMI LES PLUS  
RÉPANDUES

A) LE PISÉ

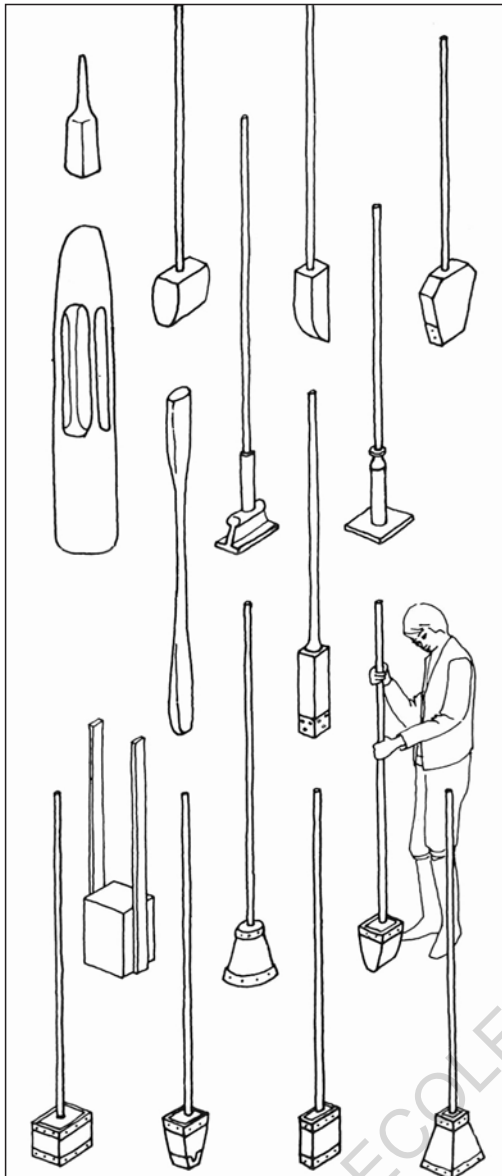
Figure 20 : Pisé traditionnel / Photographie : © Sirewall.com



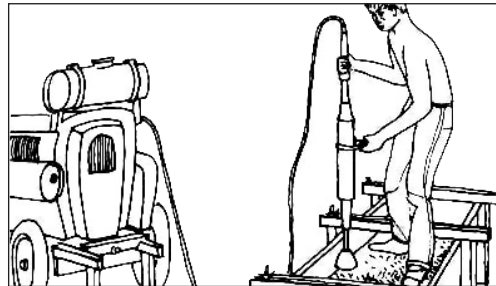
1) Soubassement en pierre et coffrage standart



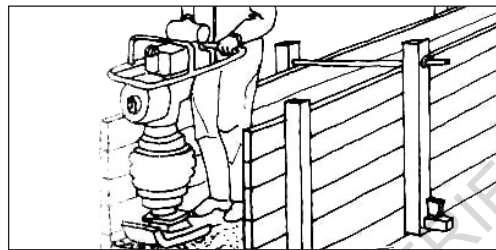
2) Coffrage en chaîne



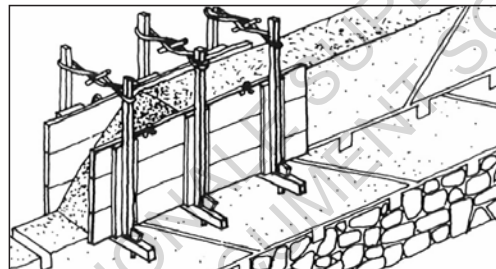
3) PISOIRS traditionnel



4) Fouloir pneumatique



5) Dames vibrantes



6) Jonction oblique



7) Jonction droite

Figure 21 : Étapes de réalisation du pisé / Croquis : Fabienne Dath

La construction en pisé (figure 18 et 19) trouve en France un patrimoine important dans le nord des Hautes-Pyrénées, le Gers et la Haute-Garonne. La mise en œuvre de cette technique s'effectue de manière relativement simple. Ce procédé consiste à utiliser une terre de préférence graveleuse et argileuse portée à l'état humide. Son mélange se réalise facilement car l'état humide ne nécessite que peu d'eau ce qui rend les argiles moins collantes.

Pour réaliser les murs, un soubassement (généralement en pierre, image 1) est tout d'abord réalisé. Celui-ci a pour vocation de limiter le risque d'infiltration qui pourrait compromettre la résistance du mur. Une fois le soubassement réalisé, la matière obtenue est placée dans des coffrages (figure 21, images 1 et 2) où l'on compacte la terre à l'aide d'un piseur (technique traditionnelle, (figure 21, image 3)) ou d'un fouloir pneumatique/dame vibrante (technique moderne, (figure 21, images 4 et 5)). Le compactage se réalise par des couches successives allant de 12 à 20 centimètres jusqu'au remplissage du coffrage, le mur peut ensuite être directement décoffré et la banche placée à côté ou au-dessus pour poursuivre la réalisation de l'ouvrage. Pour effectuer la jonction entre les deux coffrages deux techniques peuvent être utilisées. La première consiste à laisser un des côtés de la banche libre, la terre sera compactée de façon oblique pour permettre lors du remplissage de la seconde banche de recouvrir cette partie créant ainsi une liaison (figure 21, image 6). La seconde réside dans l'utilisation d'une réservation placée à l'extrémité du coffrage, celle-ci permet au second mur de se placer à cet endroit et ainsi faire jonction entre les deux (figure 21, image 7).

Le principal avantage de cette technique de réalisation est qu'elle ne nécessite pas de séchage, de plus son mélange est l'un des plus simples à réaliser. Cependant, il demande une certaine énergie de production puisque celui-ci, dans l'idéal, doit se réaliser par une équipe de 3 personnes minimum : un mélangeur, un transporteur et un piseur. Esthétiquement, il est aussi possible d'ajouter de la chaux de couleur entre les couches de terre pour créer des motifs sur le mur. Des matrices de coffrage peuvent aussi être utilisées pour créer un relief imprimé directement sur la matière. La matrice doit toutefois rester assez simple pour que le piseur puisse compacter correctement la terre.



Figure 22 : Shibam, la Manhattan du désert / Photographie : © Joan Bartomeu Torres



Figure 23 : Remplissage Adobe maison espagnole - Cristina Arias / Photographie : © Getty images



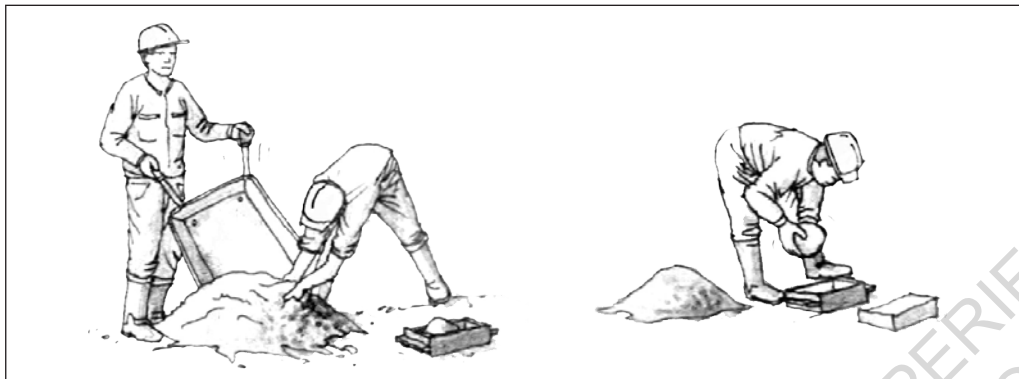
1.2) 5 MÉTHODES DE  
CONSTRUCTION EN TERRE  
PARMI LES PLUS  
RÉPANDUES

B) L'ADOBE

Adobe / Photographie © Skopal, libre de droit



1) Mélange de la matière



2) Mise en place de la matière dans le moule



3) Démoulage des briques et étapes de séchage

La méthode de l'adobe est plutôt répandue dans le Sud-Ouest de la France ainsi qu'en Auvergne et en Champagne. Cette technique consiste à créer des briques de terre crues à l'aide d'un moule ou bien façonnées à la main.

Pour cela, il faut mélanger de la terre, du sable et de l'eau, des fibres peuvent y être ajoutées pour gagner en légèreté ainsi qu'en capacité thermique. Ce mélange est ensuite porté à l'état plastique (pâte molle, *(figure 24, image 1)*) et placé dans des moules préalablement humidifiés pour simplifier le démoulage (*figure 24, image 2*). Pour finir, les briques sont laissées à sécher à l'air libre pendant plusieurs jours/semaines en fonction du lieu de réalisation.

Concernant le mélange, l'importance de la quantité de sable ne doit pas être sous-estimée car elle permet de rendre la composition moins collante et ainsi simplifie le démoulage des briques (*figure 24, image 3*). De plus, la taille du moule joue un rôle important car la gravité permet à la matière de se glisser plus facilement hors du moule, c'est pourquoi plus la quantité de matière sera importante, plus la mise en œuvre sera simplifiée.

À plus grande échelle, les mêmes procédés peuvent être utilisés en mettant en place des moules de taille plus importante.

L'utilisation d'un moule permet d'obtenir un produit de taille et forme régulière ce qui simplifie sa mise en œuvre. La forme la plus couramment utilisée reste le rectangle même s'il existe d'autres formes (trapézoïdale par exemple). Cependant, dans certaines cultures la technique de l'adobe est utilisée sans moule, la forme de celle-ci est donc réalisée de telle manière qu'elle puisse s'adapter les unes aux autres (architecture Dogon). Il est aussi possible de réaliser des adobes en découpant un bloc de terre préalablement moulé à l'aide d'un fil.

Le procédé de l'adobe a l'avantage d'être une technique qui se suffit à elle-même. En effet, la brique peut être utilisée en tant que mur porteur (*figure 22*), remplissage d'ossature (*figure 23*) mais aussi pour la réalisation d'arcs, de voûtes ainsi que de coupes. Ainsi, cette méthode offre de multiples possibilités d'un point de vue esthétique car toutes sortes de formes peuvent être édifiées. De plus, la forme des briques utilisées, si elles ne sont pas recouvertes par un enduit, peut créer un dessin une fois celles-ci assemblées.

Figure 24 : Étapes de réalisation de l'adobe / Croquis : CRAterre - ENSAG





Figure 25 : Torchis sur lattes de châtaignier / Photographie : © Jan Minne



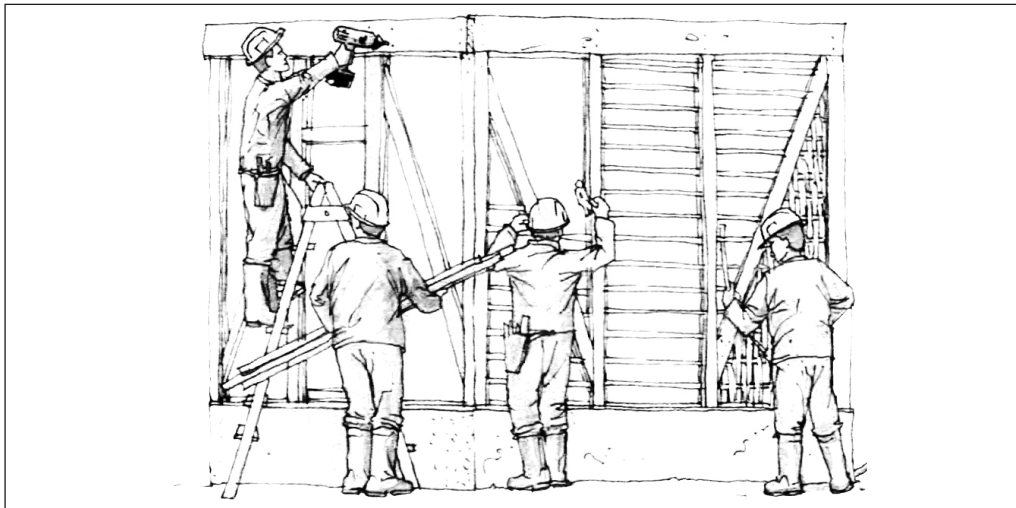
1.2) 5 MÉTHODES DE  
CONSTRUCTION EN TERRE  
PARMI LES PLUS  
RÉPANDUES

C) LE TORCHIS



Figure 26 : Mud House « Kanda SU » - Tono Mirai Architects / Photographie : © Takeshi Noguchi

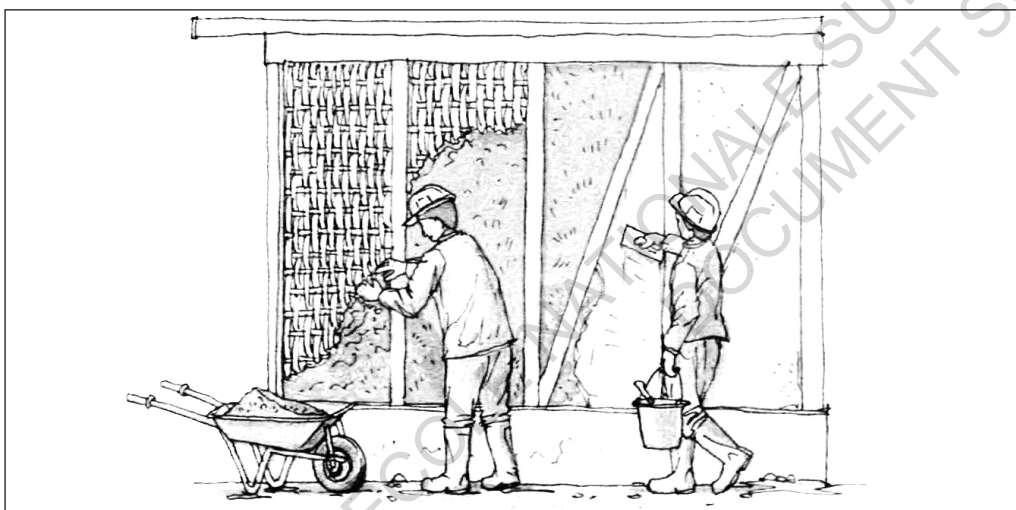
Figure 27 : Torchis / Photographie : © René Hourdry



1) Réalisation de la structure bois et mise en place des lattis



2) Réalisation du mélange terre-paille à l'état plastique



3) Mise en place du torchis et enduit de finition

Figure 28 : Étapes de réalisation du torchis / Croquis : CRAterre - ENSAG

La méthode du torchis est généralement associée à construction en clayonnage ou en lattis de pans de bois. En effet celle-ci, n'étant pas porteuse, nécessite de se greffer sur une structure (généralement en bois). Les constructions qui utilisent ce principe sont réparties dans le nord-ouest, le sud-ouest, la Normandie, l'Alsace, la Champagne ainsi que la vallée de la Loire.

Le torchis est composé d'un mélange de terre argileuse et de fibres hachées (pailles généralement) qui est utilisé pour le remplissage d'une structure en bois (colombage traditionnel, *figure 25*). Pour cela la structure en bois est armée de lattis (*figure 28, image 1*) qui sont salis à l'aide d'une barbotine (mélange de terre et d'eau). La paille peut être préalablement placée dans de l'eau pour l'assouplir au moment de l'enroulage autour des lattis et ainsi faciliter la mise en œuvre. L'ajout de fibres est essentiel pour limiter la fissuration du mur dû au retrait important lié à la haute teneur en argile de la terre. Les fibres sont ensuite mélangées à la terre portée à l'état plastique (*figure 28, image 2*) puis mises en place sur les lattis préalablement disposés (*figure 28, image 3*).

L'avantage principal de cette technique repose dans sa légèreté, c'est pourquoi elle est souvent utilisée pour la réalisation des étages dans les ouvrages traditionnels et associée à d'autres techniques pour la réalisation du rez-de-chaussée. De plus, l'utilisation d'une ossature bois permet de réaliser rapidement le bâtiment.

D'un point de vue esthétique, le torchis permet une certaine souplesse. En effet, celui-ci s'adapte à la structure sur laquelle il est mis en place. C'est pourquoi, il est possible de réaliser des formes très géométriques ou au contraire des formes molles, plus vernaculaires (*figure 26*).

Si la saisonnalité est importante pour toutes les réalisations en terre, elle l'est davantage pour le torchis. En effet, le mélange qui contient de la fibre doit sécher suffisamment rapidement et dans un milieu assez sec pour empêcher la moisissure des fibres. Concernant les finitions, le mur est généralement enduit avec un mélange de terre, d'eau et de sable pour lisser le mur et combler les fissures qui ont pu apparaître.





Figure 29 : METI school - Anna Heringer & Eike Roswag / Photographie : Kurt Hoerbst



Figure 30 : Omicron Living rooms - Vorarlberg - Martin Rauch & Anna Heringer / Photographie : © Stefano Mori



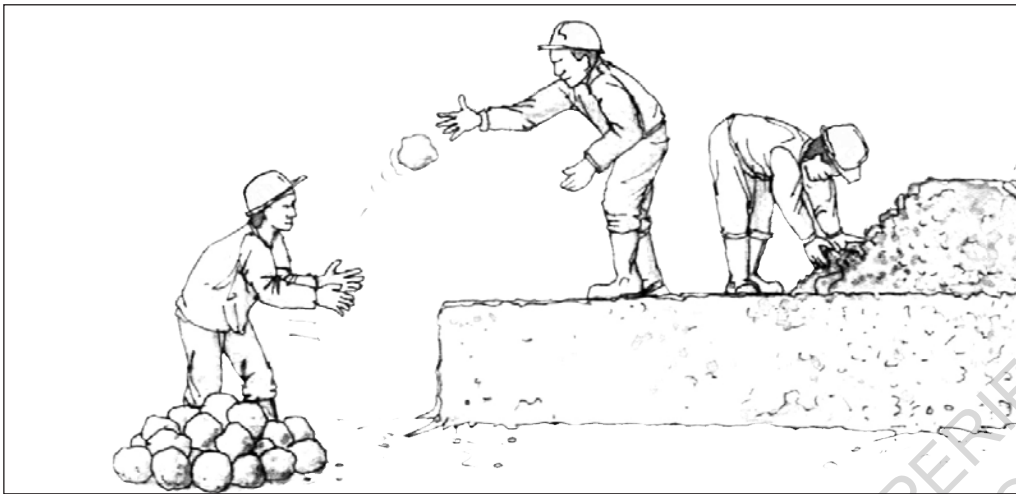
1.2) 5 MÉTHODES DE  
CONSTRUCTION EN TERRE  
PARMI LES PLUS  
RÉPANDUES

D) LA BAUGE

Figure 31 : Mélange terre et paille : Baugé / Photographie © Jan Minne



1) Mélange de la matière et préparation des mottes



2) Mise en place de la bauge



3) Redécoupage des murs avant séchage définitif

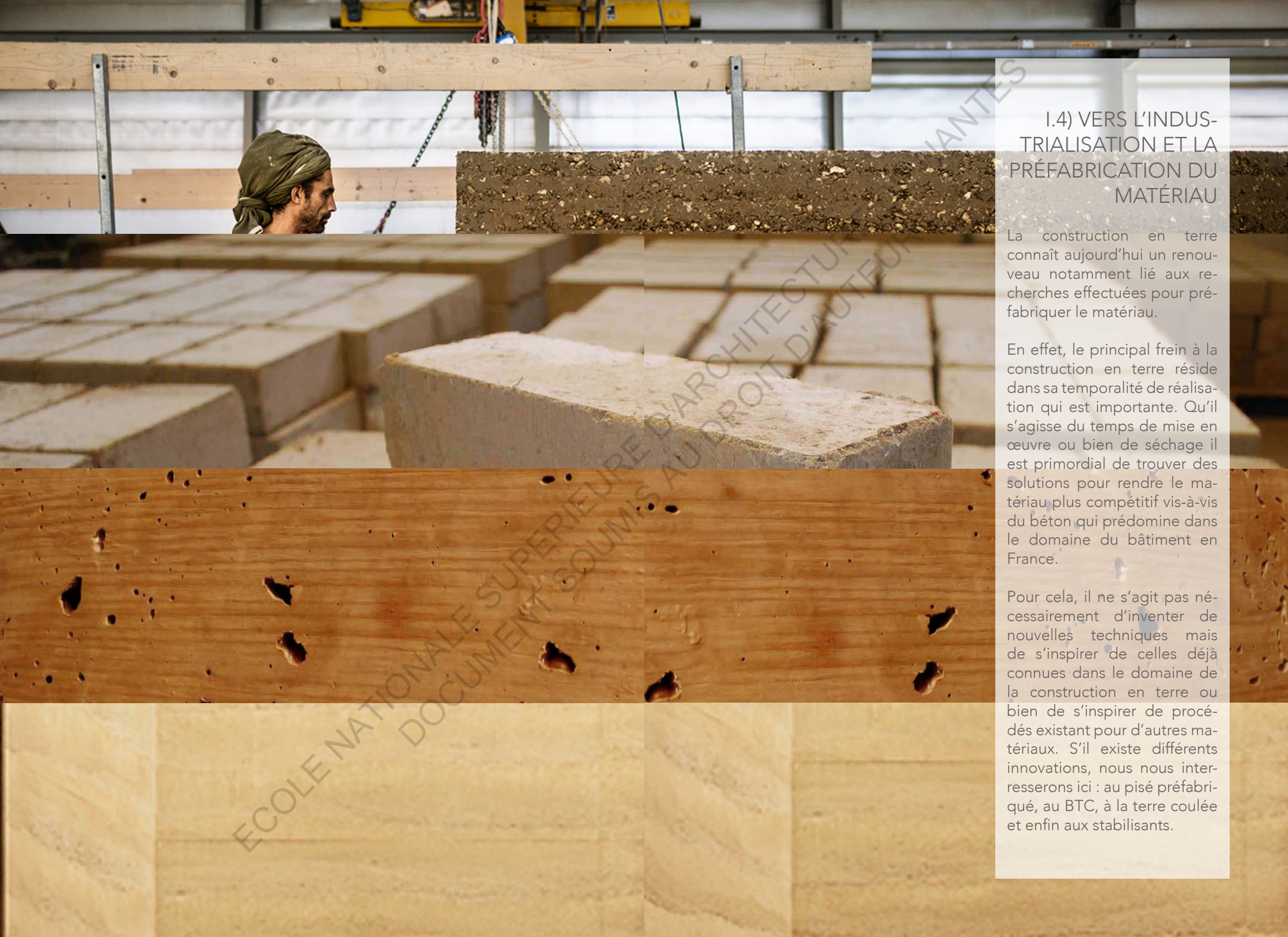
Figure 32 : Étapes de réalisation de la bauge / Croquis : CRAterre - ENSAG

L'utilisation de cette technique peut être observée principalement dans le quart Nord-Ouest de la France ainsi qu'en Auvergne. Ce procédé réside dans un mélange de terre et de paille porté à l'état plastique (figure 31). Le mélange est ensuite transformé en mottes uniquement avec les mains (figure 32, image 1). Ces mottes sont ensuite empilées pour obtenir des levées d'environ 60 centimètres qui doivent sécher quelques jours avant qu'un nouvel empilement ne puisse être effectué (figure 32, image 2). Une attention particulière est portée lors de l'empilement des paquets de terre, ceux-ci doivent en effet être fondus pour lisser la matière et limiter les cavités d'air dans le mur. Avant que la levée ne soit totalement sèche, le mur est battu avec un bâton pour refermer les fissures. Il peut aussi être redécoupé à l'aide d'un outil tranchant (une pelle ou une bêche) pour à la fois lisser la surface mais aussi renforcer le mur (figure 32, image 3). En France, la technique de la bauge était plus souvent mise en œuvre par un empilement à la fourche des mottes de terre. Cette technique permet de constituer des murs porteurs plutôt épais.

Les mottes peuvent aussi être empilées dans des banches afin d'obtenir un mur directement plat et plus facilement droit. Cela permet de ne pas avoir à redécouper les murs ce qui peut s'avérer compliqué à cause des fibres qui composent le mélange. Tout comme le torchis, le séchage de la bauge doit s'effectuer dans un climat sec pour limiter l'apparition de moisissure.

Tout comme le torchis, cette technique peut permettre différentes esthétiques. Tout d'abord, des murs orthogonaux peuvent être réalisés. Ceux-ci, si aucun enduit n'est réalisé, laisse apparaître les formes des fibres du mélange (Figure 29). En fonction de la mise en œuvre, elle donne la possibilité d'offrir des espaces modelés aux formes organiques (figure 30).

Traditionnellement, cette technique était un facteur social important. En effet, la construction d'un nouvel habitat donnait lieu à une fête réunissant voisins et amis, ainsi tout le monde participait à la réalisation du bâtiment. Peu à peu cet aspect social s'est estompé notamment par le changement de mode constructif mais cela est aussi lié à l'exode rural et donc au manque de main-d'œuvre.



#### 1.4) VERS L'INDUSTRIALISATION ET LA PRÉFABRICATION DU MATÉRIAU

La construction en terre connaît aujourd'hui un renouveau notamment lié aux recherches effectuées pour préfabriquer le matériau.

En effet, le principal frein à la construction en terre réside dans sa temporalité de réalisation qui est importante. Qu'il s'agisse du temps de mise en œuvre ou bien de séchage il est primordial de trouver des solutions pour rendre le matériau plus compétitif vis-à-vis du béton qui prédomine dans le domaine du bâtiment en France.

Pour cela, il ne s'agit pas nécessairement d'inventer de nouvelles techniques mais de s'inspirer de celles déjà connues dans le domaine de la construction en terre ou bien de s'inspirer de procédés existant pour d'autres matériaux. S'il existe différents innovations, nous nous intéresserons ici : au pisé préfabriqué, au BTC, à la terre coulée et enfin aux stabilisants.



Figure 33 : Ricola Kräuterzentrum - Herzog & de Meuron / photographie : © Iwan Baan



Figure 34 : Windhover contemplative center - Aidlin Darling design / Photographie : © Matthew Millman



I.4) VERS L'INDUSTRIALISATION ET LA PRÉFABRICATION DU MATÉRIAU

A) LE PISÉ PRÉFABRIQUÉ

Figure 35 : Ricola Kräuterzentrum préfabrication - Herzog & de Meuron / Photographie : © Iwan Baan



Figure 36 : Ricola Kräuterzentrum préfabrication / Photographie : © Derek Li Wan Po & Markus Bühler



Figure 37 : Ricola Kräuterzentrum préfabrication - Herzog & de Meuron / Photographie : © Iwan Baan

Initié par les recherches de Martin Rauch, céramiste à l'origine de la création du bureau d'études spécialisé dans la terre : Lehm Ton Erde (glaise, argile, terre), les problématiques économiques ont poussé l'architecte à penser à un procédé permettant de séparer la production de l'installation. Pour cela, il a développé des éléments de construction permettant la préfabrication. En effet, un des principaux freins à la construction en terre est la question de la saisonnalité qui ne permet pas de construire toute l'année, les conditions climatiques n'étant pas favorables.

*« Même aujourd'hui, le travail du pisé est très proche de la tradition ancienne : les rapports de mélange ainsi que les temps requis pour le séchage ont peu ou pas changé. En revanche, les systèmes de coffrages développés pour le béton et le traitement mécanique pendant la préfabrication favorisent la mise en œuvre. » <sup>(6)</sup>*

C'est pourquoi, Martin Rauch s'est intéressé à la technique du pisé traditionnel en créant un module qui peut être préfabriqué en dehors du site de production. La première étape consiste à réaliser un long mur en pisé qui est ensuite redécoupé sous forme de modules (figure 36). Les dimensions de ce module ont pour contrainte de le rendre transportable mais aussi de permettre une mise en place la plus simple possible sur site. Concernant sa forme, elle doit être pensée pour permettre l'assemblage et la liaison entre les éléments qui composent le mur. Cette régularité est importante puisqu'elle permet la mise en place des modules par des ouvriers qui ne sont pas forcément spécialisés dans le domaine de la terre. L'utilisation de ce matériau permet de facilement faire disparaître les liaisons entre les modules en utilisant simplement de l'eau et un peu de terre pour combler les espaces plus importants (figure 37). De cette façon, le mur conserve son aspect brut tout en donnant un effet d'une seule unité.

D'un point de vue esthétique, les bâtiments réalisés en pisé ont beaucoup évolué pour s'adapter à de nouveaux modes d'habiter. Ceux-ci traditionnellement monolithiques et percés par de petites ouvertures ont laissé place à une structure de moindre épaisseur composée d'une, ou de plusieurs vastes ouvertures pour bénéficier d'un apport lumineux plus important (figure 33 et 34). Cette réalisation est un réel défi technique puisque le pisé travaille en compression, il est donc plus simple de réaliser des ouvertures étroites et espacées. Traditionnellement, un linteau en bois est placé au-dessus des ouvertures puis est recouvert d'un enduit pour le faire disparaître mais aussi pour le protéger.

6) Roger Boltshauser, Nadja Maillard, Cyril Veillon, *Pisé : tradition et potentiel*, Zürich : Triest, 2019, p.219



A Figure 38 : BTC - Elementerre construction - Le Djoloff / Photographie : © Elementerre



Figure 40 : BTC - Elementerre construction - Le Djoloff / Photographie : © ElementerreA

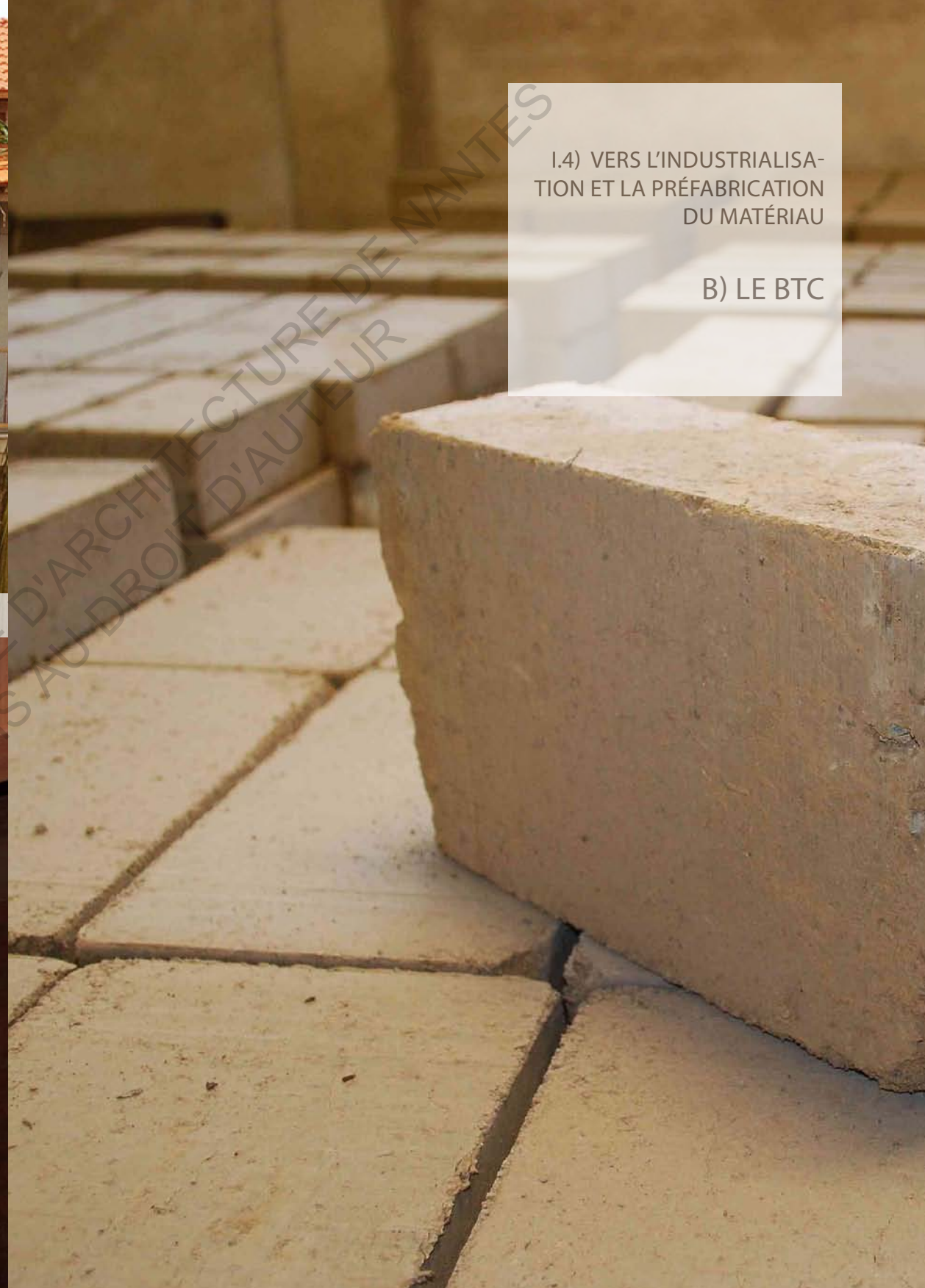
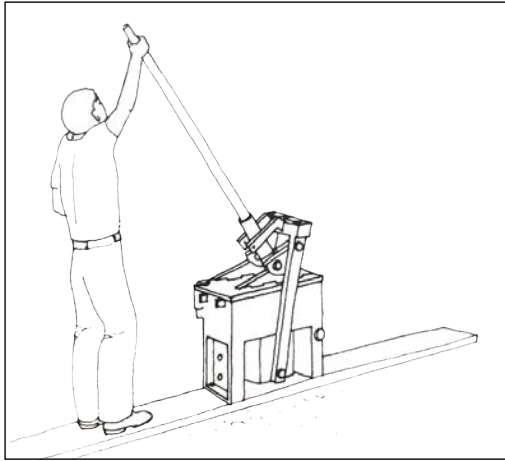


Figure 41 : Photographie : © terre-alternative

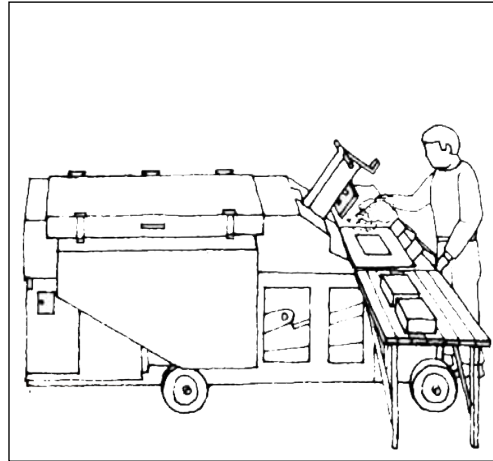
I.4) VERS L'INDUSTRIALISATION ET LA PRÉFABRICATION DU MATÉRIAU

B) LE BTC

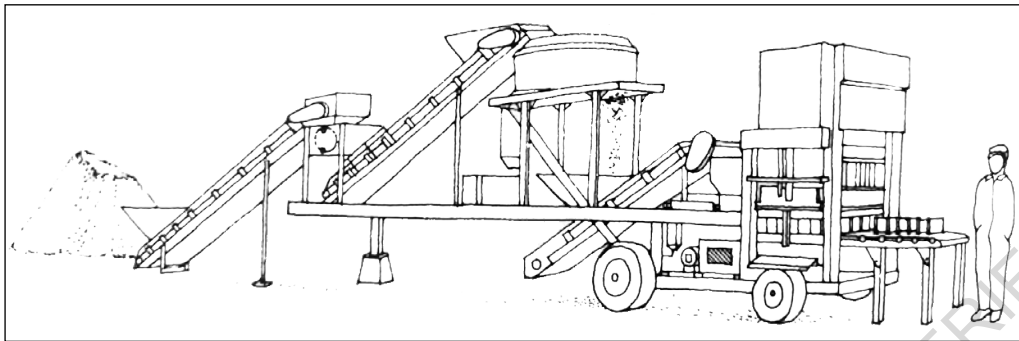




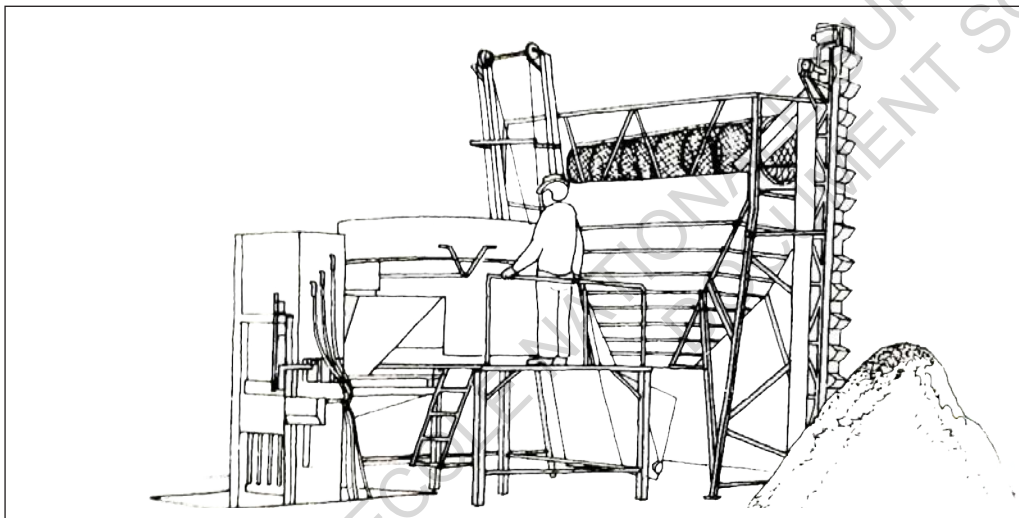
1) Presse manuelle



2) Presse motorisée



3) Presse industrielle «Luxor»



4) Presse industrielle «Latorex»

Figure 42 : Exemples de presses BTC / Croquis : Fabienne Dath

La technique du BTC (Brique de Terre Comprimée) est apparue dans les années 50, elle s'inspire d'un procédé artisanal qui consistait à compacter la terre dans un moule comme pour la technique de l'adobe. Pour répondre aux exigences d'un produit industriel, régularité (figure 41) et rapidité de production, mais aussi pour augmenter la résistance du matériau, des presses mécaniques inspirées de l'industrie céramique ou cilico-calcaire ont été créées. Elles permettent de remplacer les presses manuelles (figure 42, Image 1) qui permettaient de produire entre 300 et 800 blocs par jour par une production pouvant aller jusqu'à 50 000 blocs par jour (figure 42, images 2 à 4). Combiné à un contrôle strict dans le choix des terres utilisées, cela permet d'obtenir un produit le plus régulier possible, donc une certaine normalisation.

« La normalisation vise à encourager la qualité et crée donc une ouverture des marchés vers des clients rendus plus confiants par la crédibilité des producteurs et la fiabilité des matériaux. »<sup>(7)</sup>

Cette exigence vis-à-vis de la production du matériau permet de le faire accepter plus facilement auprès des maîtres d'ouvrage. Cependant, la tendance qui vise à l'industrialisation du BTC connaît une certaine diminution puisque la logistique et le transport des matériaux s'avèrent moins efficaces et moins économiques que l'utilisation d'une presse légère. Le BTC tout comme le pisé préfabriqué favorise l'utilisation de terre locale et une production de proximité. Son processus de réalisation est similaire à celui de la terre cuite, hormis l'étape de cuisson qui est remplacée par une étape de séchage. L'abandon de l'étape de cuisson est importante puisqu'elle permet d'économiser l'énergie nécessaire à ce processus. Le BTC peut être réalisé en toutes saisons à condition de prendre des dispositions pour le séchage des briques. Cependant, si du ciment ou de la chaux sont ajoutés au mélange il faut procéder à une cure humide, c'est-à-dire un séchage lent dans une atmosphère humide.

Concernant ces dimensions, elles sont généralement de 29,5 x 14 x 9 centimètres (L x l x h), ces dimensions garantissent une certaine flexibilité dans l'utilisation du matériau puisqu'elles permettent de réaliser des murs de 15, 30 ou 45 centimètres en fonction du système constructif utilisé. Tout comme l'adobe, le bloc de terre comprimée peut être utilisé en tant que maçonnerie porteuse ou bien en remplissage dans une structure existante.

7) Vincente Rigassi ; CRATerre, *Blocs de terre comprimée*, Volume 1, manuel de production, Braunschweig : Vieweg, 1995, p.16



Figure 43 : Décoffrage terre coulée - Amo environnementale et certifications / Photographie : © flores-amo.fr



Figure 44 : Maison terre coulée - Mokpo National University / Photographie : © Heeyong Choi



I.4) VERS L'INDUSTRIALISATION ET LA PRÉFABRICATION DU MATÉRIAUX

C) LA TERRE COULÉE

Figure 45 : Photographie : © CRAterre



Figure 46 : Maison des associations Mamon - Mil lieux architecture / Photographie : © Mil lieux architecture



Figure 47 : Maison des associations Mamon - Mil lieux architecture / Photographie : © Mil lieux architecture

Tout comme le béton, la technique de la terre coulée consiste à couler un béton d'argile à l'état liquide dans un coffrage. Ce mélange est composé de terre, d'eau, de stabilisant et de super-fluidifiant. Alors que les autres méthodes exposées jusqu'ici ne nécessitent pas l'ajout d'un stabilisant ou d'un super-fluidifiant, ils sont ici essentiels. En effet, si le mélange est uniquement composé de terre et d'eau, le séchage sera extrêmement fastidieux. De plus, le démoulage révélera un retrait important et des fissures dues à l'évaporation de l'eau.

Généralement pour stabiliser la matière on ajoute de la chaux, du ciment ou du plâtre. L'ajout d'un de ces éléments permettra d'accélérer le séchage de la matière par phénomène de cuisson. Le super-fluidifiant permet quant à lui de disperser les particules de ciment ce qui améliore la fluidité du mélange. Cependant, l'utilisation de ces produits doit être optimisée pour limiter l'empreinte carbone de la terre coulée.

*« Même si les solutions précédentes sont intéressantes, l'ajout de 5 à 15% de ciment ou de liant hydrauliques à la terre a pour effet une empreinte en CO2 qui se rapproche (si elle n'est pas pire) de celle du béton conventionnel à partir de ciment- en plus d'une résistance plus basse du produit final. »<sup>(8)</sup>*

Certains essais menés par l'ETH Zurich ont pour but de remplacer ces éléments hydrauliques tout en conservant les mêmes capacités. Pour cela, des additifs minéraux qui assurent le rôle d'agent dispersant ou de coagulant sont ajoutés à hauteur de 0,2 à 0,5%. Ce procédé permet de conserver la qualité de la terre utilisée ainsi que son aspect recyclable et ré-employable. Cette technique pourrait voir son utilisation croître de manière importante puisqu'elle est à la fois économique et écologique.

D'un point de vue esthétique, la terre coulée permet d'obtenir une apparence proche de celle du béton banché. La terre est perceptible uniquement par sa couleur. Contrairement au pisé, la matière obtenue est très lisse (figure 45) et dénuée des strates caractéristiques de cette technique. Cependant, la présence de stabilisant ne permet pas de venir retravailler la matière. Ainsi, les réservations nécessaires à l'installation des banches restent visibles et participent à l'esthétique de cette technique (figure 43,44,46,47).

|||||  
 (8) Roger Boltshauser, Nadja Maillard, Cyril Veillon, *Pisé : tradition et potentiel*, Zürich : Triest, 2019, p.210



Figure 48 : BTC stabilisé - Elementerre construction - Le Djoloff / Photographie : © Elementerre



Figure 49 : BTC stabilisé - Elementerre construction - Le Bandia / Photographie : © Elementerre



I.4) VERS L'INDUSTRIALISATION ET LA PRÉFABRICATION DU MATÉRIAUX

D) LES STABILISANTS

Figure 50 : Photographie : © L.A. Cicero



Figure 51 : Mur stabilisé - Windhover contemplative center - Aidlin Darling design / Photographie : © Matthew Millman



Figure 52 : BTC - Elementerre construction - Le Djoloff / Photographie : © Elementerre

La terre stabilisée est une méthode employée depuis longtemps: stabilisation par le compactage de la terre, armature en fibres... Plus tardivement des méthodes scientifiques seront développées à partir des années 50 pour ajouter de la chaux ou encore du ciment dans les mélanges. La stabilisation peut être utilisée dans la masse du mur ou bien sur la peau qui la recouvre. Le choix du stabilisant est déterminé en fonction de la qualité de la terre qui sera utilisée. En effet, celui-ci a pour but d'améliorer les caractéristiques de la terre employée c'est pourquoi, il n'existe pas un stabilisant unique mais une multitude pour s'adapter à différentes problématiques.

De plus, il est important de considérer que la stabilisation de la terre n'est pas une obligation. Celle-ci peut être utilisée lorsque le matériau est exposé à un terrain très humide ou bien à de fortes pluies. Il pourrait être considéré que les stabilisants sont utilisés en cas de non respect des règles de l'art qui veulent que la construction en terre soit dotée « de bonnes bottes et d'un bon chapeau ». Cependant, cela serait assez réducteur puisque derrière cette utilisation il peut exister une volonté mécanique (amélioration de la résistance) ou bien une volonté esthétique.

En effet, nous pouvons observer aujourd'hui que des stabilisants sont souvent (voire systématiquement) employés dans certains pays. Les réglementations ne sont pas toujours favorables à l'utilisation de la terre crue puisqu'en comparaison avec d'autres matériaux comme le béton il est difficile d'obtenir un matériau qui soit standard et en même temps qui utilise une terre locale puisque chaque terre dispose de caractéristiques différentes. Il faut donc savoir s'adapter pour chaque construction réalisée.

*« les réglementations, les codes du bâtiment et les exigences en matière d'assurance rendent plus difficile la voie empruntée par les pays dits économiquement développés. »<sup>(9)</sup>*

Toutefois, il est primordial de considérer le taux de stabilisation de la matière, car si celui-ci a pour but de renforcer et d'améliorer la terre utilisée, un taux trop important de stabilisant est plutôt néfaste pour le matériau. La terre perd de ses propriétés hygrométriques et en résistance mécanique si le pourcentage de stabilisant est trop élevé, l'empreinte carbone de la matière est aussi décuplée et son recyclage limité. Des recherches menées par amaco et CRATerre-ENSAG dans le but d'optimiser au maximum le mélange ont permis de réduire la part de ciment ajoutée à 4%.

9) Do It Yourself architecture, Boundaries, Rome : Luca Sampo, n°9 septembre 2013, p.7

## SYNTHÈSE

Des techniques de construction les plus traditionnelles aux plus modernes, il est aisé de comprendre les potentialités du matériau terre d'un point de vue technique mais aussi esthétique. En effet, la multiplication des méthodes de mise en œuvre (terre modelée, compactée, empilée...) permet d'engendrer des architectures présentant chacune des caractéristiques spécifiques.

Du point de vue des innovations techniques, si celles-ci invitent les architectes à revisiter le matériau terre pour créer de nouvelles esthétiques, il est primordial de souligner l'importance de la compréhension des techniques traditionnelles. En effet, chaque innovation est l'expression de l'amélioration d'une technique déjà connue. Par exemple, le pisé préfabriqué réalisé par Martin Rauch ne présente pas une révolution esthétique en tant que telle, mais la préfabrication lui permet de réaliser des bâtiments qui de par leur forme et leur dimension représentent une réelle avancée pour l'architecture en terre. De plus, le procédé qu'il a inventé promet d'être plus largement utilisé dans les prochaines années. En effet, la technique du pisé est celle qui semble le plus plaire aux architectes.

*«En ce début de III<sup>ème</sup> millénaire, la technique du pisé semble la plus appréciée des architectes soucieux de développer un style contemporain de construction en terre.»<sup>(10)</sup>*

10) Laëticia Fontaine et Romain Anger, *Bâtir en terre : du grain de sable à l'architecture*, Paris, Belin, 2009, p.54

## L'ESTHÉTIQUE DE LA TERRE DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE

Lorsque l'on parle d'architecture en terre, l'esprit commun tend à faire référence aux architectures vernaculaires que nous pouvons observer en Afrique par exemple. Cette matière première, est rarement perçue de manière qualitative, mais plutôt comme un matériau pauvre. Aujourd'hui, le renouveau de cette architecture, offre la possibilité de redécouvrir des nouvelles façons de mettre en valeur la construction en terre. Ainsi, ces références nouvelles permettent de lever certains préjugés.

Cette partie permettra de mettre en évidence les nouvelles esthétiques de l'architecture contemporaine en terre par la pratique de 3 architectes ainsi que d'un artiste. Les bâtiments présentés font aujourd'hui référence dans le milieu architectural de la construction en terre. Chacun d'entre eux utilise un procédé particulier qui fait signature dans la création de leurs constructions.

*«Et finalement, nous avons besoin de bons projets de construction qui prouvent que l'on peut construire avec un matériau ancien de façon moderne. Il ne s'agit pas de l'âge du matériau mais de notre capacité créative à le mettre en œuvre aujourd'hui.»<sup>(11)</sup>*

11) Anna heringer, conférence Ted The warmth and wisdom of mud buildings, 2017, 10min



Figure 55 : Martin Rauch, céramiste et ingénieur / Photographie : © Frank Stolle



## I) L'ARCHITECTURE DE TERRE PAR MARTIN RAUCH

Née en 1958 à Schlins en Autriche, Martin Rauch se forme tout d'abord à la céramique puis, en 1999, il fonde son propre bureau d'études le Lehm Ton Erde (glaise, argile, terre).

Sensibilisé à la construction en terre par ses voyages en Afrique, il s'inspira des techniques primitives pour transformer sa vision artistique de la matière. Au travers de sa pratique, il revisite l'utilisation de l'argile en tant que matériau de construction en modifiant les mélanges, les techniques de compression ou encore la forme des coffrages. Dans l'élaboration de ses projets, Martin Rauch attache une importance particulière à conserver le matériau brut pour ne pas l'altérer et que sa mise en œuvre et son esthétique puissent se façonner simultanément.

Aujourd'hui, il demeure en Europe et dans le monde une référence dans le domaine de la construction en terre notamment pour son procédé de préfabrication du pisé.

Figure 56 : Single-family house / Photographie : © Benedikt Redmann



II.1) L'ARCHITECTURE DE  
TERRE PAR MARTIN RAUCH

A) RAUCH HOUSE



Figure 57 : Façade maison de Martin Rauch / Photographie : © Tobias Fritz



Figure 58 : Façade maison de Martin Rauch / Photographie : © Tobias Fritz



Figure 59 : Mur arrière rez-de-chaussée, maison de Martin Rauch / Photographie : © Beat Bühler

Réalisée à Schlins (Autriche) entre 2005 et 2008 la maison de Martin Rauch est un manifeste de sa pratique. En effet, elle demeure aujourd'hui une des références les plus connues qu'il ait réalisées. De plus, cette maison met en œuvre les techniques qu'il a pu développer dans sa volonté d'améliorer la construction en pisé. C'est pourquoi, l'esthétique cette habitation rappelle des projets qu'il a mis en œuvre par la suite. Comme il l'explique dans une conférence, la création de ce bâtiment (figure 57) lui a permis d'expérimenter plus de 25 ans de recherches et d'idées qu'il avait pu imaginer. Au cours du chantier, Martin Rauch sera confronté à la principale faiblesse du matériau terre : L'eau. En effet, la construction étant réalisée directement sur place pendant une année, la pluie a nécessité de protéger les murs en pisé par des taules pour constituer un chapeau.

## IMPLANTATION ET STRUCTURE

Située sur les coteaux de Schlins, cette maison constituée de 3 niveaux vient s'encaster dans la pente naturelle du terrain (figure 58). Le choix de cette implantation induit que 41% de l'habitation sont situés sous le niveau du sol. Le choix du recours à la terre comme matériau de construction permet de réutiliser les terres d'excavations. Habituellement considérées comme déchets, elles constituent ici la matière première nécessaire à la construction de l'habitation. En effet, la Rauch House est construite à 100% avec les terres du terrain.

Une seule exception est faite pour les fondations qui sont réalisées en béton (40 centimètres) et représentent donc le seul matériau polluant utilisé dans la construction. Pour permettre la mise en place du pisé en décaissé, une isolation ainsi qu'un drain sont disposés entre le terrain et les murs pour assurer l'étanchéité contre les infiltrations. Cependant, au rez-de-chaussée, la roche naturelle est visible à l'extrémité de la pièce (figure 59). Celle-ci est mise en valeur par la création d'un mur de séparation en pierre qui vient épouser la courbe de la roche.

Pour les ouvertures, Martin Rauch souhaitait créer des fenêtres larges ce qui contraste avec l'architecture traditionnelle en pisé qui met en avant des fines ouvertures verticales. Pour cela, un linteau est mis en place dans le coffrage du pisé et renforcé par du métal. À l'extérieur, le linteau est dissimulé par 15 centimètres de pisé pour conserver l'uniformité et l'aspect monolithique de la façade. Pour joindre les fenêtres en bois aux murs de terre, un simple mortier est utilisé.



Figure 60 : Façade maison de Martin Rauch / Photographie : © Tobias Fritz



Figure 61 : Façade maison de Martin Rauch / Photographie : © Tobias Fritz

## L'ÉROSION COMME PROCÉDÉ ESTHÉTIQUE

Concernant la façade, la volonté de ne pas stabiliser la terre oblige à repenser sa mise en œuvre. En effet, celle-ci sera exposée au vent et à la pluie ce qui va peu à peu l'éroder. Pour limiter ce phénomène, Martin Rauch a mis en place 2 procédés. Le premier consiste tout d'abord à conserver dans le mélange une granulométrie suffisamment importante (type cailloux, gravillons) qui est moins sensible à l'érosion. Ensuite le défi réside à diminuer la vitesse de l'eau ruisselant sur la façade pour que, dans son écoulement, elle entraîne le moins de matière possible. Pour cela, Martin Rauch a développé une méthode inspirée par les motifs en relief des architectures africaines. Celle-ci consiste à insérer régulièrement une bande de briques légèrement cuites sur toute la longueur de la façade. Ces lignes qui ralentissent l'écoulement des gouttes permettent aussi d'évaluer et de mesurer l'érosion du mur (figure 61 et 62).

Au-delà des qualités technique recherchées, ce procédé génère une esthétique particulière. Tout d'abord, celui-ci vient souligner les strates naturellement obtenues par le compactage de la terre lors de la mise en œuvre du pisé. Au fur et à mesure de l'érosion de la façade, ces lignes seront mises en avant, ce qui révélera un jeu d'ombres et de lumière sur le mur. Celles-ci permettent aussi d'élargir visuellement la façade par un jeu d'optique (figure 60). De plus, le grain du mélange sera aussi accentué étant donné que la pluie va petit à petit nettoyer les grains les plus fins (sable, argile) pour ne laisser que les cailloux et gravillons. Malgré l'érosion naturelle du matériau, les murs en pisé ne perdent pas de leur résistance. En effet, les grains nettoyés ne peuvent pas être retirés à main nu. Ainsi, progressivement, les façades les plus exposées vont laisser apparaître la trace du temps comme cela se ferait sur une roche naturelle, sans pour autant perdre de leur solidité.

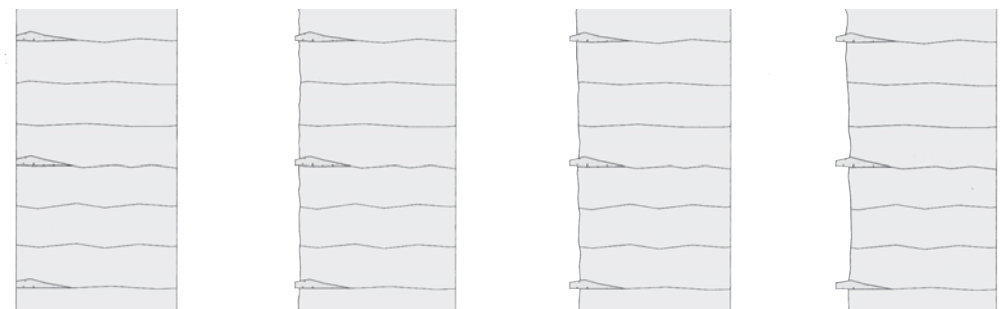


Figure 62 : Processus mis en place pour limiter l'érosion du pisé Graphique © Martin Rauch



Figure 63 : Intérieur maison de Martin Rauch / Photographie : © Beat Bühler



Figure 64 : Escalier maison de Martin Rauch / Photographie : © Beat Bühler

## ESTHÉTIQUE INTÉRIEURE

À l'intérieur de la Rauch house le matériau terre est aussi perceptible, celui-ci est cependant mis en œuvre de différentes manières. Les murs isolés par un isolant en roseaux sont recouverts par un enduit en terre qui, dans les espaces de vie, fait disparaître l'aspect du pisé. L'enduit volontairement mat permet d'absorber d'une certaine façon la lumière pour apporter un plus grand confort lumineux (limitation des reflets et éblouissement (figure 63)).

Concernant le sol, il a été choisi de le réaliser en terre battue. Pour le rendre étanche et résistant, une cire de carnauba a été appliquée par dessus. Le sol a ensuite été poli pour obtenir un aspect brillant qui reflète la lumière. En effet, le polissage permet de mettre en valeur les petites «paillettes» de mica que l'on peut trouver dans le sable. Cette technique peut aussi être utilisée sur le mur comme nous l'a démontré Ricardo De Paoli lors du cours matière à construire. De cette façon, un contraste est marqué entre le sol et les murs, renforcé par un choix de teinte plus foncée.

L'un des espaces majeurs de l'habitation est l'escalier central. Celui-ci est une réelle prouesse technique. Jusqu'ici aucun escalier n'avait été créé en porte-à-faux dans un mur en pisé. Les marches conçues en pouzzolane (béton romain naturel) dans lequel sont intégrés des pavés de verre permettent le passage vertical de la lumière (figure 64). Pour mettre en place les marches, des réservations avaient préalablement été faites lors de la réalisation du pisé. Ensuite, celle-ci ont été intégrées dans le mur et du gypse a été mis en place pour combler les espaces. Le travail de l'acier a été réalisé directement sur le chantier pour assurer les bons ajustements.

La cage d'escalier est, quant à elle, surmontée par une coupole qui met en œuvre les mêmes pavés de verre circulaires que ceux insérés dans les marches. Ainsi, l'utilisation de ce matériau permet de créer des jeux de lumière renforcés par le grain des murs en pisé. Cet espace est le seul du logement à mettre en évidence le pisé à l'état brut comme il pouvait l'être traditionnellement. De plus, le choix de la lumière zénithale permet de conserver l'aspect massif du pisé tout en le mettant en valeur.



II.1) L'ARCHITECTURE DE  
TERRE PAR MARTIN RAUCH

B) RICOLA  
HERB CENTRE -  
HERZOG & DE MEURON



Figure 65 : Mise en place des blocs de pisé en façade / Photographie : © Daniel Lüthi



Figure 66 : Mise en place des blocs de pisé en façade / Photographie : © Daniel Lüthi



Figure 67 : Ouverture Ricola herb centre / Photographie : © Iwan Baan

Le projet du Ricola Herb centre est aujourd'hui une référence dans l'architecture contemporaine en terre crue (figure 65). Réalisé par les architectes Herzog et de Meuron, celui-ci n'aurait pu voir le jour sans la collaboration de Martin Rauch. Inspirée par la vocation du bâtiment, la première idée des architectes fut de le réaliser en bois. Si ce matériau répondait à l'image écologique recherchée, il était cependant peu adapté à l'aspect massif qui était souhaité par les concepteurs. De plus, l'utilisation du bois dans les bâtiments destinés à la préparation des aliments pose des problèmes vis-à-vis de la législation. Pour ces raisons, les architectes se sont intéressés à la terre qui correspondait mieux à leur vision du projet. Celle-ci présentait de nombreux avantages comme la régulation de l'humidité ou encore le confort thermique. Il était important pour conserver les qualités techniques de la terre de ne pas avoir recours à des stabilisants. Martin Rauch étant un fervent défenseur de la terre non stabilisée, il était donc naturel de s'orienter vers lui pour les questions de mise en œuvre.

## STRUCTURE

Le bâtiment représente par ses dimensions (110 mètres de long par 30 mètres de large et 11 mètres de haut) une réelle évolution dans l'utilisation du matériau terre.

Si de l'extérieur seule la terre est perceptible, le bâtiment dispose d'une structure poteaux poutres réalisée en béton armé. Le recours à cette structure peut être contesté puisque la technique du pisé est utilisable en tant que structure porteuse cependant, la réglementation ne permet pas de réaliser des structures porteuses en pisé.

Concernant la façade, celle-ci est composée de blocs de pisé ce qui lui permet donc d'être autoporteuse. Dans la partie centrale du bâtiment, qui nécessite une température plus élevée, une double peau de 20 centimètres d'épaisseur en brique a été mise en œuvre (figure 66). Dans la cavité située entre le pisé et les briques, 20 centimètres d'isolant ont pu être ajoutés.

Pour la réalisation des ouvertures, celles-ci sont à l'échelle du bâtiment. Sur les façades Est et Ouest, une seule ouverture est créée. Ces fenêtres, de 5,8 mètres de diamètre représentent une réelle avancée à la fois technique et esthétique (figure 67). En effet, les constructions en pisé sont traditionnellement composées de petites fenêtres. La réalisation d'une telle ouverture est rendue possible par le recours à la préfabrication.



Figure 68 : Préfabrication Lehm Ton Erde / Photographie : © Daniel Lüthi

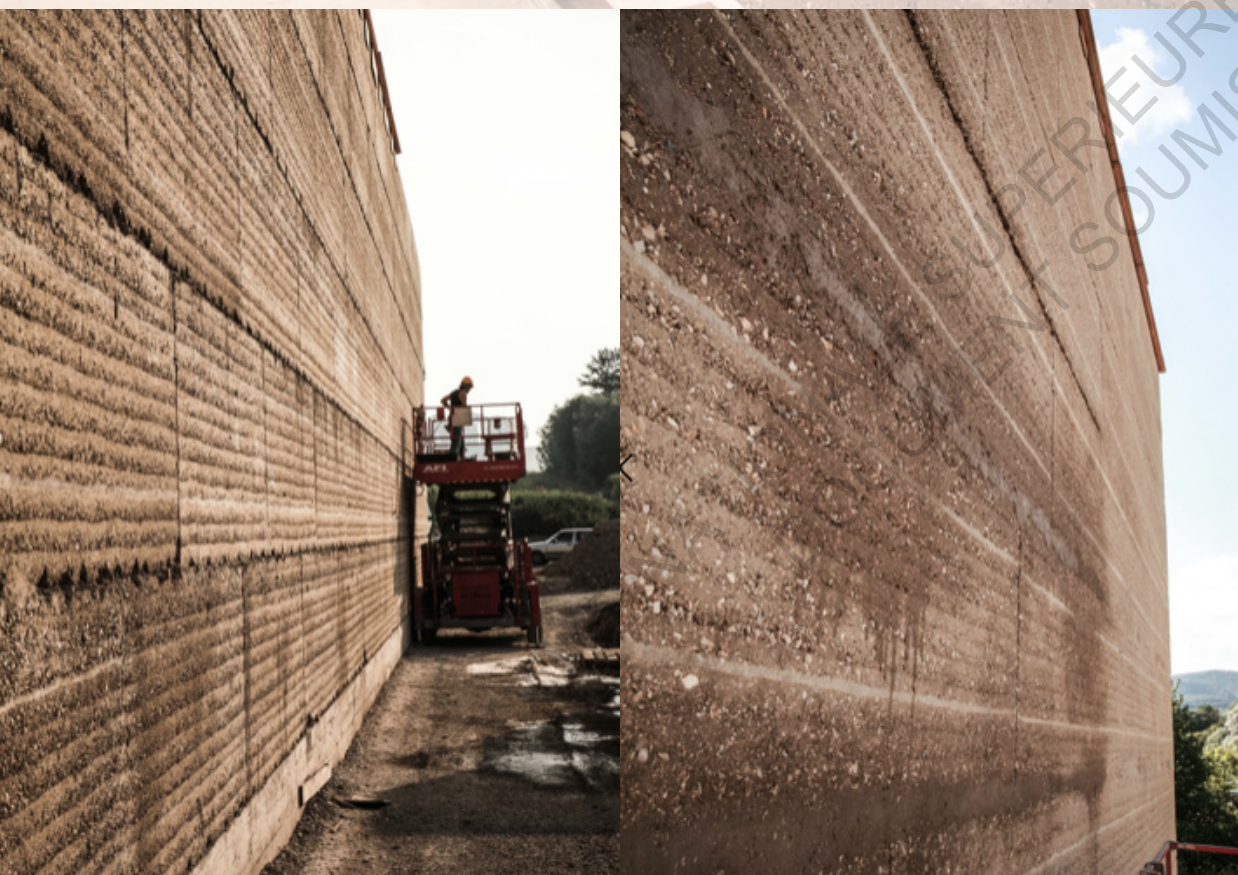


Figure 69 : Joints avant/après / Photographie : © Daniel Lüthi

Le choix de la forme circulaire a son importance puisque l'on sait que le recours à une voûte permet de mieux répartir les charges. Cependant, traditionnellement, les voûtes en terre sont créées avec des briques d'adobe qui sont plus simples à mettre en place.

Préalablement François Coiteraoux avait déjà démontré théoriquement la possibilité de créer des voûtes en pisé par la préfabrication, le chantier du Ricola herb centre en est la démonstration. En effet, chaque élément a été réalisé en atelier puis mis en place sur le chantier. D'autres expérimentations menées par Martin Rauch et ses étudiants démontrent la capacité du pisé à être mis en place sous forme de voûte.

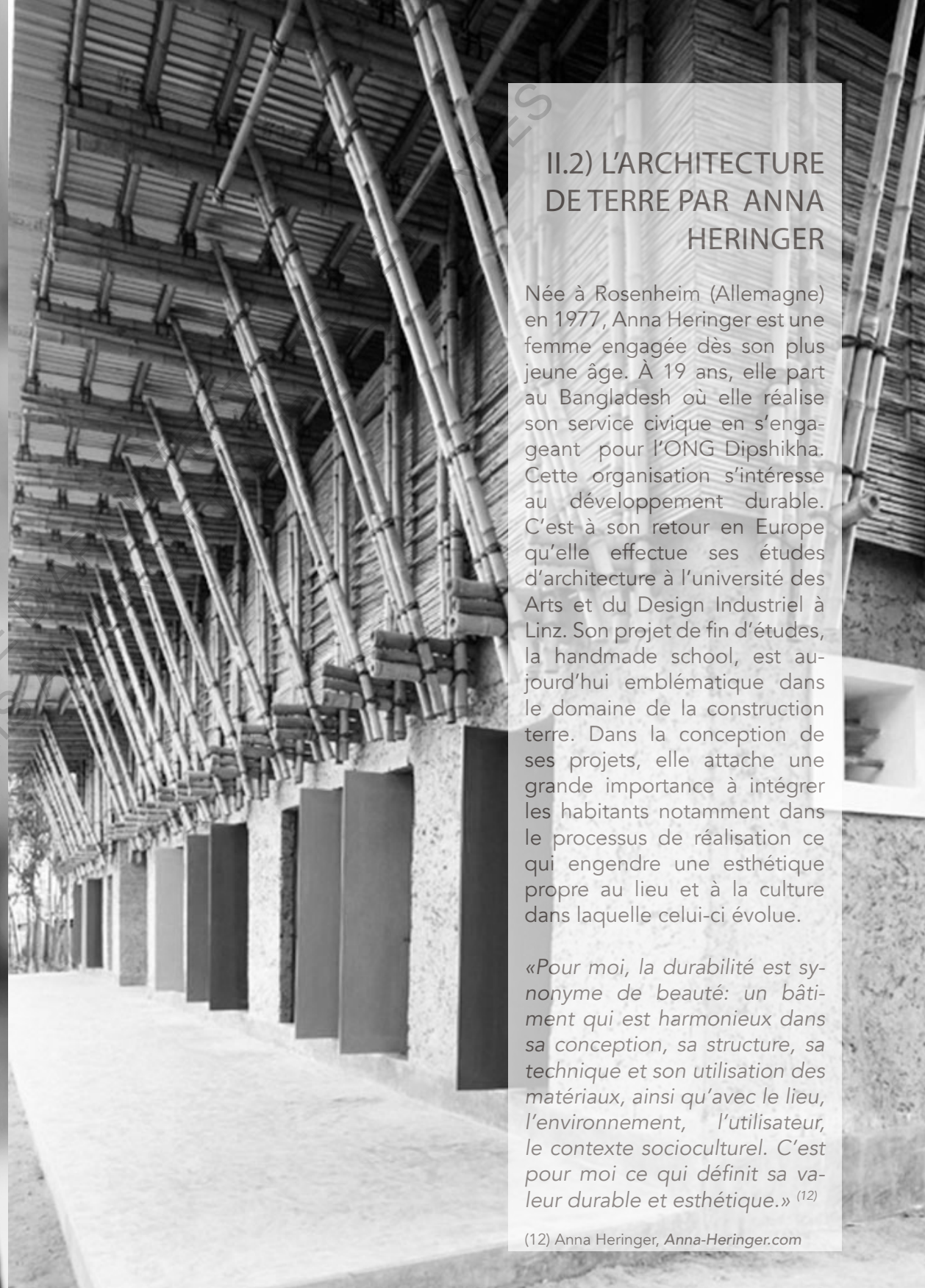
## PRÉFABRICATION

De par les dimensions du bâtiment, le recours à la préfabrication est ici essentiel. En effet, il est difficilement concevable d'imaginer la réalisation d'un tel chantier tout en respectant la saisonnalité du matériau. Pour cela, Martin Rauch a dû adapter les méthodes qu'il avait développées précédemment pour répondre à la demande en termes de temps mais aussi de coût. En effet, l'un des freins à l'utilisation de la terre dans l'architecture est le coût représenté par la main-d'œuvre qui s'avère très important. Pour respecter les délais, la préfabrication des blocs a eu lieu pendant la période hivernale (saison non compatible avec les chantiers en terre) dans une halle de fabrication (figure 68).

Pour mettre en œuvre les blocs de pisé, des banches ont été installées sur une longueur de 50 mètres dans laquelle une machine vient verser puis compacter la terre. Une fois ce processus achevé, il suffit de venir redécouper la longueur dans les dimensions souhaitées. Pour ce chantier, les dimensions étaient contraintes par le poids supporté par le pont roulant ( 5 tonnes) c'est pourquoi les blocs mesurent 336 cm de long par 130 cm de haut et 45 cm d'épaisseur. La dimension de ces blocs n'a pas de réelle importance d'un point de vue esthétique puisque la terre n'est pas stabilisée. En effet, cela permet après mise en place de venir réhumidifier la terre et d'ajouter un mortier pour combler les espaces entre les blocs (figure 69). De cette façon, après séchage le mur conserve l'aspect monolithique du pisé traditionnel. À l'intérieur, il était au contraire nécessaire de limiter les aspérités dans le mur pour empêcher les insectes de s'y implanter. Pour cela le mur a été lissé par un mélange de terre et d'eau.



Figure 70 : Anna Heringer / Photographie : © lafargeholcim foundation



## II.2) L'ARCHITECTURE DE TERRE PAR ANNA HERINGER

Née à Rosenheim (Allemagne) en 1977, Anna Heringer est une femme engagée dès son plus jeune âge. À 19 ans, elle part au Bangladesh où elle réalise son service civique en s'engageant pour l'ONG Dipshikha. Cette organisation s'intéresse au développement durable. C'est à son retour en Europe qu'elle effectue ses études d'architecture à l'université des Arts et du Design Industriel à Linz. Son projet de fin d'études, la handmade school, est aujourd'hui emblématique dans le domaine de la construction terre. Dans la conception de ses projets, elle attache une grande importance à intégrer les habitants notamment dans le processus de réalisation ce qui engendre une esthétique propre au lieu et à la culture dans laquelle celui-ci évolue.

*«Pour moi, la durabilité est synonyme de beauté: un bâtiment qui est harmonieux dans sa conception, sa structure, sa technique et son utilisation des matériaux, ainsi qu'avec le lieu, l'environnement, l'utilisateur, le contexte socioculturel. C'est pour moi ce qui définit sa valeur durable et esthétique.»<sup>(12)</sup>*

(12) Anna Heringer, [Anna-Heringer.com](http://Anna-Heringer.com)

Figure 71 : Handmade school / Photographie : © Kurt Hoerbst



II.2) L'ARCHITECTURE DE  
TERRE PAR ANNA HERINGER

A) HANDMADE  
SCHOOL



Figure 72 : Façade Handmade school / Photographie : © Kurt Hoerbst



Figure 73 : Façade Hand made school / Photographie : © Kurt Hoerbst



Figure 74 : Façade Hand made school / Photographie : © Kurt Hoerbst

La handmade school ou encore METI school, a été réalisée en 2005 à Rudrapur (Bangladesh) (figure 72). Cette ville rurale où le transport s'effectue à pied, à vélo ou en bus est régulièrement soumise aux crues qui, parfois, détruisent les habitations. Le manque de modes de transport impose aux habitants de construire avec les éléments dont ils disposent sur place : terre, paille et branches. La proximité de ces matériaux a entraîné la réalisation d'habitations en terre, traditionnellement à un seul étage. Cela s'explique par un certain scepticisme vis-à-vis du matériau terre dont les villageois ont peu à peu perdu les savoir-faire nécessaires à une construction dans les règles de l'art. En effet, on observe que la terre est mise en œuvre sans fondations ce qui donne lieu à des effondrements de murs fragilisés par les infiltrations. De plus, les toitures sont aussi mal entretenues ce qui ne garantit pas l'étanchéité.

## LE PARTICIPATIF AU CŒUR DE LA CONSTRUCTION

Pour réaliser le bâtiment, Anna Heringer a souhaité pleinement intégrer les habitants dans la réalisation de la construction. De cette façon, cela assure au bâtiment une certaine longévité car il pourra être entretenu par les utilisateurs. De plus, il était important de transmettre les savoirs qui avaient été oubliés, dans la perspective que les ouvriers puissent construire leurs propres habitations dans les règles de l'art.

Anna Heringer a aussi souhaité démontrer aux anciens que la terre, si elle est mise en œuvre correctement, est un matériau résistant et fiable. Pour cela, elle a dessiné un bâtiment composé d'un étage ce qui représente une avancée technique pour ce village.

## STRUCTURE

Le bâtiment, de forme rectangulaire, se divise naturellement en deux parties. La première, réside dans un rez-de-chaussée massif réalisé en bauge (figure 73), qui prend place sur des fondations en briques cuites (matériaux beaucoup utilisés dans cette région) isolées du sol par un film plastique. La seconde partie composée de bambou permet de créer une structure légère pour l'étage (figure 74). Ce choix n'est pas anodin puisqu'il permet d'apporter 2 types de confort dans le bâtiment. Les éléments en bauge massive (50 centimètres d'épaisseur) apportent de l'inertie contre la chaleur



Figure 75 : La «grotte» Hand made school / Photographie : © Kurt Hoerbst



Figure 76 : Etage Hand made school / Photographie : © Kurt Hoerbst

tandis que la structure en bambou à l'étage permet de mettre en place une ventilation naturelle. Ces deux aspects sont essentiels pour répondre à la chaleur du climat tropical.

## LA GROTTTE

Au rez-de-chaussée, des ouvertures ont été créées dans le mur de bauge, le choix d'Anna Heringer a été de volontairement les décaler les unes des autres puisqu'elle savait qu'il serait difficile de les aligner les unes aux autres. Ces ouvertures permettent d'apporter de la lumière dans la «grotte» (figure 75) qui est créée en fond de bâtiment. Anna Heringer s'est inspirée de ce qu'elle aimait dans son enfance pour générer des espaces qui inviteraient à des activités ludiques. Cette grotte en bauge enduite crée une connexion entre les différentes classes, celle-ci invite à une ambiance radicalement différente de par l'aspect vernaculaire qui s'oppose à l'orthogonalité du reste du bâtiment.

Pour la confection des murs extérieurs, la bauge a simplement été empilée puis redécoupée à l'aide d'une bêche pour lisser la matière. Anna Heringer n'a pas souhaité recouvrir l'ensemble d'un enduit en terre pour démontrer aux anciens la résistance de ce matériau à l'état brut. Ce choix permet d'obtenir une façade avec un certain grain puisque l'on peut apercevoir les fibres qui composent la bauge ou encore les petits espaces laissés lors de l'empilement des mottes de terre.

## LE NID

À l'étage, la structure est tout en légèreté. Inspirée par un nid, elle se compose de bambou qui est un matériau largement disponible sur place (figure 76). Celui-ci a suscité de nombreux essais en laboratoire, mais aussi directement sur chantier, étant donné que les sections n'étaient pas les mêmes que celles étudiées. De plus, il était essentiel de réaliser des essais en présence des habitants pour les rassurer vis-à-vis de la mise en place d'un étage ce qui n'est pas commun dans la construction traditionnelle. En effet il existait une certaine crainte qui a été effacée tout simplement en faisant monter tous les villageois sur une poutre. Le sol rappelle l'utilisation de la terre au rez-de-chaussée, il se compose d'un mélange de terre et de fibres inséré entre les tiges de bambou.

II.2) L'ARCHITECTURE DE  
TERRE PAR ANNA HERINGER

B) OMICRON LIVING  
ROOMS



Figure 77 : Omicron living rooms / Photographie : © Pauline Semon / Stefano Mori



Figure 78 : Omicron living rooms monolithe / Photographie : © Pauline Semon / Stefano Mori



Figure 79 : Enduits, Omicron living rooms / Photographie : © Pauline Semon / Stefano Mori

Réalisée en 2014, les espaces de rencontre pour l'entreprise Omicron sont le fruit d'une collaboration entre Anna Heringer et Martin Rauch. Le projet est constitué de 3 sculptures qui servent de salles de réunion pour les employés. L'objectif est de créer une atmosphère particulière, propice au repos, à la méditation, la discussion, la contemplation... Pour cela, les deux concepteurs ont souhaité mettre en place un projet qui soutient l'artisanat locale du Bangladesh.

## LE MONOLITHE

Le monolithe est la structure la plus expérimentale des trois réalisations. En effet, celle-ci a pour but d'introduire une des techniques les plus élémentaires de construction : la bauge. Elle est mise en œuvre de la même manière que l'on peut la trouver au Ghana tout en respectant la réglementation autrichienne.

La structure se compose de deux niveaux réalisés avec des murs de 15 centimètres d'épaisseur en terre non stabilisée, surmontés par un dôme porteur. Pour respecter la réglementation, l'ajout de deux anneaux horizontaux en acier s'est avéré nécessaire. Ceux-ci n'influent pas sur l'esthétique de la structure puisqu'ils se trouvent dissimulés par les couches de terre. L'ajout d'un troisième anneau a aussi dû être mis en place pour permettre l'ouverture zénithale et apporter une lumière tamisée dans cette alcôve.

Au rez-de-chaussée, la structure propose une assise modelée d'un seul tenant avec les murs. La forme organique permet de générer des mini alcôves à l'intérieur qui peuvent aussi servir de dossier aux utilisateurs (figure 78). La terre utilisée étant très rouge, elle confère une atmosphère chaleureuse et rassurante. De plus, le recours à la terre permet de réguler la chaleur et l'humidité ainsi que diminuer le bruit et d'absorber les odeurs. Cela confère un certain confort intérieur qui invite à la détente.

À l'étage, le dôme offre un dépaysement total. L'univers proposé par les concepteurs met en œuvre des dessins réalisés traditionnellement sur les constructions des Obus des Musgum (Cameroun) (figure 79). Les enduits sont directement façonnés à la main et inscrits en relief dans la terre. Ainsi, c'est un tout autre univers qui nous invite au voyage et à la rêverie.



Figure 80 : Omicron living rooms / Photographie : © Pauline Semon / Stefano Mori



Figure 81 : Omicron living rooms / Photographie : © Pauline Semon / Stefano Mori

## LA PISCINE

Dans l'espace du rez-de-chaussée, à proximité de l'entrée du monolithe, une assise prend place sous la forme d'une piscine que l'on aurait creusée dans le sol (figure 80). Ainsi, l'assise et le sol ne forme qu'une seule et même masse sculptée. Du point de vue de la couleur, celle-ci est moins intense que dans les espaces fermés à dominante rouge.

## LE ZEPPELIN

Cet espace situé en hauteur surplomb la piscine formée par le modelage de la terre en contre-bas (figure 82). Cet espace se compose d'une base en terre qui permet de réaliser les assises, au-dessus une structure en bois est recouverte d'une couche de soie ce qui créer une atmosphère très douce et rassurante (figure 81). Le choix de l'utilisation de tissu s'explique par la richesse des étoffes que l'on peut trouver au Bangladesh. Les coussins ont été créés par une entreprise située à Rudrapur que Anna Heringer soutient en leur apportant du travail. Cela évite aux femmes d'aller travailler en ville et donc de quitter leur village. Le choix de ces tissus participe à l'idée du voyage en apportant des étoffes, des motifs ou encore des couleurs peu présents dans nos habitations. De l'extérieur, l'idée du zeppelin prend tout son sens de par les stries générées par la structure. De nuit, la lumière diffusée par la structure donne la sensation d'un objet flottant pouvant aussi évoquer les lanternes qui illuminent le ciel.

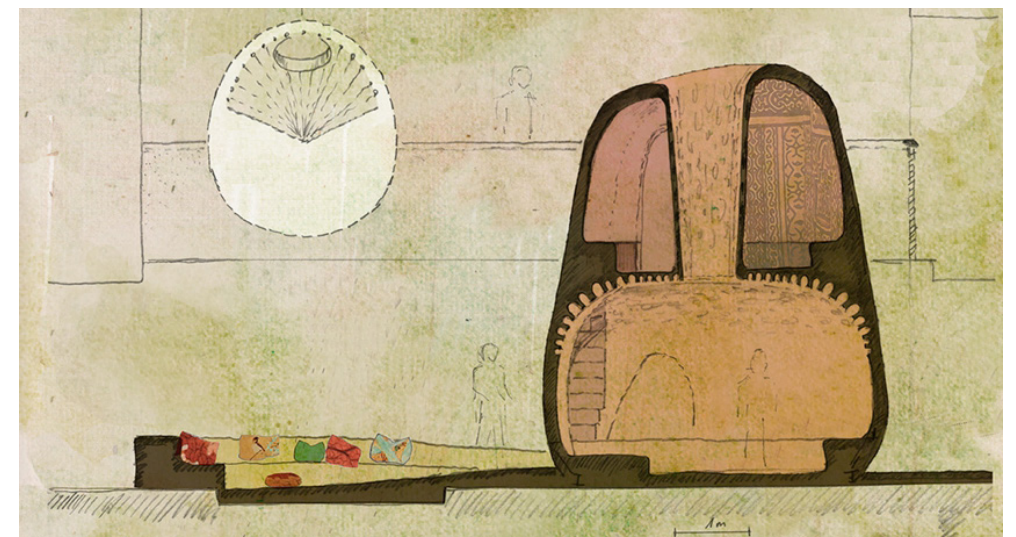


Figure 82 : Coupe Omicron living rooms: le monolithe, la piscine, le zeppelin / Photographie : © Pauline Semon, Stefano Mori



Figure 83 : Marcelo Cortés / Photographie : © Amanda River Vidal



Figure 84 : Piedras de tierra / Photographie : © Amanda River Vidal

### II.3) L'ARCHITECTURE DE TERRE PAR MARCELO CORTÉS

Né à Santiago en 1954, Marcelo Cortés est un architecte et ingénieur dont les productions sont majoritairement visibles en Amérique du Sud.

Il est à l'origine de la création d'un nouveau torchis, résolument moderne, qui met en relation l'acier et la terre. L'acier étant un des matériaux industrialisés les plus consommateurs d'énergie, son utilisation dans l'architecture écoresponsable pourrait être remise en question. Cependant, celui-ci permet à Marcelo Cortés de se réapproprier les systèmes constructifs traditionnels, particulièrement fréquents dans cette région du monde. Le recours à l'acier lui permet aussi de créer des bâtiments avec de larges ouvertures ou encore des murs inclinés. La structure métallique est ensuite remplie à l'aide d'un torchis, ce qui permet de rigidifier l'ensemble.

Même si aujourd'hui le travail de Marcelo Cortés est reconnu, il reste cependant difficile de trouver des informations sur sa pratique.



II.3) L'ARCHITECTURE DE  
TERRE PAR MARCELO  
CORTÉS

A) CENTRE D'ÉCOLO-  
GIE APPLIQUÉE





Figure 86 : Pan incliné centre d'écologie appliquée / Photographie : © Marcelo Cortés

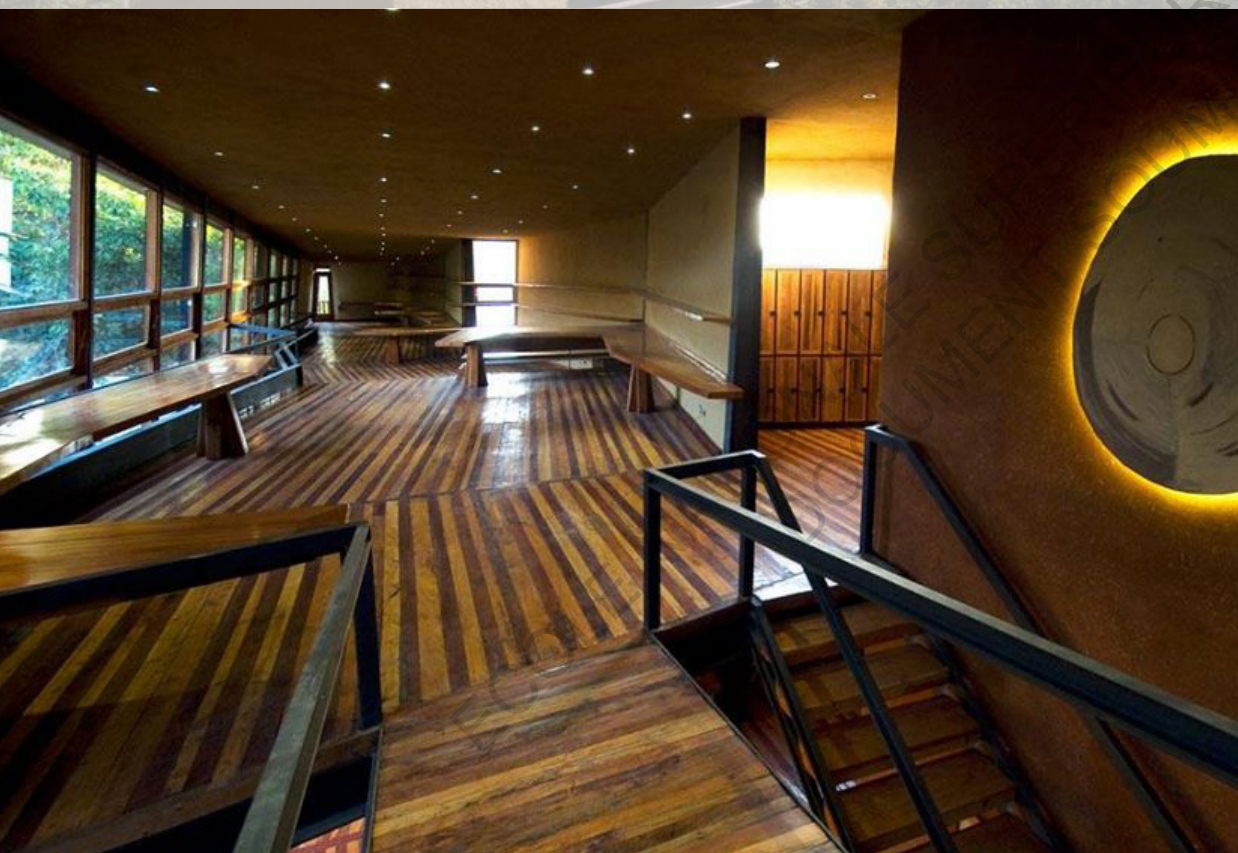


Figure 87 : Intérieur centre d'écologie appliquée / Photographie : © Marcelo Cortés

Le Chili est un des pays les plus exposés au monde aux risques sismiques. Pour cette raison, il est important d'inclure cette donnée dans la construction. Si les architectures sont traditionnellement construites en terre, le manque d'entretien de ce matériau pousse à décrédibiliser sa résistance. En effet, certaines constructions réalisées en structure bois et remplissage de terre menacent souvent de s'effondrer car le bois a pourri ou bien a été victime des xylophages. Ainsi, il est important de repenser la technique traditionnelle pour démontrer la fiabilité de ce matériau.

## STRUCTURE

Pour réaliser le bâtiment, une structure en métal est préalablement mise en place : celle-ci a pour but de remplacer les éléments en bois qui pouvaient être utilisés auparavant. Une fois cette structure installée, une résille en acier est disposée entre les montants. Celle-ci permet de recevoir le mélange terre / paille qui est mis en œuvre selon la technique traditionnelle du torchis. Les murs sont ensuite enduits pour protéger les fibres qui, laissées à l'air libre, pourraient pourrir mais aussi pour dissimuler la structure. Ainsi, cela permet d'obtenir des murs minces dans lesquels de grandes ouvertures peuvent être créées (figure 85).

## PROTECTION DE LA FAÇADE

La particularité des bâtiments réalisés par Marcelo Cortés est marquée par la création de murs inclinés (figure 86). Ceux-ci sont permis par la résistance mécanique du métal. Si ce principe génère des façades particulières, celui-ci n'a pas uniquement une vocation esthétique. En effet si Martin Rauch ralentit l'érosion en ajoutant des lignes en pierre / argile cuite, Marcelo Cortés crée des murs inclinés pour protéger la façade enduite. Ainsi, on observe que le mur le plus exposé aux vents et à la pluie est celui qui est incliné. Ce principe sera repris et amélioré par d'autres architectes comme l'agence Arias Arquitectos Asociados. Elle s'est inspirée du travail de Marcelo Cortés pour créer des panneaux appelés «terra panels) qui ont à la fois un intérêt thermique, mais ont aussi la particularité d'être flexibles et déformables pour résister aux séismes. Dans les espaces intérieurs, la terre est utilisée pour les murs et le revêtement du plafond. Au sol, le bois est mis en œuvre entre des armatures métalliques ce qui rappelle la technique de mise en œuvre du torchis. (figure 87)



Figure 88 : Daniel Duchert / Photographie : © Varvara



## II.4) L'ARCHITECTURE DE TERRE PAR DANIEL DUCHERT

Daniel Duchert est un architecte d'intérieur Allemand qui décompose la matière pour la représenter sous de nouvelles formes.

En s'intéressant à différentes terres en termes de couleurs, granulométries, argiles... sans oublier l'air et l'eau qui gouvernent l'état de la terre et influent sur son aspect au séchage, il crée de multiples aspects.

Sa pratique se développe par manipulation de la matière pour mieux la comprendre et ainsi créer des œuvres qui mettent en évidence ses intentions esthétiques. De plus, ce travail sur la texture du mur permet d'accentuer les jeux de lumière sur la matière.

Ses recherches sont intéressantes dans la mesure où ses créations sont travaillées de la même manière que les enduits. Ces productions pourraient donc être imaginées à l'échelle d'un mur dans un espace intérieur comme une œuvre d'art qui émergerait de celui-ci.

Figure 89 : Exposition ma terre première / Photographie : © lehm design raum



II.4) L'ARCHITECTURE DE  
TERRE PAR  
DANIEL DUCHERT

A) EXPOSITION MA  
TERRE PREMIÈRE

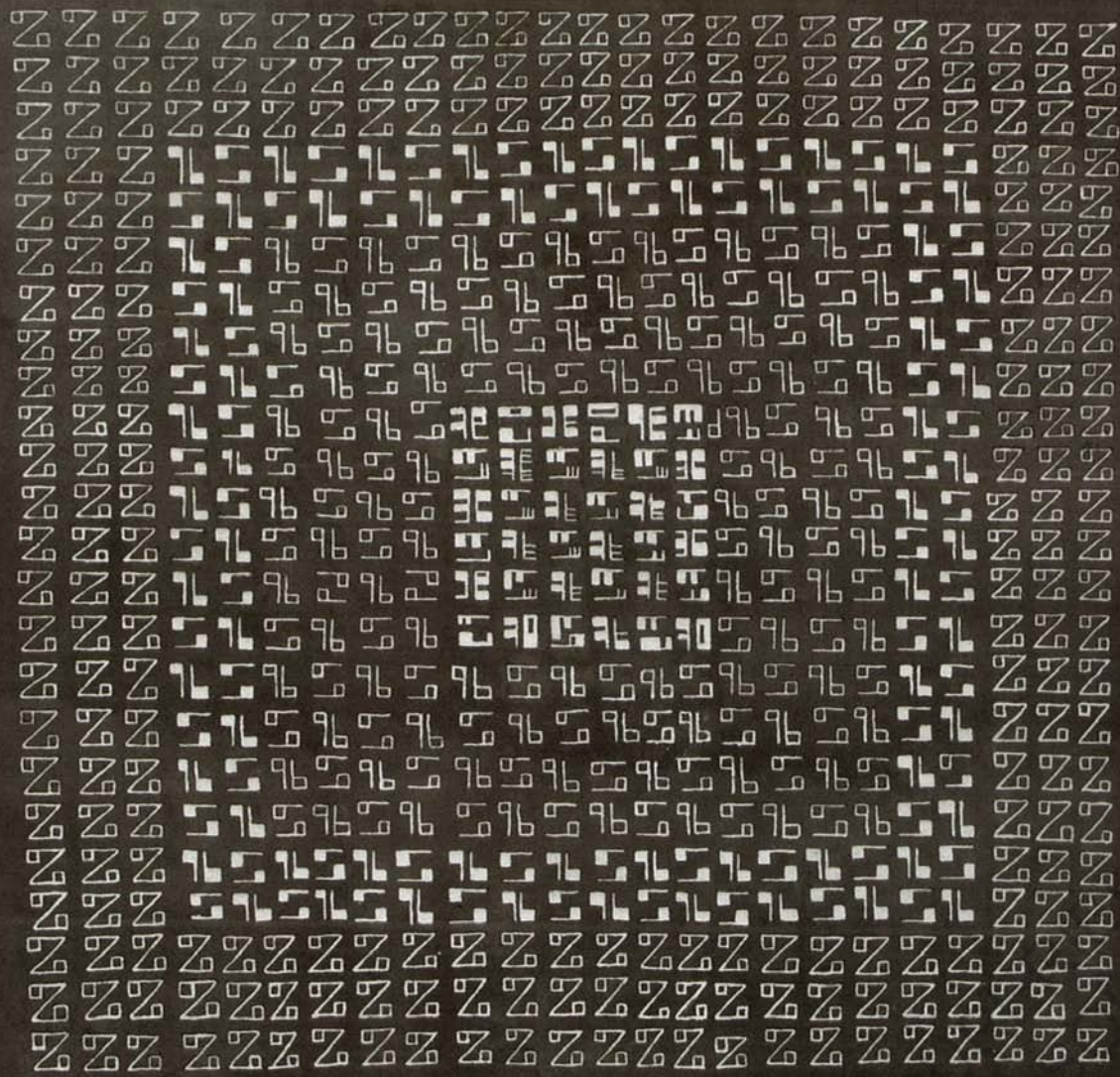


Figure 91 : Enduit de terre blanche recouvert par un enduit de terre noire

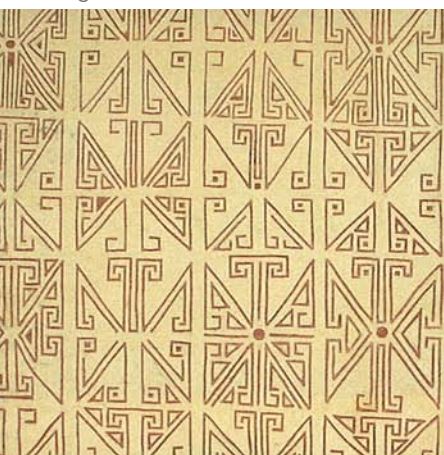


Figure 92 : Terre banche grattée sur terre rouge

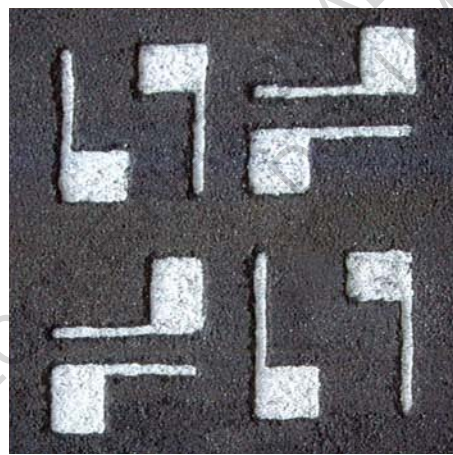


Figure 93 : Terre noire grattée sur terre blanche



Figure 94 : Boules de terre plastique empilées en zig zag

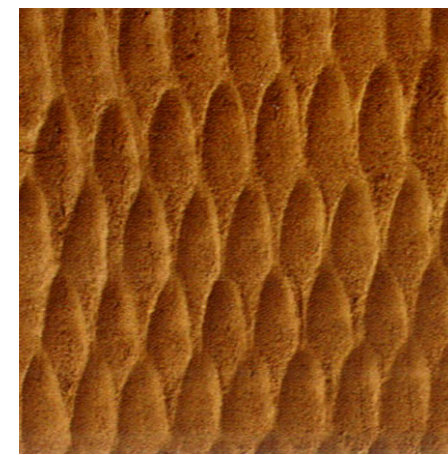


Figure 95 : Terre travaillée au doigt

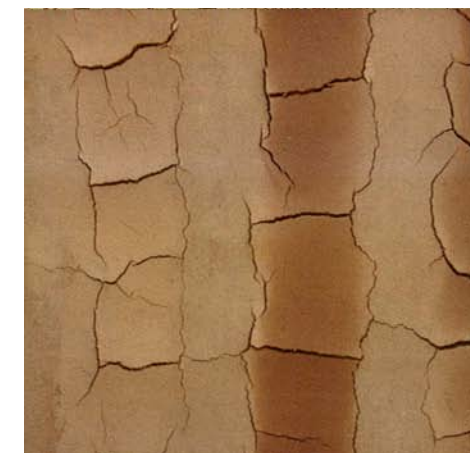


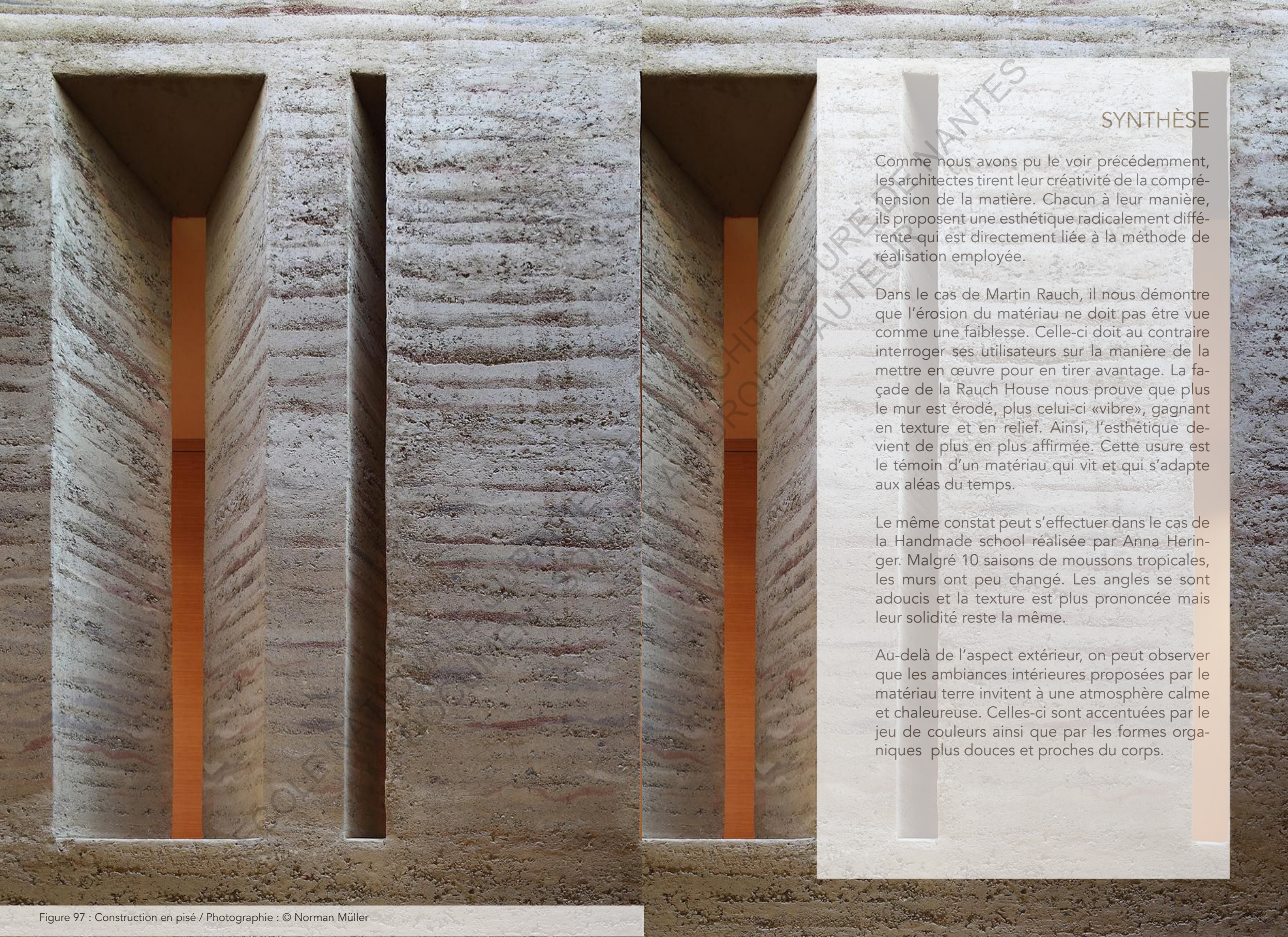
Figure 96 : Bandes verticales terre argileuse fissurée

Dans la création de ses enduits, Daniel Duchert remet au goût du jour des techniques oubliées comme celle de l'écriture cunéiforme sur tablette d'argile que l'on pouvait trouver en Mésopotamie, le berceau de l'architecture en terre. Pour cela, il n'hésite pas à superposer les enduits pour que lorsqu'il creuse la matière, celle-ci révèle une autre couche et ainsi une autre couleur (figure 91 à 93). Ce jeu de superposition et de couleurs permet d'augmenter le contraste d'ombres et de lumières lié à la profondeur.

Le jeu sur les reliefs peut s'exprimer de différentes manières et l'utilisation d'outils n'est pas forcément nécessaire. En effet, dans les images ci-dessous on peut observer des textures directement modelées à la main (figure 94 et 95). Ces motifs ne sont pas sans rappeler les maisons traditionnelles africaines sur lesquelles des ornements sont dessinés par les femmes. Dans l'architecture ils ont pour rôle de ralentir le glissement de l'eau mais leur valeur esthétique apporte une identité culturelle forte à l'ensemble.

La démarche de Daniel Duchert s'inscrit plus dans l'expérimentation de la matière que dans le domaine de l'artisanat. En effet, sa recherche de la compréhension de la matière lui permet de mélanger plusieurs types de terre pour obtenir des textures différentes sur une seule et même surface. Ainsi, il est capable de prévoir les endroits de fissuration par retrait qui créera un motif craquelé (figure 96).

Les possibilités de textures et d'esthétiques de la terre semblent infinies avec pour seule limite notre imagination.



## SYNTHÈSE

Comme nous avons pu le voir précédemment, les architectes tirent leur créativité de la compréhension de la matière. Chacun à leur manière, ils proposent une esthétique radicalement différente qui est directement liée à la méthode de réalisation employée.

Dans le cas de Martin Rauch, il nous démontre que l'érosion du matériau ne doit pas être vue comme une faiblesse. Celle-ci doit au contraire interroger ses utilisateurs sur la manière de la mettre en œuvre pour en tirer avantage. La façade de la Rauch House nous prouve que plus le mur est érodé, plus celui-ci «vibre», gagnant en texture et en relief. Ainsi, l'esthétique devient de plus en plus affirmée. Cette usure est le témoin d'un matériau qui vit et qui s'adapte aux aléas du temps.

Le même constat peut s'effectuer dans le cas de la Handmade school réalisée par Anna Heringer. Malgré 10 saisons de moussons tropicales, les murs ont peu changé. Les angles se sont adoucis et la texture est plus prononcée mais leur solidité reste la même.

Au-delà de l'aspect extérieur, on peut observer que les ambiances intérieures proposées par le matériau terre invitent à une atmosphère calme et chaleureuse. Celles-ci sont accentuées par le jeu de couleurs ainsi que par les formes organiques plus douces et proches du corps.

## HABITER LA TERRE ENTRE AMBIANCES, CONFORT ET QUALITÉ DE VIE

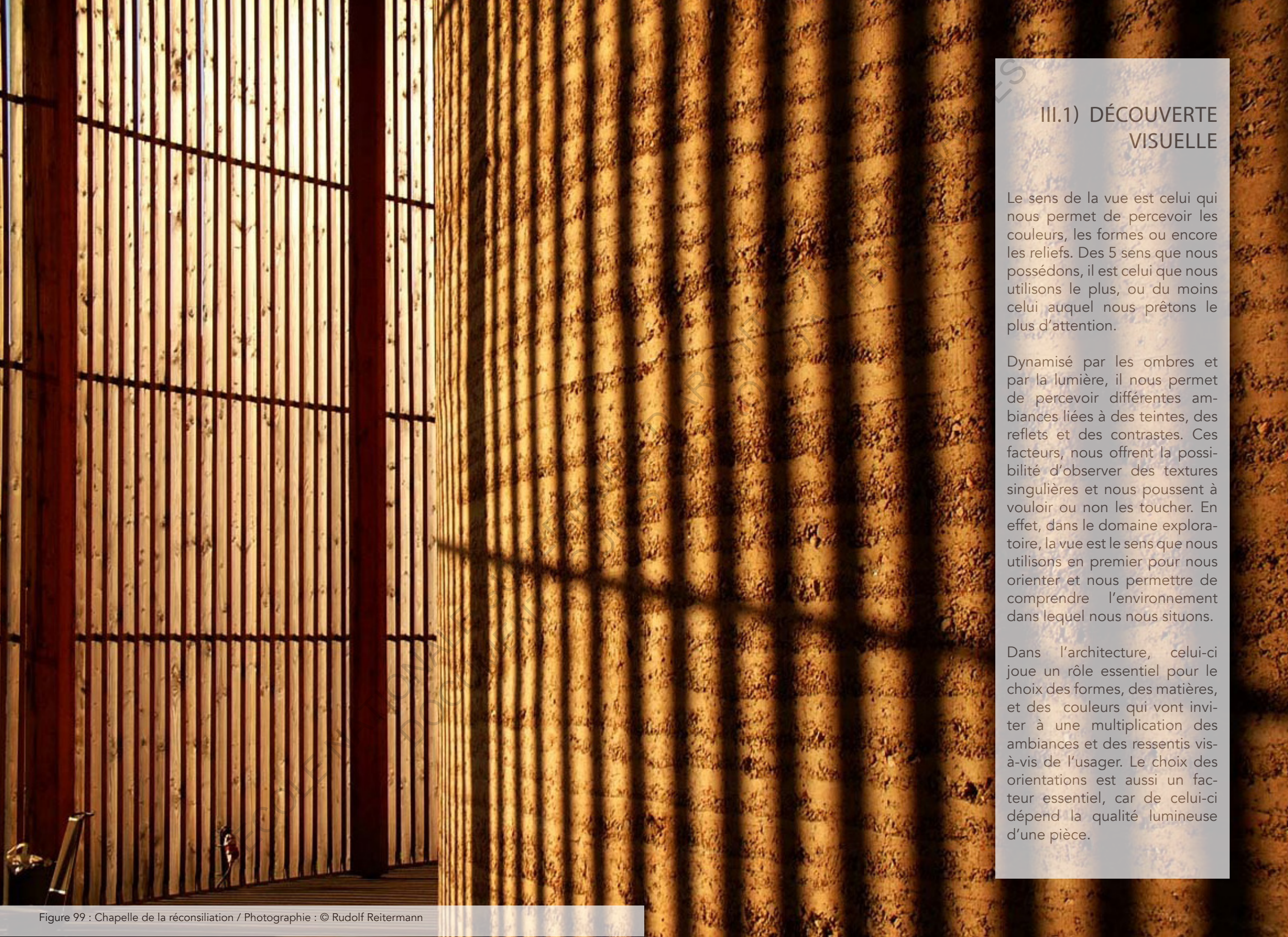
Si l'architecture a rencontré une période utilitaire, la notion des ambiances prend de plus en plus d'ampleur dans la création de projets. En effet, les habitants s'intéressent de manière croissante à cette question pour améliorer leur confort de vie.

L'espace dans lequel nous vivons quotidiennement présente des caractéristiques figées d'une certaine manière, elles sont toutefois amenées à être transformées par différents facteurs qui influent sur notre perception et notre vécu de l'espace. Ainsi, l'espace entre en mouvement pour nous faire vivre des expériences sensorielles particulières.

*«L'environnement n'est pas un espace physique précis et stable. Sa géométrie est statique, mais il est sans cesse inondé par différentes ambiances qui, elles sont dynamiques. De plus, sa réalité est modelée par le terrain mouvant de notre mémoire, qui encode nos expériences, nos rencontres et autres complexes associations vécues dans ce lieu»<sup>(13)</sup>*

*Cette partie propose de s'intéresser aux ambiances générées par le matériau terre. Pour cela, elles seront explorées par le biais de 4 sens : la vue, le toucher, l'odorat et l'ouïe.*

13) Sous la direction de Jean-Paul Thibaud et Daniel Siret, *Ambiances in action / Ambiances en acte(s)*, Actes du 2nd Congrès International sur les Ambiances, Réseau International Ambiances, 2012, p.183



### III.1) DÉCOUVERTE VISUELLE

Le sens de la vue est celui qui nous permet de percevoir les couleurs, les formes ou encore les reliefs. Des 5 sens que nous possédons, il est celui que nous utilisons le plus, ou du moins celui auquel nous prêtons le plus d'attention.

Dynamisé par les ombres et par la lumière, il nous permet de percevoir différentes ambiances liées à des teintes, des reflets et des contrastes. Ces facteurs, nous offrent la possibilité d'observer des textures singulières et nous poussent à vouloir ou non les toucher. En effet, dans le domaine exploratoire, la vue est le sens que nous utilisons en premier pour nous orienter et nous permettre de comprendre l'environnement dans lequel nous nous situons.

Dans l'architecture, celui-ci joue un rôle essentiel pour le choix des formes, des matières, et des couleurs qui vont inviter à une multiplication des ambiances et des ressentis vis-à-vis de l'utilisateur. Le choix des orientations est aussi un facteur essentiel, car de celui-ci dépend la qualité lumineuse d'une pièce.



## COULEURS

La terre est un matériau qui a pour particularité d'exister dans des couleurs différentes. Le nuancier s'étend au nombre de terres que l'on peut trouver sur le globe, elle peut être blanche, jaune, rouge ou encore grise, déclinée dans un nombre de nuances infinies (figure 100). Ainsi, elles confèrent aux bâtiments une identité propre de par leur colorimétrie. Cependant, on ne choisit pas la terre pour sa couleur, mais on préférera utiliser celle qui est disponible directement sur place ou bien à proximité du lieu de construction. Comme on peut l'observer à Shibam et dans d'autres villes construites en terre, cela permet de mettre en relation le bâti et l'environnement au sens large, la ville fait alors partie intégrante de ce grand ensemble et ne représente pas une parenthèse dans le paysage.

Dans un intérieur, le choix des couleurs est essentiel pour transcrire des ambiances. Tout d'abord, la teinte de la matière permet d'apporter plus au moins de «chaleur» dans un espace. Comme nous avons pu l'observer précédemment dans le projet Omicron living rooms réalisé par Anna Heringer et Martin Rauch, la teinte de la terre change en fonction du degré de chaleur et d'intimité souhaité. Plus l'espace est intime, plus la terre est rouge, ce qui invite à la détente des occupants. Le Monolithe et le Zeppelin en sont la démonstration. Ce sentiment est accru par le jeu de lumière tamisée par des tissus ou bien filtrée par des petites ouvertures, ainsi l'occupant se trouve dans une atmosphère rassurante propice à son repos.

Au contraire, dans l'espace de la piscine le degré d'intimité est moindre. On peut alors observer que le choix de la terre s'est porté sur une teinte plus jaune et donc plus neutre. Celle-ci permet d'apporter plus de luminosité dans l'espace et invite donc à d'autres usages. Aux murs, la teinte devient encore plus claire et la terre est mise en œuvre de manière moins lisse. Ainsi, un nouveau jeu est créé avec les éclairages qui présentent la terre sous un nouvel aspect.

Dans la Rauch House réalisée par Martin Rauch, le choix a été de créer un enduit blanc sur les murs dans les espaces de vie. Celui-ci apporte beaucoup de luminosité dans l'espace et permet aussi de mettre en valeur les éléments en pisé comme la cheminée par exemple.





Figure 101 : Escalier maison de Martin Rauch / Photographie : © Beat Bühler



Figure 102 : Exposition ma terre première / Photographie : © lehm design raum



Figure 103 : Façade School complex Gönhard, Martin Rauch / Photographie : © Beat Bühler



Figure 104 : Chancel at Worms cathedral, Martin Rauch Anna Heringer / Photographie : © Norbert Rau

## OMBRES ET LUMIÈRE

Dans notre perception, l'ombre et la lumière sont ce qui nous permet de mettre en relief les éléments. Ainsi, sur une surface cela peut permettre de créer des profondeurs susceptibles d'attirer la main des curieux. En effet, ces deux paramètres peuvent directement être reliés à la notion de texture qui par ces jeux d'optique fera appel à notre mémoire tactile, réveillant notre côté curieux.

La terre, de par les multiples mises en œuvre qu'elle propose, permet de créer plus ou moins de profondeur et de grain sur un mur. Comme nous pouvons l'observer dans le cas de la cage d'escalier de la Rauch House (figure 101), le jeu de lumière créé par les pavés de verre apporte une dimension esthétique supplémentaire à la matière. Les travaux de Daniel Duchert participent à cette démonstration en expérimentant les textures, les reliefs, les superpositions de matière... (figure 102)

Des plus organiques aux plus orthogonaux (figure 103), les motifs ainsi créés proposent différentes perceptions, faisant appel à la sensibilité de chacun.

Concernant la mise en valeur de la lumière, il existe de multiples façons de procéder. Tout d'abord, celle-ci peut se faire en lissant la matière à l'aide d'eau et de terre, puis en polissant la surface pour apporter un aspect brillant. Cet effet peut aussi être obtenu en cirant la surface ce qui permet de conserver les reliefs d'une texture.

Nous pouvons observer dans le projet de l'autel pour la Worms cathédrale réalisé par Anna Heringer et Martin Rauch (figure 104) le contraste qui peut être apporté. Les surfaces périphériques sont conservées à l'état brut tandis que la surface du dessus est lissée pour refléter la lumière. Ce contraste est renforcé par les strates engendrées par le pisé qui, par endroits, laisse apparaître des creux, aspérités, plus ou moins importants. La face du dessus est, au contraire, très lisse et sans «imperfection». Ce traitement démontre que l'on peut donner à la terre, en fonction de ce que nous recherchons, un aspect très brut ou au contraire un côté plus précieux.





### III.2) EXPÉRIMENTATION CORPORELLE

Le sens du toucher est un sens particulier pour l'homme. En effet, celui-ci ne dépend pas d'un seul ou de deux organes, mais fait appel à tout le corps. Ainsi, il est sensible à la pression, au chaud et au froid.

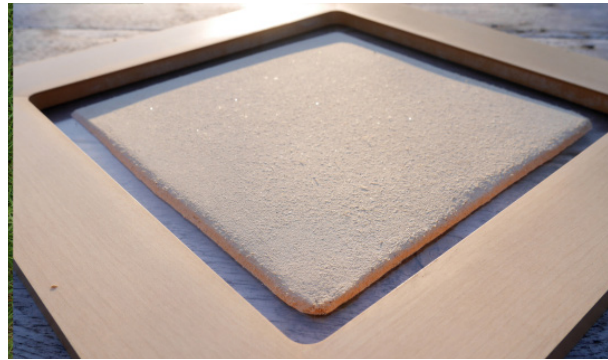
Le toucher se divise en 2 catégories. La première est celle du toucher actif. On entend par là, la volonté d'entrer en contact avec un objet, une surface, de manière exploratoire. Celui-ci peut s'effectuer avec nos mains mais aussi avec nos pieds, qui vont découvrir le sol.

La seconde quant à elle est celle du toucher passif, c'est-à-dire celui que l'on subit malgré nous : le rayonnement de la chaleur (Rayon solaire, radiateur...), la fraîcheur (interface intérieure /extérieure, climatisation...), l'humidité (cave souterraine, hammam...).

Si ces données font aussi appel à la sensibilité de chacun, elles ont tout de même la particularité d'être mesurables et donc, elles peuvent être analysées de manière scientifique.



1) Couleurs des Terres



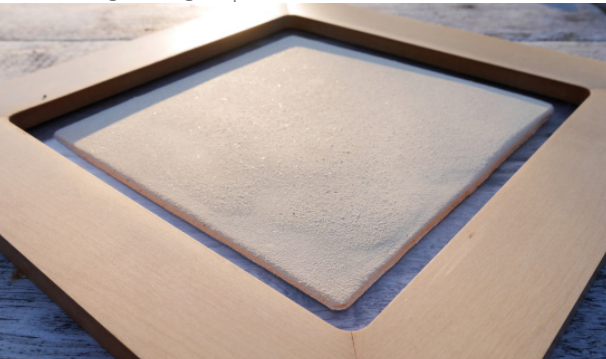
5) Grain Fin Fibré et Épongé



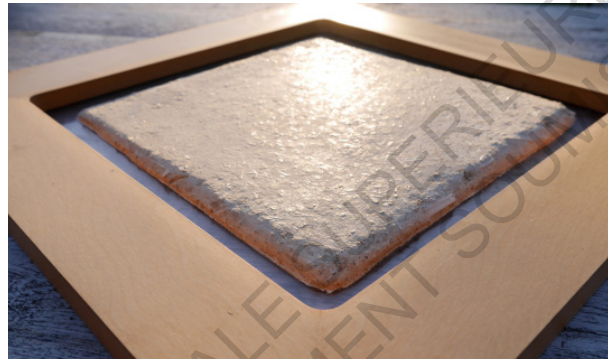
2) Vagues Organiques



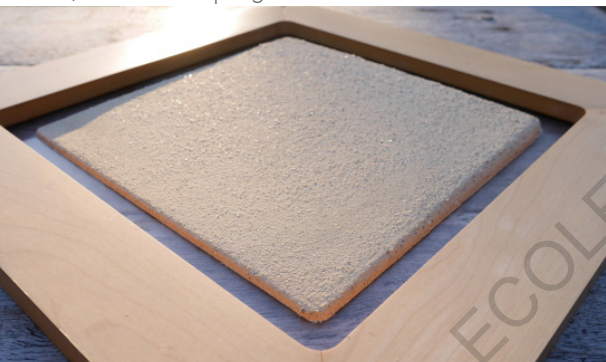
6) Grains Gros Fibré et Cisé



3) Grain Fin et Épongé



7) Grains Gros Fibré et Cisé



4) Grain Gros et Épongé



8) Grain Fin Cisé

## LE TOUCHER ACTIF

En fonction de la technique de construction utilisée, la terre peut présenter différentes textures selon le mélange. Qu'il s'agisse du pisé, de l'adobe, de la bauge ou du torchis toutes ont pour point commun cette irrésistible envie de toucher la matière.

Cette envie s'explique notamment par le fait que le toucher est peu représenté en architecture. En effet, des utilisateurs de l'école de la Chevallerie réalisée par L'atelier Belenfant Daubas déclarent qu'ils ont touché le mur au début, pour la première découverte, puis que celui-ci est devenu habituel et donc ils ont cessé de le toucher.

Lors de l'enseignement matière à construire, le constat fut le même. Les premières séances nous rendaient très curieux de cette matière si commune et pourtant l'avions-nous déjà réellement touchée ?

Cette curiosité du premier contact nous ramenait littéralement en enfance. La terre sèche nous permettait de faire glisser les grains entre nos doigts, laissant une légère poussière et quelques grains sur nos mains. À l'inverse, l'ajout d'eau rendait la terre coulante, comme une seconde peau, difficile à retirer mais malléable à l'infini. La période hivernale, ne nous a pas permis d'expérimenter la matière avec nos pieds. Cependant, j'ai le souvenir de la cave de mon grand-père revêtue d'un sol en terre battue qui, en été, s'avérait très agréable et contrastait avec les pierres brûlantes de la cour.

Pour multiplier les textures, le recours à des enduits peut être effectué. Dans cette démarche Riccardo de Paoli qui exerce en tant qu'artisan auto-entrepreneur réalise des enduits aux effets variables. Après avoir préalablement défini la teinte de l'enduit (figure 106, image 1), la question de la granulométrie entre en jeu. Celle-ci qui gère une esthétique singulière, change aussi la perception de la matière qui devient plus ou moins rugueuse (figure 106, image 2 à 4). Ce jeu de relief peut être augmenté en ajoutant des fibres au mélange (figure 106, image 5 et 6).

Au contraire, il est aussi possible de lisser la matière en apposant une cire de finition qui confère un aspect plus lisse et surtout plus brillant à la terre (figure 106, image 7 et 8). L'effet brillant peut aussi être obtenu en polissant la façade avec un galet. De cette façon, au contact de la peau, il devient difficile de percevoir la matière terre puisque nous ne sommes pas habitués à l'expérimenter dans cet aspect.

Figure 106 : Enduits réalisés par Riccardo de Paoli / Photographie © Riccardo de Paoli



## LE TOUCHER PASSIF

Contrairement au toucher actif, le toucher passif invite à se recentrer sur soi et à fermer les yeux pour mieux appréhender ces éléments spatiaux invisibles. Une fois les yeux fermés, tous ces ressentis sont augmentés de manière considérable comme j'ai pu le constater lors des balades urbaines à l'aveugle réalisées à l'occasion des cours «Ambiances et Formes Urbaines» dispensés par Ignacio Requena et Pascal Joanne. Cette expérience nous a permis par exemple, de constater physiquement le rayonnement des murs qui variait en fonction de leur exposition mais aussi en fonction de leur matérialité.

Cependant, dans notre quotidien nous explorons rarement notre environnement à l'aveugle, ce qui explique que lors d'un sentiment d'apaisement ou de bien-être dans un espace nous ne soyons pas capables d'en exprimer la raison.

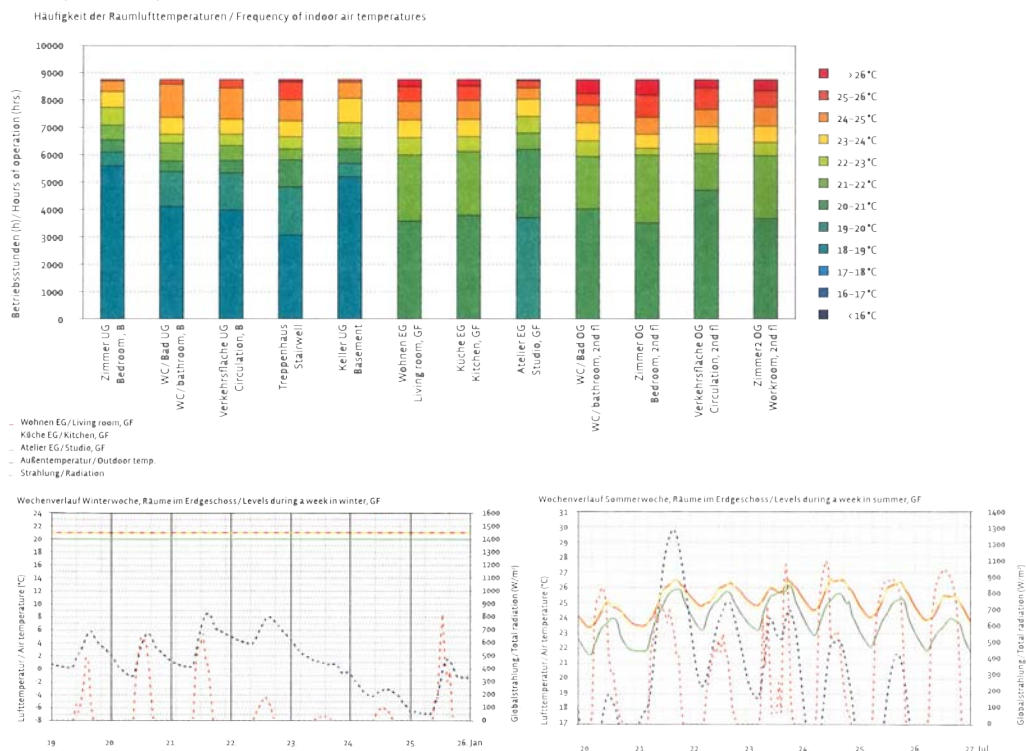
Le matériau terre présente des capacités importantes en termes de thermique et d'hygrométrie. Cela s'explique notamment par son inertie qui a permis à l'homme de construire des habitats lui permettant de se protéger du froid, ou, au contraire, de se réchauffer dans des milieux hostiles comme les régions désertiques par exemple. La question du déphasage est primordiale dans ce type de climat, car elle permet de restituer la chaleur au moment le plus opportun.

*«Dans le monde entier, les traditions de la construction Vernaculaire expriment une adaptation thermique particulièrement sophistiquée. Les bâtisseurs primitifs utilisaient avec efficacité des matériaux et des formes qui tempéraient effectivement les conditions climatiques dominantes. Le problème caractéristique des régions désertiques est le grand écart de températures entre le jour et la nuit, très élevés ou très basses, et peu confortables. Ainsi le matériau de construction idéal serait celui qui offre une grande capacité calorifique, favorisant une absorption du rayonnement solaire diurne et une restitution lente et déphasée de la chaleur, de nuit.»<sup>(14)</sup>*

De plus, la régulation de l'hygrométrie est aussi essentielle pour apporter une sensation de confort dans un espace, c'est pourquoi le matériau terre est, par exemple, très adapté aux pièces humides comme une salle de bain. (figure 107)

14) Lisa Hescong, *Architecture et volupté thermique*, Roquevaire : Parenthèses, 1981, p.25

## 1) Fréquence températures intérieur



## 2) Fréquence humidité de l'air intérieur

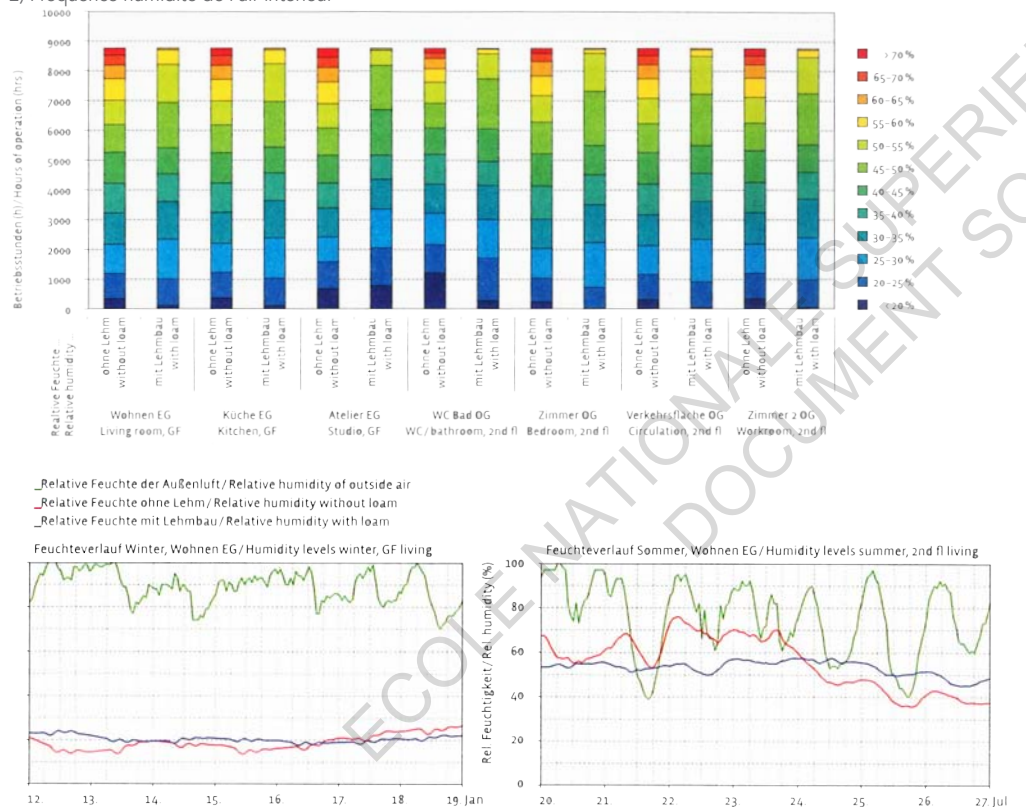


Figure 108 : Mesures températures et humidité Rauch House / Graphique © Martin Rauch

Pour comprendre ces phénomènes, Martin Rauch a effectué des mesures dans sa maison qui permettent d'analyser la température intérieure mais aussi le taux humidité ambiant.

Concernant les températures ambiantes observées (figure 108, image 1), on constate que les pièces observant le moins de variations sont les chambres, la salle de bain et les circulations. Cela peut s'expliquer par la taille des ouvertures qui sont moins importantes, mais aussi par l'orientation de ces espaces (chambres orientées à l'Est par exemple). De plus, ils se situent dans la partie basse de la maison, c'est-à-dire celle la plus encastree dans le sol. Une exception est faite pour la cage d'escalier qui dispose d'une grande ouverture zénithale.

Pour les autres espaces situés au niveau intermédiaire et au deuxième étage, la température la moins élevée est de 20-21°C ce qui est presque 3°C de plus que dans le soubassement. Ces pièces sont aussi plus exposées aux températures élevées (pouvant aller jusqu'à 28,5°C maximum). Cela s'explique par différents facteurs comme la taille des ouvertures, l'orientation plein sud et le fait que les fenêtres ne soient pas protégées par des protections solaires. Ainsi, en été cela peut provoquer des surchauffes dans le bâtiment.

En hiver, la température intérieure reste stable puisque le bâtiment est chauffé à 18°C. Cela permet d'obtenir une température minimale dans tout le bâtiment. Cependant, dans l'espace de la cage d'escalier, la température descend en dessous des 18°C en raison de l'ouverture zénithale. Au niveau du rez-de-chaussée et de l'étage la température peut augmenter jusqu'à 21°C. En été, celle-ci est beaucoup plus variable. Son augmentation est liée aux radiations solaires qui fluctuent tout au long de la journée. Il est important de préciser que dans le cas de la Rauch House, un isolant est mis en place, en effet le pisé ayant une conductivité thermique entre 1,5 et 1 W/m.K, il ne peut être considéré comme un matériau isolant (0,065 W/m.K). Cependant, le recours à un isolant nuit aux échanges de chaleur et de vapeur entre le mur et l'air ambiant. C'est pourquoi, il est préférable de le mettre au bon endroit et pas forcément dans tout le bâtiment.

Vis-à-vis du taux d'humidité ambiante (figure 108, image 2), Martin Rauch le compare aux matériaux classiques de construction. Si en hiver la différence est plus flagrante, en été on peut constater que le taux d'humidité est beaucoup plus constant avec le matériau terre. En effet, dans le diagramme en barre n°2 on peut observer que l'utilisation de la terre permet de ne pas excéder 60% d'humidité dans l'air tandis que les matériaux standard présentent des pics à plus de 70%.



### III.3) MÉMOIRE OLFACTIVE

Le sens de l'odorat se définit par notre capacité à percevoir des odeurs dans un environnement. Celles-ci peuvent se définir de différentes manières comme leur intensité ou leur parfum cependant le vocabulaire pour les définir reste pauvre et imprécis. En effet, celui-ci dépend de notre perception et de notre sensibilité ce qui rend ce sens très subjectif. De plus, les odeurs ont la capacité de nous faire remémorer des souvenirs qui nous ramènent à un moment précis de notre vie. Ainsi, il est difficile de généraliser la perception des odeurs puisqu'en fonction des individus elles n'auront pas le même pouvoir d'évocation.

*«À tout moment, nous percevons différents arômes dans l'environnement, certains sont liés à un instant précis de notre vie, insouciant ou bouleversant, et cette liaison est archivée dans notre mémoire. Telle une capsule temporelle qui surgit, nous sommes ramenés à cet instant précis dès que la même composition d'odeur se présente à nouveau.»<sup>(15)</sup>*

(15)Natalie Bouchard, Le théâtre de la mémoire olfactive - Dans quelle mesure l'empreinte des odeurs influence-t-elle notre perception de l'environnement, et plus particulièrement sa dimension spatio-temporelle?.Ambiances in action / Ambiances en acte(s), Actes du 2nd Congrès International sur les Ambiances, Réseau International Ambiances, 2012, p.183



figure 110 : House M / Photographie : © Bruno Klomfar

Dans l'architecture, l'odorat reste un sens qui est peu mis en avant. En effet, si la vue est le sens le plus plébiscité dans les projets, le toucher et l'ouïe prennent de plus en plus d'importance dans l'amélioration de la qualité de nos espaces de vie. Les espaces commerciaux s'intéressent aujourd'hui à un nouveau marketing qui fait appel aux odeurs pour améliorer l'expérience d'achat des clients : le marketing olfactif. Celui-ci a pour but de projeter le client dans une expérience sensorielle la plus agréable possible. Ainsi, elle sera gravée dans la mémoire de l'acheteur qui, à sa prochaine visite, aura la sensation d'être dans un espace familier.

Ce type d'expérience est peu utilisée dans le logement ou dans les bureaux. En effet, on observera plutôt une tendance à dissimuler les odeurs qui sont la plupart du temps qualifiées comme gênantes.

Par exemple, dans un logement, l'espace destiné à la cuisine est presque systématiquement placé à l'opposé des chambres pour éviter ce «désagrément».

*«Je trouve plutôt étrange que les architectes – ainsi que les autres spécialistes de l'aménagement, les ingénieurs et les élus – n'aient toujours pas commencé à tenir compte des odeurs dans le design architectural. Par exemple, il faut réfléchir davantage aux matériaux que nous utilisons et aux odeurs qu'ils dégagent, d'autant plus que ces dernières peuvent avoir un effet sur la santé. Le travail de l'architecte, c'est aussi de concevoir des bâtiments plus sains, plus durables, plus agréables à vivre...»<sup>(16)</sup>*

Dans le cas de la construction en terre, on pourrait se demander si celle-ci émet des odeurs dans son environnement direct, comme le bois par exemple. En effet, dans l'esprit commun nous avons tous cette odeur de terre humide après la pluie, ou bien encore de la cave en terre battue de nos grands-parents, mélange d'humidité et de fraîcheur.

Lors des cours de matière à construire, il est vrai qu'une douce odeur de terre pouvait se faire sentir au début. Cela s'explique notamment par l'humidité ambiante de la saison hivernale. Cependant lors des divers constructions que nous avons réalisées, on ne peut pas dire qu'une odeur particulière s'en dégageait, cela est confirmé par Bruno Bélenfant qui explique que la terre à construire n'a pas d'odeur et si elle est utilisée seule, n'émet pas de polluant dans l'air.

16) Martine Roux, *Le design et les odeurs : Sources d'inspiration*, Interview Victoria Henshaw, Esquisses, vol. 23, no 3, automne 2012, paragraphe : Comment un architecte peut-il contribuer à l'expérience olfactive ?



Figure 111 : Rauch House / Photographie : © Beat Bühler, Martin Rauch

« À priori, la terre qu'on utilise en construction n'a pas vraiment d'odeur. La seule odeur qu'on a ce sont les matières organiques.»<sup>(17)</sup>

De plus, l'architecte affirme qu'il est plus souvent recherché de ne pas avoir d'odeurs dans un bâtiment. Ce facteur est important car, si la terre n'émet pas d'odeur, elle a toutefois la capacité de les absorber<sup>(18)</sup> ce qui peut rendre le matériau agréable dans une cuisine (figure 110). Cela lui permet aussi de capter les polluants présents dans l'air que nous respirons, ce qui n'est pas négligeable puisque l'environnement intérieur, à moins d'être extrêmement ventilé et aéré, est très pollué. Des tests ont démontré la capacité d'absorption de la matière vis-à-vis de certains polluants (pentanol, hexanal et butyl acetate)<sup>(19)</sup>. Celle-ci peut être considérablement augmentée (130%) par l'ajout d'aérogel dans le mélange.

Dans le cas de la Rauch House, l'enduit d'une épaisseur de 3 centimètres contient une faible quantité d'eau (6-7%). Ce taux limité rend la création de moisissure impossible ce qui est important pour un environnement sain. Celui-ci permet d'assurer l'absorption des polluants et des odeurs et selon Martin Rauch, il aurait la capacité de réduire et d'absorber les hautes fréquences de radiations. Cela n'a pas été démontré scientifiquement cependant, il affirme que dans le cas de sa maison la connexion au réseau est difficile, voire impossible, dans certains espaces dont l'entrée ou encore l'escalier en pisé massif, qui sont des pièces dépourvues de fenêtres (figure 111).

(17) Léa Chevrier, Interview Bruno Bélenfant, *Vivre une école en terre : entre ambiances rêvée et réalité construite*, Architecture et aménagement de l'espace, 2015, p.102

(18) (19) Andrea Kling et Eike Roswag, *Hygroscopic natural materials versus mechanical ventilation*, 2018, p.4





### III.4) PERCEPTION SONORE

Le sens de l'ouïe est celui qui nous permet de percevoir les sons qui composent notre environnement. Celui-ci nous offre la possibilité de capter des informations permettant de nous situer et de nous orienter dans un espace.

La dimension acoustique est de plus en plus présente dans l'architecture. Si celle-ci existait déjà dans les établissements comme les théâtres, cinémas ou encore les édifices religieux on s'aperçoit aujourd'hui qu'elle prend de plus en plus de place dans nos logements.

En effet, on accorde une importance significative à l'isolation des logements vis-à-vis du voisinage mais aussi entre les pièces d'un même logement.

Au sein d'une habitation, les sons peuvent créer une ambiance familière ou bien qui fait appel à des souvenirs comme le craquement d'un plancher en bois, le grincement d'une porte, les bruits de pas dans l'escalier... Certains bruits, à terme, font partie d'un paysage sonore auquel nous ne prêtons plus attention de par leur caractère habituel.

Dans un espace intérieur, les notions d'échos et d'absorption des sons sont essentielles pour la création d'ambiances.

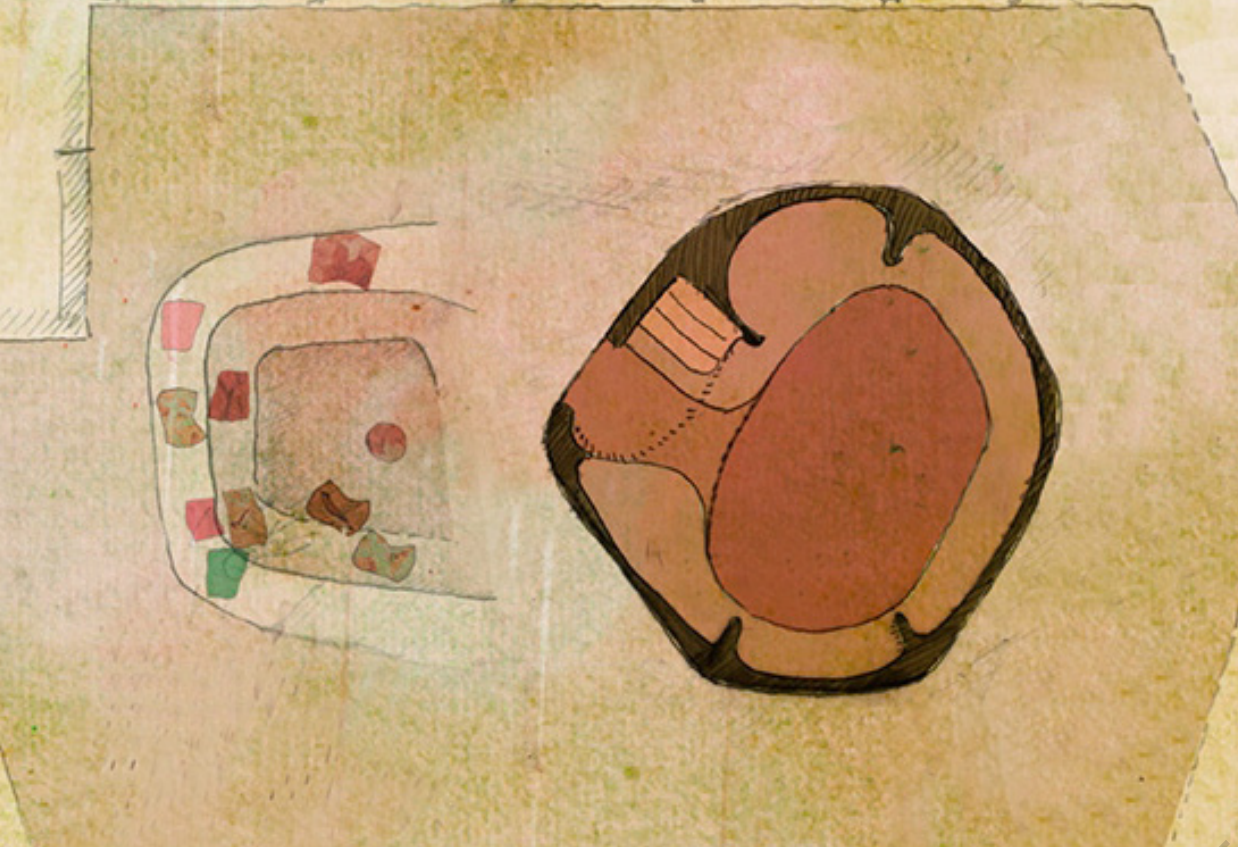


Figure 113 : Plan piscine et monolithe Omicron living rooms / Photographie : © Pauline Semon, Stefano Mori



Figure 114 : Cinema Sil Plaz, Capaul & Blumenthal Architects / Photographie : © Laura Egger

Les propriétés acoustiques peuvent et doivent être traitées de différentes manières. En fonction des matériaux utilisés dans une construction, il sera primordial d'ajouter des composants capables d'amortir les sons ou au contraire de les réverbérer dans certaines directions pour assurer la transmission des informations sonores. Pour cela, on observe que différents procédés sont mis en place.

Tout d'abord, il existe un travail essentiel dans la forme pour permettre aux murs ou aux plafonds de réverbérer le son. Pour cela, les édifices religieux sont maîtres en la matière puisque l'utilisation des coupoles permet de réfléchir le son dans de multiples directions.

Ensuite, le choix des matériaux ne peut être négligé. En effet, trop de réverbération dans un espace nuit au confort acoustique d'une personne et peut engendrer une augmentation de la fatigue. Pour cela, dans l'acoustique des salles de spectacles par exemple, certaines matières et certains matériaux sont utilisés pour réduire les nuisances comme les panneaux de mousses acoustiques. Dans les bâtiments scolaires et tertiaires l'acoustique est la plupart du temps réglée par un faux-plafond et le choix du sol.

Concernant l'architecture en terre, celle-ci présente de multiples avantages dans ce domaine. En tant que matière, la terre peut être modelée de différentes façons ce qui offre la possibilité de créer des alcôves offrant de l'intimité dans un espace plus vaste. Ce recours peut être observé pour le projet Omicron living-room réalisé par Anna Heringer et Martin Rauch qui met en évidence différentes manières de s'isoler (figure 113). Celui-ci propose des espaces plus ou moins massifs qui augmentent le degré d'intimité à la fois par l'enveloppe mais aussi par la matière qui absorbe les échos.

Cette absorption des sons invite à la relaxation et à la concentration, mettant en place une sorte d'apaisement propice au bien-être (figure 114).

La terre de par sa masse est un bon isolant acoustique naturel. Cependant comme on peut l'observer dans le cas de l'école de la Chevallerai, la terre était suffisante pour isoler 2 salles de classe, mais l'ambiance acoustique de la salle est gérée par un faux plafond.

*«On a fait des tests à la Chevallerai, parce que l'acousticien avait des doutes sur les performances du matériau terre en terme d'isolation acoustique entre deux classes. Ils ont révélé qu'on atteignait les objectifs demandés.»<sup>(20)</sup>*

20) Léa Chevrier, Interview Bruno Bélenfant, *Vivre une école en terre : entre ambiances rêvée et réalité construite*, Architecture et aménagement de l'espace, 2015.



## SYNTHÈSE

Qu'il s'agisse de la vue, du toucher, de l'odorat ou de l'ouïe le matériau terre fait appel à nos sens. Longtemps oubliée dans nos habitats, sa présence devient une curiosité à explorer. Tout d'abord, notre regard visualise la matière dans un contexte inhabituel qui nous invite à entrer en contact. Le sens du toucher est probablement celui qui est le plus mis en avant dans l'utilisation de la terre. Comme Anna Heringer l'explique avec humour :

*«Les enfants grimpaient, les skateurs glissaient sur les rampes, les étudiants y faisaient la pause de midi... Et c'était particulièrement fascinant de voir combien de personnes touchaient le mur ! On ne se promène pas dans une ville en caressant nos façades, pas vrai ?!»<sup>(21)</sup>*

Toutes ces perceptions qui nous invitent à explorer le matériau ne représentent pourtant qu'une infime partie de ses qualités. En effet, au-delà de l'esthétique et du visible, les qualités de la terre résident dans ce que nous ne pouvons pas voir. Sa capacité à gérer les températures et à réguler le taux d'humidité, son importance pour notre confort et notre qualité de vie. Si nous pouvons affirmer nous sentir apaisés dans un espace, ce n'est pas uniquement pour une question de lumière ou de couleurs mais aussi car la qualité de l'air ambiant nous permet de respirer correctement. Par exemple, dans une salle de bain, la terre est idéale car elle empêche les phénomènes de condensation par régulation de l'humidité.

21) Anna heringer, conférence Ted The warmth and wisdom of mud buildings, 2017, 8 min

## CONCLUSION

Comme nous avons pu l'observer tout au long de ce mémoire, la matière terre se compose de multiples facettes.

Tout d'abord, elle est disponible sur tous les points du globe, variant dans sa texture ou encore dans sa couleur. Ces particularités sont ce qui a permis de développer différentes techniques de mises en œuvre. Ainsi, nous pouvons constater que les méthodes traditionnelles de constructions en terre (Pisé, adobe, torchis, bauge) invitent déjà à varier les esthétiques. De cette façon, la méthode employée révèle une identité culturelle propre à chaque territoire.

Dans l'architecture contemporaine, nous pouvons remarquer que l'évolution des méthodes de construction (Pisé préfabriqué, BTC, terre coulée) tend à produire des réalisations plutôt orthogonales. En effet, les différentes références analysées présentent des bâtiments aux lignes droites et affirmées finalement assez proche en terme de forme, des constructions en béton que nous connaissons aujourd'hui. L'utilisation de la bauge par Anna Heringer nous démontre que la méthode employée, qui traditionnellement induit des formes molles, peut s'adapter à une vision contemporaine.

L'esthétique vernaculaire, si elle est peu employée dans les extérieurs, est cependant visible dans les intérieurs. Ces lignes permettent en effet de réaliser des formes qui donnent la sensation d'un espace sculpté et façonné dans un bloc. Les courbes créées permettent de suivre les formes du corps ce qui peut expliquer un sentiment de sécurité dans ce type d'espace.

Ainsi, nous pouvons dire que la terre a la capacité d'imiter certains matériaux du point de vue de sa mise en œuvre. Comme nous avons pu le voir avec la technique de la terre coulée, l'esthétique obtenue se différencie uniquement par la couleur de la matière. En effet, l'aspect lisse de la surface, avec parfois quelques porosités, donne l'illusion d'un mur en béton. Dans ce même esprit d'imitation, le BTC est visuellement très similaire à la brique cuite. La couleur est une fois de plus ce qui permet de les différencier la plupart du temps. Cependant, les teintes rougeâtres rendent la distinction très complexe visuellement.

Dans le dessin des façades, la compréhension du matériau terre permet de créer une esthétique propre à l'utilisation de cette matière.

.....

Alors que les procédés de la terre coulée ou du BTC peuvent imiter l'aspect du béton et de la brique cuite, notamment grâce à la présence de stabilisants, le choix de ne pas transformer la matière première pousse à questionner sa mise en œuvre. Comme nous le démontre Martin Rauch, l'érosion d'un matériau peut être un facteur esthétique important. En effet, celle-ci laissera apparaître au fil du temps les lignes de ralentissement du ruissellement ainsi que les grains plus importants qui composent le mur.

Au cours de certaines discussions, avec des personnes non sensibilisées à l'architecture en terre, je n'ai hésité à montrer des références de bâtiments contemporains en terre crue. La réaction était toujours un air surpris «Ça c'est de la terre ?!», comme si cela n'était pas possible. L'esthétique proposée plaisait à certains et à d'autres moins mais il était toujours intéressant de voir cette réaction. Cela m'a démontré à quel point la construction en terre reste méconnue du grand public.

Du point de vue du sensible, il semble que la terre soit une matière multisensorielle qui invite à multiplier les ambiances. Tout d'abord, le grand éventail de teintes et de textures permet de faire varier, visuellement, la chaleur d'un espace. Les teintes allant des plus neutres aux plus chaudes permettent de transformer considérablement le ressenti dans un espace comme nous pouvons le voir par exemple dans le projet Omicron living rooms.

Ensuite, vient la texture. Celle-ci invite à parcourir le mur et à explorer la matière. Si nous sommes aussi attirés par cette matière c'est aussi par l'aspect innovant. En effet, mes différentes lectures m'ont permis de constater que notre attrait pour l'expérience tactile du matériau est plutôt lié au fait que nous le connaissons peu, voire pas du tout, dans cet aspect. Ainsi, notre curiosité nous pousse au début à toucher le matériau puis, celui-ci devient parti intégrante du décor. Ce phénomène est assez courant dans notre environnement, notre regard se pose moins sur ce que nous qualifions d'habituel.

Cependant, si la présence de la terre peut devenir habituelle dans un espace, les bienfaits qu'elle peut apporter restent inchangés. En effet, les usagers sont de plus en plus sensibles aux matières qui composent leur habitat. Ainsi, on observe par exemple la disparition des peintures à solvants et l'utilisation de certains matériaux nocifs pour notre santé. Le matériau

terre est dans ce domaine à double usage. En premier lieu, il n'émet pas de polluant dans notre air et, si les murs sont traités en conséquence, ils ne génèrent pas de poussières. En second lieu, et c'est là tout l'intérêt de ce matériau, il permet d'absorber certains polluants, de réguler l'humidité et de stabiliser la température. Cette capacité peut expliquer pourquoi nous nous sentons mieux dans un espace ou bien dans un autre.

Même si l'utilisation du matériau terre propose des esthétiques et des ambiances singulières, son utilisation reste complexe. En effet, la réglementation actuelle ne permet pas d'utiliser la terre en tant que structure porteuse. Ainsi, il est difficile de trouver des assureurs qui acceptent de garantir le bâtiment. Cela est plutôt paradoxal puisque le matériau terre a été utilisé pendant de nombreux siècles dont certains bâtiments issus de ce patrimoine sont encore visibles. En réalité, le XX<sup>ème</sup> siècle aura eu raison de ce matériau dont les savoir-faire ont été perdus au profit du béton. En effet, il existe aujourd'hui peu d'architectes et d'ingénieurs qui savent construire avec cette matière. Cela peut s'expliquer notamment par l'absence, jusqu'à récemment, des enseignements universitaires sur ce matériau.

Cependant, les volontés environnementales qui émergent depuis quelques années peuvent représenter une aubaine pour la construction en terre. En effet, il semble évident que nous devons repenser nos modes de construction à l'aide de matériaux plus sains pour notre santé mais aussi pour l'environnement. Ainsi, il est fort probable que dans les prochaines années les constructions en terre se multiplient. Nouveau terrain de jeu pour les architectes, elle permettra sans aucun doute l'apparition de nouvelles esthétiques ainsi que de nouvelles ambiances.

## MÉDIAGRAPHIE

### SITES INTERNET :

<https://www.livingcircular.veolia.com/fr/eco-citoyen/anna-heringer-une-architecte-terre-terre>

<https://vimeo.com/162361628>

<https://www.youtube.com/watch?v=x7I5BWW-0c8>

<https://www.youtube.com/watch?v=x7I5BWW-0c8&t=541s>

<https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/4-prospective-accroitre-la-resistance-en-diversifiant-les-applications.27328>

<https://www.timurersen.com>

<http://www.lehmtonerde.at>

<https://www.lehm-design-raum.de/fr/>

<https://revenirsurterre.com>

### LIVRES :

- Andrea Kling et Eike Roswag, *Hygroscopic natural materials versus mechanical ventilation*, 2018, p.4

- Sous la direction de Sébastien Moriset et Thierry Joffroy, *Réhabiliter le pisé : Vers des pratiques adaptées*, Centre international de la construction en terre Arles, Actes Sud, 2018

- Aurélie Vissac, Romain Anger, Laetia Fontaine, *Bâtir en fibres naturelles - de la matière à l'architecture, construire avec ce que l'on a à portée de main*, Amaco 53min

- Dominique Gauzin-Müller, *Architecture en terre aujourd'hui : édition augmentée*, Mention d'édition: édition augmentée, Plaisan : Museò, 2017.

- Ronald Rael, *Earth architecture*, New York : Princeton architectural press, 2009.

- Gernot Minke, *Building with earth : design and technology of a sustainable architecture*, Bâle : Birkhäuser, 2006.

- Martin Rauch, *Refined earth, construction & design with rammed earth*, Otto Kapfinger, Marko Sauer (eds.), Munich : Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, Munich, Detail, 2015.

- Laëticia Fontaine et Romain Anger, *Bâtir en terre : du grain de sable à l'architecture*, Paris, Belin, 2009.

- Sous la direction de Wolfgang Lauber, *L'architecture Dogon : constructions en terre au Mali*, Ostfildern : Hatje Cantz, 2011.

- Sous la direction de Jean-Paul Thibaud et Daniel Siret, *Ambiances in action / Ambiances en acte(s)*, Actes du 2nd Congrès International sur les Ambiances, Réseau International Ambiances, 2012.

- Lisa Heschong, *Architecture et volupté thermique*, Roquevaire : Parenthèses, 1981,

- Bruno Pignal, *Terre crue : techniques de construction et de restauration*, Paris, Eyrolles, 2005.

- Hubert Guillaud, *Les grandes figures du patrimoine régional Rhône-Alpes François Cointeraux (1740- 1830) pionnier de la construction moderne en pisé*, 1997.

- Roger Boltshauser, Nadja Maillard, Cyril Veillon, *Pisé : tradition et potentiel*, Zürich : Triest, 2019.

- Vincente Rigassi ; CRATerre, *Blocs de terre comprimée*, Volume 1, manuel de production, Braunschweig : Vieweg, 1995.

- Do It Yourself architecture, Boundaries, Rome : Luca Sampo, n°9 septembre 2013.

- Martine Roux, *Le design et les odeurs : Sources d'inspiration*, Interview Victoria Henshaw, Esquisses, vol. 23, no 3, automne 2012.

- Roger Boltshauser, Martin Rauch, *The Rauch House, Ein Modell moderner Lehmarchitektur : a model of advanced clay architecture*, Bâle : Birkhäuser, 2011.

- Sous la direction de Sébastien Moriset et Thierry Joffroy, *Réhabiliter le pisé : vers des pratiques adaptées*, Centre international de la construction en terre, Arles : Actes Sud, 2018.


### MÉMOIRES ET THÈSES :

- Léa Chevrier, *Vivre une école en terre : entre ambiances rêvée et réalité construite*, Architecture et aménagement de l'espace, 2015.

- Thierry Joffroy, *Les architectures en terre crue : des origines à nos jours*, Hugues Jacquet, savoir-faire : la terre, actes sud, 2016.

- Anne-Lyse Antoine, Elisabetta Carnevale. *Architectures contemporaines en terre crue en France de 1976 à 2015 : pourquoi et comment les acteurs construisent avec ce matériau aujourd'hui ?*, architecture, aménagement de l'espace, 2016.

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES  
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

The image shows the interior of a circular earthen structure. The walls are made of rough, textured earth. The ceiling is a conical roof composed of several large, triangular metal plates that meet at a central point. Each of these plates has a circular hole cut out of it, allowing light to stream in from above. The overall atmosphere is warm and natural, highlighting the integration of earth and metal in architecture.

« La terre offre des potentialités plastiques incomparables qui transforment les bâtiments en véritables architectures-sculptures. Cette liberté que n'offre aucun autre matériau de construction, conduit à une prodigieuse diversité architecturale dans le monde entier. L'édifice cesse d'être un objet utilitaire pour devenir le reflet de l'identité des peuples qui l'ont créé.»

Laëticia Fontaine et Romain Anger, *Bâtir en terre : du grain de sable à l'architecture*, Paris, Belin, 2009 p.62