



Environnement, Ville & Architecture

Mémoire dans le cadre du D.U. de Master
« Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre de la qualité
environnementale »

Construire Éco-Responsable - décembre 2020

COMMENT INTÉGRER LA TERRE DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ?

Vers une revalorisation future de la terre crue en France.

Oscar Javier Pinzón Villar

Architecte



Salle d'attente. Lumière naturel sur le mur en pisé, Espace rural de proximité, Marsac-en-Livradois © Benoît Alazard

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	4
Problématique	5
Hypothèses	7
I. L'architecture en terre crue en France	9
1. L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE EN TERRE EN FRANCE.....	9
1.1 La terre crue dans l'architecture contemporaine, matériau d'avenir ?	17
1.2 Motivations des acteurs à construire en terre crue	19
2. LA FILIÈRE TERRE CRUE.....	22
2.1 Obstacles au développement de la filière	24
2.2 Cycle Terre	27
3. VERS UNE INDUSTRIALISATION DE LA TERRE ?.....	30
3.1 Les matériaux	30
3.2 Le pisé préfabriqué	36
II. Un mélange de techniques et des matériaux	41
1. L'AUTO-CONSTRUCTION.....	46
1.1 Les chantiers participatifs	48
2. NOUVEAUX USAGES DE LA TERRE.....	52
2.1 Une architecture en terre crue à multiples usages	53
2.2 Modules de terre imprimés en 3D	54
Conclusion	55
Bibliographie	56

INTRODUCTION

La terre comme matériau géosourcé, qu'elle soit en pisé, en torchis ou en adobe, est l'un des plus anciens à être utilisé dans la construction. La terre est disponible localement et généralement en bonne quantité, ce qui fait de la construction en terre crue l'habitat le plus répandu dans le monde. Le savoir-faire relatif à cette construction est transmis de génération en génération. Malheureusement, cette technique aux nombreux avantages tend à disparaître dans de nombreux pays au profit de la construction en béton. Ce type d'architecture ne semble pourtant pas adapté à tous les contextes et la terre tend à se marginaliser comme dans certains territoires où elle est considérée comme « le matériau du pauvre ». Cela contribue à l'essor des industries du ciment. Or, ces dernières constituent le deuxième émetteur industriel de gaz à effet de serre derrière la métallurgie, avec 6% des émissions globales en phase de production. Le secteur du ciment n'a réduit ses rejets de CO₂ que de 1% par an sur les quatre dernières années selon un rapport du CDP (anciennement Carbon Disclosure Project) publié le 9 avril 2018.

L'utilisation de la terre transforme et revalorise l'acte de construire grâce à son impact favorable sur l'environnement. Elle encourage des pratiques éco-responsables en exigeant le recours à une main d'œuvre qualifiée. Les acteurs (architectes, maîtres d'ouvrages et artisans) disposant d'une connaissance des architectures contemporaines en terre crue font toutefois défaut en France. Aussi, je souhaiterais comprendre plus précisément pourquoi et comment les acteurs construisent aujourd'hui en terre crue en France. J'aimerais analyser leurs motivations et les pratiques mises en place pour réaliser les projets. L'objectif de ce travail est de montrer qu'une production architecturale contemporaine en terre crue de qualité existe et qu'elle peut prendre une place sur le marché de la construction actuelle et de demain.

La terre crue peut être valorisée auprès des professionnels et ainsi devenir un référentiel culturel pour pallier les besoins de la filière terre crue dans ce domaine.

En quelques années, la terre qui était considérée dans le bâtiment comme un matériau « exotique » ou « dépassé », est devenue à la fois un solide objet d'intérêt scientifique et un matériau de construction d'avenir.¹

¹ Les guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue du 13 déc. 2018, <https://www.asterre.org/les-guides-de-bonne-pratique/>, consulté en septembre 2020

PROBLÉMATIQUE

La terre crue est essentielle au niveau régional pour la préservation du patrimoine, le savoir-faire, la diversification des activités et la valorisation culturelle entre autres. Pourtant, elle rencontre des obstacles pour se développer : les techniques de mise en œuvre sont peu connues par les professionnels du bâtiment, peu de professionnels ont les compétences requises et il existe des freins au niveau de l'assurance et de la réglementation.

En France, tous les bâtiments doivent être construits selon les règles professionnelles reconnues de manière à pouvoir accomplir l'assurabilité des bâtiments ; les règles professionnelles ont été créées à la suite de la seconde guerre mondiale, toutes les techniques courantes sont identifiées de sorte que le maître d'ouvrage puisse assurer le bâtiment. La terre a été abandonnée à la sortie de la seconde guerre mondiale, si bien que les règles professionnelles n'ont pas prise en compte cette technique.

Dans le cadre de cette recherche, je tente de comprendre les raisons pour lesquelles la construction en terre crue, qui présente de nombreux avantages écologiques, thermiques et économiques, reste très peu utilisée en France.

Je souhaiterais appréhender l'évolution actuelle des constructions en terre crue, plus précisément en pisé. Je m'interroge sur son impact et son utilisation dans l'architecture contemporaine :

- Y aurait-il une méconnaissance du matériau dans le secteur de la construction ?
- Le refus d'utiliser la terre comme matériau de construction est-il lié aux assimilations faites entre les logements en terre crue et les logements « pauvres » ?
- Est-ce dû à une non-connaissance des propriétés thermiques et hygrométriques du matériau ?
- Y a-t-il un intérêt de la population à s'approprier ce matériau ?

La difficulté réside dans le fait que la terre comme matériau ne bénéficie pas d'une médiatisation pour pouvoir la crédibiliser auprès des personnes, et leur faire savoir que la construction en terre est solide ; elle n'a pas fait l'objet d'une communication comme d'autres matériaux pour être rentabilisée.

Le développement de la filière terre crue en France est à la fois récent et en plein devenir, avec une demande croissante de la part des consommateurs comme des collectivités. Ce

contexte renforce la concurrence entre les acteurs de la filière, en particulier entre les personnes au centre des différents réseaux qui se sont formés jusque-là. Cette concurrence est à la fois liée à un manque de connaissance des compétences réelles de chacun et à un déficit de communication interne de la filière. La mise en liaison des différents réseaux structurant la filière doit reposer sur la mobilisation d'acteurs intermédiaires, en contact avec les différents réseaux et à même de faciliter le dialogue entre eux. Toutefois, pour l'instant, ces intermédiaires sont peu visibles et méconnus. Un travail d'enquêtes sociologiques et en particulier d'analyses des relations (professionnelles et amicales) au sein de la filière permettrait de les identifier et de construire avec eux un réseau élargi alliant et valorisant les compétences complémentaires existant dans les différents petits réseaux actuels.

A l'heure actuelle, de nombreux professionnels mettent en œuvre la terre crue, forment de futurs artisans, maîtres d'œuvre, chercheurs, etc., travaillent sur des programmes de recherche, participent à la diffusion d'une culture constructive et sensibilisent un large public. Cependant, ces dynamiques initiales, portées à une échelle souvent micro-locale, se retrouvent isolées, sans connections les unes avec les autres. Celles-ci nécessitent aujourd'hui un relais de la part des structures institutionnelles pour inscrire leur développement dans une certaine stabilité et pérennité sociale et économique. L'objectif étant de mettre en relation les différents acteurs afin de faciliter l'emploi de cette ressource locale.²

² ASTERRE, Rapport final : obstacles au développement de la construction en terre crue en France, annexe 6, Fiches Obstacles, p.71, 2013, consulté en août 2020

HYPOTHÈSES

Pour construire en terre crue, la première question qui doit se poser est de savoir si le matériau est disponible localement dans la région et s'il y a déjà eu des projets en terre dans le passé. De cette manière, sa faisabilité peut être étudiée mais il ne faut pas mettre la terre en mauvaise concurrence avec d'autres matériaux pour vouloir être 100 % local, question qui, en général, ne se pose pas forcément dans le cas du ciment ou du bois. Au moment où la terre commence à se développer, il faut accepter un peu de transport pour éviter de freiner ce développement pour que le matériau rentre dans les alternatives possibles pour les projets ; cela contribuerait de surcroît à valoriser une main d'œuvre expérimentée et autonome et à revaloriser l'économie locale.

L'approvisionnement de proximité est une question importante pour permettre le développement de la filière terre crue. « Le manque de reconnaissance du matériau terre et de ses techniques entraîne une méconnaissance des ressources locales et freine le développement de son usage. Une entreprise répondra difficilement à un marché si elle ne sait pas où se procurer le matériau et à quel prix.³

Pour l'architecture en terre crue, une porte s'ouvre avec la création de la filière Cycle Terre. Les travaux de grande ampleur sont confrontés à la problématique des déblais : ils représentent environ 90% des déchets urbains. Cycle Terre se propose de réutiliser/valoriser les terres excavées non polluées pour la construction de nouveaux quartiers du Grand Paris en terre crue.

Ce qui est aujourd'hui considéré comme un rebut inutilisable et encombrant peut en réalité devenir une ressource considérable. Dans les années à venir, il est envisageable de construire des millions de mètres carrés en réemployant ces terres de chantier plutôt que de les stocker.

Développer des projets en terre : l'enjeu est aujourd'hui politique, économique et social. C'est sous une impulsion citoyenne que le développement d'une filière de valorisation, de production et de mise en œuvre de ce matériau à grande échelle pourra voir le jour.⁴

³ ASTERRE, Rapport final : obstacles au développement de la construction en terre crue en France, annexe 6, Fiches Obstacles, p.106, 2013, consulté en août 2020

⁴ Cycle Terre, La terre un matériau urbain, <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/le-projet/>, consulté en août 2020

L'actualité de la construction en terre crue est marquée par la parution en 2019 des Guides de Bonnes Pratiques de la construction en terre crue (torchis, terre allégée, pisé, bauge, enduits, briques), coordonnée par 5 associations régionales françaises (ARESO, ARPE, AsTerre, Collectif Terreux Armoricaïn, TERA)⁵ et soutenue depuis 2014 par la Direction de l'Habitat de l'Urbanisme et du Paysage (DHUP) du ministère de la Transition écologique et solidaire.

Ce travail de rédaction des premiers textes de références sur la construction en terre en France a permis aux artisans, constructeurs, architectes et ingénieurs de dresser un état de l'art de la terre crue et de poser les jalons de cette filière.

Ces textes vont contribuer au dialogue entre artisans, maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage et assureurs autour de techniques patrimoniales comme le pisé, la bauge ou le torchis mais aussi des techniques innovantes, telles que celles désignées sous le terme de « terre allégée ».

⁵ ARESO, ARPE Normandie, ASterre (et. al.), Construction terre crue, Les guides de bonnes pratiques du 13 déc. 2018, <https://www.asterre.org/les-guides-de-bonne-pratique/>, consulté en septembre 2020

I. L'architecture en terre crue en France

1. L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE EN TERRE EN FRANCE

La terre crue fait son retour avec de grands projets comme la construction d'un quartier entier construit à partir des déblais du Grand Paris Express, c'est le cas du projet Manufacture sur Seine à Ivry-sur-Seine qui va sortir d'ici à 2030 ; ce projet construit sur une ancienne usine des eaux vise une réutilisation expérimentale de l'eau, la structuration d'une filière de construction en terre, une manufacture collaborative, des services et des logements diversifiés avec des hauteurs de constructions peu élevées pour gérer sa densité et un paysage aquatique présent au cœur du bâti.



*Vue aérienne, Manufacture sur Seine, Ivry-sur-Seine, porteur du projet Quartus
© Amateur Architecture Studio - Wang Shu & Lu Wenyu*

Plusieurs familles de matériaux sont envisagées pour ce projet :

- Les briques de terre crue : produites par compression ou extrusion. Ce procédé maîtrisé est en cours de développement via des expérimentations menées en ce moment avec des financements de la Société du Grand Paris. Ces briques peuvent être utilisées en parement intérieur, cloisonnements porteurs ou non porteurs ou en remplissage d'ossatures. Elles sont faciles à maçonner pour n'importe quelle entreprise de construction. Cette technique sera développée sur environ 10 à 15% des enveloppes notamment.

- Le pisé : cette technique, reine des dispositifs en terre crue, est de la terre compactée à l'état humide dans un coffrage conventionnel. Ce procédé bénéficie aujourd'hui de processus de grande préfabrication et peut être monté en gros éléments par des systèmes de levage standards. La terre devient ici un mur monolithique. Cette technique sera employée pour une petite partie des ouvrages.
- Les enduits : ils permettent une grande variété de couleurs et de textures au regard de la disponibilité des terres parisiennes. Ils sont faciles à entretenir et contribuent au confort thermique et à la régulation de l'humidité intérieure comme les autres techniques de terre crue.



*Quartier de logements, bureaux et autres activités à Ivry-sur-Seine
©Amateur Architecture Studio*

A partir de ces techniques, trois principales typologies de façades ont été mises au point dans le cadre du projet :

- Les façades en ossature bois et terre. Ici, l'ossature bois, isolée, joue le rôle d'enveloppe thermique ; par complémentarité, les matériaux en terre jouent le rôle de régulation des ambiances intérieures et d'inertie. Conçus sous forme d'éléments préfabriqués, ces façades sont rapidement assemblées sur la structure du bâtiment réalisée en béton armé.

- Les façades en maçonnerie de terre cuite intérieure de remplissage isolées par l'extérieur et enduite à la terre crue. Elles seront portées par une structure en béton armé conventionnelle.
- Les façades en maçonnerie de pisé préfabriqué comme une solution permettant de réaliser des murs à très forte inertie et/ou à forte valeur ajoutée esthétique.

L'intelligence de ces systèmes réside dans une combinaison des éléments de structures performants en béton armé (structure type DOMINO à très faible énergie grise) avec une enveloppe bas-carbone terre crue/terre cuite ou bois/terre crue.

En complément de ces utilisations de la terre, les enveloppes des édifices du village et leurs aspects constructifs sont aussi pensés selon les orientations et les vents dominants. Au nord-ouest, les façades les plus exposées sont enduites à la chaux ou d'un bardage bois brûlé pérenne dans le temps tous comme certains intérieurs d'îlots à la manière des intérieurs de Wang Shu.⁶



*Voie piétonne et façades en maçonnerie de pisé préfabriqué
© Amateur Architecture Studio*

Le « promoteur immobilier » Quartus a souhaité faire partie du projet Cycle Terre « fabrique de produits en terre crue » *car il avait besoin de s'assurer qu'il pourrait valider son projet d'Ivry*. Il s'est assuré qu'il y aurait une production de matériaux en terre crue en Île-de-France. Au départ, les deux projets se sont faits en parallèle, mais Quartus ne savait pas que Cycle Terre allait exister avant de déposer son projet. Une prime à l'innovation a été donnée à Quartus qui a pris le risque d'utiliser la terre crue pour répondre à la consultation et respecter les termes de l'engagement.

⁶ Joly & Loiret, agence d'architecture, <http://jolyloiret.com/projets/>, consulté en août 2020

Dans le cadre de mon entretien avec Serge Joly, architecte au sein de l'agence Joly & Loiret, ce dernier évoque les projets où ils ont utilisé des techniques du pisé « non porteur », il affirme avoir déjà envisagé l'emploi de pisé en panneaux préfabriqués de type façade-rideau sur la tour en terre lors du concours réinventer Paris. Aussi, comme nous l'avons déjà vu, le pisé sera également utilisé dans le cadre du projet « Réinventer la Seine » à Ivry, en remplissage de structure. Ils l'utilisent actuellement avec l'entreprise Amaco dans le cadre d'aménagements scénographiques du MOBE à Orléans (Musée).

« Il n'y a cependant pas de contre-indication à utiliser le pisé en système porteur à condition de limiter les descentes de charges à sa capacité portante et donc de limiter le nombre d'étages. Cependant, la plupart des bureaux de contrôle demandent encore une stabilisation au ciment dans ce cadre et à ce stade. »⁷

Pour Serge Joly, le problème essentiel du pisé est son coût très élevé au regard d'une main d'œuvre importante à mettre en place (1 000€/m²). Une manière de réduire son coût serait de le pré-fabriquer. Pour cela, un volume important serait requis pour justifier les investissements dans les machines-outils (cf. Martin Rauch).

D'autres techniques ont été utilisées comme des blocs d'adobe pour remplir une structure de type colombage à Milly-la-Forêt.

« Nous avons utilisé des BTE en séparatif de classes sur un groupe scolaire à Villepreux. Les résistances mécaniques des adobes restent faibles et nous déconseillons de les utiliser en structure porteuse sauf si les descentes de charges sont faibles. »⁶

Pour conclure, nous constatons une appréhension liée au fait d'utiliser l'adobe et le pisé porteur dans certains projets contemporains. Il y a des obstacles de type réglementaire « ATEX de type A », pour des raisons financières : les coûts trop élevés sont dus à l'absence de mise en place d'une filière et aux faibles compétences des entreprises en la matière parce qu'elles manquent de formation.

⁷ Entretien réalisé par l'auteur avec Serge JOLY, architecte à l'agence Joly & Loiret, Paris, France, 6 novembre 2020

CEES – QUALIFORSOL

Conservatoire Européen des échantillons de Sol en terre crue au travers de la technique du pisé à Orléans. Surface : 1 424 m²



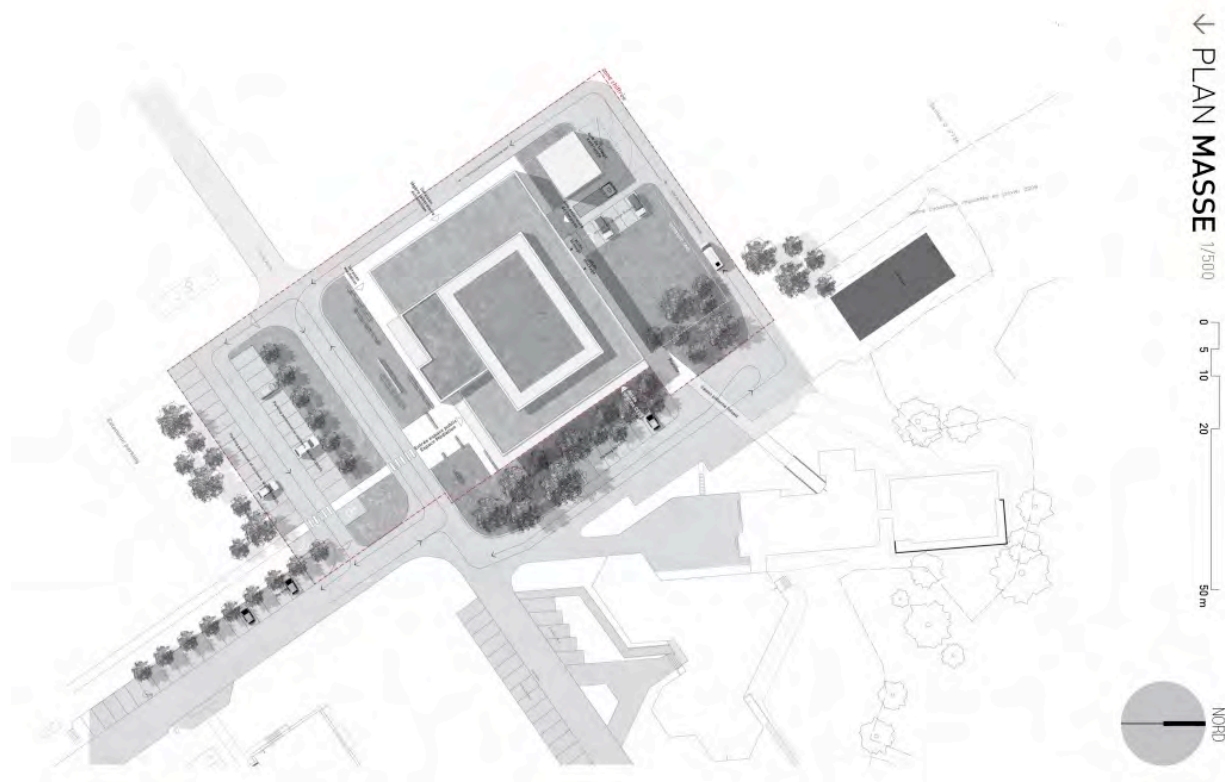
*Les matériaux de la façade communiquent à travers leurs couleurs, textures et modénature.
© Institut national de la recherche agronomique (INRA)*



Lumière naturelle à l'intérieur des murs en pisé. La différence de hauteur entre les volumes permet de former des éclairages naturels sur les murs pisés du stockage qui mettent en scènes leurs couleurs et leurs textures qui vibrent tout au long de la journée. © CEES

Le projet Qualiforsol est un laboratoire pour l'étude des terres mais aussi un espace d'accueil pour les différents laboratoires de l'INRA « Institut national de la recherche agronomique ». À l'échelle urbaine, le projet se trouve au carrefour entre les flux de piétons, les différents laboratoires de l'INRA et les flux de véhicules et des espaces de livraisons.

Le projet s'implante dans le respect des végétaux existants et en cohérence avec le caractère calme, paisible et paysager de cette partie du centre.



Le projet se développe avec l'alignement des arbres qui accompagne le regard pour un effet signal © Design et Architecture

À l'échelle architecturale, le projet est travaillé sur un plan simple proche du carré, la géométrie du bâtiment se développe en élévation comme une imbrication de volumes réguliers indépendants pour mettre en valeur les matériaux utilisés (la terre, le bois et le végétal). La toiture est végétalisée pour former une véritable cinquième façade.

L'une des caractéristiques fortes du projet est l'utilisation du pisé. Ces qualités esthétiques et physiques sont associées à la symbolique d'usage du conservatoire des sols. La terre crue forme les murs extérieurs de l'espace d'accueil et ceux de stockage à l'intérieur forment des volumes comme nés du sol.⁸

Sur le plan environnemental, le bâtiment privilégie une démarche bioclimatique pour atteindre un double objectif : obtenir et conserver les performances demandées, de niveau BBC sans compensation d'énergie, et assurer un confort maximal aux usagers. L'accent est mis sur la compacité, la volumétrie, l'orientation, les traitements des ponts thermiques, l'inertie thermique, les protections solaires et la ventilation naturelle.

⁸ Design et Architecture, agence d'architecture, design-architecture.fr, consulté en septembre 2020

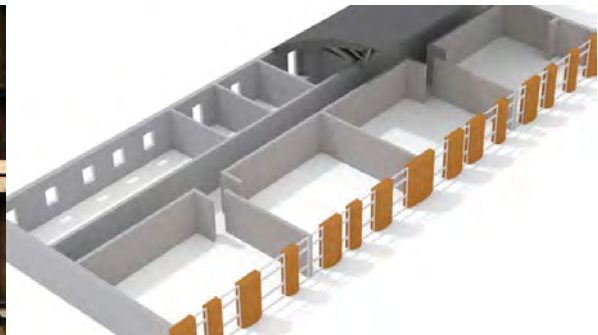
ÉCOLE PRIMAIRE AVEC RESTAURANT ET BIBLIOTHÈQUE À VEYRINS-THUELLIN

Le concept de ce projet d'école est de prendre en compte les conditions de confort, les usages, la maintenance et la durée de vie du bâtiment. Le choix s'est tourné vers l'usage de matériaux traditionnels n'ayant pas d'émissions nocives et s'intégrant « naturellement » dans le patrimoine dauphinois. Surface : 1 080 m².

Au départ, certains élus ne voulaient pas d'une école « qui ressemble à une grange ». La visite de bâtiments contemporains en pisé, et surtout les premiers croquis des architectes, finirent par convaincre les plus réticents.



La couverture courbe permet la prise de lumière centrale du bâtiment scolaire et la toiture plate est portée en façade par une sablière sur les murs en pisé © Design et Architecture



*Coffrages métalliques grimpants. Un soin tout particulier est apporté aux formes arrondies des murs bruts, pour offrir aux enfants un environnement tout en douceur.
© Design et Architecture*

Les matériaux choisis (murs épais en pisé, murs en terre cuite avec enduit à la chaux) assurent une bonne inertie au bâtiment ainsi que de bonnes caractéristiques hygrothermiques et acoustiques. Il faut préciser que le pisé n'a été utilisé que sur les façades sud et ouest, pour exploiter au mieux sa capacité naturelle à réguler la chaleur et l'humidité tout au long de l'année.

Les principes volumétriques garantissent l'éclairage naturel de tous les locaux et mettent à profit les principes bioclimatiques optimisant les apports solaires passifs et les stockages – restitutions de chaleur compensant l'occupation intermittente du bâtiment.

Les bâtiments sont organisés autour de la cour, avec une circulation extérieure qui aménage une transition vers les bâtiments et une circulation intérieure qui relie l'ensemble des nouveaux bâtiments à l'école maternelle existante. Le traitement des abords, de la cour et du parvis sont végétalisés, arborés ou légèrement minéralisés pour éviter une imperméabilisation excessive des sols.⁹

Les 200 tonnes de terre prélevées à 12 kilomètres du chantier ont été damées pour construire, en conformité avec les règles sismiques, des voiles et murs-trumeaux porteurs servant de support pédagogique à la valorisation du patrimoine local. Les courbes donnent une plasticité aux murs qui réduit l'effet épais du pisé.

Nous pouvons dire que dans le cadre de ce projet, l'école « joue son rôle d'école » parce qu'elle éduque les jeunes, elle les sensibilise à des modes d'habiter et à une façon d'appréhender la société par l'architecture. Ce bâtiment pourrait faire évoluer les mentalités des nouvelles générations d'élèves et de leurs familles vis-à-vis de la terre.

Je pense que ce type de projets est essentiel pour notre société. Il permet d'accorder une place de choix à la terre crue dans l'architecture contemporaine et de l'intégrer avec d'autres matériaux dans les bâtiments publics.

⁹ Design et Architecture, agence d'architecture, design-architecture.fr, consulté en septembre 2020

1.1 La terre crue dans l'architecture contemporaine matériau d'avenir ?

La terre a conquis le champ de l'architecture contemporaine ; abondante, bon marché et peu gourmande en énergie pour sa transformation, elle est l'un des matériaux incontournables de l'architecture de demain. Il y a un intérêt public manifeste à l'égard des matériaux locaux, sains et respectueux de l'environnement et surtout de l'être humain. L'augmentation du nombre de professionnels de la construction sensibilisés ou formés à la technique de la terre crue et les initiatives politiques pour faire face à la crise écologique et sociale en témoignent. La terre crue, c'est aussi une porte d'entrée vers une économie circulaire et un habitat éco-responsable.

J'ai interrogé des acteurs qui construisent en terre crue sur l'avenir de la construction neuve en terre crue en France, en Espagne et en Colombie et la vision qui ressort des entretiens est plutôt positive. Il y a aussi une reconnaissance du patrimoine international en terre crue par l'UNESCO et les facteurs environnementaux et sociaux sont propices au développement de la terre crue dans la construction.

Silvia Devescovi, cheffe de projet Cycle Terre, œuvre en faveur du développement de la terre crue en France. Elle présente les deux grands pivots de son action : la question de la valorisation des déblais et le fait que la construction en terre crue est possible, qu'il s'agisse de projets de particuliers d'auto-construction ou de maisons d'architectes mais aussi de constructions banales, contemporaines et urbaines.

« Nous voudrions prouver dans ce « projet pilote » que le recours à la terre crue dans l'architecture n'a pas à être exceptionnel. Elle peut trouver sa place dans n'importe quel bâtiment, à des endroits précis de celui-ci. Nous n'envisageons pas de proposer aux promoteurs, aux collectivités ou aux maîtres d'ouvrages publics de construire des bâtiments 100 % Terre. Nous envisageons de leur suggérer de recourir à la terre à certains endroits car elle est vraiment utile : elle apporte de vraies performances et elle a, de surcroît, une empreinte écologique qui est faible, donc ça vaut la peine. »¹⁰

Dans le contexte de l'architecture en Colombie, la terre crue a été valorisée au cours des 20 dernières années, elle est considérée comme un matériau d'avenir par les universités, les

¹⁰ Entretien réalisé par l'auteur avec Silvia DEVESCOVI, cheffe de projet Cycle Terre, Paris, France 13 octobre 2020

collectivités et les chercheurs. Elle peut satisfaire l'imaginaire des architectes, des ingénieurs, des artisans et des constructeurs. Des échanges et des partages de projets ont été faits au niveau international grâce aux technologies et aux réseaux, ce qui a permis au grand public de s'intéresser davantage au matériau qu'est la terre crue. Les publications et les ouvrages spécialisés qui y sont consacrés permettent une certaine sensibilisation.

Par ailleurs, la visibilité donnée au matériau par le gouvernement permet sa reconnaissance institutionnelle. Les enjeux sont plus de l'ordre de la préservation du patrimoine que l'expression d'une vision écologique ou architecturale d'après l'ingénieur Santiago Rivero. À partir de là, des recherches ont été faites et des étapes importantes ont été franchies avec l'incorporation de la norme AIS 61 0-EP-17 pour l'intervention des bâtiments patrimoniaux en adobe et murs en pisé, en complément de la norme NSR-10, relative aux constructions antisismiques. Cela témoigne de sa valorisation même si elle n'est pas encore suffisamment reconnue.

Juan Pedro Franco, constructeur à Terramans - Permacultura Ibera en Catalogne (Espagne), affirme que si la tendance à l'utilisation de la terre crue dans le milieu de l'architecture et de la construction est croissante, elle est aussi, d'une certaine manière, l'expression d'une forme d'élitisme et la terre crue risque de devenir un élément de luxe. Les architectes qui travaillent la terre crue sont plus valorisés pour ce savoir-faire et l'implémentation de murs en BTC ou pisé peut se vendre plus cher. Il se demande si utilisé de cette façon, le matériau n'est pas détourné de son véritable sens.

Selon lui, la terre crue ne sera toutefois jamais un matériau de construction utilisé de façon massive parce qu'il existe encore de nombreux préjugés le concernant et du fait aussi de ses contraintes techniques. Le matériau gagne du terrain dans certains domaines comme les revêtements ou les peintures, mais au niveau structurel, cela coûtera plus cher. Il déclare qu'il s'agit d'un matériau proposé par certains constructeurs dans des domaines autres que ceux qui sont structurels.

En tenant compte également d'autres scénarios, il pense qu'il pourrait se développer dans des zones rurales. Il est très sceptique quant à son développement dans des zones urbaines.

« Il y a quelque chose dans la terre crue qui est d'une part un peu marginal et d'autre part un peu élitiste. Pour qu'un matériau se généralise, il doit être dans le plan médian accessible à tous aux niveaux pratiques, économiques et idéologiques. »¹¹

¹¹ Entretien réalisé par l'auteur avec Juan Pedro FRANCO, constructeur à Terramans - Permacultura Ibera, Maresme, Catalogne, Espagne, 15 octobre 2020

1.2 Motivations des acteurs à construire en terre crue

Si mon étude est axée sur la France, j'ai également rencontré des acteurs originaires d'autres pays parce que je trouve que leur parcours dans la construction en terre est riche. Je les ai interrogés sur leurs projets, leurs expériences et leurs motivations la concernant.

L'un des précurseurs de l'architecture en terre en Colombie est Santiago Rivero, ingénieur en génie civil. Il vit à Barichara, dans la région de Santander. Cette ville est un laboratoire de la construction en terre en raison de son patrimoine et de nouveaux projets.

Son intérêt à l'égard de cette construction naît dans les années 1998. À la fin de ses études, il refuse de rejoindre la classe politique ou une structure pour faire des boîtes en béton, quelque chose qui est dématérialisé pour lui. Assis sur l'un des bancs du parc de San Gil, également situé dans la région de Santander, il regarde autour de lui et porte son attention sur les maisons en pisé qui ont été bâties il y a plus de 300 ans sans architecte et sans ingénieur dans une zone de menace sismique élevée. Elles étaient toujours bien conservées, semblaient émerger de la terre selon lui : elles suscitent d'emblée son admiration et son intérêt.

« Je suis étonné qu'on ne m'ait jamais parlé de la construction en terre à l'université. En faisant attention aux habitats autour de moi et à ceux des autres villes construites en terre, aux maisons paysannes, je me suis demandé ce qui était arrivé pour que le paysan cesse de construire avec la terre comme le pisé et dépense ses économies pour acheter : briques, ciment, fer, sable, etc. et paye un transport pour construire sa maison ? Cette problématique est ma principale motivation. »¹²

La valeur patrimoniale locale en terre crue est le levier ou le moyen d'action principal pour de nouveaux projets dans un milieu où le patrimoine en terre crue est valorisé.

Si l'image véhiculée par le bâti ancien en terre est négative (problèmes de conservation et d'entretien), son utilisation constitue un obstacle pour la construction neuve. L'absence de patrimoine en terre crue peut être un défi pour le concepteur.

Il s'agit de motiver les nouveaux intéressés à l'architecture en terre à s'aventurer dans l'action depuis le savoir-faire quotidien avec responsabilité et créativité. Il est important de montrer

¹² Entretien réalisé par l'auteur avec Santiago RIVERO, ingénieur, San Gil, Colombie 14 août 2020

qu'il est possible de vivre de l'architecture en terre et que cela va avoir un impact positif sur l'environnement. Cela valorisera le patrimoine et l'architecture contemporaine. Ce sera source d'emplois, de dynamiques économiques locales et apportera des éléments d'argumentation visant à réduire l'aspect marginal de l'architecture en terre.

Promouvoir, construire et vivre, c'est l'engagement de Santiago Rivero, qui vit depuis plus de 20 ans dans une maison en terre. Il affirme qu'une maison en terre lui a appris à être un meilleur être humain, ce qu'il définit comme "la magie de la simplicité".

Elle se reflète dans l'architecture vernaculaire et contemporaine en terre, sans arrogance et sans prétention, comme une intégration entre la simplicité, l'être humain et la planète.

« Je commence à découvrir la noblesse et la vitalité du matériau et à identifier cette connexion qui est générée entre la matière terre et l'être humain sensible qui l'utilise pour créer un habitat. Cela est perceptible pour très peu d'autres matériaux, par exemple, pour les matériaux qui sont brûlés ou transformés physico-chimiquement et ne sont jamais redevenus les originaux ; d'une certaine manière ce sont des matériaux brûlés comme les briques, le ciment et l'acier. Alors, la terre est un matériau vivant pour nous en tant que concepteur, constructeur et habitant de la maison ; j'ai ressenti cette énergie quand je touchais la terre, quand je la conduisais comme matériau et je l'ai aussi ressentie quand j'ai commencé à vivre dans une maison en terre. »¹³

Si nous parlons des motivations du projet Cycle Terre, il est important de savoir de prime abord qu'ils ne sont pas dans un projet de construction. Il y a aussi un projet de construction, c'est-à-dire qu'ils construisent une fabrique en terre crue, mais pas un bâtiment en terre crue. De cette manière, il n'y a pas de maître d'ouvrage. Ce n'est pas un maître d'ouvrage qui a choisi le matériau terre crue, c'est un consortium de partenaires qui ont choisi de créer une fabrique en terre crue. Ce n'est pas la même chose.

À l'origine, il y a aussi un maître d'ouvrage qui s'appelle Quartus. C'est un promoteur qui a décidé de construire ailleurs en terre crue : à Biganos et à Ivry, en région parisienne. Quartus, en tant que promoteur et maître d'ouvrage, a décidé de construire en terre et il s'est assuré

¹³ Entretien réalisé par l'auteur avec Santiago RIVERO, ingénieur, San Gil, Colombie, 14 août 2020

qu'il y avait une production de matériaux en terre crue disponible, ce qui l'a motivé à faire partie du projet. Le raisonnement du maître d'ouvrage diffère du raisonnement de Silvia Devescovi qui travaille pour la ville où elle veut faire développer ce projet dans la société.

« Nous voulons faire fonctionner l'économie de notre territoire et si possible dans le sens de la transition écologique. Nous voulons aussi proposer une filière de métiers d'avenir aux habitants. »¹⁴

Juan Pedro Franco vient de l'univers écologiste, de l'auto-construction et de la conception en permaculture, où il a trouvé ces motivations et engagements pour construire en terre. Il a étudié la construction en Argentine, où il a participé à l'élaboration de documents pour la formation et construction en terre. Il réaffirme ses convictions écologiques avec les choix des matériaux à moindres émissions de CO₂, plus sains pour les personnes et pour les logements.

« Je me suis approprié du matériau au fur et à mesure à partir de ma propre expérience, en essayant les différentes techniques et finitions et en les intégrant aux projets, en parlant à des professionnels et en donnant des formations. J'ai essayé de prouver ses avantages, surtout dans la réhabilitation. Je crois qu'il est plutôt nécessaire de l'appliquer dans la rénovation, parce qu'il y a beaucoup plus d'immeubles déjà construits que ceux qui vont devoir être construits. Je crois donc qu'il est nécessaire de transformer ce qui est déjà là pour le rendre plus confortable et salubre. J'utilise la terre pour faire des enduits et j'en suis très content. »¹⁵

¹⁴ Entretien réalisé par l'auteur avec Silvia DEVESCOVI, cheffe de projet Cycle terre, Paris, France, 13 octobre 2020

¹⁵ Entretien réalisé par l'auteur avec Juan Pedro FRANCO, constructeur à Terramans - Permacultura Ibera, Maresme, Catalogne, Espagne, 15 octobre 2020

2. LA FILIÈRE TERRE CRUE

Parler de la filière terre crue, c'est comprendre l'influence des politiques consécutives mises en place sur la période d'étude de la filière. La fluctuation de sa production est assujettie à l'engagement de l'État pour son développement.

La considération de l'État français en faveur du développement de la filière terre crue est en pointillé. Depuis 40 ans, l'image du matériau oscille entre technique ancestrale et technique expérimentale. Il n'a jamais eu le statut de matériau conventionnel pour la construction. Est-ce que son ascension est limitée à cause du lobbying d'autres filières ou bien est-il mal-aimé, car mal compris, mal cerné ? Quoi qu'il en soit, après 1985, l'intérêt de l'État pour le développement de la filière terre crue s'est abrégé.

Actuellement, le gouvernement procède à un état des lieux. Cinq des six « guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue » attendus sont parus en 2019.

Les « guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue » sont des documents normatifs qui constituent une référence pour l'ensemble des professionnels concernés directement ou indirectement par le bâtiment.

Ce sont des textes consensuels issus d'un processus collectif qui a réuni les différents métiers en rapport avec la construction mettant en œuvre les techniques de terre crue utilisées en construction neuve et en restauration de l'ancien.

Les guides de bonnes pratiques reprennent les six techniques de terre crue en vigueur :

- Bauge
- Brique de terre crue (validé prochainement)
- Enduit en terre
- Pisé
- Terre allégée
- Torchis

L'objectif majeur des guides est de contribuer à créer des rapports de confiance entre les praticiens (concepteurs, bâtisseurs, ingénieurs, etc.) et les maîtres d'ouvrages, bureaux de contrôle, assureurs et autres professionnels qui sont parties prenantes dans des ouvrages en terre crue. Les guides peuvent les aider à juger de la qualité des réalisations.¹⁶

¹⁶ Les guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue du 13 déc. 2018, <https://www.asterre.org/les-guides-de-bonne-pratique/>, consulté en septembre 2020

Les « guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue » ont été rédigés sous la direction collective de :

ARESO (Association Régionale d'Écoconstruction du Sud-Ouest)
ARPE Normandie (Association Régionale pour la Promotion de l'Écoconstruction)
AsTerre (Association nationale des professionnels de la Terre crue)
ATOUTERRE (Collectif de professionnels de la construction en terre crue de Midi-Pyrénées)
CAPEB (Confédération des Artisans et Petites Entreprises du Bâtiment)
CTA (Collectif Terreux Armoriciens)
FFB (Fédération Française du Bâtiment)
FÉDESCOP BTP (Fédération SCOP du Bâtiment)
MPF (Maisons Paysannes de France)
TERA (Terre crue Auvergne-Rhône-Alpes)
Réseau Écobâtir

Ce travail a été soutenu financièrement par la DHUP (Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages), par le ministère de la Transition écologique et solidaire et le ministère de la Cohésion des territoires.¹⁷

¹⁷ Les guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue du 13 déc. 2018, <https://www.asterre.org/les-guides-de-bonne-pratique/>, consulté en septembre 2020

2.1 Obstacles au développement de la filière

La filière terre crue reste minoritaire dans le secteur d'activité du bâtiment. Néanmoins, les projets qui voient le jour sont croissants. Il existe de nombreux obstacles dont celui de l'assurabilité du bâtiment, le plus important.

Les artisans soulignent un véritable manque de communications techniques crédibles sur lesquelles appuyer une démarche professionnelle. En effet, l'inexistence de référentiels complique l'aboutissement d'un choix pour la terre crue. Il en résulte des limites administratives d'assurabilité dont pâtissent les entreprises. Elles se traduisent par des fluctuations des contrats d'assurance et la réalisation de dossiers techniques de justification. Ces obstacles générés par le fonctionnement assurantiel actuel dissuadent la plupart des entreprises à s'investir dans ce type de techniques constructives.

En l'absence d'outils règlementaires, il est également compliqué de faire changer les pratiques des entreprises conventionnelles. Car elles perçoivent essentiellement les contraintes qu'implique l'utilisation de matériaux non normés, demandant un temps de séchage plus long et une main d'œuvre qualifiée plus importante. En parallèle, cela discrédite les formations actuellement dispensées, majoritairement non diplômantes.¹⁸

Pour Cécile Marzorati, architecte chargée de projets et études à Bellastock, la normalisation des « règles de l'art » dans le secteur de la construction depuis 60 ans ont rendu difficile l'usage de matériaux et techniques de mise en œuvre considérés comme « non-courantes ». L'enjeu est celui de l'assurabilité de ces techniques pour lesquelles il n'existe pas de normes ni de bureaux de contrôle pour valider leur utilisation et les surprimes d'assurance sont parfois incompatibles avec le budget d'un projet.

« La terre est par essence un matériau non-homogène dont la composition varie largement d'un site à l'autre, elle est donc considérée comme non-standard. L'utilisation de la terre comme matériau de construction implique donc de sortir de la logique actuelle généralisée de standardisation des pratiques et produits de construction. »¹⁹

¹⁸ LEYLAVERGNE Elvire, La filière terre crue en France, Enjeux freins et perspectives, http://test.asterre.org/component/attachments/download/121127_Mise%20en%20page_M%c3%a9moire_all%c3%a9g%c3%a9.pdf, p.66, 2012, consulté en septembre 2020

¹⁹ Entretien réalisé par l'auteur avec Cécile MARZORATI, architecte chargée de projets et études, Bellastock. Paris, France, 18 Octobre 2020

Néanmoins, on le voit depuis quelques années avec d'autres matériaux biosourcés (comme la paille, pour laquelle des règles professionnelles ont été écrites), des évolutions sont possibles. Heureusement, les potentiels de ces matériaux, renouvelables à l'infini, font de plus en plus consensus et il est possible que la généralisation de chantiers démonstrateurs en terre crue permette la rédaction de normes homologuant ces techniques à l'avenir.

Par conséquent, d'après Silvia Devescovi, cheffe de projet Cycle Terre, l'enjeu de la filière est de s'organiser pour produire assez de certifications techniques de sorte que le CSTB « Centre Scientifique et Technique du Bâtiment » puisse délivrer des autorisations ou valider des procédés constructifs. Quand un maître d'ouvrage décide d'utiliser la terre crue, c'est important que son assurance joue le jeu.

« Ça, c'est vraiment indispensable. Il y a peu de collectivités qui peuvent construire sans assurance puisque c'est la collectivité elle-même qui s'assure, mais la plupart des constructeurs ont besoin d'avoir une assurance et notamment en France. La voie royale c'est d'avoir un avis technique délivré par le CSTB. »²⁰

Pour avoir un avis technique, il est nécessaire tout d'abord de passer par une phase expérimentale car la terre crue est considérée aujourd'hui comme une technique expérimentale en France bien qu'elle soit une technique traditionnelle. De ce fait, les constructeurs ou les fabricants de matériaux doivent investir pour tester les matériaux, les prototypes construits avec ces matériaux et déposer des dossiers ATEEx « Appréciation Technique d'Expérimentation » auprès du CSTB. C'est en cumulant ces connaissances qu'on peut espérer un jour obtenir « un avis technique » du CSTB, lequel permet d'utiliser la terre de façon plus facile et fait que la terre passe du domaine expérimental au domaine pratique.

L'un des autres obstacles est qu'il n'y a pas de prime suffisante à l'utilisation de matériaux écologiques en France aujourd'hui. Normalement, dans la réglementation environnementale 2020, il existe des fiches déclaratives sur le bâtiment qui permettent de calculer l'analyse de cycle de vie de bâtiment. Mais cela relève de la bonne volonté du maître d'ouvrage d'aller vers quelque chose de plus vertueux tandis que si des contraintes ou des sanctions existaient pour les projets plus émetteurs de carbone dans leur cycle de vie, cela favoriserait le recours à des matériaux naturels, et notamment la terre qui a une faible émission de carbone.

²⁰ Entretien réalisé par l'auteur avec Silvia DEVESCOVI, cheffe de projet Cycle Terre, Paris, France, 13 octobre 2020

Il n'existe pas aujourd'hui de référentiels reconnus par l'ensemble des acteurs qui interviennent dans l'acte de construire en terre crue. L'absence de textes de références est un obstacle à l'émergence de chantiers publics et privés. Lors de la conception d'un bâtiment neuf, les différents acteurs, bureaux d'études structure, thermique, économiste et bureaux de contrôle ne peuvent intégrer des données techniques malgré des connaissances scientifiques suffisantes. Les mêmes acteurs refusent parfois d'intégrer des techniques hors d'un cadre réglementaire qui définit et encadre les responsabilités de chacun des acteurs.

Certaines entreprises, dans le cadre d'un contexte normatif prégnant, ont des difficultés à proposer et mettre en œuvre des techniques hors cadre. Par ailleurs, l'élaboration de référentiels de formation est également freinée, ne pouvant être écrite qu'une fois les savoir-faire communément partagés et validés. Cet obstacle est la conséquence d'une absence de capitalisation en termes de savoir-faire et de diffusion des connaissances. Cela explique en partie l'inadaptation des pratiques parmi les entreprises conventionnelles et restreint l'aboutissement des choix constructifs et le développement d'une production locale.²¹

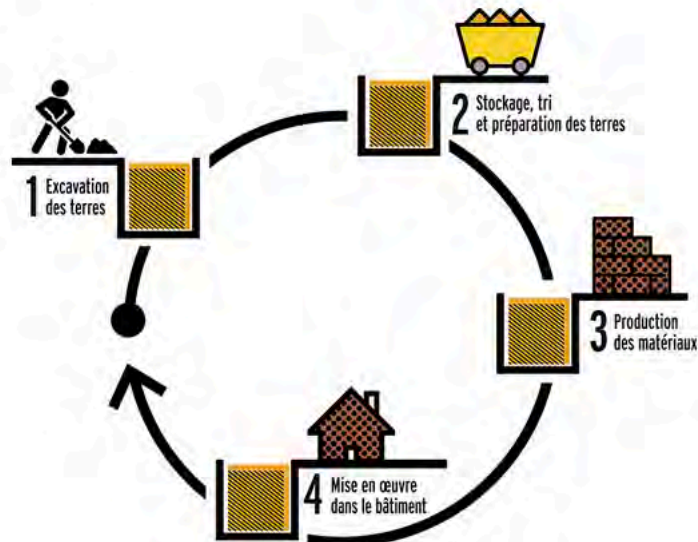
Cécile Marzorati, architecte chargée de projets et études à Bellastock, évoque également l'existence d'un frein culturel à l'utilisation de la terre. Cette dernière pâtit d'une mauvaise réputation dans la culture populaire récente : elle serait fragile, non adaptée comme matériau structurel, ne tiendrait pas dans le temps et serait réservée à des architectures rurales et à des populations n'ayant pas d'alternatives.

Il y a un véritable enjeu à démontrer toutes les possibilités qu'offre la terre en architecture, en termes de confort et d'esthétique. Ses propriétés thermophysiques en font une régulatrice de la température et de l'hygrométrie, ce qui lui permet de contribuer de façon non négligeable au confort thermique d'un bâtiment.

²¹ ASTERRE, Rapport final : obstacles au développement de la construction en terre crue en France, annexe 6, Fiches Obstacles, p.78, 2013, consulté en août 2020

2.2 Cycle Terre

LA TERRE, UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE



Source : Cycle Terre

Le projet Cycle Terre avance selon Silvia Devescovi qui est la cheffe du projet en question. Le Covid-19 a ralenti la construction de la fabrique. En conséquence, l'objectif serait d'avoir une fabrique livrée, construite et fonctionnelle à Sevran en août 2021. Pour cela, ils sont en train de réaliser un travail en amont sur le choix des machines, le processus, les techniques de mise en forme des matériaux, les ATEx et tous les autres besoins. La fabrique servira à produire et vendre des matériaux en terre crue. L'agence d'architecture Joly & Loiret et le promoteur immobilier QUARTUS sont des acteurs qui œuvrent en faveur de la filière mais elle cherche à se développer avec d'autres promoteurs.

« La spécificité du projet, c'est que nous avons été financés par une subvention européenne assez importante. Cette subvention de 5 millions d'euros nous a permis de démarrer, créer le partenariat, se réunir autour de la table, constituer un dossier et décider de la façon dont on allait travailler. Une fois que nous étions retenus, c'était parti !²² »

²² Entretien réalisé par l'auteur avec Silvia DEVESCOVI, cheffe de projet Cycle terre, Paris, France, 13 octobre 2020

6 OBJECTIFS POUR LA FILIÈRE TERRE

- 1- Lancer une chaîne de production de matériaux de construction à partir de sols excavés.
- 2- Produire des références techniques pour la construction en terre crue : 3 certifications techniques produites par un organisme de certification français (briques, panneaux d'argile, mortier).
- 3- Développer avec les promoteurs immobiliers et les architectes l'utilisation des matériaux pour tester l'intérêt du processus.
- 4- Associer les habitants locaux au processus : informer et embaucher, former des entreprises locales de construction.
- 5- Proposer des matériaux de construction à très faible impact environnemental.
- 6- Faciliter le transfert de cette nouvelle filière dans d'autres régions du Grand Paris et dans d'autres villes européennes.²³

Cycle Terre s'engage à produire de la connaissance, faire des tests sur le matériau pour prouver qu'il est efficace, qu'il résiste au feu, qu'il peut servir comme coupe-feu, résister à l'eau dans certaines mesures ou conditions et présenter des qualités acoustiques.

Dans les expériences de Cycle Terre, il est possible de constater certains obstacles de type économique. Aujourd'hui, il est plus cher de poser le matériau terre crue sur un chantier que du parpaing par exemple car dans un chantier avec du béton tout est standardisé et il y a énormément de préfabrication, de cette manière c'est moins intéressant pour les ouvriers.

« On nous dit souvent que c'est un travail qui n'attire pas beaucoup de monde sur les chantiers car ce n'est pas standardisé comme d'autres matériaux ; qu'avec le matériau terre les ouvriers ont besoin de connaître le matériau et ajouter de l'intelligence au processus. Cette manière est plus intéressante et valorisante mais cela prend plus de temps. Par conséquent, la question du prix est un frein à l'utilisation. Nous nous sommes aperçus par exemple que l'endroit le plus évident pour utiliser la terre crue c'était une cloison ou une paroi intérieure, ça marche très bien mais ça coûte cher et les promoteurs nous disent que c'est là où ils font leur marge budgétaire. Alors nous avons élargi notre champ de vision et avons mis la terre où elle se voit plus pour la valoriser davantage et qu'ils soient prêts à mettre plus d'argent. »²⁴

²³ Cycle terre, La terre un matériau urbain, <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/le-projet/>, consulté en octobre 2020

²⁴ Entretien réalisé par l'auteur avec Silvia DEVESCOVI, cheffe de projet Cycle Terre, Paris, France, 13 octobre 2020

Un des objectifs de Cycle Terre est de faire de la recherche afin de baisser ce surcoût et d'arriver à concurrencer les autres matériaux.

Les matériaux qui vont être produits sont le BTC « brique de terre comprimée » non stabilisé et stabilisé pour des usages particuliers. Ils prévoient de produire du mortier pour faire de la maçonnerie entièrement en terre crue, des enduits, et au cours de la deuxième année, des panneaux de terre extrudée avec un mélange de terre et de fibres végétales.

Aujourd'hui, la stratégie de la fabrique est d'être en contact avec des architectes et maîtres d'ouvrage pour essayer de les convaincre d'utiliser la terre crue dans leurs projets pour qu'ils achètent le matériau. Dans les échanges entre les architectes et le maître d'ouvrage il y a beaucoup d'intérêt mais un peu de frilosité aussi. *« Je pense que l'obtention des ATEx devrait faire débloquer les choses. Il y a aussi des bureaux d'études environnementales qui sont très contents d'apprendre que nous avons engagé une étude FDES « Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire » qui analyse le cycle de vie complet du produit. Cela leur permet en effet d'avoir un argument supplémentaire « pour conseiller à leurs maîtres d'ouvrage d'utiliser la terre. »*²⁵

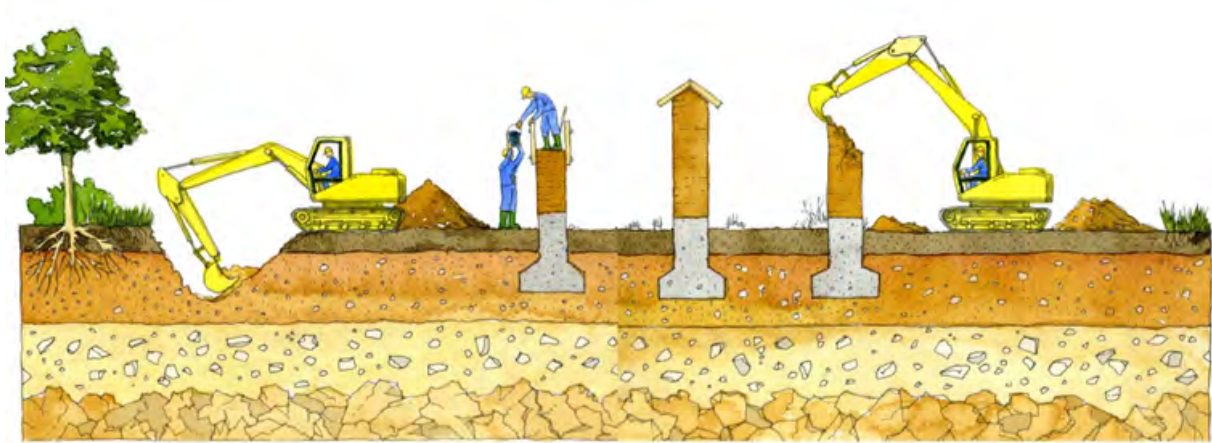
Le démarrage de la fabrique sera plutôt graduel. Il y a par exemple aujourd'hui des maîtres d'ouvrage qui sont déjà en chantier et qui ont encore la possibilité de changer leurs choix de matériaux. Ils attendent d'avoir des matériaux à disposition en 2021 avec la fabrique fonctionnelle. Comme l'explique Sylvia Devescovi, la terre n'est pas focalisée que sur les chantiers du Grand Paris Express. *« Nous avons défini une couche géologique qui nous intéresse et nous avons fait la formulation des matériaux avec cela et normalement ce qui a été écrit sur les ATEx c'est qu'on peut prendre ce type de terre provenant de plusieurs chantiers en Île-de-France. Donc a priori, si le secteur de la construction ne s'arrête pas, il y aura toujours de la terre crue pour la fabrique. »*²³

Sylvia Devescovi est coordinatrice du projet Cycle Terre, de la création de la fabrique et de tous ses éléments, en collaboration avec une autre personne qui travaille pour l'aménagement. Elles sont toutes deux au pilotage du projet. Entre quatre et quinze personnes travailleront au démarrage du projet et les embauches se feront progressivement lors du développement de la fabrique pour le printemps prochain. Le directeur ou la directrice qui sera embauché(e), sera quelqu'un qui gèrera à la fois la production et créera son propre marché.

²⁵ Entretien réalisé par l'auteur avec Silvia DEVESCOVI, cheffe de projet Cycle Terre, Paris, France, 13 octobre 2020

3. VERS UNE INDUSTRIALISATION DE LA TERRE ?

3.1 Les matériaux



*Cycle de vie de la terre crue : extraction, construction, utilisation, démolition et recyclage.
Source : Arnaud Misse*

Comme le bois, la pierre ou les fibres végétales, la terre a de formidables vertus écologiques et sociales :

- Elle affiche un très faible bilan en carbone.
- Elle est totalement réutilisable comme matière première si elle n'est pas stabilisée.
- Elle est saine à 100% et sans COV (Composés Organiques Volatiles, considérés comme la 1ère source de pollution des espaces habités).
- Elle est perspirante et opère comme un régulateur hygrométrique naturel.

Elle possède une forte inertie, garantie d'une bonne régulation de la température intérieure.

Elle peut être utilisée en parement ou en remplissage, en association avec d'autres matériaux, pour bénéficier des qualités de chacun.

Elle est synonyme d'emplois et de métiers locaux valorisants car porteurs de sens. Construire avec les terres locales, c'est « renaturer » la ville et rééquilibrer sa matière naturelle face à l'artificialisation croissante de notre milieu de vie.²⁶

²⁶ Cycle Terre, La terre un matériau urbain, <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/le-projet/>, consulté en octobre 2020

La terre, le sol, sont constitués de minéraux, de matières organiques, d'eau et d'air. Les minéraux, composés essentiellement de silicates – quartz, argiles, feldspaths et micas – et de carbonates, proviennent de l'altération physique et chimique d'une roche mère. La terre à bâtir (la matière première), essentiellement minérale, est prélevée facilement dans le sol, sous la couche de terre riche en matières organiques (humus) et réservée à la production végétale.

LE PISÉ



tamiser et mélanger
© Q.Chavasang et H.Gasnier



coffrer



remplir



compacter par couches

MISE EN OEUVRE

murs porteurs

teneur en eau de mise en œuvre
entre 8 et 12%

lits de terre
entre 12 et 15 cm de haut

coffrages immédiatement retirés

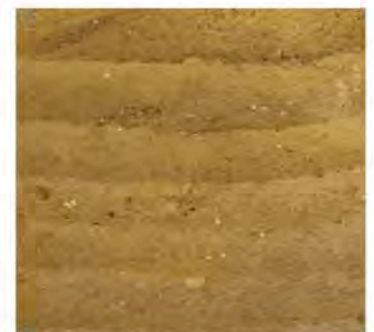
produit sur site ou préfabriqué

PROPRIÉTÉS

Masse volumique
1700 - 2200 kg/m³

Résistance à compression R
0,7 - 4 MPa

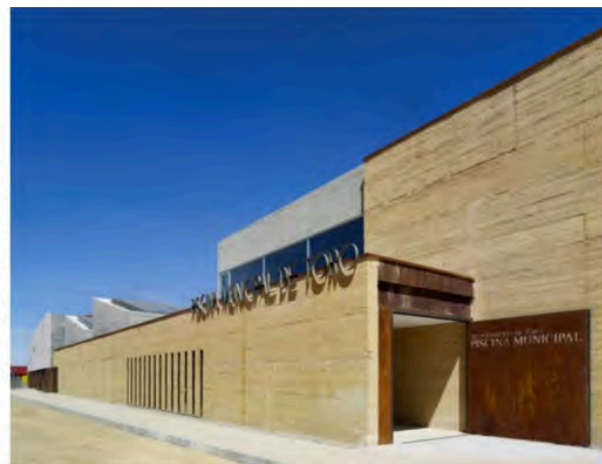
Conductivité thermique λ
0,75 - 1,45 W/m.K



© Terres Contemporaines



Habitation et grange à Réaumont (XXe s)
© Léa Cénis, CRAterre



Piscine de Toro, Espagne, Vier arquitectos, 2010
© Héctor Fernández Santos-Díez

Source : Terres contemporaines

LA BAUGE

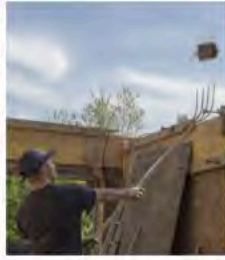


mélanger

© Amaco, O.Dargagnon



(découper/ façonner)



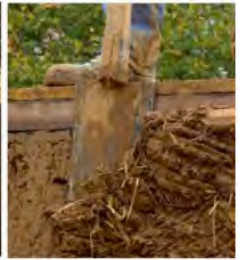
lancer



empiler



battre



tailler

MISE EN OEUVRE

murs porteurs

levées d'environ 60 cm de hauteur

temps de sechage par chaque levée

PROPRIETÉS

Masse volumique
1500 - 1800 kg/m³

Résistance à la compression
2,5 - 3 MPa

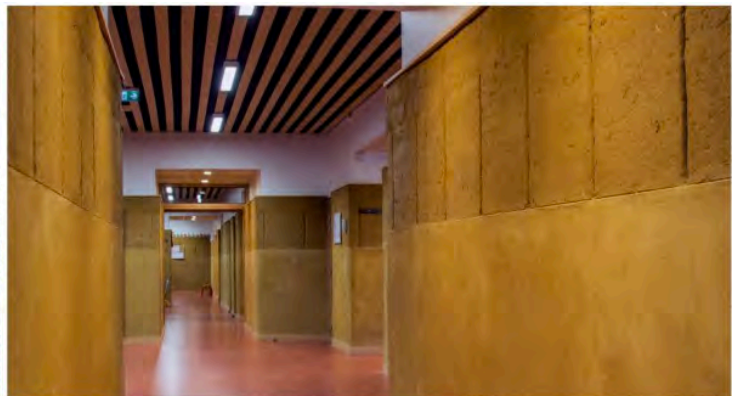
Conductivité thermique
 λ 0,65 - 0,9 W/m.K



© Terres Contemporaines



Maison à Gevezé en Bretagne
© Amélie Le Pailh



Ecole primaire de Bouvron, Atelier Belenfant et Daubas, 2016
© Terres Contemporaines

Source : Terres contemporaines

LE TORCHIS



construire la structure

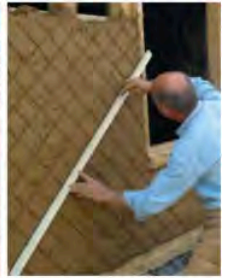
© Sources internet



mélanger



remplir



préparer surface pour l'enduit

MISE EN OEUVRE

remplissage de mur

proportion volume terre / fibre
1 pour 1

torchis tressé
(fibres longues de 1 à 2 mètres, foin)

torchis posé
(fibres courtes, paille < 20 cm)

PROPRIÉTÉS

(Fouchettes indicatives, en fonction des quantités et du type de fibres)

Masse volumique
de 300 kg/m³ (torchis allégé)
à 1400 kg/m³ (torchis lourd)

Conductivité thermique
 λ de 1,05 W/m.K (torchis lourd) à 0,12 W/m.K
(torchis allégé)



© Sources internet



Centre-ville de Strasbourg - quartier de la Petite France
© Anne-Lyse Antoine



Casa Munita Gonzalez, Batuco, Chile, Patricio Arias, 2010
© Luis García, Pablo Alvear

Source : *Terres contemporaines*

L'ADOBE OU LA BRIQUE CRUE



tamiser
© Sources internet



tremper



mélanger



mouler



faire sécher

MISE EN OEUVRE

murs porteurs, voutes, coupoles

peut contenir en plus de la terre
fibres, sable, liants

mise en oeuvre avec mortier de terre

PROPRIETÉS

(variation en fonction des fibres, sables,...)

Masse volumique
1500 - 1700 kg/m³

Résistance à la compression après 28 jours
0,8 - 2 MPa

Conductivité thermique λ
0,45 - 0,8 W/m.K



© Sources internet



Château des Fortis à Isole sur Tarn (19e)
© CAUE Tarn



Salle des insectes vivants du musée Micropolis, Saint-Léons
Agence Collart, 2001
© Terres Contemporaines

Source : Terres contemporaines

LE BTC – BLOC DE TERRE COMPRIMÉ



tamiser et mélanger



comprimer



expulser



stocker

© Sources internet

MISE EN OEUVRE

murs porteurs, voûtes, coupoles

souvent stabilisé s
à la chaux ou au ciment
(cure humide, sous bâche, durant une
à trois semaines)

PROPRIÉTÉS

Masse volumique
2000 kg/m³

Résistance à la compression
6 - 12 MPa

Conductivité thermique
1,3 W/ m²K

Déphasage thermique (mur de 40 cm d'ép.)
de 8 à 12 heures



© Argilus



Cafeteria et siège de la maison des éditions Terre Vivante, Mens, Marcel Ruchon, 1994

© Terres Contemporaines

Source : Terres contemporaines

3.2 Le pisé préfabriqué

Les expériences de construction d'éléments en pisé préfabriqué ont testé les avantages et les inconvénients de cette solution depuis une trentaine d'années. La préfabrication fait entrer la construction terre dans une nouvelle ère. Il n'est alors plus uniquement question de construction strictement locale. Les contraintes de temps, de conditions d'intempéries et d'échelle de projet sont remises en perspective, obligeant à réfléchir à une possible préfabrication.

Serge Joly, architecte à l'agence Joly & Loiret, affirme que le pisé préfabriqué peut être réalisé sur site à condition d'installer une fabrique pour la préfabrication (ce qui n'est pas évident) et que les terres du site soient des terres à pisé. « *Cela ne peut être envisagé qu'à partir d'une certaine échelle de projet qui justifie cet investissement.* »²⁷

Par conséquent, selon Serge Joly, sans préfabrication mécanisée, le pisé est réalisé sur site avec la terre à disposition à condition que ces terres soient adaptées pour faire du pisé comme en Rhône-Alpes par exemple. Sinon, il faut reformuler.

Cycle Terre n'envisage pas actuellement de produire du pisé préfabriqué, affirme Sylvia Devescovi, coordinatrice du projet. « *Cela nécessite des moyens techniques importants et beaucoup d'espace, peut-être dans le futur.* »²⁸ Pour le pisé, ils prévoient de préparer le mélange et de mettre la terre à disposition pour une mise en œuvre sur le chantier mais pas de proposer de pisé préfabriqué.

Pour Nicolas Meunier, vouloir centraliser la production des blocs, les stocker et les transporter sur plusieurs kilomètres est techniquement très facile mais cela est une aberration sociale et écologique.

En 1986, suite à cinq années de diverses expériences en construction en terre, Nicolas Meunier inventa la technique du pisé préfabriqué, dans l'objectif d'adapter la technique traditionnelle du pisé aux contextes économiques et sociaux de l'Europe actuelle.

En 1987, il fit les premières expérimentations du principe de levage et de l'appareillage des blocs. L'année suivante, il construisit une maison individuelle en pisé préfabriqué.²⁹

²⁷ Entretien réalisé par l'auteur avec Serge JOLY, architecte à l'agence Joly & Loiret, Paris, France, 6 novembre 2020

²⁸ Entretien réalisé par l'auteur avec Silvia DEVESCOVI, cheffe de projet Cycle Terre, Paris, France, 13 octobre 2020

²⁹ Le pisé, le pisé préfabriqué, <http://www.construction-pise.fr/Le-pise-prefabrique>, consulté en octobre 2020

Nicolas Meunier construit la première maison en pisé préfabriqué à Sorbier en 1988. Les blocs sont produits sur le chantier et sont levés pour être appareillés à l'aide d'un mortier de chaux. La structure appareillée des blocs préfabriqués permet de retrouver une approche identique aux maçonneries de pisé traditionnelles. Une fois les blocs en pisé assemblés, ils sont enduits. Dix ans plus tard, en 1995, c'est une opération de plus grande ampleur qui est réalisée avec un petit immeuble de trois niveaux construit à Montbrison, dans la Loire. Ce bâtiment fait la démonstration du potentiel de cette technique. Après la démolition complète de l'immeuble endommagé, les murs sont reconstruits en pisé à partir d'éléments préfabriqués sur place en temps réel. 146 blocs calibrés et numérotés sont ainsi fabriqués et installés à raison de trois blocs par jour sur une durée totale de 49 jours à l'aide d'une grue jusqu'à leurs positions définitives, posés alors sur un lit de mortier en sable et chaux.

La terre à pisé a été extraite à Sainte-Agathe-la-Bouteresse, à 19 km du chantier, et livrée au fur et à mesure de l'avancement du chantier.

Le fait de produire sur site permet de diminuer les coûts de la préfabrication. Cette préfabrication locale fonctionne pour des chantiers de dimension raisonnable et permet de rester dans une logique de construction de proximité.

Cette méthode, qui nécessite une très grande précision dans la conception et l'organisation du montage, a constitué une première dans ce type de construction.

200 ans après sa construction initiale en 1805, et plus de vingt ans après sa « renaissance » en 1995, cet immeuble de trois niveaux ne présente aujourd'hui ni défaut ni pathologie.³⁰

La recherche de l'entreprise Nicolas Meunier fait preuve d'audace et d'inventivité en développant une machine permettant de réaliser des éléments de pisé préfabriqué directement sur site.



La station de préfabrication est déposée sur le chantier par un camion à bras hydraulique. Sa benne peut être chargée de tout côté, d'un volume de terre de 6m3 environ. Source : construction-pise.fr

³⁰ Tera Terre, Montbrison, Reconstruction d'un immeuble d'habitation, <https://www.tera-terre.org/montbrison/>, consulté en octobre 2020



*La terre est préparée dans le malaxeur puis mise en place dans des tiroirs de longueur variable. Le tiroir est ouvert au-dessus du coffrage et la terre y est compactée. Le compacteur suspendu à un pont roulant permet une densité du pisé constante.
Source : construction-pise.fr*

Cette station de préfabrication permet à deux ouvriers de produire du pisé de qualité constante, avec très peu de fatigue physique, en utilisant une faible quantité d'énergie et quelle que soit la météo, hors périodes de gel.³¹

Pour conclure, l'idée d'avoir une usine mobile qui s'implante sur le chantier est très intéressante et innovante. L'enjeu est la mise en place d'autres machines pour la fabrication du pisé préfabriqué sur site par d'autres entreprises du secteur. Cette idée et investissement restent à développer car, comme l'affirmait Serge Joly précédemment, c'est une contrainte. Il faudrait que les autres entreprises entreprennent les idées semées par Nicolas Meunier qui milite pour construire des structures en pisé porteur.

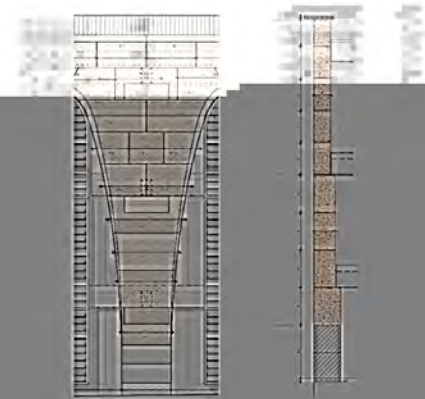
« Après 32 années de réelles constructions en pisé porteur, avec assurance décennale, nous refusons de participer à tout projet de remplissage ou habillage quel que soit la beauté ou l'importance du projet. »³²

Et les entreprises qui en ont les moyens, comme par exemple l'agence de Martin Rauch, préfèrent rentabiliser la fabrication dans un hangar à quelques kilomètres du chantier. Chaque projet a des caractéristiques différentes, mais je crois que si cette usine mobile pouvait être à la portée de l'ensemble du secteur, cela faciliterait le développement de la filière et la fabrication sur le site. Cette solution a l'avantage d'être légère et économe en énergie.

³¹ Le pisé, station de préfabrication, <http://www.construction-pise.fr/Le-pise-prefabrique>, consulté en octobre 2020

³² Le pisé, le pisé porteur, <http://www.construction-pise.fr/Pise-Porteur>, consulté en octobre 2020

ÎLOT B2 – LYON CONFLUENCE



Vue d'une arche, de face et en coupe

La façade de l'Orangerie a été conçue avec cinq arches par façade, en hommage aux orangeries du Parc de la Tête d'Or et sur un soubassement en pierre locale. © Clément Vergély



*Chacune de ces arches a plus de 4 mètres de portée, pour 9 mètres de hauteur.
© Clément Vergély architectes*

À Lyon, un bâtiment sort de terre. 1000 m² de bureaux sur 3 niveaux, un projet de 11 mètres de hauteur en pisé porteur avec une structure bois, entièrement réalisée en bois d'essence local ; ce bâtiment est conçu par les cabinets d'architectes Clément Vergély et Diener & Diener (cabinet suisse) ; dans le quartier moderne de la Confluence en plein quartier de Perrache. La terre provenait d'un terrain à une trentaine de kilomètres du quartier car celle sur place était trop polluée.

Afin de comparer plusieurs propositions, les maîtres d'œuvre ont fait appel à l'Autrichien Martin Rauch qui propose l'alternative de couvrir de pisé une structure en béton, ce qui s'éloignait du projet initial. C'est finalement l'idée de Nicolas Meunier, du pisé porteur et ossature bois, qui l'a emporté. Il a utilisé 250 blocs, soit 610 m³ de terre crue, pour la construction, il faut deux

heures de compactage pour créer 1m² et ils ont été préfabriqués sur place avec une machine mobile.

En conclusion, nous pouvons constater que la construction de grands projets en terre dans la ville est possible. Nous observons également qu'à la différence des projets de Nicolas Meunier il y a une recrudescence de projets où le pisé est utilisé en remplissage ou en habillage d'une structure poteaux-poutres en bois ou en béton, où le pisé est non porteur, ainsi que certains projets où l'enveloppe de murs en béton est doublée par des murs en pisé. C'est le cas du projet Ricola de Martin Rauch, Herzog & De Meuron architectes. C'est un édifice de 110 mètres de long par 30 mètres de large, 11 mètres de haut et 3.220 m² de surface. Il est considéré comme le plus grand bâtiment en terre crue d'Europe mais il faut noter qu'il n'est pas en pisé structural, la structure porteuse est en poteaux-poutres en béton armé préfabriqués.

MAISON DES PLANTES RICOLA, Herzog & De Meuron, Laufen, Suisse



Habillage de la structure poteaux-poutres en béton avec du pisé préfabriqués © Daniel Lüthi

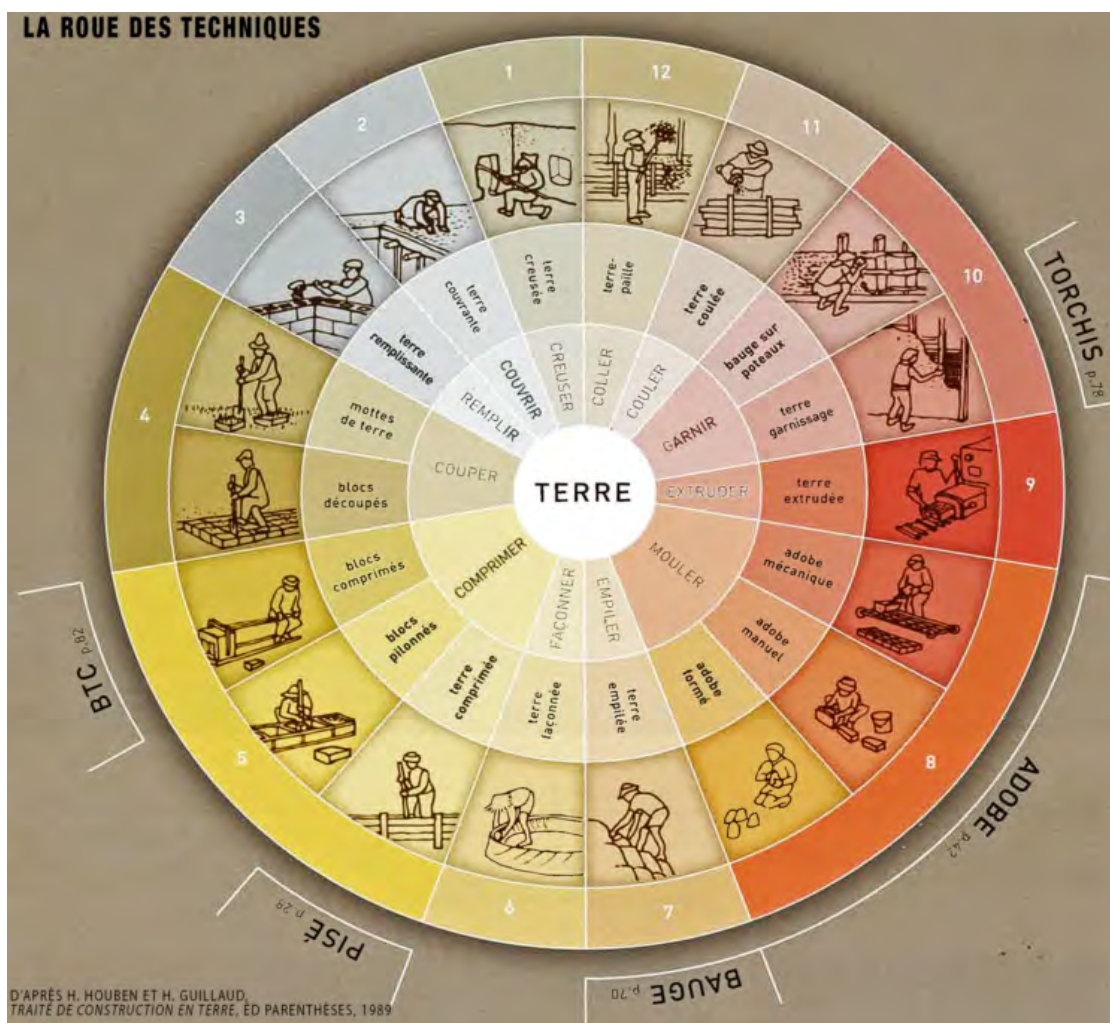
En ce qui concerne le pisé, Martin Rauch a, pour ce projet, développé un système de préfabrication dans une halle située à environ 5 km du site du projet. Par conséquent, il affirme que l'avantage est de fabriquer les éléments en hiver, période pendant laquelle les chantiers en terre sont plus compliqués, et assembler la façade en été sur site. Dans tous les cas, la technique dans ce bâtiment est loin du principe du pisé porteur.



Halle de préfabrication du pisé et stockage © Daniel Lüthi

II. Un mélange de techniques et des matériaux

Si la terre à bâtir présente des qualités indéniables en termes de confort thermique, hygrométrie, acoustique, esthétique, et écologie (puisque'elle est recyclable à l'infini), elle n'est pas un matériau de substitution à un autre. C'est pourquoi on parle d'« architectures de terre ». L'expression selon laquelle la terre nécessite « de bonnes bottes et un bon chapeau » met en avant l'importance d'une intelligence de conception architecturale liée à l'usage du matériau terre. Qu'elle soit porteuse ou non, la terre doit être utilisée au bon endroit et dans des proportions en accord avec les besoins du projet. C'est pourquoi elle est quasiment systématiquement mariée à d'autres matériaux : pierre ou béton de ciment en soubassement (bottes), ossature bois, béton, acier ou bambou pour la structure et/ou la couverture (chapeau). D'autre part, le choix de la technique de construction en terre crue doit aussi faire l'objet d'un choix architectural, en lien avec les ressources locales (humaines, naturelles, matérielles, culturelles, etc.), les techniques traditionnellement utilisées dans la zone du projet, l'environnement, les besoins du projet, etc.



ESPACE RURAL DE SERVICES DE PROXIMITÉ À MARSAC-EN-LIVRADOIS

Surface : 405 m²



Nous pouvons distinguer deux expressions de façades différentes : sur l'avant, une expression de filtre en bois, avec le commerce et l'entrée des locaux de santé. © Benoît Alazard



Sur l'arrière, une expression de cadre en bois, qui regarde vers le paysage de l'église et les monts du Forez. © Benoît Alazard

L'un des enjeux importants de l'aménagement des territoires ruraux est l'invention d'une architecture locale, caractéristique des lieux qui la portent, à l'opposé des constructions génériques qui uniformisent aujourd'hui de plus en plus les bourgs. Le projet s'inscrit dans ce mouvement par la mise en valeur des techniques de constructions et des matériaux locaux associés aux formes contemporaines.

Dans l'architecture vernaculaire du Livradois-Forez, le choix du mode de construction était assez simple : de la pierre disponible sur les côtes et du pisé dans la vallée. Comme Courpière ou Vertolaye, Marsac-en-Livradois est une commune marquée par les constructions en terre crue. Encore aujourd'hui, des murs de jardins et plusieurs bâtiments présentent des façades en terre crue non enduites. Construire un équipement public en pisé est une manière de montrer l'actualité et la beauté de cette technique et d'inciter les propriétaires des nombreux

ouvrages existants à les entretenir plutôt que de les remplacer par des parpaings ou du béton.³³



Source : Boris Bouchet Architectes

Les façades sont liées à l'organisation du plan où les architectes ont mis au point des salles d'attente formant des alcôves sur la circulation en façade face au paysage, ce qui permet aussi de les éclairer. C'est pour cette raison que ce filtre fabrique une sorte d'intimité vis-à-vis de la rue. Cet espace fonctionne aussi comme un espace public car il est accessible librement comme une prolongation de la rue.

³³ Boris Bouchet Architectes, borisbouchet.com, consulté en novembre 2020

A l'inverse, de l'autre côté, ce sont les cabinets qui sont encadrés et une partie des bureaux des médecins s'ouvre sur le paysage.

Du point de vue des matières, il y a aussi l'impression d'un double registre, de superposition d'un objet en bois qui a l'air léger, posé sur un objet lourd en maçonnerie. En réalité, la maçonnerie porteuse et la structure bois s'articulent mutuellement. Je trouve aussi très intéressant le mariage des matériaux locaux, bois, pierre et pisé, ainsi que le travail avec la lumière.

Sur ce projet, ils ont fait le choix d'un double-mur (40 cm de pisé porteur de la dalle béton, 20 cm d'isolation en liège, 25 cm de pisé en façade extérieure). L'isolation en liège sert de coffrage perdu et imputrescible et présente un coefficient de transmission hygrométrique proche de celui du pisé.

AUBERGE DE JEUNESSE A BAOXI, CHINE



Auberge en galet, pisé et bambou, Anna Heringer, Baoxi, Chine © Jenny Ji

Les trois auberges, le Dragon, le Rossignol et le Paon, conçues par l'architecte Anna Heringer, présentent une construction simple mais humaine et poétique. Elles visent à promouvoir les compétences des artisans locaux et à attribuer la plus grande partie des bénéfices à la communauté.

Les trois auberges montrent que les matériaux traditionnels et naturels peuvent être utilisés de manière contemporaine. Les auberges sont structurées d'un noyau fait de pierres et de

terre battue. Le noyau héberge toutes les unités de l'installation et les escaliers. Les unités de couchage sont reliées à lui.



Unités de couchage conçues comme des abat-jours chinois qui sombrent dans la nuit. Elles sont entourées par une structure expressive en bambou tressé © Jenny Ji

Nous constatons un mélange de techniques remarquables avec ces matériaux de construction, le bambou et la terre qui sont là en abondance. D'un point de vue économique et écologique, il est logique d'y recourir ainsi qu'aux techniques appliquées. Le tissage du bambou et la terre battue nécessitent une main-d'œuvre importante, ils mettent en valeur les compétences des artisans locaux et attribuent la part principale des bénéfices à la communauté.



Vue aérienne. Rivière, projet et montagne © International Architecture Bamboo Biennale

1. L'AUTO-CONSTRUCTION

Juan Pedro Franco, constructeur à Terramans - Permacultura Ibera en Catalogne (Espagne), affirme que, dans le monde de l'auto-construction, il y a beaucoup de gens qui se sont approprié le matériau terre et l'ont utilisé. Selon lui, il s'agit de ce qu'on appelle une technologie « appropriée », c'est-à-dire que la terre est un matériau adapté à l'appropriation de la construction par ses usagers. Ce facteur constitue dans plusieurs projets un argument pour le choix de ce matériau dont les gens peuvent se servir relativement facilement. En revanche, cette qualité peut devenir aussi un handicap, car en effet, la terre n'entre pas dans la sphère commerciale, ce qui empêche la diffusion des connaissances de ses propriétés, n'existant pas de profit économique derrière.

Par conséquent, Juan Pedro Franco souligne qu'il existe un type d'acteur « alternatif », écologiste, qui a fait préalablement ses recherches et qui a plus tendance à construire lui-même. Il existe un autre type qu'on appellera environnementaliste, par mode, avec de l'argent, qui veut se démarquer et utiliser le matériau selon des indications d'un architecte cher, exclusif et en vogue.

« J'insiste quand même sur la méconnaissance due au fait que beaucoup d'entreprises du bâtiment n'ont aucun intérêt à la divulgation de la supériorité de la terre en termes de salubrité, émissions de CO₂ et plein d'autres choses... par rapport au béton et d'autres matériaux. Je crois qu'il y a un lobbying de l'industrie du ciment pour la cacher. »³⁴



Salle de bioconstruction et coopération et intérieur en bois © Terramans

³⁴ Entretien réalisé par l'auteur avec Juan Pedro FRANCO, constructeur à Terramans - Permacultura Ibera, Maresme, Catalogne, Espagne, 15 octobre 2020



Projets : Salle de bioconstruction, sauna enterré et ferme pour chevaux © Terramans

La terre se prête aussi aux chantiers de réinsertion professionnelle, comme en témoignent les éducateurs de l'association Le Village de Cavaillon, qui ont mené une opération unique d'auto-construction de onze maisons en BTC par et pour les personnes en difficultés sociales. Gérard Gaonac'h, responsable du chantier d'insertion RenoVal de Valréas, parle du vrai plaisir de travailler la terre, un chantier en terre étant différent du chantier conventionnel, parce qu'il permet de toucher le matériau avec ses mains.³⁵

D'autre part, certains auto-constructeurs refusent de rémunérer des professionnels pour des prestations spécialisées. Mais ce n'est pas forcément un choix judicieux.

Certes, auto-construire peut constituer une belle aventure mais cela est contraignant physiquement et moralement.

« Nous avons constaté que plus de la moitié des auto-constructeurs étaient insatisfaits ou avaient vécu une expérience difficile. Parfois, le couple se sépare... La rigueur est nécessaire et doit être transmise sur le chantier.

Lorsqu'on coordonne une équipe de bénévoles, il faut être déterminé tout en favorisant la liberté. Les gens sont là pour apprendre. »³⁶ Franck Debouté.

L'auto-constructeur peut aussi confier la réalisation de l'ossature en bois à un artisan de façon à bénéficier de la garantie décennale. Il se préservera ainsi pour les travaux avec la terre, les enduits, le remplissage en paille etc. C'est ce que préconisent Karine Montagnon et Franck Debouté, un couple d'architectes auto-constructeurs.³³

³⁵ 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. dumas-02007251, p.85

³⁶ Julie Barbeillon, Anne-Élisabeth Bertucci, Céline Cammarata, Ils ont construit leur maison, 28 portraits de constructeurs écolos, Éditions de La Martinière, 2016, p.59, 60

1.1 Les chantiers participatifs

L'architecte espagnol Álvaro Pérez Otín a utilisé différentes techniques de construction en terre sur certains de ses projets : dans certains cas à la demande du client, dans d'autres à son instance. En Espagne, ils ont été liés à des clients d'auto-construction ou à des activités liées à l'écologie/l'environnement avec chantiers participatifs. Au Nicaragua, il a cherché à promouvoir la récupération de technologies vernaculaires, durables, économiques, bioclimatiques et auto-construites pour répondre à un problème de logement généralisé.



Salle de formation dans l'espace initiatives éco-sociales de Can Cargoli, Catalogne, Espagne
© Can Cargoli

Éco-dôme, superadobe, ou encore construction en sacs de terre, la salle de formation dans l'espace initiatives éco-sociales à Can Cargoli s'est implantée dans une période d'ouverture à l'environnement et a commencé avec l'envie d'expérimenter et de proposer des formations sur divers domaines liés à l'écologie. Près de 150 personnes ont mis la « main à la terre » et ont collaboré à la construction de cet éco-dôme, inspiré d'une technique développée par l'architecte iranien Nader Khalili et destiné à servir de salle de classe et d'espace polyvalent pour des cours, des ateliers et formations. Álvaro Pérez affirme qu'en même temps la construction elle-même était une manière d'expérimenter et de partager des connaissances.

« Cette construction a été une expérience intense dans laquelle le travail s'est transformé en apprentissage, plaisir, recherche et expérimentation collective. La structure a été construite avec des sacs continus remplis de terre compactée. Plus tard, ils ont été enduits en plusieurs couches avec de l'argile, du sable, de la paille de riz et de la chaux aérienne. Les sols sont en béton de chaux hydraulique, et en roseaux. Tout le bois, les portes et les fenêtres ont été réutilisés. »³⁷

³⁷ Entretien réalisé par l'auteur avec Álvaro PÉREZ OTÍN, Architecte, Barcelone, Espagne, 1er novembre 2020

Je pense que c'est une expérience humaine riche, pour un projet guidé par l'envie de transmettre un savoir-faire. Cependant, les sacs de polypropylène ont un impact environnemental important. La production en masse des sacs de polypropylène a un fort impact environnemental car elle nécessite du pétrole et émet des gaz à effets de serre.

Il est aussi nécessaire de savoir organiser des ateliers afin que les gens en tirent un maximum d'enseignement. C'est souvent ce qui pêche sur les chantiers participatifs : lorsque personne ne sait ce qu'il faut faire et que les opérations n'ont pas été anticipées. Plus la conception est envisagée de façon sérieuse en amont, mieux cela fonctionnera. Sur un chantier participatif, il est également important de gérer la vie collective et ses aspects pratiques : les repas, l'hébergement, etc.

En conclusion, Álvaro Pérez souligne qu'en général, il a été très naïf avec les constructions en terre qu'il a réalisées et que la plupart du temps les clients n'étaient pas pleinement conscients des conditions. Il est également essentiel que le client comprenne qu'un bâtiment en terre battue ne doit pas être moins cher qu'un bâtiment conventionnel, qu'il devra faire l'objet d'un entretien spécial.

« Nombreux projets sur lesquels j'ai travaillé ont été auto-construits, et bien que la terre le permît, cela n'allait pas. Il est nécessaire de maîtriser les techniques de construction sur un chantier. Le recours à des bénévoles, sans connaissances préalables, a été pour moi le principal problème que j'ai rencontré. C'est plus cher que d'embaucher une main-d'œuvre spécialisée (ce qui existe), cela retarde le travail, c'est dangereux et cela est perçu dans la qualité du résultat final. »³²

L'architecte Hassan Fathy a œuvré en faveur de la mise en place d'un système d'auto-construction économique et rapide. La recherche qu'il entreprend dans son ouvrage *Construire avec le peuple* est remarquable : à partir de 1945, il se lance dans l'aventure de Gournah. Gournah se situe à proximité du site archéologique de Louxor, il y expérimente de nouveaux procédés constructifs inspirés des villages nubiens. Finalement, une seule partie du village fut construite du fait de sabotages répétés et de la léthargie administrative.

Fathy milite en faveur de l'auto-construction, d'une architecture vernaculaire que le peuple peut s'approprier et d'une esthétique de qualité. Il associe les peuples à la construction de leur maison et exploite les traditions locales. La réception de son œuvre pose la question d'une architecture pour le peuple et d'une rupture douce avec le passé. Ses réalisations témoignent d'une incroyable diversité des formes qui résultent à la fois de ses emprunts à des

constructions traditionnelles depuis l'habitat rural jusqu'aux demeures princières médiévales, et de ses propres recherches sur les voûtes et les dômes en particulier.

Un phénomène récent s'observe dans le développement durable : la prise de conscience du fait que l'architecture traditionnelle peut nous sensibiliser en matière d'environnement. Elle n'est plus seulement démodée ou pittoresque. Lorsqu'en 1936, Fathy proposa d'utiliser les palais fatimides, mamelouks et ottomans comme expressions d'un nouveau langage architectural, il fut souvent taxé de romantique, en mal d'inspiration, ayant perdu le contact avec la réalité industrielle. Rétrospectivement, on sait qu'il fut en réalité un visionnaire.³⁸

« Comment pouvons-nous passer d'un système, règne de l'architecte-constructeur à un système d'auto-construction ? Un homme ne peut pas construire une maison mais dix hommes peuvent construire dix maisons très facilement, même une centaine de maisons. Nous devons soumettre la technologie et la science à l'économie des démunis. Nous devons aussi prendre en compte le facteur esthétique. »³⁹

En conclusion, nous observons l'architecture de l'humaniste et visionnaire Hassan Fathy, qui entretient un rapport au sol, à la pierre, à la terre, au vent et à l'eau en harmonie avec la flamme de ses idées malgré les difficultés qu'il rencontra sur certains projets. Je trouve intéressante l'alliance contrastée de la lumière, parfois tamisée, aux autres matériaux d'une forme riche, dans ses projets. Cela constitue un héritage à prendre en compte dans l'architecture contemporaine en terre crue.

³⁸ James Steele, Architecture écologique, une histoire critique, Éd. Actes Sud, 2005, p.92

³⁹ Hassan Fathy, Discours d'acceptation du prix Nobel alternatif, le 9 décembre 1982



La lumière et l'ombre. New Baris Village Egypt Hassan Fathy © Viola Bertini



Rammed earth house, Rauch family home Schlins, Autriche. Martin Rauch, Roger Boltshauser © Beat Bühler

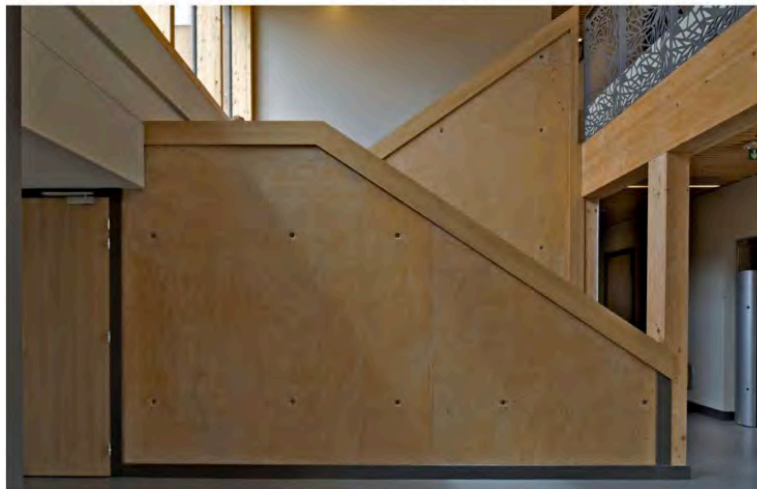
2. NOUVEAUX USAGES DE LA TERRE

La terre crue est devenue un matériau privilégié dans l'architecture contemporaine. La recherche et le développement œuvrent en faveur de la filière et des artisans pour adapter son savoir-faire et favoriser des constructions plus rapides. L'idée est de répondre aux diverses demandes en termes de prix et de construction en toute saison et de créer une offre de nouveaux produits.

Cette évolution a permis, ces dernières années, l'émergence de nouvelles techniques telles que la terre allégée ou terre paille. Ses propriétés sont l'isolation thermique, l'inertie, l'isolation phonique et la résistance au feu. Elles varient selon les proportions entre terre et agrégats.

Cette évolution a aussi permis l'émergence de la terre coulée : elle est rapide d'exécution et comporte le même outillage que pour la construction en béton/ciment. Les entreprises conventionnelles s'approprient facilement la technique. À noter qu'une stabilisation de la terre coulée est requise pour le décoffrage.

Maison intergénérationnelle des associations et de l'enfance, Manom, 2015



© Philippe Ruault

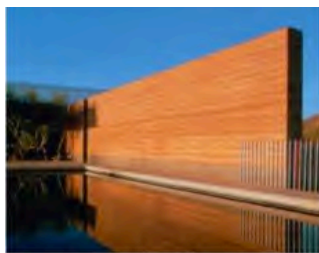


© Mathieu Neuville

Escalier en terre coulée, coffrage et stabilisation de la terre coulée.

2.1 Une architecture en terre crue à multiples usages

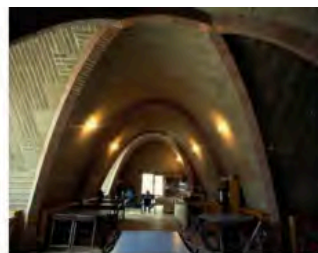
La terre émerge dans des domaines où elle était absente, avec des expérimentations menées par les acteurs à travers l'élaboration d'un nouveau langage de textures et de formes comme dans le milieu urbain avec l'aménagement paysager et le design et le mobilier dans l'art.



Murs structurels
© source internet



Dalles et chapes
© source internet



Arcs, voûtes et coupoles
© Thierry Joffroy - CRAterre



Surfaces continues
© Kurt Hoerbst



Briques crues
© Alessandro Sera



Remplissage
© Alessandro Sera



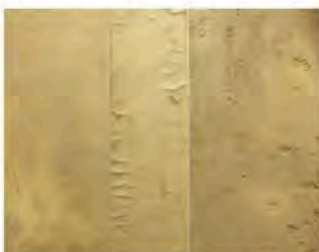
Panneaux de remplissage
© Adâm Bihari



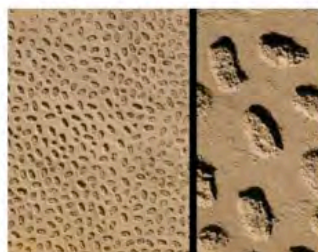
Hourdis
© Alessandro Sera



Mobiliers
© source internet



Enduits extérieur & intérieurs
© source internet



Enduits texturés
© source internet



Peintures
© source internet

Variété d'usages de la terre crue dans un bâtiment. Source : Terres contemporaines

« Un tas de terre à disposition, des milliers de tonnes porteuses d'imaginaires et créatrices d'environnements. Je prends la terre, je mets les mains à la terre, je modèle et imprime les traces, je la transforme en espace de vie. Un tas de terre utilisé comme moyen d'expression créatrice visant à transformer symboliquement une substance matérielle en une matière symbolique, divine ou magique. »⁴⁰

Patrice Doat

Co-fondateur et directeur scientifique du laboratoire CRAterre

⁴⁰ La ville des terres, Bilan festival Bellastock 2017, <https://www.bellastock.com/>, p.82, consulté en novembre 2020

2.2 Modules de terre imprimés en 3D

De nouvelles voies d'expérimentation de la terre crue apparaissent et des recherches se concentrent sur l'impression 3D. L'entreprise italienne WASP (World's Advanced Saving Project) est parvenue à développer une maison qui induit un faible coût de construction, de la rapidité, des mesures écologiques et une efficacité thermique. Cela pourrait être la maison individuelle de demain.

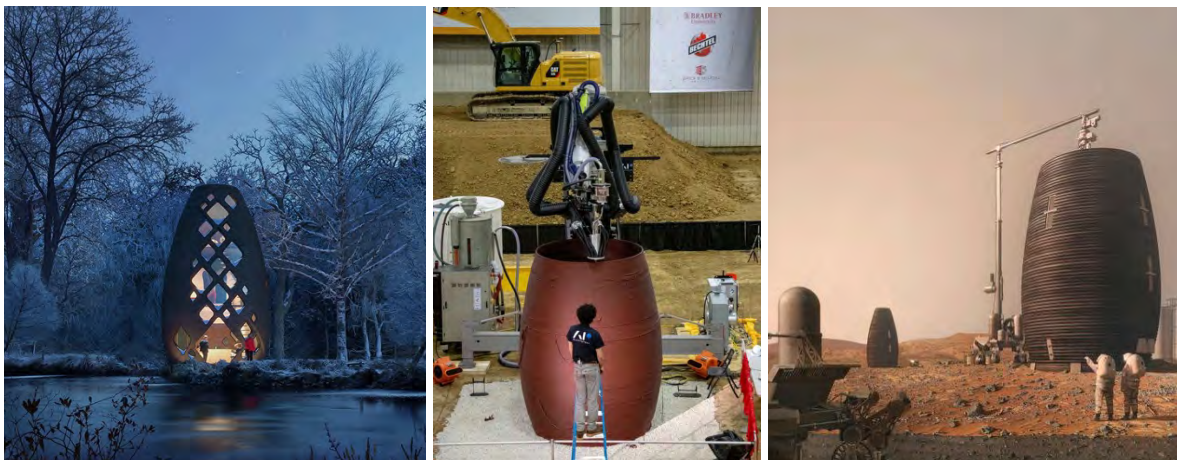
Le procédé de fabrication repose sur une imprimante 3D installée sur une grue placée au centre de la maison. Les murs sont constitués d'un mélange de 25 % de terre, (30 % d'argile, 40 % de limon et 30 % de sable), 40 % de paille de riz, 25 % de balle de riz et 10 % de chaux hydraulique.⁴¹



Gaia, la maison imprimée en 3D avec de la terre © 3dwasp

Pour assurer la solidité et l'isolation thermique, les concepteurs de la maison de 20 m² se sont inspirés des nids de guêpes. Ainsi, la maison est circulaire avec des parois à la structure alvéolaire d'une épaisseur de 40 cm. La maison a été achevée en 10 jours, une centaine d'heures ont été dédiées à l'impression. Le coût de l'opération de 1 000 euros inclut la fondation et les ouvertures, les toitures sont exclues. Néanmoins, nous pouvons penser que cette technique pourrait impacter le savoir-faire des artisans ainsi que les transmissions humaines et culturelles du matériau.

Des prototypes avec cette technique d'impression sont d'ailleurs étudiés par la Nasa pour imaginer des habitats martiens imprimés en 3D avec des matériaux in situ.⁴²



Prototype d'habitat martien © AI SpaceFactory

⁴¹ The 3d printed house Gaia, www.3dwasp.com, publié le 29/09/2018, consulté en novembre 2020

⁴² Futura Sciences, Tera, Marsha, www.futura-sciences.com, publié le 04/10/2019, consulté en novembre 2020

Conclusion

À travers mes recherches menées en tant qu'architecte, je me suis interrogé sur la façon dont les acteurs (architectes, maîtres d'ouvrages et artisans) de la construction en terre pouvaient intégrer l'architecture contemporaine, la façon dont ils la mettent en œuvre, les techniques auxquelles ils ont recours ainsi que les enjeux de ce matériau en faveur d'une valorisation future de la terre crue. Je tiens à comprendre leurs motivations.

Mon étude m'a permis d'analyser certains projets dans le cadre desquels la technique du pisé est utilisée. J'ai pu réaliser que des projets d'envergure sont possibles au cœur de la ville, toutefois il y a une méconnaissance de ce matériau. La terre est un matériau non standardisé, c'est d'ailleurs ce qui en fait sa particularité. Les savoir-faire relatifs à son utilisation ont été perdus en partie par les artisans qui la mettaient en œuvre autrefois, ce qui implique aujourd'hui de former et de sensibiliser les entreprises.

Par ailleurs, il y a ceux qui sont en faveur du pisé porteur et d'autres qui utilisent le pisé non porteur à travers le remplissage ou l'habillage de la façade. D'autre part, il y a aussi une partie du secteur qui milite en faveur d'une utilisation de la terre non stabilisée et une autre en faveur d'une utilisation de la terre stabilisée. Les questions qui se posent sont donc les suivantes : Dans quelle direction allons-nous et pour quelles raisons ? Envisageons-nous un cycle de vie et la recyclabilité du bâtiment ?

Je me suis également entretenu avec des acteurs passionnés par ce matériau en Espagne et en Colombie. Ils ont partagé avec moi leurs expériences et m'ont ouvert la voie vers des questionnements et des éléments de réponse diversifiés. J'ai également interrogé des professionnels du secteur en France afin d'avoir un avis plus global de la situation actuelle relative à la filière de la terre crue. J'ai pu identifier les obstacles éventuels à son développement et des approches visant la mise en place d'une économie circulaire. J'ai ainsi pu réaliser l'impact économique, politique, social, législatif et architectural concernant l'industrialisation de la terre crue.

La construction neuve en terre crue présente aussi d'autres problèmes tels que la mauvaise réputation dans la culture populaire due au passé, la réglementation et la norme. Mais d'après mes recherches, j'ai pu réaliser la tendance d'un retour à l'utilisation de la terre à des fins multiples dans l'architecture contemporaine, ce qui permet de revaloriser l'image de la terre. Ses propriétés ouvrent une porte à l'innovation. Il est essentiel de faire reconnaître le patrimoine bâti pour permettre aux futurs acteurs de découvrir la matière et d'expérimenter sa mise en œuvre, d'organiser la formation des professionnels aux techniques traditionnelles et aux innovations récentes afin de les sensibiliser à son utilisation dans la pratique contemporaine.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- Dominique Gauzin-Müller, Architecture en terre d'aujourd'hui, Éd. Museo, 2018, 128 p.
- Laetitia Fontaine, Romain Anger, Bâtir en terre. Du grain de sable à l'architecture. Éd. Belin, La cité des sciences et de l'industrie, 2009, 224 p.
- Thierry Joffroy, Hubert Guillaud, Chamsia Sadozaï. Terra Lyon 2016, (actes XIIe Congrès mondial sur les architectures de terre), Lyon, juillet 2016, 364 p.
- Franz Volhard, Construire en terre allégée, Éd. Actes Sud, 2016, 288 p.
- Otto Kapfinger, Martin Rauch, Rammed Earth, Lehm und Architektur, Terra cruda, Birkhäuser, Basel 2001, 160 p.
- Hassan Fathy, Construire avec le peuple, histoire d'un village d'Égypte, Éd. Actes Sud. 1999, 432 p.
- James Steele, Architecture écologique, Une histoire critique, Éd. Actes Sud, 2005, 269 p.
- Marie-Hélène Contal, Sustainable design II, Vers une nouvelle éthique pour l'architecture et la ville, Éd. Actes Sud, 2011, 186 p.
- Anne-Élisabeth Bertucci, 20 maisons à économie d'énergie, Éd. Ouest-France, 2010, 143 p.
- Institut français d'architecture, Ecological living: what architecture for a more sustainable city ? , Éd. Actes Sud Cité de l'architecture & du patrimoine, Paris, 2009, 412 p.
- Caroline et Martine Laffon, Habitat du monde, Éditions de La Martinière, 2004, 199 p.
- Chris Van Uffelen, Architecture écologique, Éd. Citadelles & Mazenod, 2010, 440 p.
- Collectif Place des Victoires, Architecture écologique pour maisons d'aujourd'hui, Éd. Place des Victoires 2011, 221 p.
- Sergi Costa Duran, Maisons écolos, Éd. Chêne, 2008, 191 p.
- Julie Barbeillon, Anne-Élisabeth Bertucci, Céline Cammarata, Ils ont construit leur maison : 28 portraits de constructeurs écolos, Éditions de La Martinière, 2016, 239 p.

RAPPORTS ET MÉMOIRE D'ÉTUDES

ASTERRE, Rapport final : Obstacles au développement de la construction en terre crue en France, annexe 6, Fiches Obstacles, p.71, 78, 106, 2013, <http://test.asterre.org/component/attachments/download/Second%20rapport%202012%202013.pdf>, consulté en août et septembre 2020

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. dumas-02007251, 183 p.

Leylaverigne Elvire. La filière terre crue en France, Enjeux freins et perspectives, http://test.asterre.org/component/attachments/download/121127_Mise%20en%20page_M%c3%a9moire_all%c3%a9g%c3%a9.pdf, 2012, 154 p.

SITES CONSULTÉS

ASTERRE, Les guides de bonnes pratiques de la construction en terre crue du 13 déc. 2018, <https://www.asterre.org/les-guides-de-bonne-pratique/>, consulté en septembre 2020

LE PISÉ, le pisé préfabriqué, <http://www.construction-pise.fr/Le-pise-prefabrique>, le pisé porteur, <http://www.construction-pise.fr/Pise-Porteur>, consulté en octobre 2020

CYCLE TERRE, La terre un matériau urbain, <https://www.cycle-terre.eu/cycle-terre/le-projet/>, consulté en août et octobre 2020

TERA TERRE, Montbrison, Reconstruction d'un immeuble d'habitation, <https://www.tera-terre.org/montbrison/>, consulté en octobre 2020

BOUCHET Boris Architectes, <http://borisbouchet.com/?realisation=espace-rural-de-proximite-marsac-en-livradois>, consulté en novembre 2020

TERRAMANS, Permacultura Ibera, <https://www.permaculturaibera.org/proyecto/terramans/>, consulté en octobre 2020

FUTURA SCIENCES, <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/colonisation-mars-tera-marsha-futurs-habitats-martiens-imprimées-3d-recompenses-nasa-77771/>, consulté en novembre 2020

HERINGER Anna, <https://www.anna-heringer.com/projects/bamboo-hostels-china/>, consulté en novembre 2020

DESIGN ET ARCHITECTURE, agence d'architecture et design, <http://www.design-architecture.fr/category/projets/>, consulté en septembre 2020

JOLY & LOIRET Architectes, <http://jolyloiret.com/projets/>, consulté en août 2020

Sites du réseau consultés entre septembre et novembre 2020 :

MAISONS PAYSANNES DE FRANCE, <http://maisons-paysannes.org/>

LE RÉSEAU ÉCOBÂTIR, <http://site.reseau-ecobatir.org>

AKTERRE, <https://www.akterre.com/accueil.html>

MOOC, <https://www.mooc-batiment-durable.fr/>

TERA, <http://terre-crue-rhone-alpes.org/>

ARESO <http://www.areso.asso.fr/>

CRATERRE, <http://craterre.org/>

AMÀCO, <https://amaco.org/>