

Construction en terre en Uruguay

Développement | Modernisation | Actualisation d'une communauté d'accueil

Travail de master

Professeur : Götz Menzel

Expert : Marco Sonderegger (collectif CARPE)

Étudiant : Matias Cesari



Première édition : 25.06.2019

Remerciement

Un grand Merci à mon professeur Götz Menzel qui m'a suivi tout le long de ce travail, à mon expert Marco Sonderegger du collectif CArPE pour ces précieux-conseil et références qui m'ont guidé le long du projet de master.

Aux professeurs et architectes uruguayens Alejandro Ferreiro, Helena Gallerdo et Pablo Migues pour leur cours et conseil à l'université de la république d'Uruguay

Pour la construction du grill, à mon oncle, Luis Cesari pour sont aide le long du projet et pour ces contacts A Pablo Pedroza et aux habitants de la Chacra Javes pour toute l'aide à la production des briques. Mon papa, Jorge Cesari et mon cousin Lucas Cesari pour la construction du parrillero et à Brenda Germann pour les collations quelle nous à préparer durant le chantier.

Pour la construction de la cabane d'été sur le site de BlueFACTROY, à la filière d'architecture et à sont doyen Éric Tilbury et à BlueFACTROY pour le financement du prototype, à Matrin Schick pour la coordination avec BlueFACTROY, aux professeures de la filière génie civil Dario Redaelli et Mylène Devaux pour leurs conseils, à l'entreprise Pittet artisans pour sa mise à disposition de sa presse à brique et à ces conseils pour la production et construction en briques, à l'entreprise Rondechute pour la voile de bateau et mise à disposition de la machine à coudre, à l'atelier pop^{up} et à leurs collaborateurs Charle Riedo et Claude-Alain Jacot pour leur conseilles et aide à la construction et à toutes les mains qui m'on aider pour la production des briques ou la construction : Jean-Michael Taillebois, Alexandre Sokolov, Timothé Maire, Amaya Immer, Dimitri Dousse, William Stucki, Jorges Cesari et Pablo Cesari.

Un très grand merci à Cynthia Pruvost pour sa relecture et son aide.

Construction en terre en Uruguay

Développement | Modernisation | Actualisation

d'une communauté d'accueil

Travail de master

Professeur : Götz Menzel

Expert : Marco Sonderegger (collectif CARPE)

Étudiant : Matias Cesari

Table des matières

Introduction 7

Changement climatique et développement durable	7
Énergie grise dans le bâtiment	9
Les trois piliers du développement durable (VerSus)	9
Choix du sujet	10

Terre comme matériau de construction 13

Histoire	14
La terre	15
Qualités/propriétés	26
Analyse de la terre	27
Technique/mode de construction	32

Uruguay 49

Histoire du pays	51
Topographie	52
Démographie	54
Économie	55
Histoire de la construction en terre dans le pays	58
Eliadio Dieste	62
Typologie des bâtiments en terre	64
Construction d'un parrillero en brique terre crue	73
Retour des expériences du parillero	89

Conclusion 91

La Chacra Jabés 93

Communauté d'accueil	93
Programme existant	97
Analyse	113

Rendu travail de master 131

Projet	131
Projet architectural	135
Objet, pratique	147
Projet de références	154

Sources 164

Bibliographie	164
Internet	167
Liste des figures.	168

Introduction

Changement climatique et développement durable

Suivant l'actualité de ces dernières années, le monde va mal. Chaque semaine, des annonces plus alarmistes les unes que les autres avec les émissions de CO₂. Le CO₂ est un gaz à effet de serre qui va créer un matelas isolant dans l'atmosphère. Ce matelas isolant est utile pour permettre d'avoir un climat agréable et propice au développement de la vie, mais une trop grande concentration de ce gaz vient dérégler l'équilibre présent et engendre des répercussions sur le climat telles que l'augmentation des températures, des modifications des précipitations, puis sur la nature et notre environnement. L'agriculture n'y échappera pas non plus par une inconstance dans les récoltes.

Aujourd'hui même, nous prenons conscience de la responsabilité des activités humaines dans sa grande participation des émissions de gaz à effet de serre. Ci-dessous, quelques chiffres nous le prouvent et nous expliquent la provenance de ces émissions de CO₂.

Dans ce tableau, nous pouvons voir que les émissions liées au bâtiment au niveau mondial sont les suivantes :

La consommation énergétique des bâtiments résidentiels (10,2%) ;

La consommation énergétique des bâtiments tertiaires (6,3%) ;

La production de ciment (5%) ;

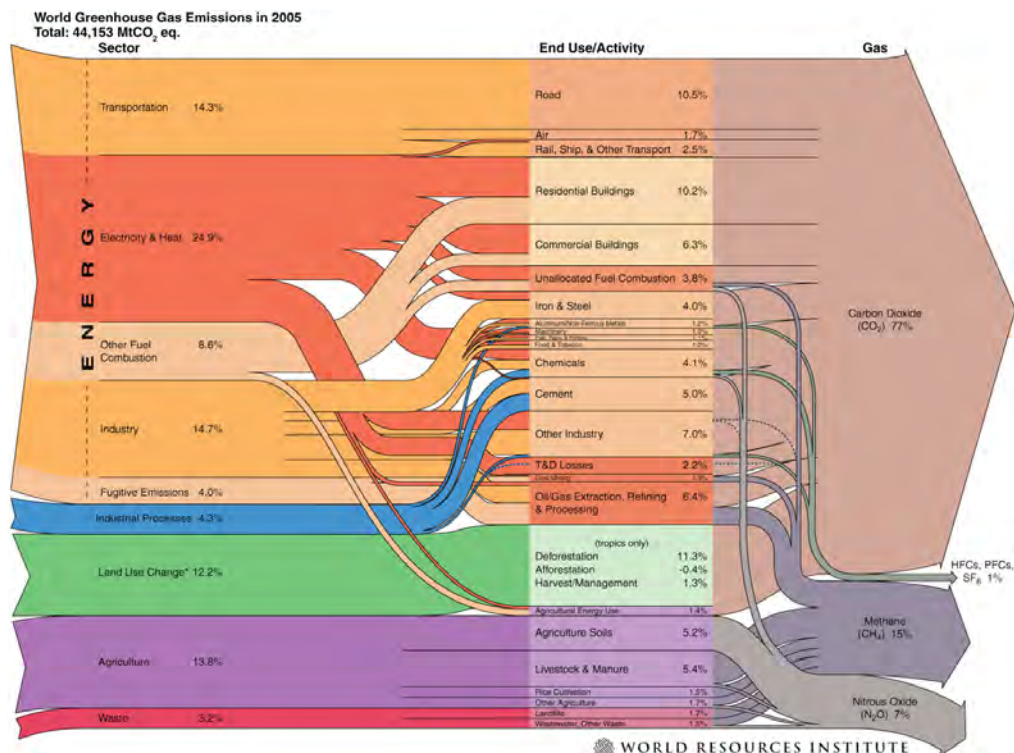
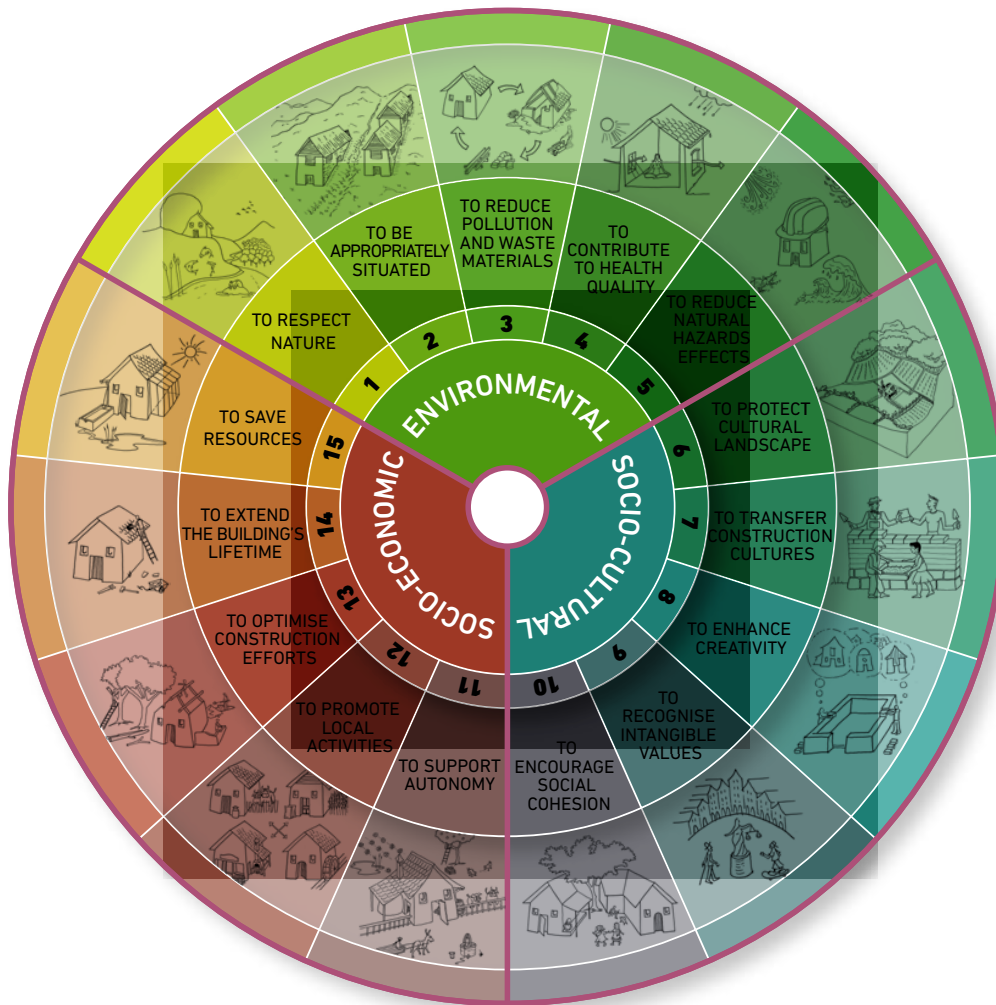


Figure 01: Émission des gaz à effet de serre

Le bâtiment a aussi son rôle à jouer dans les émissions de CO₂, dans le choix des matériaux, la conception du bâtiment afin d'avoir une faible consommation d'énergie pour chauffer ou refroidir le bâtiment. Comment quantifier cette énergie?



Principes ENVIRONNEMENTAUX

L'habitat est issu de son milieu naturel et s'y intègre

1. RESPECTER LA NATURE : L'habitat s'intègre sans nuire aux autres éléments de l'écosystème local

2. BIEN S'IMPLANTER : L'habitat profite avantageusement des caractéristiques bioclimatiques du site

3. DIMINUER LA POLLUTION ET LES DÉCHETS : L'habitat optimise les ressources pour ne pas polluer l'endroit qui l'accueille

4. PRÉSERVER LA SANTÉ : L'habitat permet aux habitants du lieu de se développer dans des ambiances saines

5. MINIMISER LES EFFETS DES ALÉAS NATURELS : L'habitat offre sécurité et protection aux habitants du lieu

Principes SOCIO-CULTURELS

L'habitat contribue à préserver et transmettre les valeurs reçues en héritage

6. PROTÉGER LE PAYSAGE CULTUREL : Les paysages sont façonnés et conservés au cours du temps

7. TRANSMETTRE LES CULTURES CONSTRUCTIVES : L'habitat réutilise les savoirs et savoir-faire observés sur les habitats traditionnels

8. SUSCITER LA CRÉATIVITÉ : L'habitat encourage l'apport de solutions innovantes et d'expressions créatives

9. RECONNAÎTRE LES VALEURS IMMATÉRIELLES : L'habitat exprime l'identité territoriale issue d'une expérience cumulée

10. FAVORISER LA COHÉSION SOCIALE : L'habitat facilite l'échange entre les habitants pour nourrir l'intelligence collective d'un vivre ensemble

Principes SOCIO-ÉCONOMIQUES

L'habitat renforce les communautés et optimise les ressources locales

11. ENCOURAGER L'AUTONOMIE : L'habitat renforce l'autosuffisance de la communauté

12. PROMOUVOIR L'ACTIVITÉ LOCALE : L'habitat favorise les productions, les transformations et les échanges au niveau local

13. OPTIMISER LES EFFORTS DE CONSTRUCTION : L'habitat gère au mieux les énergies déployées pour construire

14. PROLONGER LA VIE UTILE DES BÂTIMENTS : L'habitat garantit sa bonne tenue dans le temps et s'inscrit dans la durée

15. ÉPARGNER LES RESSOURCES : L'habitat utilise avec mesure les ressources locales et évite les pertes et les gaspillages

Figure 02 : Les principes de durabilité environnementale, socio-culturelle et socio-économique

Énergie grise dans le bâtiment¹

L'énergie grise correspond à toute l'énergie que va consommer un objet durant sa vie. De sa production jusqu'à son recyclage ou sa destruction. L'unité la plus souvent utilisée est l'équivalent CO₂/m³ ou CO₂/kg.

Pour savoir combien d'énergie va utiliser un bâtiment, on peut réaliser une analyse du cycle de vie du bâtiment, dans laquelle on comptabilise l'énergie utilisée par les matériaux de construction et l'énergie nécessaire à son exploitation (chauffage, électricité...) sur une période donnée. Ces chiffres donnés peuvent être difficiles à interpréter et sont abstraits.

Aujourd'hui, on peut trouver des listes de matériaux avec les équivalents CO₂/kg. Ces listes peuvent être une aide au choix de matériaux de construction. Mais il faut bien être attentif à la quantité/poids de matériel utilisé.

Les trois piliers du développement durable (VerSus)

Quelle approche prendre pour le développement durable ? Se baser uniquement sur les chiffres que peut donner une analyse de cycle de vie du bâtiment ou chercher aussi dans l'architecture vernaculaire? Finalement, nos anciens construisaient avec les matériaux qu'ils disposaient localement.

Quatre pays de l'Union européenne (le Portugal, l'Espagne, La France et l'Italie) lancent le projet VERSUS. Un des principaux objectifs de ce projet est d'enrichir les connaissances sur l'architecture vernaculaire pour pouvoir appliquer les stratégies se développant dans une architecture contemporaine, durable et écoresponsable.

Le groupe de recherches a travaillé de manière pluridisciplinaire dans une optique de conception durable. Le but de cette recherche était également de créer des outils pour l'architecture contemporaine écoresponsable.

Pour pouvoir apprendre du patrimoine vernaculaire, une méthodologie spécifique pour l'observation et l'analyse a été définie. C'est méthodologie est constituée de trois niveaux:²

1. Trois domaines de durabilité : environnemental, socio-culturelle et socio-économique.
2. But et besoins généraux ou question clé reliée aux trois domaines de durabilité
3. Principe et stratégie apprise du patrimoine vernaculaire pour une architecture plus écoresponsable et durable.

Les trois domaines d'approche pour cette recherche ont été les suivants :

- Environnemental: la capacité de l'homme à s'intégrer dans la nature. Tirer profit de l'environnement, ne pas se mettre en danger et vivre en harmonie avec la nature.
- Socio-culturel: sous quelle forme le bâtiment se construit. Quels sont les espaces communs et individuels pour les personnes ?
- Socio-économique: Comment construire avec des ressources locales de manière durable. Éviter-la surconsommation et encourager le travail local.

¹ Profil-search 2, Matias Cesari, La face cachée des matériaux de construction, Fribourg, hes-so,JMA, 2015
² VerSus, page 05

Choix du sujet

Mon intérêt pour le développement durable et l'écologie s'est développé tout le long de mon enfance, au travers de cours à l'école et les scouts. Ces différentes activités m'ont fait comprendre que nous devons vivre en respectant la nature si nous voulons continuer à vivre dans le confort que nous avons.

Durant mon master, j'ai eu la chance de pouvoir participer au concours du Solar Décathlon 2017 à Denver, Colorado, États-Unis. Ce concours est organisé tous les deux ans par le département de l'énergie américain, où le but est de construire une maison qui fonctionne uniquement à l'énergie solaire. Ce concours est ouvert aux universités. Membre de l'équipe du «Swiss Living Challenge» qui regroupait quatre Hautes écoles et universités de Suisse romande: l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), de la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR), de la Haute école d'art et de design de Genève (HEAD) et de l'Université de Fribourg (UNIFR). L'équipe a remporté la compétition avec le NeighborHub, une maison de quartier. Dans le projet, j'ai eu la fonction de «construction student manager». Dans les grandes lignes, j'étais responsable de la construction de la maison au niveau étudiant. Comme c'est les étudiants qui ont imaginé et construit la maison, ce projet a aussi été très enrichissant du point de vue pratique. Ce qu'on imaginait, nous le mettions en oeuvre. Cette partie opérationnelle est un vrai plus dans la formation. C'est là que l'on trouve les limites entre l'imagination et la réalisation avec ses mains en autoconstruction et la plus-value que peut apporter un professionnel et son savoir-faire. Ce projet a aussi été un projet interdisciplinaire très enrichissant où architecte, ingénieur, personne de la communication, etc. ont dû trouver un vocabulaire commun pour discuter.



Figure03 : Le NeighborHub à Denver en fin de journée

À la fin du semestre d'automne 2017, comme j'étais en congé, la prime du concours en poche, j'ai profité de voyager un mois aux États-Unis et deux mois en Uruguay pour revoir ma famille (cousins, oncle, tante et grand-père). Là-bas, j'ai pu redécouvrir le pays que je n'avais pas vu depuis 7 ans avec un nouveau regard d'architecte.

Le long du séjour mon intérêt pour la construction en terre crue s'est éveillé. Un matériau peu connu, mais qui devient de plus en plus en vogue. Il semble aussi très intéressant du point de vue du développement durable s'il est bien mis en oeuvre.

Durant le semestre de printemps 2018, après le remontage du NeighborHub, je commence à me documenter pour ce travail, en parallèle, je m'engage dans un projet de four à pain à Fribourg, un workshop de construction en terre à Sainte-Croix (VD) et quelques visites de chantiers en Suisse pour apprendre davantage sur ce matériel.

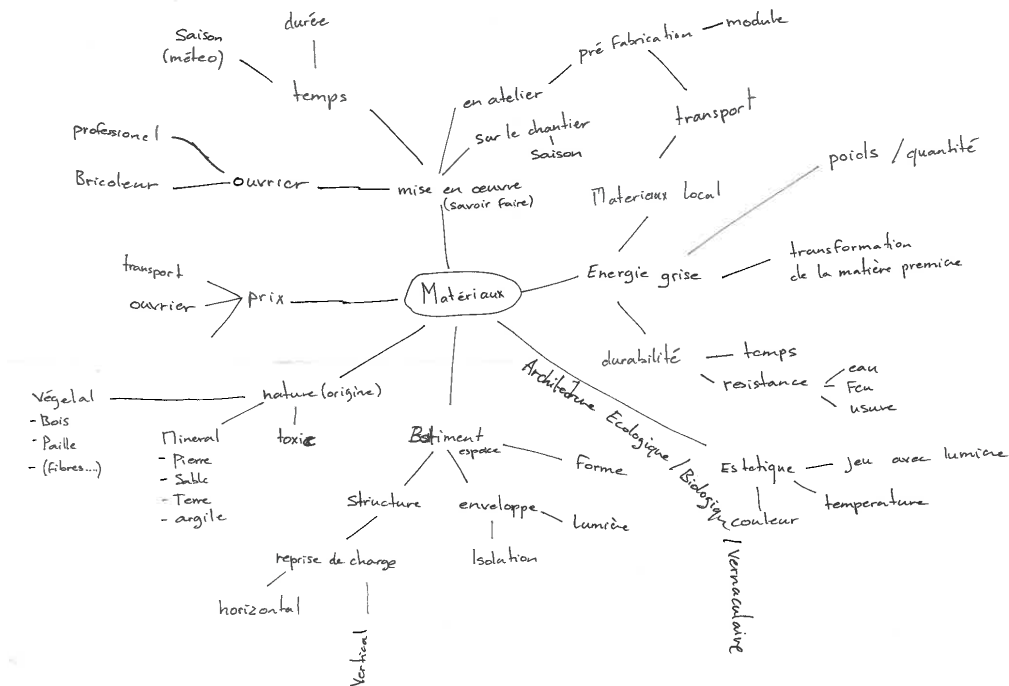


Figure 04: mind map matériaux

En automne 2018, je retourne deux mois en Uruguay pour continuer les recherches sur place. Par chance, un cours sur la construction en terre est donné à l'université. J'en profite de le faire pour approfondir mes connaissances et apprendre les spécificités des constructions en terre en Uruguay.

En plus du cours, je profite de visiter quelques bâtiments construits en terre qui se trouvent dans les environs de Montevideo et la province de Rocha.

En même temps, mon oncle me présente une communauté qui a reçu une machine pour produire des briques en terre comprimées, mais la communauté a un manque de connaissance pour produire ces briques. C'est la chacra Jabes, une communauté chrétienne qui aide des personnes en difficulté sociale. Après plusieurs discussions, je choisis de prendre ce site pour la réalisation de mon travail de master. Le challenge du séjour sera aussi de construire un petit objet avec ces briques en terre afin de découvrir le potentiel du travail de la brique, de la terre et des connaissances accumulées durant les mois précédents.

Dans cet ouvrage, je vais vous présenter différentes techniques de mise en oeuvre de la terre comme matériaux de construction, la construction en terre en Uruguay et le site du projet et le travail de master.



Terre comme matériau de construction



Histoire³

L'histoire de la construction en terre n'est pas très bien connue, pourtant dès que l'homme a commencé à se sédentariser vers 5'000 avant J.-C., il a commencé à construire en terre. Même avant les premiers abris en bois et branches étaient recouverts de terre (10'000-5'000 avant J.-C.) utilisée par des peuples semi-nomades dans la région de Olduvai en Tanzanie ou de Moldava en Ukraine.⁴

Les premiers bâtiments/hameaux ont été construits en brique de terre crue (adobe) avec la terre alluviale (sableuse et argileuse) dans la région du tigre et de l'Euphrate. Par la suite chaque peuple va faire évoluer ce mode de construction et technique selon leur localisation, les matériaux qu'il trouve et l'influence de culture voisine ou migration.

En Europe et Méditerranée, les constructions en clayonnage recouvert d'argile laissent de plus en plus de place à des maisons en adobe. En premier les Grecs et par la suite, les Romains vont exporter cette technique dans toute l'Europe. Dès la chute de l'Empire romain, les constructions en torchis reviennent avec les peuples barbares. À partir du XVIII/XIX siècle, la recherche/développement technologique pour la construction en terre se développe avant de partir dans les archives avec le mouvement moderniste.

À partir des années 1970, la construction retrouve de l'intérêt après le choc pétrolier et la prise de conscience des impacts de l'homme sur l'environnement. De nouvelles recherches sur ce matériel de construction se développent. Ce matériel a souvent une image de matériel médiocre et pour les pauvres ou les pays en voie de développement. Mais cette image commence à changer grâce au travail de certains architectes comme Martin Rauch en Suisse.

En 2010, 3'000'000'000 personnes vivent dans une maison en terre, ce qui correspond à 50 % de la population mondiale⁵.



Figure 05 : Architecture en Terre dans le monde

3 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 20

4 *Ibid.* page 18

5 Hubert Guillaud, *CRATerre* 2010

La terre⁶

Définitions

Le sol est la partie solide de la sphère terrestre. À la surface du sol, la terre est un matériau meuble, d'épaisseur variable qui supporte les êtres vivants avec leurs ouvrages où poussent les plantes. La terre (la matière) s'est créée après une longue altération de la roche mère sous l'influence de processus chimiques, physiques et biologiques liés aux conditions bioclimatiques et à la vie animale et végétale.

La formation et l'évolution de la terre est dû à processus qui se passe plus ou moins en même temps. :

L'altération de la roche mère

La roche mère dénudée par l'érosion est exposée au facteur climatique: soleil, pluie, froid et vent. La pierre qui peut être dure (granite, schiste, grès...), tendre (craie, marne, argile...) ou meuble (sable, éboulis...) est fissurée, réduite en élément plus petit : cette pierre désagrégée. Par la suite, les facteurs climatiques opèrent une altération chimique. Le résultat de ce processus est un mélange de cailloux, sable et minéraux pas encore altéré.

Poursuivre l'altération par les matières organiques.

Ce mélange qui naît de la roche mère est ensuite colonisé par des êtres vivants (plantes et animaux) qui vont enrichir le sol en matière organique. Les agents climatiques vont continuer à altérer les minéraux présents dans le sol. Le nouveau sol présente un profil homogène.

Migrations verticales des éléments solubles.

Sous les climats pluvieux, les éléments solubles migrent vers le bas : c'est le lessivage. Sous un climat sec à forte évaporation, les éléments solubles migrent vers la surface et l'enrichissent. Cette migration des minéraux va être freinée ou accélérée selon la perméabilité du sol et selon le type d'humus présent dans le sol.

On reconnaît deux grands types de sols : les sols jeunes ou «peu évolués», qui sont constitués d'un seul horizon peu différent de la roche mère. Les sols «évolués» ont une couche plus profonde une succession d'horizon (strate) lessivé et enrichi.

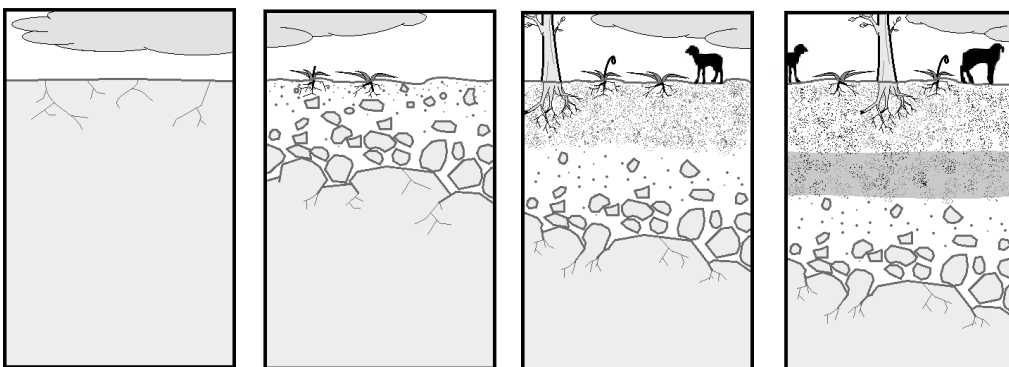


Figure 06, formations du sol

Nature⁷

La terre est constituée de trois éléments:

- Les éléments gazeux : l'air
- Les éléments liquides : l'eau
- Les éléments solides : la matière minérale et organique

Élément gazeux

Dans la terre, nous retrouvons des cavités remplies d'air qui provient de l'extérieur, des organismes et de la décomposition de la matière organique (gaz carbonique et méthane). Les constituants de l'air sont les suivants : l'azote, l'oxygène, le gaz carbonique et le méthane.

Les éléments liquides

Les éléments solubles dans l'eau proviennent à la fois de la pluie et des conditions atmosphériques (brouillard, humidité relative), des apports de l'homme et de la décomposition de la roche mère et de la décomposition de matière organique. Les constituants liquides sont : l'eau, les éléments solubles dans cette eau tels que corps organique (sucres, alcools, acide organique), et corps minéraux (acide, base et sels).

Les éléments solides

Ce sont tous les éléments qui ne sont pas solubles dans l'eau. Ils sont constitués d'élément d'origine organique et minéral.

Les constituants organiques proviennent des animaux ou plantes vivant dans la terre. on distingue quatre groupes :

- Les végétaux et animaux vivants : bactéries, champignons, algues, végétaux supérieurs, prozosotaire, vers, insectes...
- Les déjections animales, les végétaux et animaux morts, mais pas encore décomposés.
- Les matières organiques en décomposition, attaquées par des microbes du sol.
- L'humus, fraction colloïdale et sable de matières organiques et très lentes.

Les constituants minéraux ou constituants mécaniques proviennent de la désagrégation de la roche-mère ou apportée par l'homme. Il contient les rochers, graviers, sables et limons.

La proportion respective de rochers, graviers, sables et limons va donner la structure et la texture de la terre qui va en découler les propriétés.

⁷ *Ibid.* page 30

La structure⁸

Les éléments de la terre sont plus ou moins disposés, entamés ou liaisonnés. Le mode d'assemblage de la terre avec les éléments solides va donner une propriété physique à la terre qui va permettre de plus ou moins à circuler à l'air et l'eau dans la terre. On distingue trois types de structure :

- Structure primaire : terre graveleuse ; très peu de liaison par l'argile entre les éléments
- Structure fragmentaire : de type grumeleux ; laissons par de l'argile en paquets graveleux qui sont liés entre eux.
- Structure continue : type de poudingue ; les pierre et gravier sont plus dans une masse de limon et d'argile.

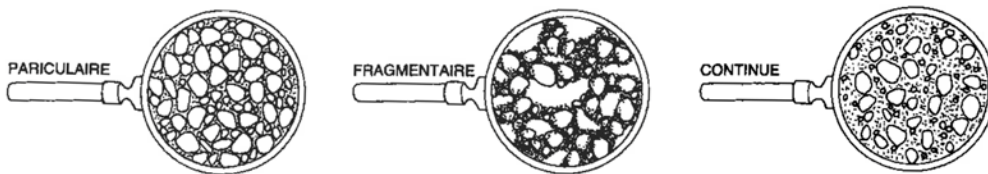


Figure 07 structure terre

La texture ⁹

La texture est la composition granulaire de la terre. La texture de la terre est influencée par chaque fraction de grain qui la constitue. Ces propriétés changent selon les proportions qui consolident le sol. 10% d'argile suffit à donner une propriété de cohésion et plasticité à la terre. 40 à 50% de fin d'argile donne une terre qui a des propriétés d'argile (terre de potier). Il y a cinq grandes familles de texture :

- Terre organique : la tourbe par exemple.
- Terre graveleuse : apparence d'un béton, prédominance de gravier et cailloux
- Terre sableuse : apparence d'un mortier, prédominance de sable.
- Terre siliceuse : prédominance de limon, terre fine peu cohésive et d'aspect soyeux.
- Terre argileuse : prédominance d'argile, très cohésive et modulable à l'état humide.

De plus les grains plus fins (sables, limons et argiles) peuvent être classés à l'aide de ce tableau pyramidal utilisé en agriculture pour classer le sol.

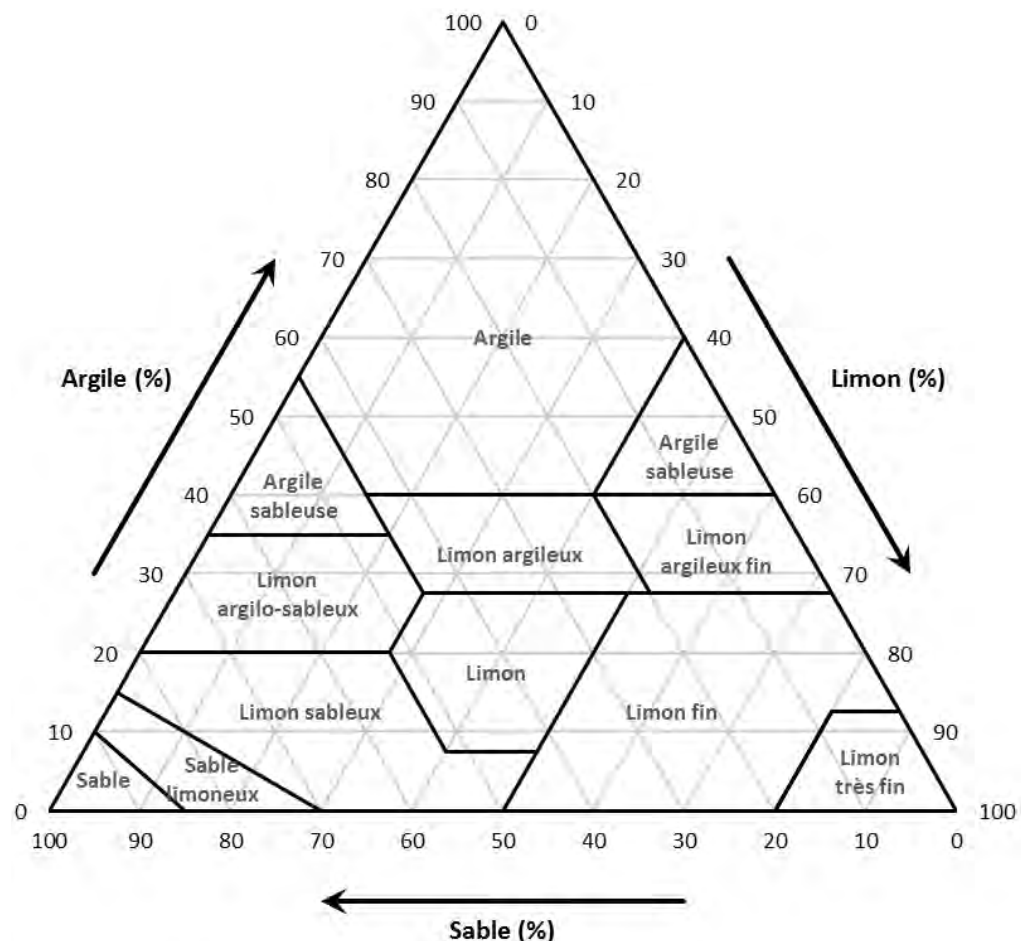


Figure 08: Triangle texture sols.

Air et eau¹⁰

La propriété de la terre va varier selon la qualité d'eau et d'air présent dans la terre.

Air

L'air n'a aucune utilité structurelle pour la résistance de la terre. Il faudrait la réduire si possible. L'air qui est enfermé dans la terre peut contenir des micro-organismes qui peuvent détruire les composants organiques de la terre. De plus ces espaces vides créent des canaux ou l'humidité peut se déplacer.

Eau

Différentes sortes d'eau pénètrent la terre et y sont retenues. Elle joue un rôle important dans la projetée de la terre.

1. L'eau libre : elle bouge librement par gravité ou par capillarité, au gré du mouvement de la nappe phréatique ou des variations de la pression atmosphérique. L'eau capillaire retenue dans de petits pores peut être évaporée à l'air ambiant.
2. L'eau interstitielle : elle est retenue dans des pores très petits ou la capillarité est supérieure aux fortes hydrodynamiques. Cette eau peut entre sécher à température ambiante après une longue période ou à l'étuve entre 50 et 120°C.
3. L'eau de solution : sous forme de film autour des grains et retenue à leur surface par des forces polaires, électrostatiques et d'hydratation ionique. Elle peut être éliminée à des températures ambiantes.
4. L'eau absorbée : Sous forme de film très fin, à la fois sur les faces externes et internes. Cette eau est retenue par de très grandes forces qu'elle ne peut pas bouger. Elle peut être éliminée à des températures comprises entre 100°C et 200°C.
5. L'eau de structure : ce n'est pas vraiment de l'eau, car elle fait partie de la structure cristalline de la terre. Elle peut être éliminée à partie de température de 600°C.

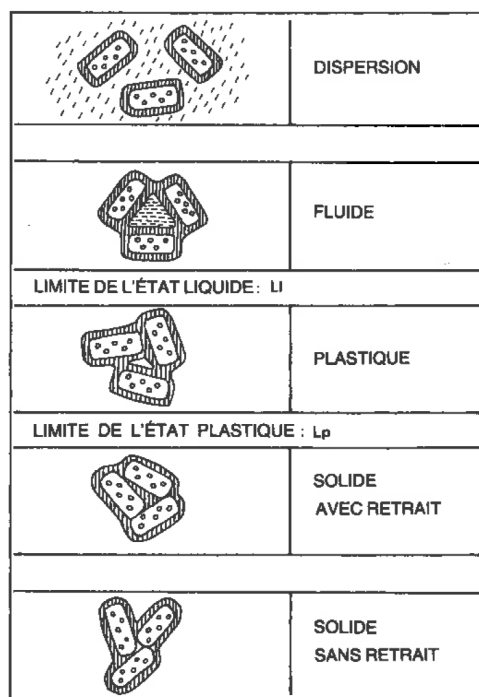
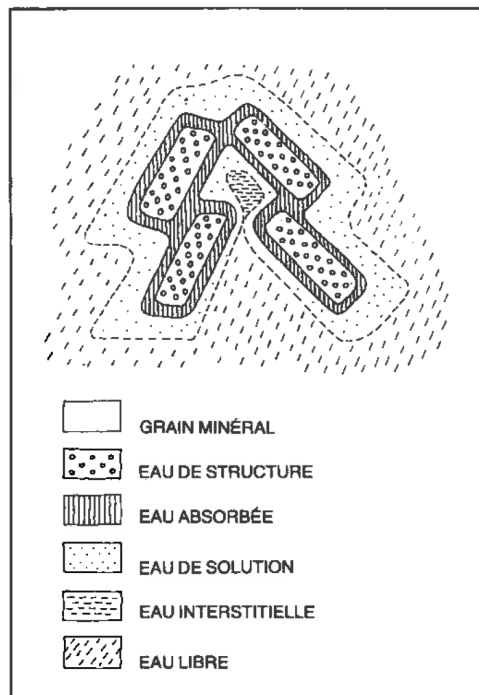


Figure 09 : Eau et mineral

10 Ibid. page 33

Effet de l'eau

Les variations en eau libre, interstitielle ou de solution, peuvent changer les propriétés physiques de la terre. Dans le sable, c'est l'eau interstitielle qui va avoir une prédominance, mais c'est l'eau de solution qui va avoir une plus grande influence dans un sol argileux.

Effets dûs au caractère liquide

- Cohésion : Les particules fines (limons et argile) doivent leur cohésion, entre autres, aux films d'eau qui les relient. Ces forces cohésives sont dues à deux types: - à la tension de surface à l'interface de l'air/eau (gros grain) et celle due à l'interaction des particules d'argile et des molécules d'eau polarisées.
- Succion : les forces à l'origine de l'hydratation de la surface des particules de combinant à la tension de surface créant une succion dans l'eau qui croît avec la réduction de la teneur en eau.
- Gonflement : à la surface des argiles, les forces d'absorption agissant sur les molécules d'eau sont fortes. Les couches gonflent avec l'humidification de l'argile. La terre augmente de volume.
- Retrait : Le retrait des argiles est dû à l'évaporation de l'eau.
- Plasticité : au-delà de sa limite d'élasticité, une terre bien cohésive bien hydratée peut se déformer sans se briser. La plasticité est due à l'effet de lubrification de l'eau entre les particules et de la nature chimique de leur surface.

Les 12 états hydriques de la terre¹¹

- Conglomérat compact : terre compacte et lourde difficile à découper
- Conglomérat friable : agglomérat de matériaux friables faciles à découper, par exemple motte de terre
- Concrétion solide: terre complètement sèche, en gros morceau ou en motte solide
- Congrégation friable : terre complètement sèche sous forme pulvérisée
- Terre peu humide (4-10% d'humidité): terre dont l'humidité est peu élevée ; sensation de terre sèche et non humide
- Terre humide (8-18% d'humidité) : la terre a une sensation d'humidité au toucher, mais ne peut pas être façonnée par manque de plasticité. La boule de terre se brise en 3-4 morceaux après une chute d'un mètre.
- Pâte ferme (15-25% d'humidité) : une forte pression des doigts est nécessaire pour former une boule de terre. La boule de terre ne se déforme pas si elle chute de un mètre de haut.
- Pâte mi-ferme. (15-30% d'humidité) : une légère pression des doigts suffit pour former une boule. La boule s'affaisse légèrement après une chute d'un mètre.
- Pâte mi-molle (15-30% d'humidité) : Il est très facile de former une boule avec cette terre homogène est qui ne colle et non salissante.
- Pâte molle (20-35% d'humidité) : il est très difficile de former une boule avec la terre qui colle et salisse les doigts.
- Boue : terre détrempée d'eau, masse visseuse plus ou moins liquide. La terre coule entre les doigts si on la compresse dans le poing de la main, elle glisse entre les doigts.
- Barbotine : terre argileuse totalement dispersée dans l'eau : liant très liquide, collant. La barbotine est bonne quand on trempe une main et que l'on reçoit un gant d'argile ou l'on ne voit pas les plis de la peau.
- La limite de plasticité (Lp) se situe entre l'état de pâte ferme et mi-ferme.
- La limite de liquidité (Ll) se situe entre l'état de pâte molle et boue.

11 *Ibid.* page 33

Test Carazas¹²

Pour se rendre compte du rôle de l'air et de l'eau avec la terre un exercice a été développer par l'architecte Wilfredo Carazas dans les ateliers de CRATerre pour l'expérimenter.



Figure11 : préparation de la terre

Une grille de trois lignes qui représente l'air et de cinq colonnes qui représentent eau. Pour chaque cas, le même volume de terre est utilisé 3.38 litres. Ce qui correspond au volume du cube en bois (coffrage).

La première étape a été de pulvériser à l'aide de marteaux. Ce travail a été difficile, un signe d'une terre plutôt argileuse.

La deuxième étape a été de remplir les cases du tableau que nous avons dessiné sur la dalle en béton. Pour ce faire nous avons toujours travaillé avec la même quantité de terre pour tous les différents cas.

La première ligne la terre a été versée dans le coffrage, la seconde la terre a été tasser avec la pointe des doigts. La dernière ligne, la terre a été comprimée à l'aide d'un petit pilon en bois. La même quantité d'eau a été rajoutée pour chaque colonne. Pour atteindre le bon stade hydrique de la terre, nous avons travaillé par tâtonnement. (Voir page précédente : Les 12 états hydriques de la terre). Durant l'exercice, nous avons aussi pris des notes pour analyser les résultats entre les différentes cases. Je les ai retranscrits sur la photo ci-dessous.

Cet exercice a été réalisé dans le cadre du cours de construction en terre en Uruguay. Il nous a permis de voir les relations entre la terre l'eau et l'air. Par exemple le bloc de terre humide compacter correspond à un mur en pisé ou une brique en terre compriquer. Ou la terre plastique tassée dans le coffrage à une brique d'adobe.



Figure 10 : Test Carazas avec les résultats

¹² Lucile Couvreur, *Matière eau, développement de contenus pédagogiques pour le projet amàco*, Grenoble, ENSAG, 2014, page 34

Matière organique et minérale¹³

La fraction solide de la terre est composée de matière minérale et organique. La matière organique provient d'êtres vivants, animaux ou plantes, vivantes ou partiellement décomposées. Les composants minéraux proviennent de la roche mère sous-jacente désagrégée par des réactions physiques ou chimiques.

Matière organique

Sans des conditions normales les matières organiques sont consentez dans le premier horizon de la terre. L'horizon a une épaisseur de 5 à 35 cm. La terre aura une couleur noire qui provient des éléments végétaux décomposés.

La terre est plutôt acide de la réaction de décomposition des éléments. Elle absorbe beaucoup d'eau qui fait varier son volume.

Matières minérales

Les composants minéraux sont les éléments non organiques du sol. Il représente la plus grande partie du terrain.

On distingue deux types de minéraux:

- Les minéraux inaltérés. Ils ont la même composition que la roche mère sous adjacente. Ce sont des cailloux, graviers, sables et silts.
- Les minéraux altérés, il résulte d'une altération chimique de la roche mère. Ce sont de tout petits morceaux de moins de 0.002 mm. Par leur finesse, ces particules minérales altérées ont la forme d'une pâte collante quand elle est humide. Les colloïdes, «sorte de colle». C'est le liant de la terre. Les principaux colloïdes sont les argiles.

Éléments sableux

Il y a trois types de sable : siliceux, silicatés ou calcaires.

- Les éléments siliceux : ce sont des grains de quartz issus de la dégradation des grès et de roche cristalline. Ils résistent aux attaques chimiques.
- Les éléments silicates : leur altération chimique est continue, mais très lente. Ils sont formés de roche cristalline : granite, roche volcanique.
- Les éléments calcaires : il y a deux types de sable calcaire, la première formée par une roche mère calcaire et une seconde formée sur une roche mère non calcaire. Ces derniers sont formés de calcium fixé sur des argiles en ions calciques.

Pour identifier la taille des minéraux, Hugo Houben et Huber Guillaud de l'institut CRATerre¹⁴ ont classifié les fractions granulaires de la manière suivante.

1. Les Cailloux d'un diamètre entre 200 mm et 20 mm. Ils ont la même caractéristique que la roche mère comme ils sont désagrégés de celle-ci. Ils peuvent aussi venir de matériaux d'apport (charriée par une rivière par exemple). Les jeunes cailloux ont une forme angulaire. Les cailloux qui ont été transportés ont des formes plus rondes.
2. Les Gravier, d'un diamètre entre 20 mm et 2 mm, ce sont des éléments de la dégradation de la roche mère ou des cailloux. Ils ont les mêmes caractéristiques que les cailloux, mais plus petit. Ils vont créer la sellette de la terre et limite son retrait et sa capillarité.
3. Les sables ont un diamètre compris entre 2 mm et 0.06 mm. Ils créent également la sellette de la terre et limite son gonflement et retraits. Ils n'ont pas de grande cohésion. C'est juste l'eau qui la crée.
4. Les silts ont un diamètre compris entre 0,06 mm et 0.002 mm ils ont les mêmes caractéristiques que le sable, mais ils sont plus sensibles aux gonflement et retrait de la terre et ils sont très sensibles aux gèles.
5. Les argiles ont un diamètre plus petit de 0.002 mm de leur nature chimique, avec l'eau il devient le liant de la terre. ils sont plus sensibles aux gonflement et retrait de la terre.

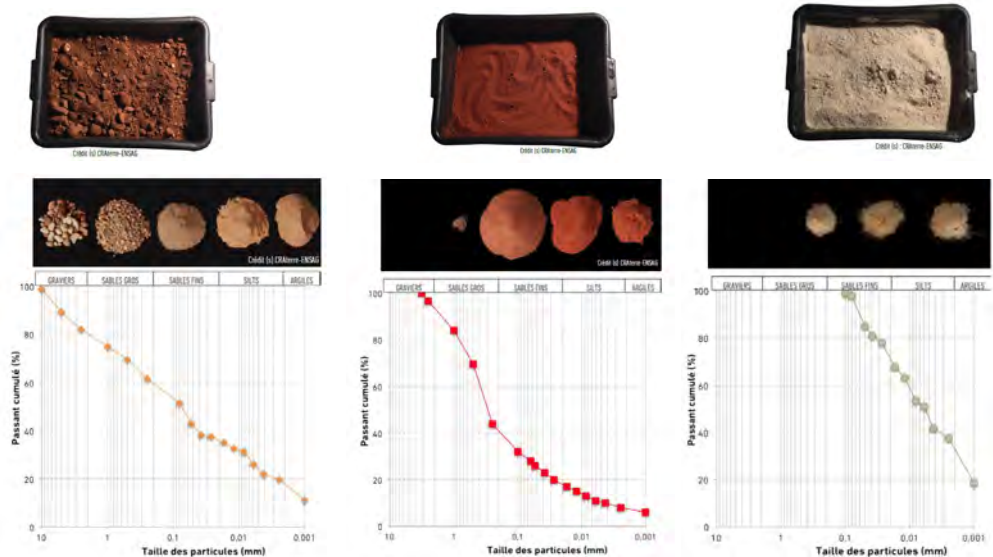


Figure 12, granulométrie de trois terres

¹⁴ L'institut CRATerre est une référence mondiale pour la construction en terre. Hugo Houben (ingénieur, EAG-CRATerre) et Huber Guillaud (architecte, EAG-CRATerre) sont deux chercheurs qui travaillent dans cet institut qui se trouve à Grenoble.

Les argiles¹⁵

Les argiles sont les liants de la terre qui proviennent de l'altération des minéraux silicatés (feldspath, micas, amphibole, pyroxène. Ces cristaux ont une forme irrégulière ou hexagonale.

Les micelles (grosses molécules d'argile) sont composées d'une série de feuillets qui va donner les caractéristiques de l'argile. Ces feuillets sont constitués de silice (atome de silicium entouré d'un atome d'oxygène), d'autre atome d'alumine (atome d'aluminium entouré d'un atome d'oxygène et de groupement OH). Il existe encore d'autres combinaisons. Cette combinaison Si et Al représente le 74% des argiles, mais il existe d'autres bases comme Si et Mg ou Si et Fe.

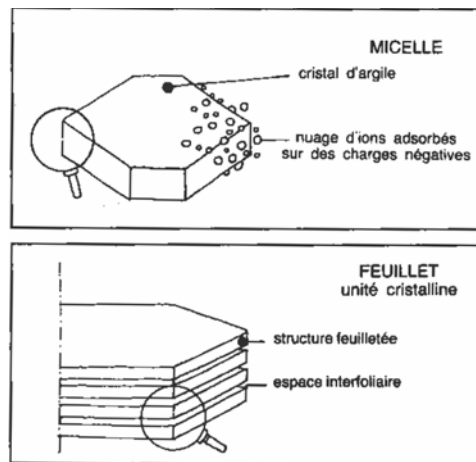


Figure 13 micelle et feuillet

La physique et la chimie des argiles sont très complexes, car les minéraux argileux sont sujets à d'innombrables phénomènes électriques.

Les principales espèces d'argile sont les suivantes :

1. Kaolinite : les feuillets sont composés d'une couche de tétraèdres d'oxygène à cœur de silicium et d'une couche d'octaèdre d'oxygène à cœur d'aluminium. La kaolinite est plutôt stable à l'eau.

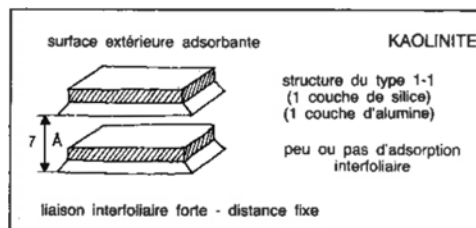


Figure 14 : Kaolinite

2. Illite est une structure à trois couches. De deux couches de tétraèdres d'oxygène à cœur de silicium et d'une couche d'octaèdre d'oxygène à cœur d'aluminium. L'illite n'est pas très stable à l'eau : gonflement.

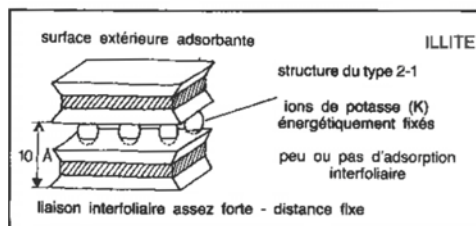


Figure 15 : Illite

3. Montmorillonite, la structure est plus ou moins la même que l'illite, mais on observe des substitutions dans les couches octaédriques d'alumine. Ils peuvent être perturbés par du Mg, Fe, Mn, Ni... Les montmorillonites ne sont pas stables au contact de l'eau: très gonflante.

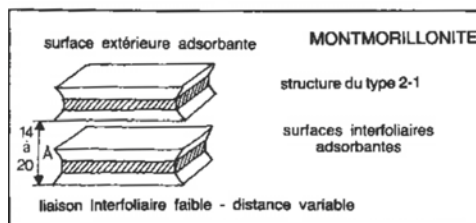


Figure 16 : Montmorillonite

4. Autres: ce sont des combinaisons complexes entre différentes argiles.

¹⁵ Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 36

Qualités/propriétés ¹⁶

Pour construire en terre, il faut connaître quelques propriétés de la terre :

- Granularité: le pourcentage de gravier, sable, limons et argiles présent dans la terre. Ces données peuvent être obtenues par tamisage des différents grains. Les valeurs sont données en % pour les différents grains.
- Placsticité : ou aptitude de la terre à être modelée sans réaction élastique caractérisée par une fissuration ou une pulvérisation.
- Compressibilité : ou potentialité de la terre de réduire au maximum sa porosité
- Cohésion : ou propriété de la terre à rester associé.

Après, il y a d'autres propriétés secondaires qui peuvent être intéressantes de les connaître.

1. Couleur: la terre contient un spectre de lumière important, il peut aller du blanc au noir en passant par des jaunes, rouge brun, vert ou brun.
2. Ameublement : C'est la propriété à la terre de se casser / briser. Une terre sableuse sera très facile à briser contrairement à une terre argileuse.
3. Adhérence, c'est la propriété de la terre humide à coller aux objets / outils. Elle augmente un moment avec l'humidité avant de diminuer.
4. Masse volumique apparente : elle est donnée en kg/m^3 . Elle est prise dans la terre dans son ensemble.
5. Masse volumique spécifique : elle est donnée en kg/m^3 . Elle prend en compte les différents éléments qui constituent la terre. Par exemple : sable, 2600 à 3000 kg/m^3 . les argiles, 2500 kg/m^3 .
6. Teneur en eau : C'est la quantité d'eau qui peut s'évaporer contenue dans la terre naturelle ou retravaillée. Elle est exprimée en %. Elle définit les différents états hydriques de la terre.



Figure 17: différentes couleurs d'argile

7. Retrait linéaire : c'est la mesure de réduction de taille d'un objet en terre. C'est un rapport d'une longueur d'arrête entre son état humide et sec qui est donné en pour cent.

¹⁶ Ibid. page 40,

Analyse de la terre¹⁷

Comment connaître la terre que l'on veut utiliser pour la construction? Pour faire connaissance avec la terre, il y a deux approches complémentaires. Une première consiste avec des analyses de terrain pour avoir une première idée de la composition de la terre. Ces tests sont faits sur le terrain ou dans un atelier de fortune (une cuisine par exemple). La deuxième série de tests peut se faire en laboratoire qui va donner des informations complémentaires aux premières. Avant de commencer ces analyses, on peut également faire des recherches à l'aide de carte géologique ou donnée recueillie d'un chantier précédent.

Analyse de terrain ou analyse sensible

Ces analyses de terrain donnent une idée de la composition de la terre. Ils permettent de donner une première indication première orientation de la technique de mise en oeuvre que l'on veut mettre en oeuvre si l'on veut le faire sans modifier la composition de la terre.

Les outils pour réaliser ces tests sont simples: quelques bassines, une plaque en verre ou carreau de céramique, une bouteille en PET rempli d'eau, un couteau, un tamis de cuisine... Il existe aussi des kits d'analyse de terrain qui tiennent dans une valise.

Pour recueillir les échantillons, un pelle pour creuser un trou de 1 mètre de coter sur deux mètres de profond, peuvent déjà donner une idée de la terre. Pour des sondages plus profonds, l'on peut travailler avec une tarière, mais il faut faire attention à ne pas mélanger les différentes couches de terre.

Pour pouvoir analyser la terre, un échantillon de 1,5 kg suffit pour faire toutes les analyses de base. Il faudra veiller à bien étiqueter les différents échantillons et de biens les emballer pour le transport. Il faudra éventuellement plus de terre si l'on veut déjà produire quelques briques pour faire des tests de résistance du matériel de construction.

Ces analyses vont donner des informations complémentaires que sur les analyses de terrain. Ces analyses en laboratoire peuvent vite devenir plus onéreuses. Il faut voir la pertinence de ces analyses est le plus qu'elles amènent.

Dans le chapitre «Construction d'un parrillero en brique terre crue», je présente les différents tests qui peuvent se réaliser.



Figure 18 : kites d'analyse de terrain

Stabilisation¹⁸

Pour la construction en terre, trois principes sont possibles :

1. Utiliser la terre du site sans la modifier avec la technique de construction la plus appropriée
2. Importer une terre d'un autre site qui convient mieux à la technique du projet
3. Modifier la terre du site pour qu'elle réponde au besoin du projet.

C'est cette troisième possibilité que l'on appelle stabilisation de la terre.

Procédés

Plusieurs procédés sont possibles et peuvent être utilisés de manière individuelle ou combinée.

- Mécanique : Le compactage de la terre : modifie la densité de la terre, la résistance à la compression, la perméabilité et la porosité.
- Physiques : Les propriétés peuvent être modifiées en intervenant sur sa texture: en rajoutant d'autres grains pour améliorer la granulométrie de la terre ou par traitement thermique chaud ou froid, déshydratation ou gel.
- Chimiques : On rajoute à la terre un produit chimique qui va créer une réaction physicochimique. Le produit peut enrober les grains de la terre où crée un nouveau produit par exemple : la chaux avec l'argile qui va créer un matériel pouzzolanique.

Quand stabiliser ?

Il n'est pas obligatoire de stabiliser la terre pour construire en terre, mais elle peut être utilisée pour changer la densité de la terre (alléger ou alourdir) ou pour améliorer sa résistance à la compression.

Transformer les propriétés physiques ou chimiques de la terre apporte un surcout à la construction. Il faut bien poser les pour et les contre. Il est aussi recommandé de refaire des tests de résistance de la terre stabilisée.

Il faudrait uniquement stabiliser la terre au ciment si elle est en contact avec de l'eau. Par exemple pour des fondations ou des murs exposés à la pluie, mais l'on cherche plutôt à régler ces problèmes avec la forme architecturale et non en modifiant la terre si l'on veut rester le plus écologique que possible.

¹⁸ *Ibid.* page 80

Moyen de stabilisation

Les produits utilisés pour stabiliser la terre peuvent se présenter sous différentes formes : poudre, liquide, fibre qui peuvent avoir des origines diverses, végétales, animales, minérales ou de synthétiques. On peut classer en six catégories le mode de stabilisation de la terre remaniée.

- Densifier
- Armer
- Enchâner
- Liaisonner
- Imperméabiliser
- Hydrofuger

Le stabilisant utilisé n'agit pas forcément sur un seul procédé de stabilisation, mais il peut aussi cumuler plusieurs procédés : chimique et physique

Moyens de stabilisation des terres remaniées				
Stabilisant	Nature	Procédé	Moyens	Principe
Sans apport de stabilisant		Mécanique		
Avec rajout d'un stabilisant	Stabilisants inertes	Minéraux	Densifier	Comprimer la terre pour bloquer les pores et canaux capillaires
		Fibre	Armer	Crée une armature multi-directionnelle qui réduit les mouvements
	Stabilisants physio-chimique	Liants	Enchâner	Crée un squelette interne qui bloque tout le mouvement.
			Liaisonner	Former des liaisons chimiques stables entre les cristaux d'argile
	Hydrophobant	Chimique	Imperméabiliser	Envelopper les grains de terre d'un film imperméable et boucher les pores et canaux.
			Hydrofuger	Éliminer un maximum l'absorption d'eau dans la terre

Figure 19 : Moyens de stabilisation des terres remaniées

Liants

Les principaux liants utilisés pour stabiliser la terre sont le bitume, le ciment et la chaux. Dans ce chapitre, je vais uniquement développer le ciment et la chaux qui sont les plus simples à mettre en oeuvre.

Ciment¹⁹

Les premiers essais de stabilisation au ciment ont débuté dans les années 1915, aux États-Unis pour des travaux routiers. Dans les années 1920 en Allemagne sont menées des recherches pour le bâtiment. Dans les années 1950, un travail de recherche est fait en Uruguay pour la construction rurale.²⁰

Le ciment va créer plusieurs réactions avec le mélange, une première va être une réaction avec le sable qui va créer un mortier de ciment. Avec l'argile le ciment va créer un gel qui va se mettre entre les feuillets d'argile et bloquer leur mouvement. Il va avoir la formation de trois structures maillées, une matrice de mortier sable ciment, une matrice d'argile stabilisée au ciment et une matrice d'argile non stabilisée.

Pour obtenir une bonne efficacité d'une stabilisation au ciment, la terre doit être sèche pour être mélangé au ciment, en suite on rajout l'eau pour avoir une terre à l'état humide avant de la moulée et comprimé. (pisé ou brique de terre comprimée). On rajoute un 6 à 10% de ciment à la structure pour avoir de bon résultat.

Les effets sont les suivants, plus de gonflement des argiles, meilleure résistance à l'eau des murs, meilleure résistance à la compression. Les meilleurs résultats sont obtenus avec une terre plutôt sableuse.

Chaux²¹

Comme pour le ciment, la chaux est utilisée pour la stabilisation du sol dans les travaux de terrassement. La technique a été développée aux États-Unis dès les années 1920.

Le rajout de chaux va créer une série de réactions chimiques entre l'argile et la chaux. La texture de terre va être modifiée. La chaux va capter du CO₂ pour former un ciment carboné. La réaction pouzzolanique est la plus importante pour la stabilisation de la terre. Cette réaction va cimenter les grains d'argile entre eux.

Le dosage est plus ou moins équivalent que celui pour le ciment. On va rajouter un 6 à 12% de chaux. Il faut faire attention si l'on travaille avec la chaux vive elle va assécher la terre (~1% de chaux vives va consommer 1% d'humidité dans la terre). Si l'on comprime la terre, il faut laisser reposer la terre durant 1 à deux jours avec la terre avant d'être moulé.

Les efforts sont les suivants, une surprime le gonflement et diminution du retrait au séchage, une meilleure résistance à la compression si bien doser. La chaux travaille mieux avec des terres argileuses.

¹⁹ *Ibid.* page 90

²⁰ Alejandro Ferreiro, *Arquitectura con tierra en Uruguay*, page 9

²¹ Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 96

Régulation de l'humidité

La construction en terre a de bonnes propriétés pour la gestion de l'humidité dans les bâtiments grâce à l'argile qui la compose. L'argile absorbe redonne l'humidité afin de garder l'air ambiant à un taux d'humidité confortable²². Sur le tableau ci-dessous, nous pouvons voir combien d'eau présente dans l'air est absorbée dans une période de temps par différents matériaux courants dans la construction. La terre donne de très bons résultats, même si elle est stabilisée chimiquement avec un liant.

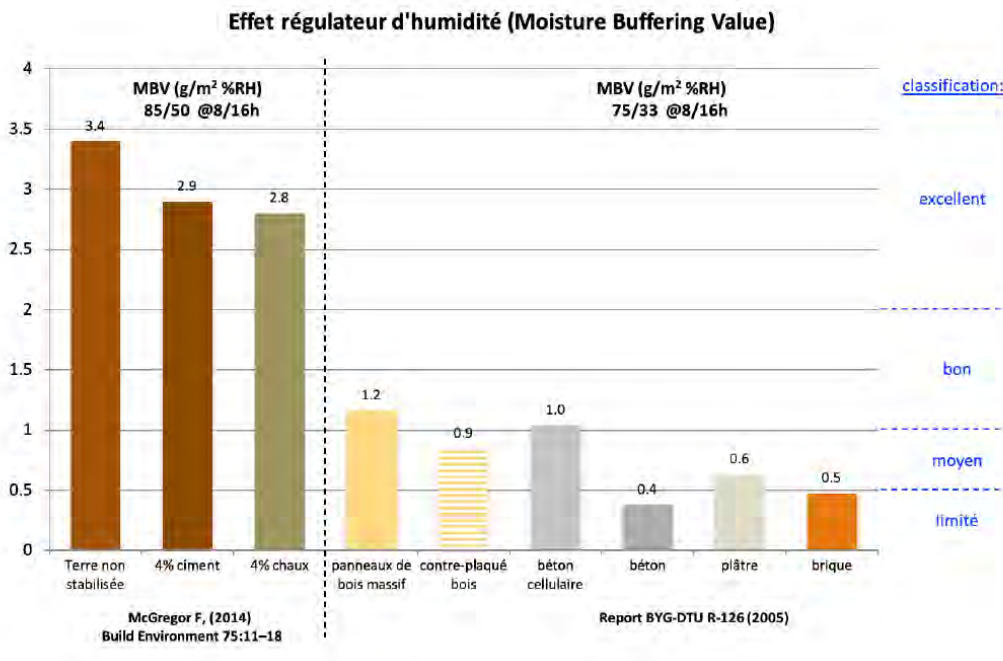


Figure 20 : Effet régulateur d'humidité

Énergie grise

La construction en terre crue est dotée également d'un avantage : c'est une matière de construction solide locale, environnante demandant donc peu d'énergie grise²³ lors de sa production. Par exemple, en comparaison : une brique en terre crue d'une brique en terre cuite artisanale demandera jusqu'à 10 fois moins d'énergie pour un produit de même qualité pour la résistance à la compression²⁴.

	Masse	conductibilité thermique	énergie grise
Terre crue pisé (sans stabilisant)	2'200 kg/m ³	0.5 à 1.8 W/m.K.	9.7 kg CO ₂ /m ³
Terre cure adobe	1'200 kg/m ³	0.3 à 1.6 W/m.K.	74 kg CO ₂ /m ³
Terre cuite brique massive	1'600 kg/m ³	0.3 à 1 W/m.K.	301 kg CO ₂ /m ³
Béton armé	2'500 kg/m ³	0.8 à 2 W/m.K.	455 kg CO ₂ /m ³

Figure 21 : Tableau de comparaison energie grise entre materiaux

²² Gernot Minke, *Building with earth*, page 14

²³ L'énergie grise est la quantité d'énergie qu'un produit va demander entre sa production et son élimination.

²⁴ Présentation «LE BLOC DE TERRE COMPRIME ET LE DEVELOPPEMENT DES ARCHITECTURES DE TERRE» Auroville, Earth institute, 2014

Technique/mode de construction²⁵

Peut-on construire avec cette terre? Oui, mais pour répondre à cette question, il faut procéder une série de questions successives pour y répondre :

- Que va-t-on construire? Un mur de jardin? Une maison? Un bâtiment à étage? etc...
- Où va-t-on construire ? Quel est le climat? Sec, pluvieux, venteux? Zone sismique? etc...
- Comment construire? Quel technique? Quel savoir-faire présent? etc...
- Quelle destination de l'emploi, Mur porteur/non porteur? En intérieur/extérieur? Construction en voûtes/dômes? avec ou sans protection (enduit, bardage...)etc...
- Quels sont les moyens disponibles? Peut-on amener de la terre? la place à disposition pour la mise en oeuvre? Les machines,outils disponibles,etc...

Il faut bien prendre le temps de se poser toutes les questions avant de se lancer, mais en général, beaucoup de terre présente des qualités suffisantes pour la construction. Il faut voir aussi les moyens à disposition pour construire avec cette terre. On peut aussi partir de la réflexion de mode de construction et voir si l'on peut l'appliquer à la terre du site pour la construction ou s'il faudra la stabiliser. Avant de se lancer sur le chantier, il vaut mieux faire des test pour valider les choix faits et de refaire une itération si les résultats ne sont pas satisfaisants avant de se lancer.

Une multitude de techniques de construction existe pour la mise en oeuvre de la terre qui s'est développée le long des siècles dans différentes régions.

Les techniques les plus courantes peuvent être classées dans 12 familles selon leur mode de mise en oeuvre:²⁶

1. Terre creusée : L'écore terrestre est creusée pour construire l'habitation
2. Terre couvrante : Une couche de terre recouvre une structure en un autre matériau
3. Terre remplissante : La terre remplit des matériaux creux employés comme moule.
4. Terre découpée : Des briques sont coupées à même le sol.
5. Terre comprimée : La terre est comprimée dans un moule ou un coffrage.
6. Terre façonnée : De fines parois de terre plastique sont montées à la main.
7. Terre empilée: Des boules de terre sont assemblées pour créer un mur épais en terre.
8. Terre moulée : La terre est moulée à la main ou à l'aide de moule.
9. Terre extrudée : La terre argileuse est extrudée par une machine.
10. Terre coulée: La terre à l'état visqueux est mise en oeuvre dans un moule ou un coffrage comme un béton de ciment.
11. Terre-paille: une barbotine colle des fibres ensemble pour créer un matériau isolant léger
12. Terre garnissante : la terre mélangée à des fibres est appliquée sur un support.

²⁵ Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 112

²⁶ *Ibid.* page 162

Ces modes de construction peuvent être classés par différents critères : par le taux d'humidité de la terre (plasticité de la terre), le type de terre utilisé, selon leur mode de mise en oeuvre :

- Structure mix: La terre est utilisée en complément sur une structure assemblée avant. Elle peut être en bois, en tissus, en acier ou béton.
- Monolithique: la terre se porte elle-même. Le bâtiment peut être creusé dans la terre, ou monter à la main. Les éléments sont généralement montés sur place.
- Maçonnerie : des briques en terre sont fabriquées sur le chantier ou une briqueterie avant d'être maçonnées. Il y a une multitude de forme et technique de brique différente en terre.

Roue

Voici une présentation détaillée de quelques techniques de construction possible.

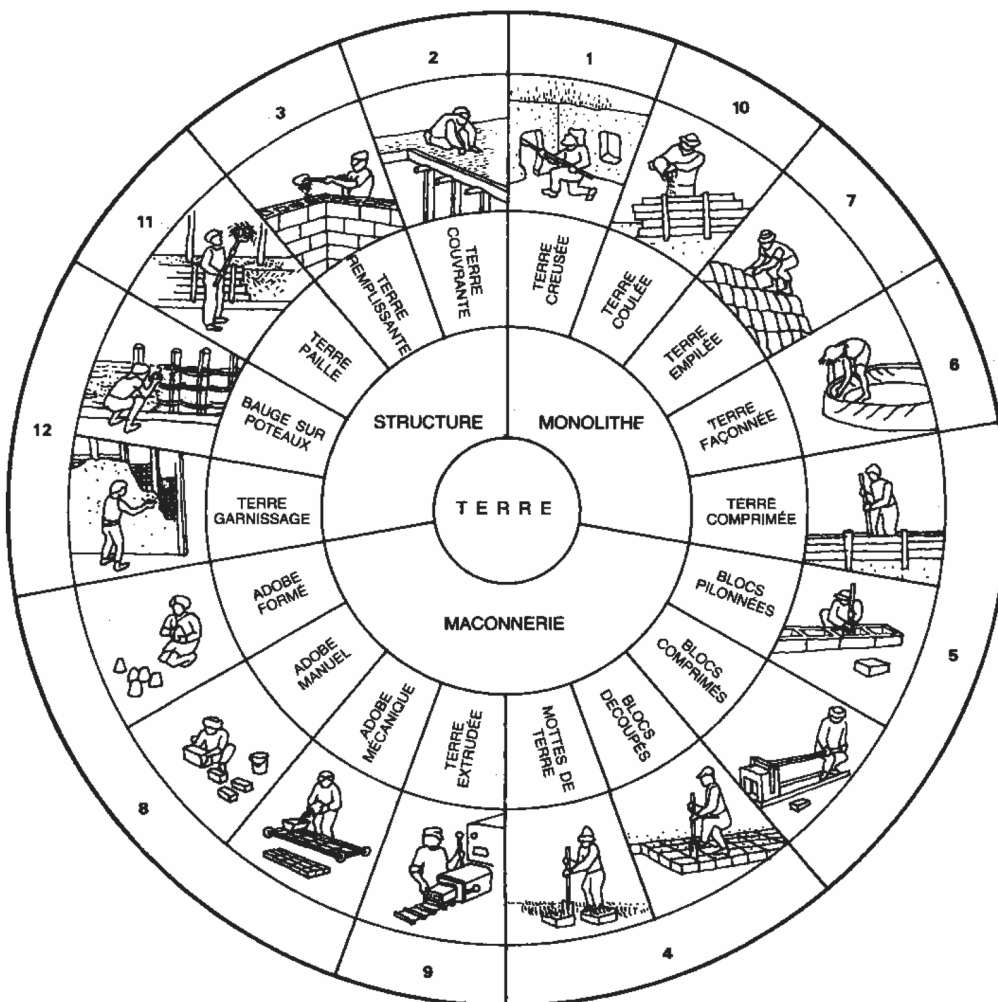


Figure 22 : Mode de construction en terre



Figure 23 : Outils pour le travail de la terre à la Chacra Jabes

Complexité de la construction en terre crue²⁷

Pour la construction en terre, on peut se dire que c'est simple, il ne faut pas beaucoup d'outils, c'est un matériel bon marché que l'on peut prendre du site (la terre du terrassement par exemple). Mais ce n'est pas toujours aussi simple que ça si l'on veut que notre construction reste durable dans le temps. Comme on a pu le lire dans les chapitres précédents, la terre qui est en contact avec l'eau commence à travailler et peut se détruire ou être lavée si elle est exposée à la pluie battante. Il faut faire attention à sa mise en oeuvre, mais bien réalisé, la terre peut rester longtemps, mais en cas d'erreur, on peut facilement recommencer avec la même terre comme le processus est réversible.

Qui peut construire en terre ? Selon la technique qu'on utilise, il ne faut qu'une ou deux personnes qui ont un savoir-faire pour pouvoir construire avec une main-d'oeuvre nombreuse non qualifiée. La terre demande plus de temps et de mains-d'oeuvre comparés à un matériel industriel. Pour des projets participatifs ou des projets dans des pays où la main-d'oeuvre est bon marché, ce n'est pas un problème. Mais dans les pays industrialisés où cette main-d'oeuvre est cher, on cherchera à mécaniser le processus de production pour rester à un coût compétitif. J'ai pu faire diverses expériences à travers trois chantiers ces dernières années.

²⁷ Cours de construction en terre en Uruguay



Figure 24 : Sable et terre pour la fabrication d'enduis

Chantier participatif pour la coopérative Équilibre

Ma première expérience pratique de construction avec de la terre s'est passée sur un chantier participatif de la coopérative Équilibre dans le quartier Soubeyran à Genève. Le chantier était encadré par le collectif d'architecte CArPE, spécialiste de chantier participatif et écologique. Les habitants avaient décidé de mettre la main à l'ouvrage



Figure 25 : Façade sud de la cooperative

pour la construction de leur logement. Après discussion avec les architectes, la préfabrication des éléments de façade sud et nord sera réalisée en chantier participatif avec les habitants. Ces murs seront construits en paille et enduits de terre à l'intérieur. Les habitants de la coopérative ont une bonne sensibilité écologie à fait le choix d'intégrer des matériaux naturels dans le bâtiment. Avec le choix de construire avec des murs en paille enduits de terre, la participation des habitants est facilitée. Il n'y a pas besoin d'avoir une grande connaissance technique pour mettre en place de la paille et la terre. Il y a juste besoin d'une main-d'œuvre nombreuse.

Ces caissons font une dimension de 3x3 m, ce qui permet encore de la manipuler facilement sur le chantier. L'avantage de la préfabrication, c'est un travail plus facile comme il est exécuté de manière horizontale au niveau du sol, dans un espace sécurisé. Ce qui est un point important pour ce genre de chantier où l'on travaille avec des non-professionnels de la construction qui ne connaissent pas toutes les règles de sécurité.



Figure 26: Caissons préfabriqués vides

Pour arriver avec à cette solution, un prototype a été construit par le collectif pour tester la mise en œuvre des matériaux. Malgré le prototype, des corrections ont dû être apportées aux pièces. Les planches en bois des cadres de façade avaient tendance à flamber une fois que la paille était mise en place. La solution aux problèmes a été trouvée par les architectes du bureau ATBA, du collectif CArPE et du charpentier. La solution a été de mettre des vis de régale à travers la paille pour régresser les planches qui flambaient.

La paille venait de la campagne avoisinante et avait été livrée quelques jours avant le début du chantier. L'enduit intérieur est composé de la terre du site mélangé avec une terre importée, du sable et des fibres de chanvre. Différents tests ont été réalisés par le collectif pour avoir le bon mélange pour la réalisation du crépi.

Le chantier participatif s'est déroulé en plusieurs sessions. J'ai pu participer à deux sessions de ce chantier, mais où le travail était similaire. Une observation intéressante était, que mieux était les instructions, mieux le travail se faisait.

Durant la première session de chantier, les instructions avaient été données, sauf celle de remplir complètement les cadres avec des troches (paille en vrac comprimé à la main) pour remplir les espaces qui reste entre les bottes de paille. Ce qui a donné plus de travail par la suite du chantier.



Figure 27 : Explication pour le remplissage des botte de paille dans le cadre



Figure 28 : Bottelage de botte de paille à la bonne longueur à l'aide d'un jeu d'aiguille



Figure 29 : Cadre remplis d'isolant



Figure 30 : Les supports et arrêt d'enduit mis en place, on met un fond d'accrochage à base de barbotine



Figure 31 : Séchage de la terre pour les enduits sous un tunnel agricole.



Figure 32 : Stock de terre et sable pour la production d'enduit.



Figure 33 : mise en place de l'enduit en terre avec l'aide d'une règle



Figure 34 : mise en place de filet en lin pour reprendre les fissures du au séchage de la terre



Figure 35 : Les éléments de façade secs sont stockés à la verticale avant sa mise en place

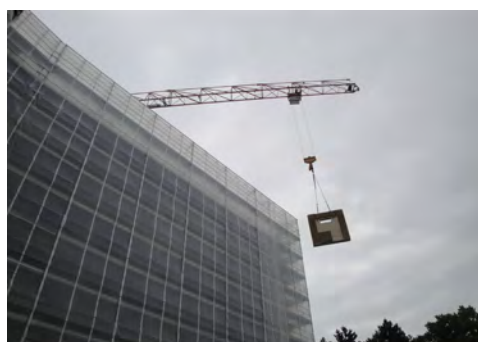


Figure 36 : Mise en place de l'élément de façade.

Durant la deuxième session cette consigne a été donnée de finir de remplir le caisson avec de commencer le prochain et de marquer les caissons finis. Ce qui a permis de gagner du temps. Une des autres améliorations qu'il y a eu entre la première et la deuxième session, c'est que l'on avait un seul objectif et pas deux comme le premier. Durant la deuxième session, le chantier était dédié uniquement au caisson préfabriqué en sous-sol et non comme le premier qui était dédié au caisson préfabriqué au sous-sol et au caisson sur la façade déjà montée. Durant la deuxième session, les participants étaient aussi formés à une tâche plus spécifique et qui ne changeaient pas après une matinée de travail. Ces petits détails ont permis de gagner du temps dans le déroulement du chantier. Comparé à la première session de chantier, on a presque fait le même travail en une journée en moins.

Les journées de travail commencent avec un planning et les objectifs de la journée de travail. Une fois le tour des tâches données les groupes se forment et commencent le travail. Les pauses et les repas de midi étaient organisés par la coopérative. Le dîner était donné dans une salle commune dans les environs immédiats du chantier pour ne pas perdre trop de temps dans les transports. C'était un bon moment pour tous se retrouver et faire mieux connaissance.

Durant le travail, les membres du collectif faisaient le tour des différentes postes de travail pour répondre à l'éventuelle question des participants et donner des conseils. C'est le collectif qui avait la responsabilité du chantier et qui devait contrôler la bonne mise en œuvre de matériaux. C'est aussi eu qui était responsable pour certaine tâche qui demande une plus grande espérance comme la préparation de l'enduit avec le malaxeur ou découper la paille avec une tronçonneuse.



Figure 37 : Préparation de l'enduit en terre avec le malaxeur par Nicolas du collectif CARPE

La journée de travail se terminait avec le rangement du chantier et un bilan de la journée. Un récapitulatif du travail accompli et des félicitations pour le travail fait. On répond aux questions. On écoute les propositions d'améliorations pour la prochaine journée de travail. C'est aussi là que le programme du demain est donné dans les grandes lignes.

Ces journées de chantier participatif sont idéales pour tisser des liens entre les participants. Ils ont le temps de discuter entre eux et apprendre à faire connaissance. Le chantier participatif donne une belle plus-value au bâtiment, mais surtout aux habitants qui vont y habiter. Les gens se connaissent mieux et cela contribue à un bon voisinage. C'est aussi une belle histoire à raconter où les habitants ont pu aider de leurs mains pour la construction de leur logement. C'est un travail qui est valorisant pour les participants. Le chantier permet d'apprendre de nouvelles compétences et elle a aussi permis aux habitants de voir comment se construisent leurs maisons.

En résumé, ces chantiers participatifs :

- Diversité de participant (étudiants, pédagogue, travailleurs sociaux, architectes..)
- Outil pour créer du lien/apprendre la vie en communauté
- Outils pédagogiques
- Outils pour créer des réseaux
- Outil de communication



Figure 38 : Construction d'un moule en sable et passage de connaissance

Four à pain en COB - Espace Temps, le port Fribourg



Figure 39 : Equipe au travail

Deuxième chantier participatif avec de la terre a été la construction d'un four à pain en terre crue au Port de Fribourg. C'est un des deux chantiers participatifs qu'a proposés l'association espace-temps qui s'est occupée de l'animation dans cette friche industrielle de l'ancienne usine à gaz de Fribourg.

Pour la construction du four, nous étions 8 personnes d'horizon divers et encadré par Pierre Luis, un écoconstructeur. Le chantier s'est organisé durant tout le printemps 2018 au rythme de mardi soir et de deux journées entières.

Comme le four s'est construit sur un site industriel, nous n'avons pas pu utiliser la terre du site pour construire le four, donc nous avons dû l'importer de la gravière de la tuffière. Là nous avons acheté du sable et reçu les boues de lavage qui sont les argiles qui sont lavées des graviers pour les bétons.

Nous avons construit le four sur une table à feu pour pouvoir déplacer le four si besoin. L'avantage également de l'avoir construit sur une table, ça va faciliter le travail pour cuire le pain.

Le chantier s'est déroulé en plusieurs étapes. La première étape a été le dessin du four, quelle taille? Pour combien de pain? Est-ce que l'on construit aussi une cuisine d'été autour du four? Une fois le dessin fini et tous les matériaux trouvés, nous avons commencé la construction de la table à feu en bois.



Figure 40: Plan

Pour cette première étape. Nous avons construit la table pour le four avec du bois de récupération. Nous avons uniquement acheté du sable un panneau placoplâtre et quelques briques réfractaires. Le plateau supérieur qui va accueillir le dôme en terre, nous l'avons travaillé avec une table multi couche pour s'isoler de la chaleur du four.

La deuxième étape était la construction du four. Le four est constitué d'un dôme et d'un tunnel pour d'entrée du four. Le dôme est constitué de deux couches de terre qui ont deux qualités différentes. La première couche de terre (qui va se retrouver à l'intérieur en contact avec le feu) est constituée d'un mélange de sable (~80%) et d'argile (~20%). Cette couche a une épaisseur d'environ 5 cm, à un rôle d'inertie thermique. La deuxième couche est un mélange de paille, sable et argile. Cette couche est modelée directement sur la première couche fraîche de terre du dôme. Elle aura



Figure 41 : Construciton de la table à feu



Figure 42 : Construciton du moule en sable



Figure 43 : moule en sable fini



Figure 44 : sable et argile (boue de lavage)



Figure 45 : Préparation du COB sous forme de boules



Figure 46 : Les boules sont lancées sur le moule avant d'être lissée.



Figure 47 : Mélange de la terre viseuse avec la paille et malaxage à la main.



Figure 48 : Montage lu deuxième dome sur le premier. frais sur frais



Figure 49 : Chapeau du fours avant de recevoir les tavillons



Figure 50 : Four fini.

un rôle d'isolant et d'inertie thermique pour le four. Cette coque en terre est construite sur un moule en sable humide. Le sable est humidifié pour qu'il reste en place. Une feuille de papier va faire la séparation entre la terre et le sable. Cette étape, nous l'avons réalisée en un jour et demi de travail. Mardi 29 mai 2018, nous avons réalisé le moule en sable et commencé à préparer l'argile qu'il devait être concassé pour qu'il se mélange bien au sable. Le jeudi 31 mai 2018, nous avons construit le dôme en terre sur le moule. Ce fût une longue journée, mais très enrichissante. Comme nous avons décidé de travailler sans et de faire tout le travail à la main, cela nous a demandé beaucoup d'énergie. Préparation de la terre ou nous avons concasser les pains d'argile pour pouvoir les mélanger plus facilement avec le sable. Pour ce travail des visiteurs du port sont aussi passés nous aider. Dans l'après-midi nous avons continué avec la découpe de paille pour ne pas avoir de brin trop long pour pouvoir le mettre en oeuvre sur la deuxième couche de terre. Le pétrissage de la terre à la main été intéressant. Après un moment de malaxage, on se rendait compte qu'une réaction se passait avec l'argile. Elle chauffait légèrement. Une fois le dôme monter nous l'avons laisser sécher durant une semaine sous une bâche plastique pour éviter qu'il ne sèche trop vite et un mois de plus sous un toit que nous lui avons construit pour protéger le four des intempéries. Quand le four était en train de sécher, nous enlevions le sable sec qui se trouvait vers l'entrée du four, mais toujours en petite quantité. Une fois le four sec, nous avons fait trois petits feux pour finir de bien sécher le four avant de faire un grand feu pour pouvoir chauffer le four avant de cuire le pain.

Le chapeau, l'ultime étape pour la construction du four a été de lui construire un toit en tavillons. Pierre, note écoconstructeur a fait la connaissance d'un taviionneur qui a proposé de nous montrer son savoir-faire pour la construction du toit du four. Là nous avons construit une sous-construction en bois avant de venir avec les tavillons pour couvrir la toiture. C'était un beau moment d'échange ou nous avons pu voir et pratiquer le métier de taviionneur. Les tavillons sont des tuiles en bois (format 100 x 360 x 3mm) coupés durant l'hiver dans des troncs d'épicéa vert. Les tavillons humidifiés sont fixés à l'aide de clous en acier zigné. Il y a quatre couches de bois qui recouvre la toiture et qui assure son étanchéité.

Le reste de l'année, le four a été utilisé pour cuire du pain ou durant des ateliers qui se sont organisés au Port.

Ce printemps 2019, le four va recevoir quelque retouche à l'intérieur et à l'extérieur pour l'améliorer, mais dans l'ensemble, nous avons construit un four saint. Il n'y a pas de fumée qui sort par des fissures qui sont apparues sur le four.

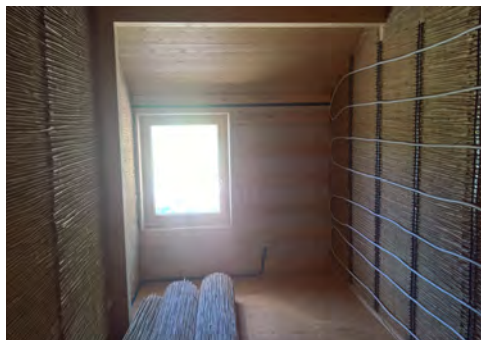


Figure 51 : Cloison intérieure prête pour recevoir le crépi de terre.

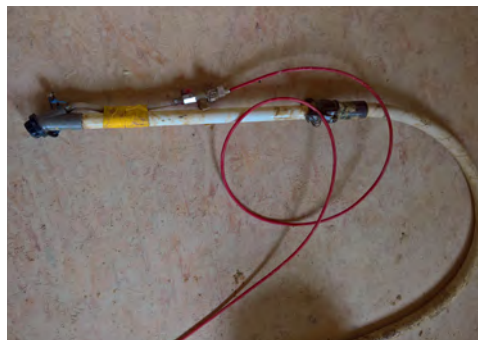


Figure 52 : Lance pour projeter le crépi de terre.



Figure 53 : Lissage du crépi fraîchement projeté.

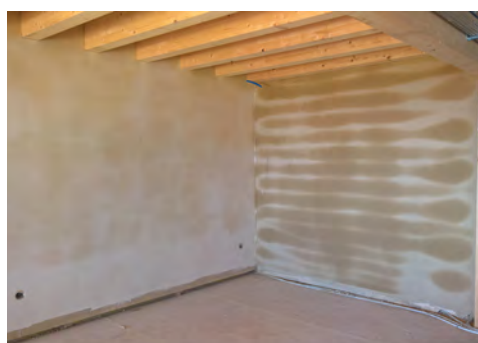


Figure 54 : Séchage du mur avec les marques des serpentins chauffant.



Figure 55 : Lissage du crépi de finition.



Figure 56 : Détail des différentes couches de l'enduit.



Figure 57 : Analyse de la granulométrie de la terre à pisé.



Figure 58 : Coffrage pour le banc



Figure 59 : Compression de la terre à l'aide à la dame.



Figure 60 : banc fini

Workshop enduit en terre et banc en pisé

Le prochain chantier où j'ai participé a été organisé par l'association IgLehem qui est l'association suisse pour la promotion de la construction en terre crue. Le chantier s'est déroulé à Sainte-Croix pour la réalisation d'enduit en terre dans une nouvelle construction en bois. Cette maison sera louée par la suite à des groupes pour l'organisation



Figure 61 : Maison pour les séminaires

de séminaires ou retraites. Le choix de construction a été fait pour avoir une maison la plus écologique que possible. Structure et isolation en bois, production photovoltaïque en toiture et chauffage solaire avec des collecteurs d'eau chaude en façade sud et un gros réservoir d'eau chaude au centre de la maison.

Ce workshop a présenté différentes techniques de construction en terre. Qui sont les suivantes : les murs rayonnants les enduits en terre, et murs en pisé. Une vingtaine de participants vont venir, principalement des architectes, des artisans ou des particuliers qui veulent connaître plus sur ce matériel de construction et réseauter.

Les murs extérieurs sont doublés avec un panneau en terre comme un panneau Placoplâtre sur une sous construction en bois. Ces panneaux en terre servent de fond d'accroche pour l'enduit fait qui va être projeté contre. Sur les murs chauffants, un serpentin d'eau chaude est installé avant de recevoir une ou deux couches de fond d'accroche. Cette couche d'accroche est constituée d'un crépi de terre. Ce crépi de terre est constitué d'un sable calcaire mélangé à une barbotine. Une fois le crépi posé, il est pompé et projeté contre les murs en couche de 1 à 2 cm. Le crépi fraîchement projeté sera lissé à l'aide d'une règle métallique. Une fois le fond d'accroche sec ~24 à 48 heures après, on peut venir avec le crépi de finition en deux couches de 2 à 3 mm. La terre et le sable ont été importés pour la production du fond d'accroche et les crépis de finition ont été des produits prêts à l'emploi achetés en magasin.

Les colisons intérieurs sont constitués d'une structure en bois avec un panneau de fibre de bois. Contre ces panneaux sont fixées des nattes de roseaux qui servent d'accroche pour un crépi en terre. La finition est la même que décrite dans le paragraphe précédent.

Pour expérimenter la technique du pisé, nous avons construit un banc. La structure du plancher ne pouvait pas supporter une plus grande charge. La construction en pisé demande beaucoup de travail. Pour ce mur en pisé nous avons utilisé la terre du site sans la remanier et un mélange de pierre calcaire concassée mélangée à de l'argile colorée. La première étape que nous avons faite est une analyse par tamisage de la terre pour connaître la granulométrie de la terre. Ensuite nous avons construit le coffrage pour pouvoir damer la terre dedans. Là un travail soigneux doit être réalisé pour construire un coffrage solide qui va rester aux efforts quand la terre sera pisée. Une fois le coffrage terminé, nous préparons la terre en un état humide ~10% d'eau. Là nous remplissons le coffrage de 20 cm de terre au maximum avant de la damer. Là, toute une technique existe pour bien damer le mur. Le damage se passe en deux phases. La première phase consiste à tasser légèrement la terre en commençant par l'extérieur et en finissant par le cœur du mur. Ensuite on recommence ce parcours, mais avec plus de force. L'opération est répétée jusqu'à sentir que le mur ne se tasse plus. Un bruit sourd quand l'on tape avec la dame. Que la couche de terre s'affine à environ 10 cm. Si nous remplissons plus de 20 cm de terre, nous n'avons pas suffisamment de force pour chasser l'air de la terre. Dans les 30 derniers cm du mur, nous avons incrustés des bous de bois pour pouvoir fixer une tablette en bois sur le mur.



Figure 62 : Pose de la première couche de briques

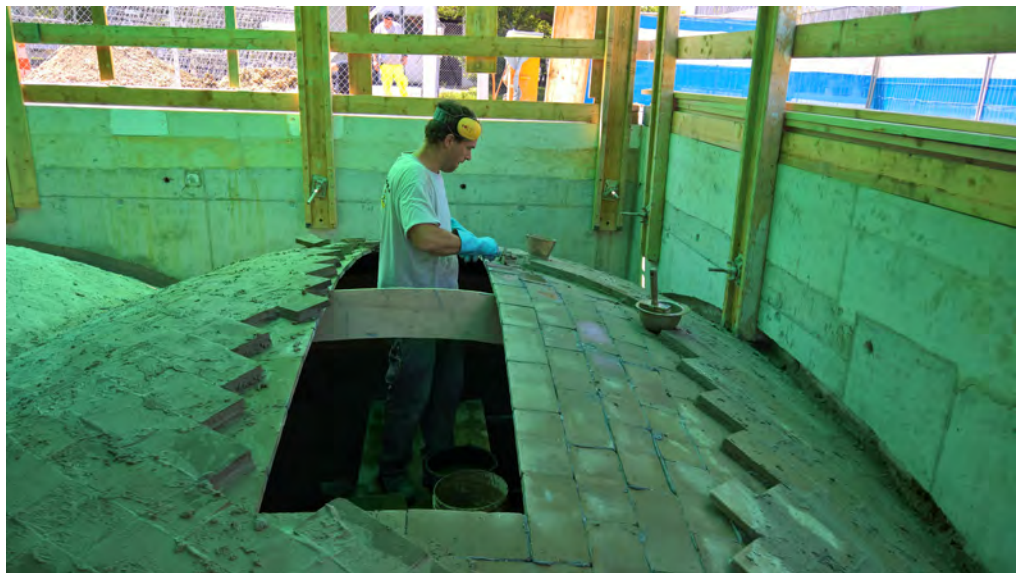


Figure 63 : Pose de la deuxième couche de briques

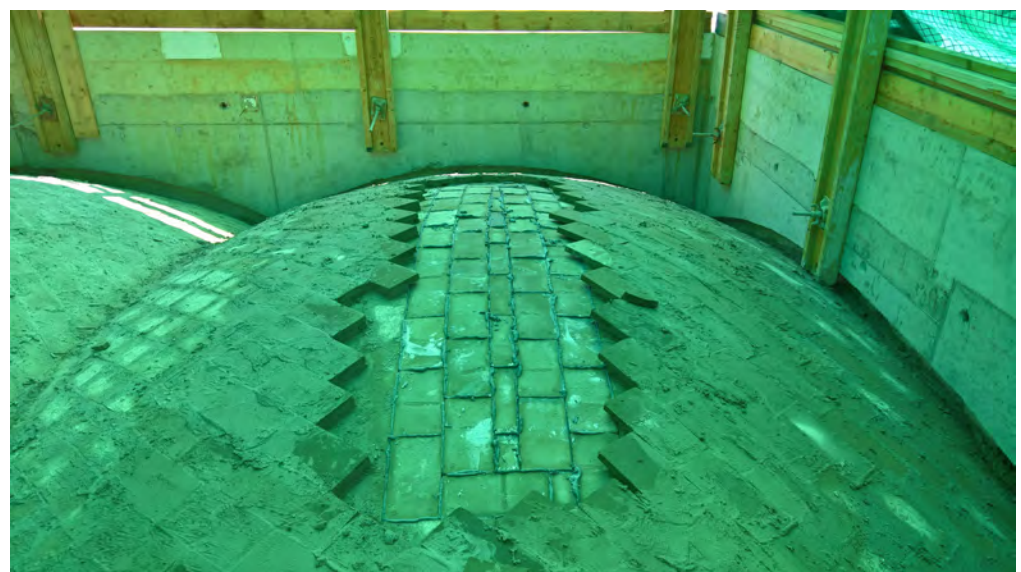


Figure 64 : Première couche de briques finie

Pittet artisans - voûte catalane



Figure 66: Détail de la voûte catalane avec les nervures du moule en bois imprimé sur la brique.

Le dernier chantier que j'ai pu observer a été la mise en oeuvre de trois voûtes catalanes construite avec des blocs de terre comprimée stabilisés avec la terre du terrassement. La construction de ces voûtes a été mandatée à l'entreprise Pittet artisans. Cette entreprise a une grande expérience dans la construction de dômes ou voûtes maçonnées entre autres.

Ce chantier s'est déroulé à Bienne pour la construction une série de trois voûtes catalane pour le plafond d'une cave à vin dans une entreprise privée. Les voûtes catalanes sont construire d'un arc extrudé sur autre arc perpendiculaire. La hauteur de la flèche correspond à environs 1/20 à 1/15 de la portée.

La voûte est construite avec trois couches de briques d'un format de 250x122x20 mm. La première couche de brique est montée avec en mortier de plâtre et chaux éteinte. Les briques sont tramées dans une colle d'os pour accélérer la prise. Les briques sont posées à la main. La courbe est donnée par l'oeil du maçon. Il a une serine d'arche en bois pour aider à garder la bonne courbe, mais elles ne servent à rien pour faire tenir la brique. Le mortier fait sa prise après environ dix à quinze secondes une fois la brique posée.



Figure 65 : Briques dans l'eau.

La deuxième rangée de briques est collée avec un mortier bâtard (ciment et chaux). Les briques sont mouillées pour éviter que le mortier ne fasse sa prise trop rapidement. Une couche d'environ deux centimètres de colle fixe la deuxième rangée de brique qui est maçonnée à un angle de 45° par rapport à la première rangée de briques.

La dernière couche de brique est montée à 90° par rapport à la deuxième couche. Une treille en fibre de verre vient reprendre les efforts de traction qu'il pourrait avoir dans la voûte.



Uruguay



Histoire du pays²⁸

Les premiers habitants du pays étaient les tribus indigènes des Guaranis et Charruas. Ces peuples étaient des tribus nomades de chasseurs et cueilleuses. À partir du XVI^e siècle des conquistadors espagnols et portugais arrivent dans la région, mais l'immigration n'est pas très grande. Ce sont principalement des rancheros qui s'installent pour cultiver la terre. Il n'y a pas beaucoup de ressources naturelles à exploiter (bois, or...). Le territoire est principalement constitué de savane. En 1680, la ville de Colonia Del Sacramento est construite par les Portugais effaçant Buenos Aires (ville espagnole). En 1726, la ville de Montevideo est fondée par les conquistadors espagnols pour stopper l'avancée des Portugais.

Au début du XIX^e siècle la population s'élève à 30'000 habitants. Entre 1806-1807, une brève invasion anglaise avant une nouvelle domination portugaise. Entre 1811 et 1817, une première révolution indépendantiste est menée par José Gervasio Artigas qui organise les indépendantistes (orientale) pour la dépendance des provincia unidas del Rio de la Planta (le nord du territoire de l'Argentine et de l'Uruguay actuel). A la suite de trahisons et de désaccords avec d'autres indépendantistes, Artigas va partir en exil avec ses partisans au Paraguay où il va y rester.

La dispute du territoire uruguayen va continuer entre l'Argentine et le Brésil. En 1825, le groupe indépendantiste des trente-trois Orientaux mené par le général Juan Antonio Lavalleja commence une guerre contre le Brésil jusqu'en 1828 où le pays sera reconnu par l'Argentine et le royaume du Brésil.

La jeune nation uruguayenne connaît une jeunesse difficile, une première guerre civile nommée « grande guerre » divise le pays entre 1839 et 1851. Le pays est divisé entre deux partis politiques : les Colorados (mené par Fructuoso Rivera) et les Blancos (Manuel Oribe). C'est finalement les partisans du Général Rivera (Colorados) qui emportent la guerre aidée par des forces d'Argentine et de la ligue italienne. Durant cette grande guerre, les anglais, français et brésiliens mettent aussi leurs grains de sable dans le conflit.

Dès 1903, le pays connaît une bonne prospérité jusqu'à la crise de 1929 qui va s'en suivre d'un coup d'État organisé par Gabriel Terra en 1933. Le pays retrouve la croissance dans les années 1950. Jusqu'à la prochaine crise qui arrive en 1958 où le marché uruguayen et ouvert au marché mondial qui en découle une grave crise économique se transforme en crise politique qui se termine en dictature militaire en 1973. Il s'en suit une purge dans le pays où beaucoup d'opposants partent en exil pour éviter d'être torturés ou assassinés par les militaires. En 1980 le peuple refuse la nouvelle constitution proposée par le régime militaire. Ce refus conduit à un retour à la démocratie en 1984. Depuis le pays connaît une période de stabilité politique. L'économie du pays a connu une grande crise financière entre 1999 et 2002 qui va faire chuter là plus de 40% sous le seuil de pauvreté. Depuis 2005 le pays connaît une croissance économique interrompue.

Aujourd'hui le gouvernement tente d'enrayer l'inflation, de réduire le taux de chômage et de pauvreté, de stabiliser sa dette extérieure et de lutter contre la délinquance liée au trafic de drogue.

²⁸ Uruguay, 09.01.2019 <https://fr.wikipedia.org/wiki/Uruguay>

Topographie

Le pays est traversé par deux chaînes montagneuses (Cuchillas sur la carte). Vers les sommets les pentes peuvent être abruptes et rocheuses. Le reste du pays est une plaine ondulée ou vallonnée par des collines (cuchilla en Espagnole). Le sommet le plus au de l'Uruguay est le Cerro Catedral avec 514 m. Le pays n'est pas touché par les tremblements de terre.



Figure 67 : Carte topographique

Climat

Le climat uruguayen est un climat sud tropical avec une température moyenne de 17°C sur l'année. Les étés sont chauds et les hivers sont doux. Le pays reçoit des précipitations régulières tout le long de l'année, mais il peut connaître des périodes de sécheresse ou de fortes précipitations créant des inondations. En hiver, des vents froids et très violents soufflent du sud-ouest et touche les régions côtières du pays.

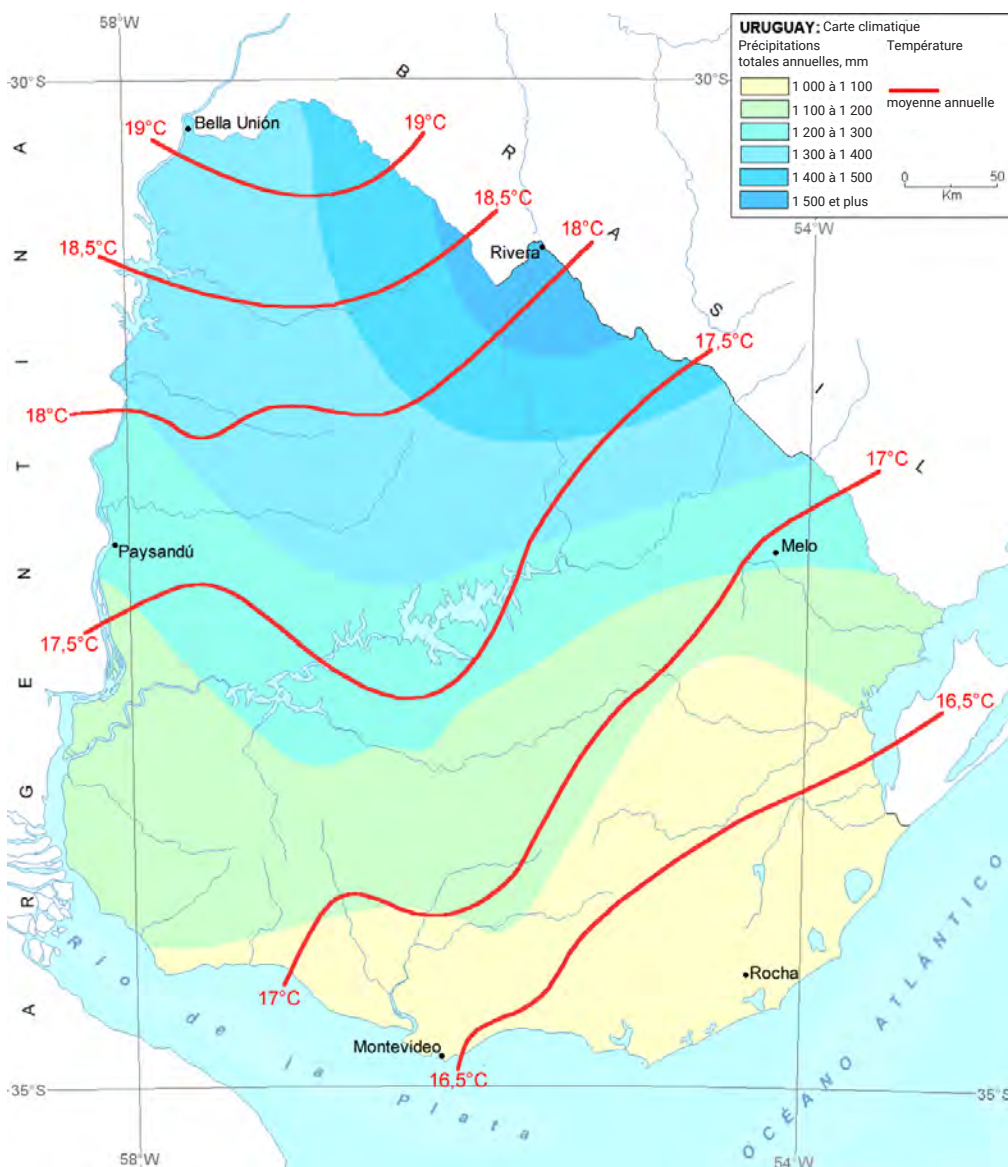


Figure 68 : Carte climatique

Démographie

La population est principalement urbaine et vit sur le littoral du pays. Les 90% de la population vivent dans les 20 plus grandes villes du pays.

La majorité des Uruguayens sont des descendants d'Européens qui ont immigré au XIX et XX siècles. Les plus grandes communautés viennent d'Espagne et d'Italie. Ils représentent les 88% de la population. Les 8 % restants sont des métis. Les peuples originels (les indigènes Guaranis et Charruas) ont tous été décimés dès les années 1830 par les Européens.

L'Espagnole est la langue parlée dans tout le pays. Le portugais est parlé comme la deuxième langue le long de la frontière avec le Brésil. L'anglais est également enseigné à l'université. D'autres langues comme la française ou l'italien sont parlés par des communautés d'immigrés.

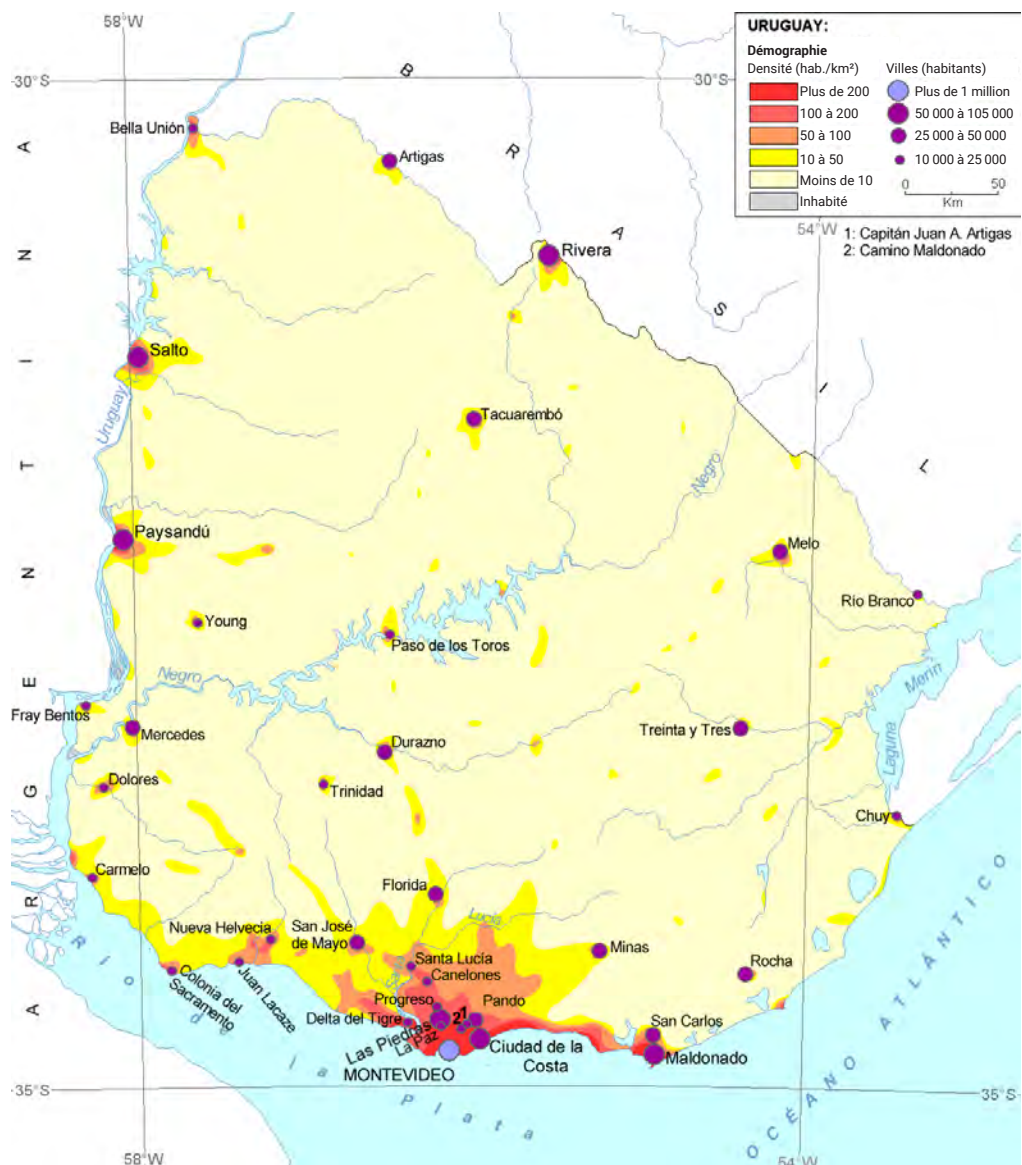


Figure 69 : Carte de la démographie

Économie

L'économie du pays est très marquée par l'agriculture et principalement l'élevage bovin. Suivi par l'industrie agroalimentaire qui transforme les produits pour les exporter au Brésil, en Chine et en Argentine.

Le secteur du tourisme se développe aussi le long de ses plages de sable pour les touristes Argentins et Brésiliens.

En 2017, le taux de chômage était à 7.9 %. En 2009 un 10% de la population vis avec un revenu inférieur à 1.90\$.²⁹

29 Banque mondiale, consulté le 23.01.2019, <https://donnees.banquemondiale.org>

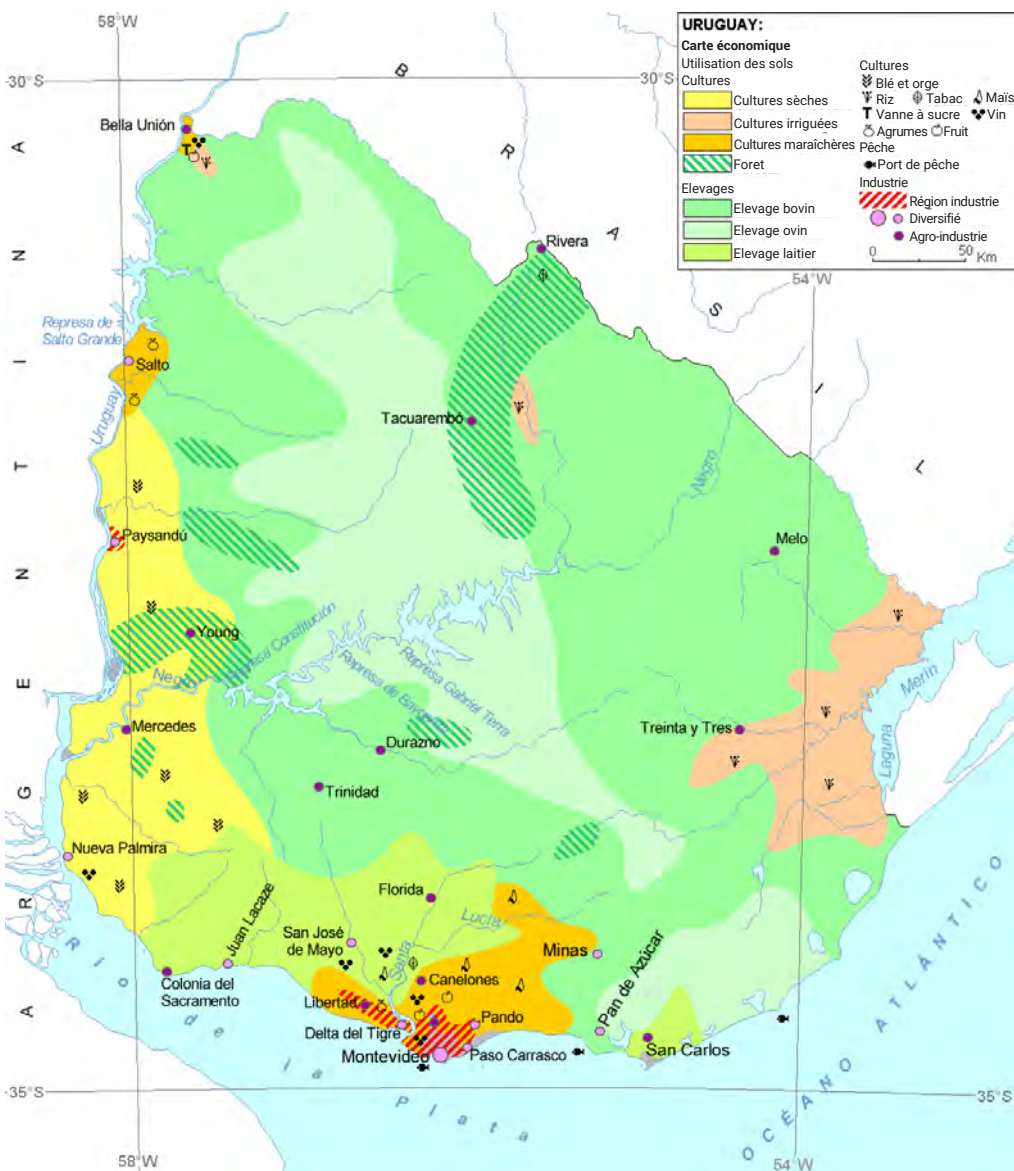


Figure 70 : Carte économique

Construction en terre en Uruguay³⁰

Localisation

Programme

Mode de construction

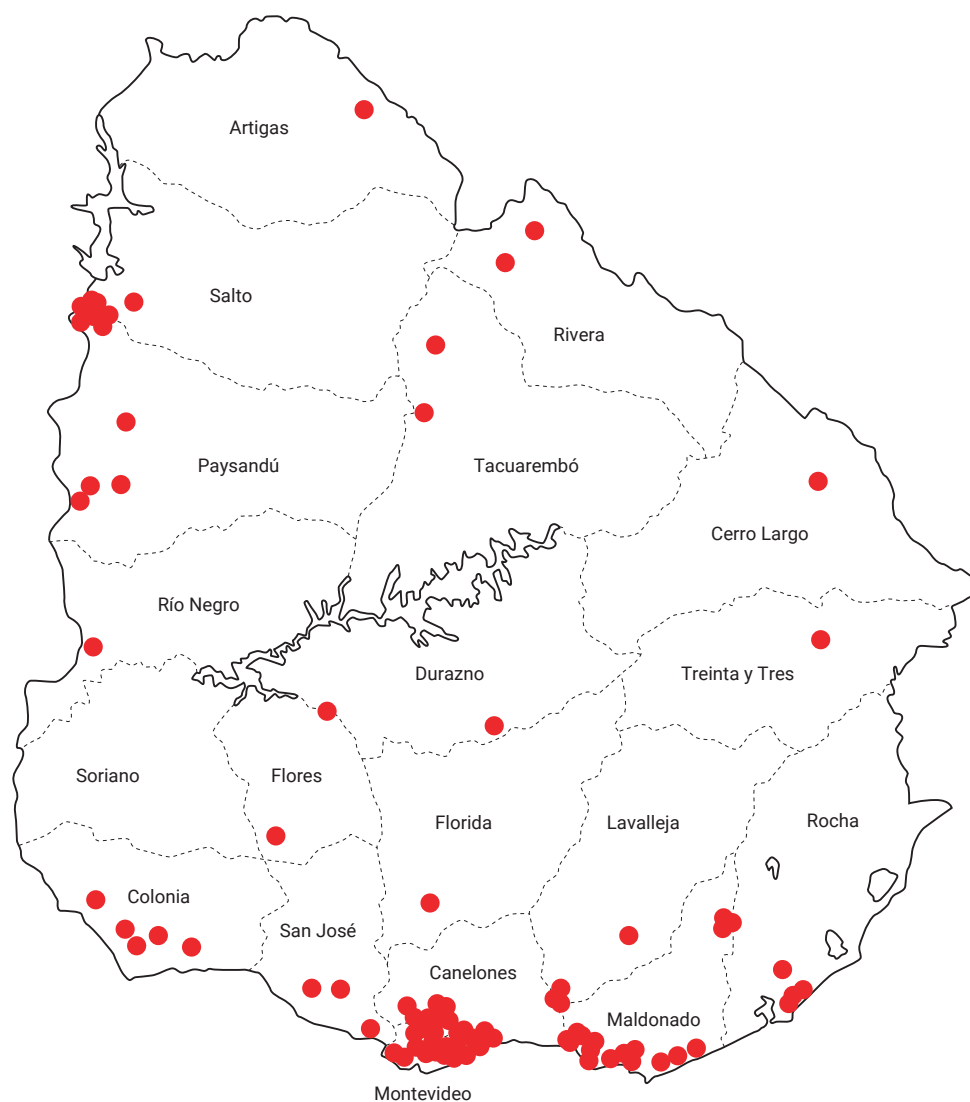


Figure 71 : Carte des construction en terre en uruguay

30 Alejandro Ferreiro, *Arquitectura con tierra en Uruguay*, page 4

Les techniques de construction en terre en Uruguay

On retrouve une grande diversité de technique utiliser en Uruguay pour la construction en terre. Les techniques les plus traditionnels sont :

- Le terrón
- L' adobe
- Le torchis

Dès les années 1980, de nouvelles techniques sont importées et expérimentées

- Les blocs de terre comprimée
- Le pisé
- Le Cob
- Les toitures végétalisées
- Le super adobe (sac rempli de terre)
- La terre allégée

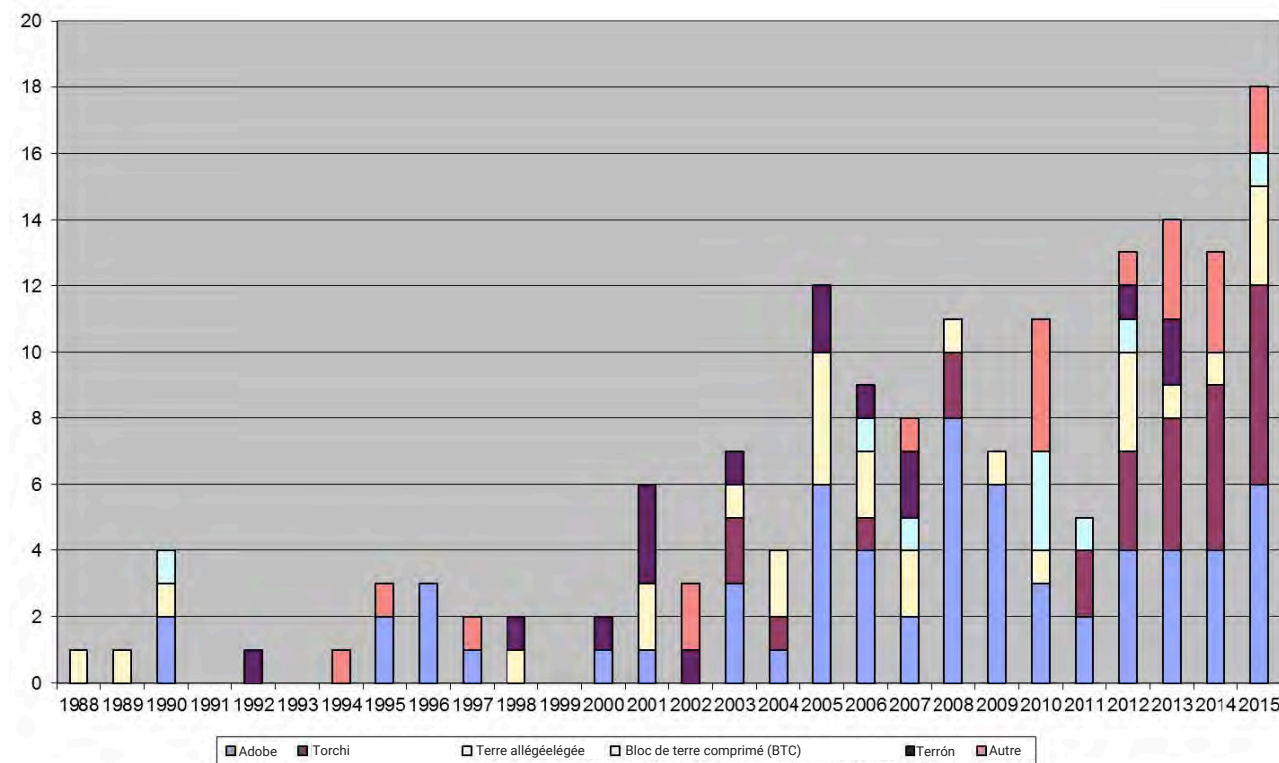


Figure 72 : Construction en terre en Uruguay entre 1988 et 2015 avec les technique.

Histoire de la construction en terre dans le pays

Les indigènes



Figure 73 : Hutte Charruas

Les premières constructions qu'on trouvées en Uruguay sont les tentes construites par les indigène charruas et Guaranis. Leur construction était des abris constituées d'une structure de quatre bâtons plantés dans le sol, sur lesquels ils posaient des barres transversales horizontales. Sur cette structure de branche, les Indiens nouaient des nattes de roseaux pour se protéger du vent. Par temps froid et pluvieux, ils en ajoutaient d'autres couches de natte pour isoler la tente.

À partir du XVIII^e siècle, avec la contribution du bétail et des chevaux importés par les colons européens, apparaissent des « *tolderías* », la structure de la tente reste la même, mais une partie des nattes de roseaux sont remplacés par des peaux. Avec des branches arquées et recouvertes de cuirs de bonne taille, ils construisirent des toits de stores en forme de voûtes allongées ou arrondies.³¹

L'époque coloniale³²



Figure 74 : Reconstitution d'un rancho en cuire du XVIII^e siècle

Il n'y a pas eu de grandes ruées dans la région de la banda oriental. Les maisons des premiers colons étaient relativement rudimentaires et ressemblaient aux tentes construites par les Indiens. Elles sont complétées par quelque brique, tuile ou enduit en terre ou chaux importées d'Europe. Les riches propriétaires pouvaient construire leur maison en pierre ou en brique terre cuite.

Durant ces premières années de colonisation, les ressources exploitées sont le sable, des pierres calcaires ou granitiques qui seront exportées à Buenos Aires. Malgré l'abondance de pierre présentée, elle est utilisée presque exclusivement pour des constructions militaires.

Début 1600, deux fabricants de tuiles arrivent à Buenos Aires. Ils vont avoir un impact sur les le mode de construction dans la région.

Entre 1724 et 1730, des tuiles de Buenos Aires sont importées à Montevideo pour la construction de la ville. Les toitures en tuile étaient réservées au riche propriétaire, car leur importation coûtait cher. Avec ces tuiles le mode de construction va aussi évoluer. Les maisons sont construites avec des murs maçonnés porteurs. La toiture est construite de chevrons relient entre eu par un contre lattage qui supporte une couche de briques. Sur ces briques collées entre elles par un mortier, une couche de tuile y est collée. Le bois pour la structure des maisons (palmier et canelo) est importé d'Argentine et Paraguay.

³¹ Matías Marchesoni y Sophia Evans, *La construcción en Madera en Uruguay*, page 2

³² *Ibid*, page 4

Un témoignage du père Cayetano Cattáneo, jésuite ayant visité le Río de la Plata en 1729, donne un aperçu de l'état des constructions montevidéennes au cours de ces premières années; Cattanus dit:

«Montevideo était composé de trois ou quatre maisons en brique d'un étage et de cinquante ou soixante cabanes en peaux de bœuf.

«Il semble hors de doute que les matériaux utilisés dans ces constructions isolées aient dû être des pierres brutes ou des adobes, tous deux collés à l'aide d'un mortier de terre, pour les murs, des troncs et des branches de saule ou d'autres essence sont apportés des collines de la rivière Santa Lucia, pour fabriquer la charpente de la toiture qui été recouvert d'une toiture en chaume. De coup sûr, sol était en terre battue.»

« Les pièces de bois des toits ont été reliées au moyen de de fines lanières de cuir (tientos), car le prix des clous était vraiment prohibitif : douze pesos à l'arroba».³³

Jusqu'au milieu du XIX siècle la construction évolue peut. Les riches propriétaires se construisent des maisons en dure (pierre, adobe, terre cuite, toiture en dure), mais les familles les plus pauvres continuent à habiter dans des maisons plus humbles en bois, terre et paille.



Figure 75: "La Tabá" Juan Manuel Blanes (1830 - 1901)

Durant La Grande Guerre (1839-1851), les échanges commerciaux se développent avec les États-Unis et l'Europe et la relation avec le Paraguay d'où est importé le bois pour la construction s'interrompt.

Dans ces échanges commerciaux, une multitude de matériaux sont importés : des poutres métalliques, des piliers en fontes, des marbres blanc et noir d'Italie et des tuiles et céramiques de France et du pin des états unis. Tous ces éléments vont venir enrichie l'architecture uruguayenne.

Dès cette deuxième partie du XIX siècles l'eucalyptus est des pins sont importés en Uruguay ou ils seront largement utilisés dans la construction. Ces deux essences d'arbres permettent de crée de grande structure en bois pour la construction de bâtiments.

Dans les campagnes où la population est principalement agricole, continue à habiter dans les maisons « précaires ». La structure de la maison est en bois qui est protégé par une toiture à deux pentes en chaume. Les murs sont construits en terre (motte d'herbes (terrones), en torchis ou adobes). Ces maisons ont une réputation d'être chaude en hiver et fraîche en été avec un taux d'humidité confortable. Mais le manque de fenêtre et de soins dans les finitions rendent ces ranchos insalubres. Il crée un environnement favorable pour un insecte (Chinchá Guazú) portant une maladie potentiellement mortelle pour l'homme³⁴. Dès le début du XXe siècle des critiques contre ce type de logement se développe, mais se n'est que dans les années 1960, un programme national est lancé pour l'éradication de ces maisons en terre. Les murs en terre crue seront remplacés par des briques terre cuite (adobe cuit) ou des briques-ciments. Malheureusement ces murs vont créer des maisons moins confortables. Plus froid et humide en hivers qui va découler à des problèmes de santé pour ces habitants.

³³ Traduction par Matias, GUIRIA, Juan. "Desde la época de cuero crudo hasta la del hormigón armado". Montevideo: UR, FA, IHA, 1976.

³⁴ Mateo Legnani, El Rancho, Montevideo, Almanaque del banco de seguros del estado, 1917, 297-315p

Construya Vd. mismo su casa con tierra y portland

POR EL INGENIERO AGRÓNOMO
JUAN ANTONIO RODRIGUEZ

Alguna vez hemos dicho que el asunto de la vivienda rural no es exclusivamente un problema particular del Uruguay; interesa a toda América. Nuestro hombre de campo lleva aún una existencia ruda y primitiva, sin conocer los beneficios del "comfort", que es una de las mejores y más positivas conquistas logradas e impuestas por la gran República Norteamericana.

A medida que ahondamos en el estudio de hombres y naciones, advertimos con mayor claridad que la verdadera fuerza creadora de la historia reside en el campo. La ciudad no es más que un símbolo gráfico de la potencialidad rural; pero ella no lograría subsistir sin la constante actividad genitora de la tierra.

Por eso una nación consciente de su destino no puede en ningún momento despreocuparse de su población agraria. Es allí donde residen sus mayores energías y esas extraordinarias e impercederas virtudes conservadoras que se renuevan de generación en generación, como el brote del árbol que reverdece a cada primavera; y es allí donde subsiste el genio creador de un pueblo que brilla en la ciudad, pero que se alimenta en la raíz oscura y anónima que nace y vive húmeda en el limo de la tierra.

En el Uruguay se han dado ya los primeros pasos en dar tierra al hombre rural, pero aún no se ha encontrado la solución práctica y económica de dotarlo de vivienda adecuada. En construcciones adaptadas al medio rural hay mucho que rectificar y mucho que hacer.

El Banco de Seguros del Estado ha estimulado a través de su Cuerpo Técnico la investigación al respecto y la Cátedra de Construcciones Rurales de la Facultad de Agronomía, prosiguiendo su misión rectora y abolicionante para todo lo que es privativo de la campaña, espera llevar a la práctica la construcción de una Vivienda Experimental Rural, cuyo costo unitario por concepto de materiales no sobrepasará los \$ 35,00 el metro cuadrado.

Esta vivienda ha sido estudiada para que pueda ser construida personalmente en todas sus partes por el propio dueño, quien en ese sentido tendrá que cumplir una acción preponderante. Es por ello que el interesado deberá aprovechar los momentos libres o los que no utilice en otras tareas y en esa forma, con la debida atención podrá ir apropiando y preparando todos los elementos que le permitirán organizarse a fin de que una vez iniciada la casa sobre el terreno, pueda ser terminada en pocos días.

El sistema constructivo que recomendamos ha sido experimentado con éxito en algunas viviendas realizadas en el Uruguay, Argentina, Brasil, Estados Unidos, África del Sur. Distintos factores, algunos de ellos no ajenos a los intereses creados, han obstaculizado la difusión de un noble método que, de conocerse mejor y generalizarse, propenderá al mejoramiento social del hombre de trabajo de modestos recursos.

2

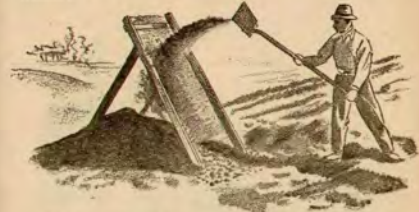
— 33 —

La mezcla debe colocarse en los moldes con la humedad óptima. Si se seca rápidamente como consecuencia de las condiciones atmosféricas reinantes, convendrá prepararlo con un pequeño exceso de humedad.

El apisonado debe hacerse por capas de no más de 10 cm. de material suelto. Para muros de 20 cm. de espesor se han usado con éxito pisones de 6 kg. de 9 x 9 cm.

Fundaciones. — Las fundaciones se pueden ejecutar con suelo-cemento sirviendo las paredes de la excavación de encofrado; para nuestro proyecto hemos preferido hacerlo de hormigón armado.

La fundación sobre una viga-patín de hormigón armado a nivel del suelo es de gran seguridad y eficiencia, y en consecuencia es una solución económica.



La pulverización de la tierra para la mezcla se efectúa fácilmente en la forma que se aprecia en el grabado.

Espesores de muros. — Cuando no existen requerimientos de mayor aislación térmica, las paredes exteriores pueden construirse de 20 cm. de espesor. También es posible construir los muros con cámara de aire.

Colocación de puertas y ventanas. — Los marcos de las puertas y ventanas pueden colocarse antes o después de levantar las paredes; aún embargo es conveniente ajustarlos en el momento de ir aparejando los bloques.

Los marcos se amarran o clavan al suelo-cemento con facilidad. Es necesario proveerlos de cubrejuntas o balatas para evitar la posible entrada de humedad por la zona de contacto.

Apoyo de dinteles. — Debe darse a los dinteles un apoyo de 30 a 40 cm. para repartir las cargas sobre los bloques de suelo-cemento.

Apoyo de techos. — La presencia de las juntas verticales dejadas por los bloques de suelo-cemento, imponen la construcción de una viga de encañamiento en toda la zona de apoyos de los techos. Esta viga, del espe-

LOS CORREDORES DE SEGUROS LE AHORRAN TIEMPO Y LE LLEVAN INFORMACIÓN A DOMICILIO: ATIENDALOS Y SE BENEFICIARA.

— 43 —

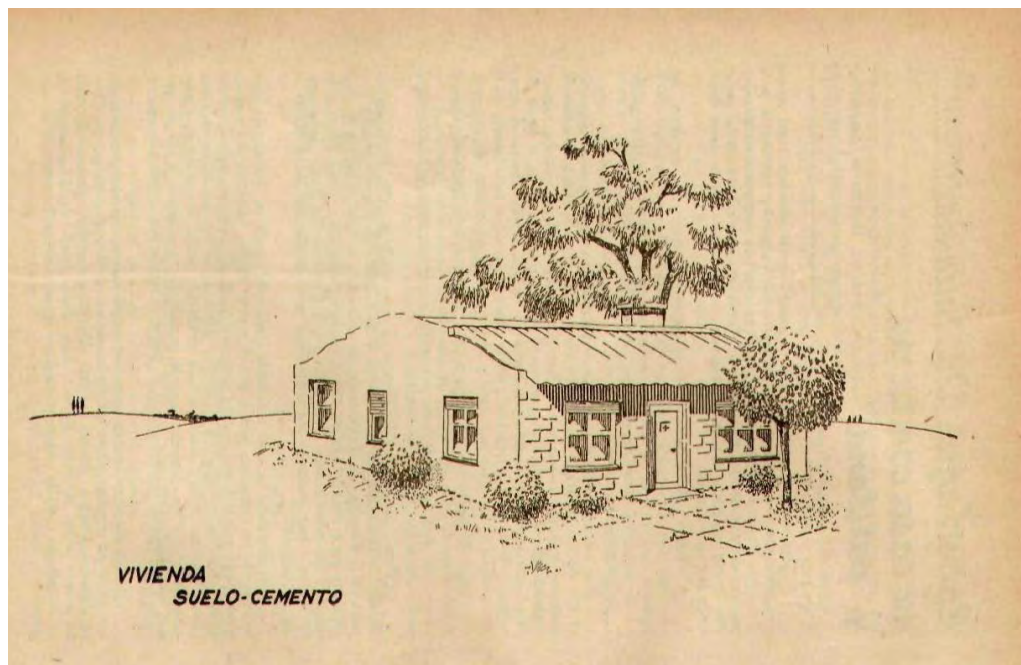


Figure 76 : Vu de la maison familiale rural de 1950,

En 1949, la faculté d'architecture publie un premier travail de recherche sur des briques en terre crue stabilisée au ciment (fig 71 et 72). Un deuxième travail de recherche est publié en même temps sur les constructions de rancho en motte d'herbe. L'étude portait aussi sur les matériaux naturels du site utilisé pour la construction. Malheureusement, on n'a pas retrouvé de trace de cette construction.

En 1959 une autre recherche est faite pour construire de logement d'urgence en bloque de terre-ciment armé avec des cannes de bambou pour reconstruire des logements détruits par une crue qui a ravagé le pays. Jusqu'à la fin de la dictature les travaux de recherche les matériaux alternatifs sont très limités.

A la fin des années 1960, des coopératives d'habitation font leur apparition. Ce mode d'accès au logement se développe après l'ouverture du marché uruguayen au marché mondial. Une fois un groupe de famille formée, un système de prêts par l'état permet l'achat du terrain et les matériaux de construction, mais la mise en oeuvre revient au futur habitant de la coopérative qui doivent fournir 20 heures de travail hebdomadaire par famille. Ils sont accompagnés par des professionnels de la construction³⁵.

Dès 1985 un renouveau dans la construction en terre est lancé par des particuliers accompagnés par des architectes. L'image du rancho en terrons est reprise, mais améliorée avec la construction d'un socle, de plus grand avant-toit et de plus grande fenêtre pour avoir une bonne qualité de vie dans le logement.

Des modes d'habitat plus expérimental sont importés par des habitants qui rentrent d'exil. Plusieurs projets d'habitat communautaire avec des salons communs en terre sont développés dans le pays. Même une coopérative d'habitation en adobe est inaugurée en 2002.



Figure 78: Salon communautaire de la cooperative Vaimáca construit en torchi, 2005.

Des cours sont aussi donnés à la faculté d'architecture dès 1997 pour la promotion de construction en terre crue. La terre est utilisée dans la construction de logement en auto construction, soit de manière individuelle ou sous dans des communautés.

Plusieurs travaux de recherche pour la promotion de la construction en terre sont lancés, comme en 2002 avec le Projet Horner avec la faculté d'agronomie pour la construction d'un centre dans la campagne avec des matériaux naturels. En 2014 un autre projet pour sauvegarder et documenter la construction en terrons est organisé par la faculté d'architecture.³⁶

Aujourd'hui de plus en plus de bâtiments sont construits en terre en Uruguay, mais elle n'a pas encore une image de matériel noble pour la construction. Mais c'est intéressant de parler avec des Uruguayens de ce matériau. Tout le monde a une histoire à raconter sur ce matériau ; une maison de vacances, un ami qui a construit sa maison en terre... le terme utilisé est généralement pour désigner les maisons en terre « construction de barro » qui traduit littéralement veut dire : « construction en boue » en espagnol.

35 Christpohe Koessler, URUGUAY: La coopérative d'habitation change le monde <https://hebdolatino.ch/francais/30-actualites/suisse/2826-uruguay-la-cooperative-d-habitation-change-le-monde.html>, consulté le 22.01.2019

36 Discussion avec Alejandro Ferreira, octobre 2018

Eliadio Dieste



Figure 79 : Eliadio dieste



Figure 80 : Vivienda Berlingieri Arch., Bonet, Ing. Eladio Dieste 1974, Punta Ballena UY

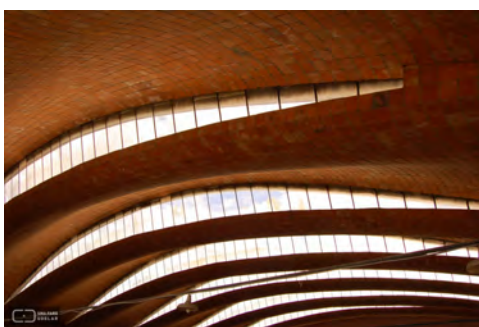


Figure 81 : Dépôt Julio Herrera y Obes, Dieste y Montañez S.A. 1978, Montevideo UY



Figure 82 : Terminal de bus, Arq. Néstor J. Minutti, Ing. Eladio Dieste 1973, Salto UY

Ingénieur et architecte uruguayen, né le 10 décembre 1917 à Artigas (nord de l'Uruguay) et décédé le 29 juillet 2000 à Montevideo.

Ingénieur et architecte et Uruguayen, il fait ces études à la faculté de génie civil de Montevideo entre 1936 et 1943. Il travaille quelques années comme ingénieur dans le bureau Christiane & Nielsen. Il travaille aussi à l'état dans le département des ponts et chaussées d'Uruguay. En 1954, crée l'entreprise «Dieste y Montañez SA» avec Eugenio Montañez.

Eliadio Dieste était fasciné par les constructions en brique faites par les Romains en particulier les voûtes et dômes. Tout le long de sa carrière, Eliadio Dieste a développé les structures à base de brique terre cuite ou il va innover dans le domaine de coque en céramique armée. Il a développé de nouvelles techniques de construction avec un matériel bon marché qui est facile à trouver qui est la brique terre cuite. Qu'il va armer où c'est nécessaire pour faire voler les voûtes. Les briques qu'utilisait Eliadio Dieste sont des adobes cuits. Grâce à l'utilisation des briques, il utilise un matériel local, simple à mettre en œuvre et bon marché. Il le préfère au béton. Ces briques pour les voûtes sont mises en œuvre sur un coffrage en bois qu'il peut réutiliser pour construire la prochaine trame de son bâtiment. Avec cette technique de construction, il a créé des voûtes d'une portée de 45 mètres pour une hauteur de flèche de 4 mètres pour une épaisseur d'environ 20 centimètres. Les briques terre cuite creuse ont un format de 25x25x15 et sont recouvertes d'un mortier de 3 centimètres. Elles sont armées dans les joints de brique.³⁷

³⁷ Factulté d'architecture de l'université Uruguay, consulté le 23.01.2019, <http://www.fadu.edu.uy/eladio-dieste/obras/citricola-saltena/>

La construction de ces voûtes est faite à l'aide d'un coffrage. Ce qui apporte plusieurs avantages. L'utilisation d'un élément léger et bon marché pour la construction d'une voûte est précise également. Le travail peut même être fait par une main d'oeuvre peu qualifiée.

Il a construit de nombreux bâtiments de différent type dans toute l'Amérique latine. De grandes halles de stockage, des châteaux d'eau, des tours de télécommunication, des salles de gymnastique, des écoles, des logements et des églises. Dans toutes ces constructions, Eliodio Dieste a prouvé sa grande sensibilité pour la structure, les espaces, le choix des briques et la lumière dans ses créations.

Une de ses oeuvres les plus connues est l'église de Cristo Obrero y Nuestra Señora de Lourdes classé au patrimoine mondial de l'UNESCO. Je présente cet objet dans le chapitre des références.



Figure 83: Tour de télécommunications, Dieste y Montañez S.A., 1986, Maldonado UY



Figure 84: Voûte en construction



Figure 85 : Essais de charge, Porto Alegre

Typologie des bâtiments en terre

Caractéristiques formelles et constructives d'une maison rurale en terre du XIXème siècle



*Avant toit petit
Manque de protection contre la pluie*

*Ouvertures minimales
Faible ventilation et illumination naturelle*

*Terminaison intérieure
manque de revêtement de sol, plafond et peinture*

*Manque de fondation
manque de protection contre l'humidité du terrain*

Figure 86 Rancho en Torchi, Pueblo Zeballos, Paysandú

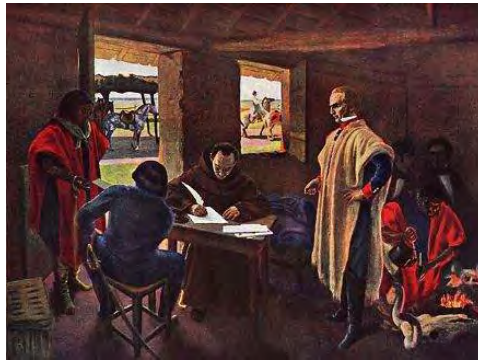


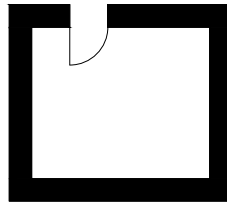
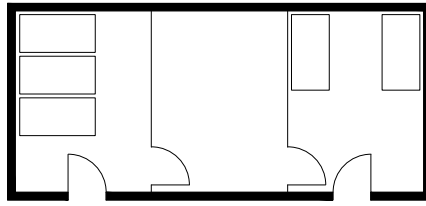
Figure 87 : Instrucciones del año XIII" Diógenes Hequet (1866-1902)

Ci-dessus une photo avec les quelques caractéristiques que l'on trouve dans les ranchos. À droite, un plan d'un rancho dessiné à l'aide des images de la plage et de la description faite par Mateo Legnani qui décrit ces maisons comme des logements sombres et construits très simplement avec les matériaux locaux. La toilette était dans la nature. Les pièces de la maison étaient, un dortoir pour les parents et les enfants, une chambre pour les filles et au centre une cuisine. Cette cuisine se transforme la nuit en chambre d'ami ou comme dortoir pour les adolescents garçons.³⁸

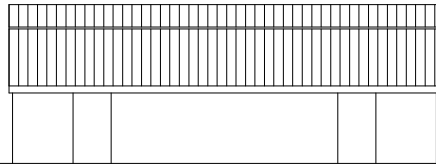
³⁸ Mateo Legnani, *El Rancho*, 1917



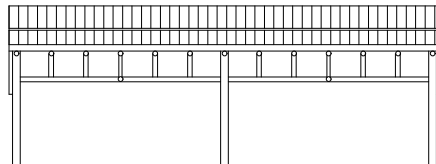
Figure 88 : Rancho en terre du XIXe siècle



Plan



Façade



Coupe



Coupe

Caractéristiques formelles et constructives d'une maison contemporaine en terre uruguayenne

C. Anderson, 2007, Terròn, Maldonado



*Avant toit généreux
Protection contre la pluie*

*ouverture appropriée
Lumière naturelle et ventilation intérieure selon les
normes municipales*

*Fondation et socle
Protection contre l'humidité du terrain et des
éclaboussures de la pluie*

Figure 89 : vue extérieur



*Plafond
Planches de bois raboté*

*Crépis intérieurs
crépis de chaux ou de terre colorée*

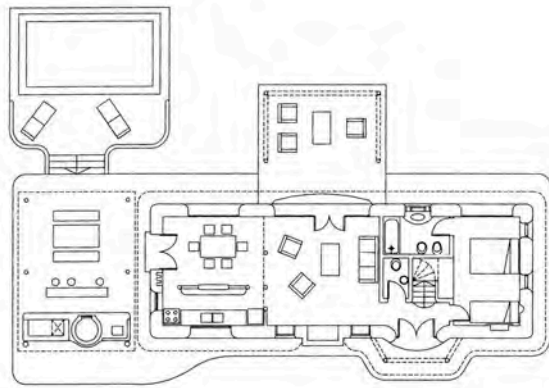
*Socle intérieur
Protection contre les coups et frottement*

*Revetment de sol
Ciment lustré*

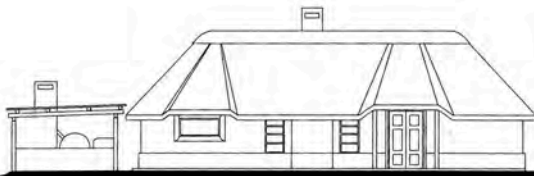
Figure 90 : vue intérieur



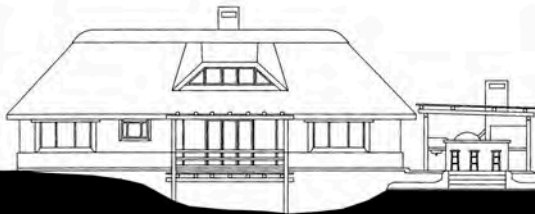
Figure 91 : photo



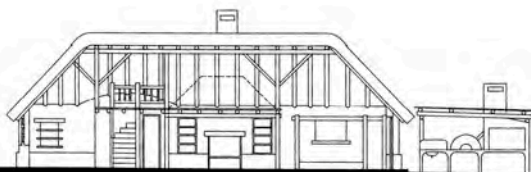
planta



fachada sur



fachada norte



corte longitudinal

Figure 92 : plans

Caractéristiques formelles et constructives d'une maison contemporaine en terre uruguayenne

J Márquez, 2006, terre allégée, Rocha



*Manque d'avant toit
Protection contre l'eau de pluie par le revêtement
de la façade en bois*

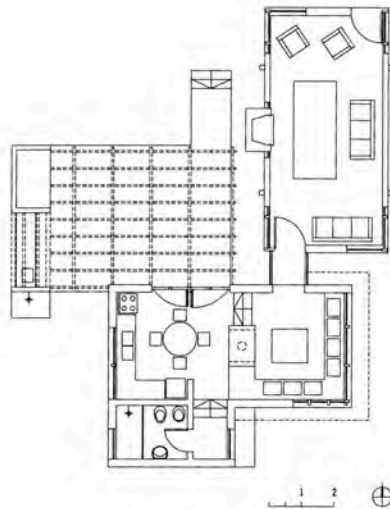
*ouverture appropriée
Lumière naturelle et ventilation intérieure selon les
normes municipales*

*Fondation en hauteur
Protection contre l'humidité du terrain et des
éclaboussures de la pluie*

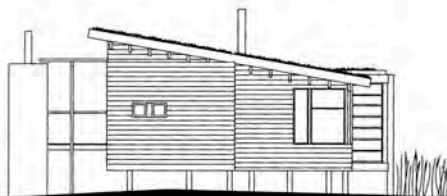
Figure 93 : vue extérieur



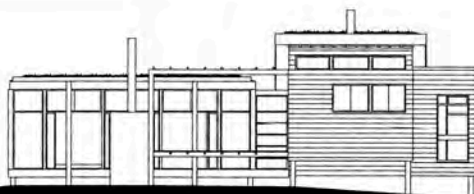
Figure 94 : photos



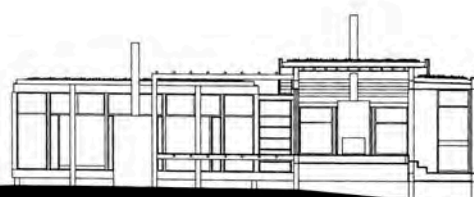
planta



fachada sur



fachada oeste



corte longitudinal

Figure 95 : plans

Caractéristiques formelles et constructives d'une maison contemporaine en terre uruguayenne

R. Etchebarne A. Ferreiro, H. Gallerdo, 2009, adobe, Maldonado



Toiture en tôle

Pente moyenne de 15°, isolation thermique avec de la terre allégée

Avant-toit minimum

Fonctions spatiales et formelles

Enduit extérieur

Crépis à base de chaux ou ciment en zone exposée à la pluie

Figure 96 : vue extérieur



Plafond

Bois raboté

Revêtement intérieur

Crépis de chaux

Revêtement intérieur

Adobe apparent

Socle intérieur

Protection contre les coups et frottement

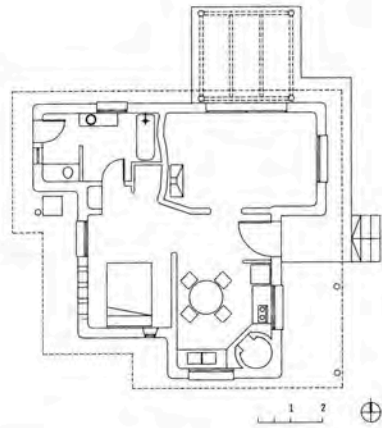
Revêtement de sol

Planches de bois

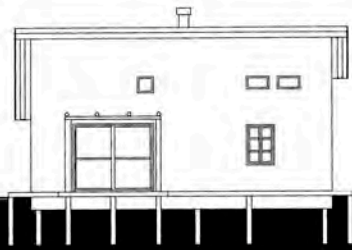
Figure 97 : vue intérieur



Figure 98 : photo



planta



fachada norte



fachada este



corte transversal

Figure 99 : plans

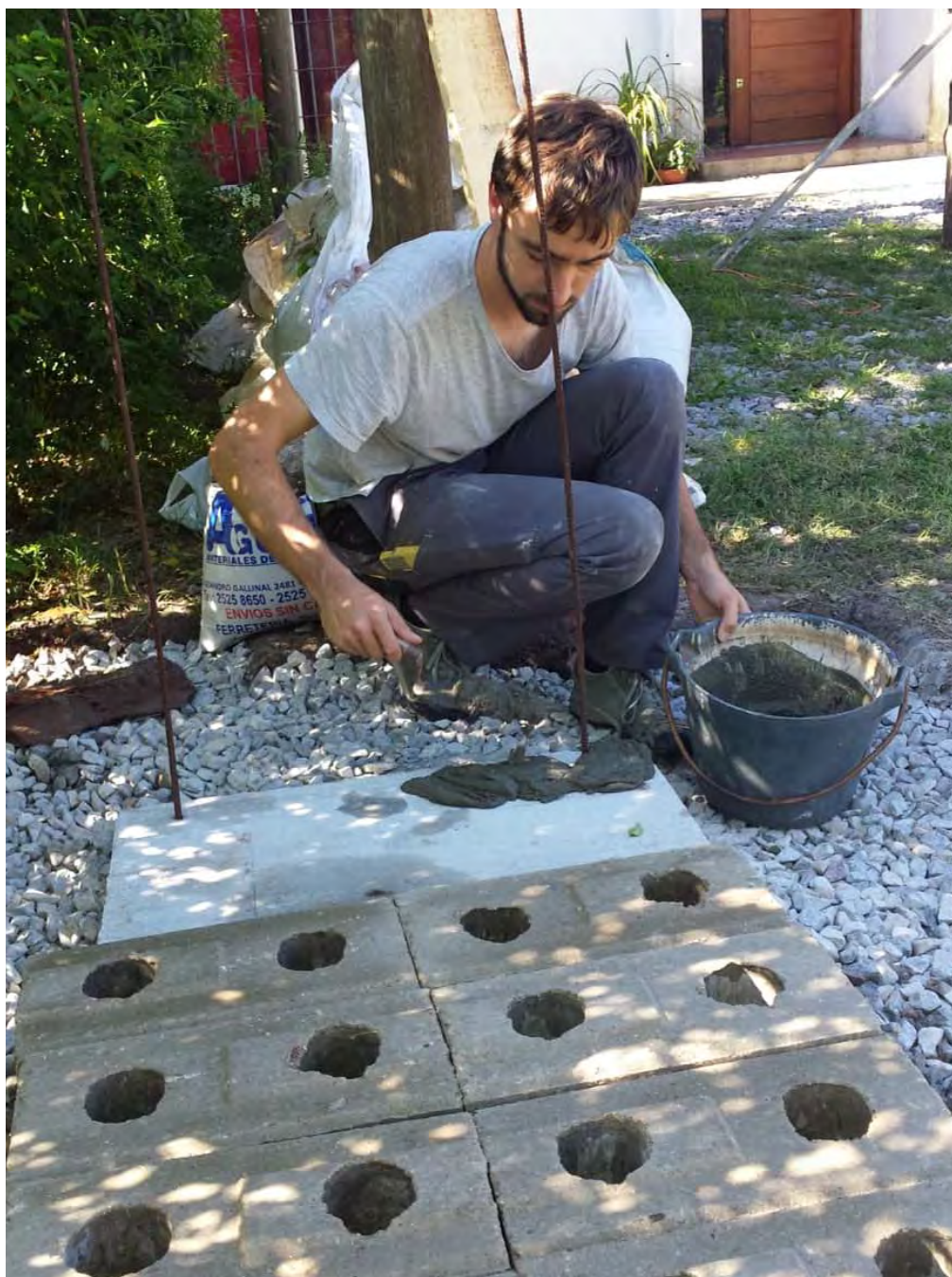


Figure 100 : Au travail!

Construction d'un parrillero³⁹ en brique terre crue

Durant un séjour entre septembre et octobre 2018 en Uruguay, mon oncle m'a présenté une machine à produire des briques en terre comprimée (BTC) qui dans l'ONG où il travaille. Cette machine est prêtée par un missionnaire américain qui a voulu construire une coopérative d'habitation en 2015, mais le projet n'a jamais vu le jour.

La machine produit une brique à emboîtement (V-Lock Block en anglais) de dimension de 18x36x10 cm avec deux trous au centre qui ont un diamètre de ~9 cm la brique sèche pèse environ 10 kg. Ces trous permettent de faire un chaînage du mur ou de faire passer la technique.



Figure 101 : BP714 Earth Blox machine,

Production des briques

Pour commencer, il faut définir le type de terre qu'il y a besoin pour produire les briques en terre comprimée. Sur le site internet du fournisseur de la machine, il y a les recommandations avec les quantités d'argile, limon et sable pour la brique.

Mélange idéal :

- Sable 80%
- limon 10%
- Argile 10%

Bon mix :

- Sable 65-80%
- limon 0-20%
- Argile 10-20%

Sol possible

- Sable 60-80%
- limon 0-25%
- Argile 10-25%

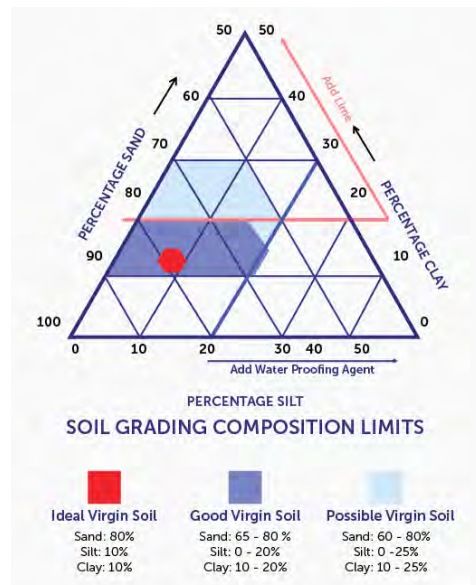


Figure 102 : Triangle texture sols pour BTC

La terre ne doit pas contenir de matière organique.

Par la suite, on peut rajouter un 6 à 10% de ciment pour stabiliser la terre. Stabiliser la terre constitue à la modifier pour la transformer en un sol apte pour la construction. Ça peut se faire par le rajout de sable, argile, sable, chaux ou ciment.

³⁹ Le parrillero, nom espagnol, est un grill typique de l'Amérique du Sud pour la cuisine à la braise.

Analyse de la terre

La terre pour produire les briques provient d'une gravière qui se situe dans la périphérie de Montevideo. Cette gravière offre la terre de décapage qui ne leur est pas utile, car elle contient trop d'argile. La terre est prélevée entre -0.3 et -1 mètre sous le niveau du terrain naturel.



Figure 103 : Transport de la terre

Comment analyser la terre sans accès à un laboratoire? Après plusieurs lectures une série de tests de terrain, on peut avoir une idée de la composition du sol.

J'ai fait une fiche de synthèse pour l'analyse de la terre (voir fiche à droite).

Le document se remplit en faisant des croix dans les cases qui correspondent aux observations.

Après ces premiers tests de terrain, j'ai encore fait un test avec des disques de terre pour contrôler le retrait et la fissuration de la terre. La fissure se forme avec le retrait des argiles qui se rétracte en séchant.

Après cette première série de terre de terrain, je suis arrivé au résultat suivant :

- Sable 64%
- limon 14%
- Argile 22%

Ce premier résultat montre qu'il est possible de l'utiliser pour la production de brique, mais il faudra la stabiliser pour produire de bonnes briques.



Figure 104 : Test de sédimentation avec trois terres différentes

Fiche d'analyse sensible de terre pour la construction

Lieu: _____

Date: _____

Nom de l'échantillon de terre: _____

Personne qui a fait l'analyse: _____


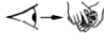

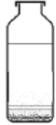
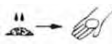


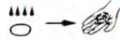
Teste de terrain					
	Teste matière organique Sentir la terre la terre humide, un sol sec n'aura pas d'odeur.	Odeur de pourri, moisissure, forêt = humus -> mauvais pour la construction		Odeur agréable, acceptable = sans humus -> bon pour la construction	
		sol graveleux	sol sableux	sol limoneux	
	Test pour la texture (terre sèche) : Regarder et toucher la terre pour voir les différents grains qui la compose. L'œil humain peut voir jusqu'à 0.08 mm. Donc on ne voit pas les grains de limons ou d'argile.	Gros grain, dur et rigide.	Grain moyen à petit, sol rugueux	fin poudre, le sol est doux et les mottes sont faciles à casser.	
	Teste de compressibilité (terre humidifiée) : Prendre un peu de terre, l'humidifier et former une boule compacte. La boule est compacte quand le volume de la boule ne change plus entre les mains. Évaluer la force nécessaire pour former la boule. Le nombre de compression va définir le type de sol.	va demander beaucoup de force. La boule est compressée après une à deux compressions. La boule n'est pas unie (coésive)	va demander de la force. La boule est compressée après deux à trois compressions. La boule n'est pas très coésive	va demander un petit peu de force, la boule est comprimée après quelques compressions. La boule sera coésive selon la taille des limons	
	Teste de sédimentation Remplir avec de la terre au 1/3 un bocal qui a le fond plat. Faire une maquette au niveau de la terre. Compléter le bocal avec de l'eau et secouer vigoureusement pour dissoudre tout la terre. Laisser reposer durant 10-30 minutes puis secouer de nouveau. Laisser reposer durant 24h puis interpréter les résultats. Avec une règle de trois, vous pouvez calculer le pourcentage des différentes strates.	Les particules très grossières tombent très vite et l'épaisseur de cette couche est grande: Plus de 20% de la hauteur de l'échantillon sec initial versé dans la bouteille	Les particules grossières tombent rapidement et les différentes tailles de grains qui se détachent vont différencier les particules grossières, sable au sable fin. La couche représente plus de 50% de la hauteur de l'échantillon sec initial	Les particules tombent lentement et le mélange de sol dans la bouteille est trouble pendant un certain temps. La plus grande couche apparaît comme une boue mais il est difficile de distinguer une taille de grain.	
	Hauteur total: _____	_____	_____	_____	
Teste de plasticité					
	Teste 1 Rajouter de l'eau à la terre pour former une boule. Plus il faut mettre de l'eau plus la terre sera argileuse. La boule ne devra pas se casser avec la pression d'un doigt.	La boule est très difficile à façonner. Il n'y a pas de cohésion même avec beaucoup d'eau. Presser le ballon avec les doigts le casse et remodèle il n'est pas facile	La boule est difficile à façonner. Il a peu de cohésion. La boule se casse assez facilement quand pressé avec les doigts mais il peut être remodelé	La boule est assez facile à façonner. Il a une certaine cohésion et sa cohésion dépend sur la taille des limons (le limon grossier ne sera pas trop cohésif quand le limon sera fin). Presser le ballon avec les doigts peut le casser mais il peut être remodelé	
	Teste 2 Tirez la boule en plastique comme un élastique en caoutchouc. Essayez de tirer à la main la boule cohésive comme un élastique en caoutchouc jusqu'à ce qu'elle se casse. Évaluez à quel point il est facile de le séparer.	La boule se déchire très facilement après une courte période. Le sol n'est pas du tout en plastique.	La boule se brise facilement: le sol est un peu plastique seulement	La boule se brise après une certaine longueur: le sol est en plastique	La boule se brise après une longue traction: le sol est très plastique
	Teste 3 Plantez un couteau dans la boule cohésive, retirez-le et examinez comment le sol colle au couteau.	Le couteau pénètre facilement, brise la boule et reste très propre après l'avoir retiré.	Le couteau pénètre facilement dans la boule et reste presque propre après l'avoir retiré	Le couteau pénètre plus difficilement dans la boule et est très sale après l'avoir retiré.	Le couteau pénètre difficilement dans la boule et est un peu sale après l'avoir sorti
	Teste 4 Couper la boule en deux avec le couteau et examiner la coupe.	La boule peut se briser et les coupures ont un aspect très rugueux.	La boule est facile à couper et les coupures ont un aspect rugueux.	La boule est légèrement difficile à couper et les coupures ont un aspect lisse mais pas brillant.	
	Teste 5 Faire une boule avec la terre et remplir de l'eau. Faites une boule avec le pouce sur la terre. Remplissez-la d'eau et évaluez la vitesse de absorption. Ce test d'absorption permet également de déterminer la cohésion et la qualité des argiles certains liants ne sont pas très actifs et vont gonfler un peu, mais les argiles très actifs vont gonfler beaucoup et leur réaction peut faire fendre et briser la boule de terre.	L'eau pénètre très vite	L'eau pénètre rapidement	L'eau pénètre lentement	
	Lavage de mains Lavez vous les mains lentement avec de l'eau. Ajoutez beaucoup plus d'eau à la boule et dissolvez-la lentement dans la main. Il est important d'ajouter de l'eau lentement pendant que nous essayons de déterminer la cohésion du sol. Une fois la cohésion perdue, on ajoute plus d'eau pour laver la terre et permettre aux particules de limon et d'argile à partir de la main. Il est important de veiller à ce qu'aucun sable fin ne s'échappe de la main: ajoutez de l'eau lentement et inclinez légèrement le support pour ne laisser s'écouler que le limon et l'argile. Enfin, lavez complètement les grosses particules et examinez la quantité restante. Cet essai donne des informations sur la granulométrie du sol et permet également de différencier les limons et les sables fins.	La cohésion est très facilement perdue et le sol est très facile à laver. Il n'y a pas beaucoup de particules fines et le sol ne colle pas à la main.	La cohésion est perdue facilement et le sol est facile à laver. Il existe beaucoup de tailles de grain moyennes et fines. Le sol colle un peu à la main.	La cohésion est perdue facilement mais le sol est difficile à laver. La dissolution de la boule nécessite beaucoup d'eau et sa dissolution prend beaucoup de temps. Le sol colle beaucoup à la main.	

Tableau fait par Matias Cesari, sur la base du livre : PRODUCTOIN AND USE OF COMPRESSED STABILISED EARTH BLOCK, Code of Practice, Satprem Maini, Auroville Earth Institute, 2015, Auroville

Stabilisation de la terre

Le prochain test fait pour voir combien de sable il faut rajouter à la terre pour qu'elle ne fissure pas au séchage. La terre à l'état plastique est mise dans un moule rond en plastique pour former un disque d'un diamètre de 10 cm et une hauteur de 2 cm la terre est séchée au soleil durant deux jours ou une semaine à l'ombre. Une fois le cylindre de terre sèche, on peut observer le retrait de la terre et l'apparition de fissures.

J'ai pu observer la présence de fissures sur les disques, du coup j'ai répété l'expérience en rajouter un pourcentage de sable pour créer une meilleure structure et éviter la fissuration de la terre. Pour cette terre, j'ai fait avec trois pourcentages différentes 10%,15% et 20% .



Figure 105 : Test pourcentage de sable avec terre.

En observant les différents tests, le mélange avec 20% de sable en plus, la terre ne présente plus de fissuration.

Par la suite, j'ai encore rajouté un 8% de ciment pour augmenter la résistance à l'eau et se rassurer pour la durabilité de la brique. Le choix de 8% vient de la littérature que j'ai lu qui conseil entre un 6% et 10% de ciment.



Figure 106 : BTC avec la terre non stabilisée et séchée au soleil et vent.

Production des briques.

Pour la production des briques en terre, il y a plusieurs étapes. La première étape est de tamiser la terre pour enlever les pierres présentes dans la terre. Le problème rencontré à cette étape a été l'humidité de la terre trop haut. Il a fallu laisser sécher la terre avant de la tamiser. Cette étape a été faite à la main, mais le tamisage peut être mécanisé.

La prochaine étape est le mélange de la terre tamisée avec le sable et le ciment. Avec la terre à disposition, nous avons rajouté un 20% de sable et un 8% de ciment. Pour faciliter le mélange, j'ai calculé les volumes de bidon nécessaire pour par mélange⁴⁰. La recette est la suivante :

- 5.5 volume de terre
- 1 volume de sable
- 0.5 volume de ciment

Une fois la terre, le sable et le ciment mélangés à sec, il faut humidifier la terre pour avoir un 10% d'humidité. La difficulté à cette étape a été d'avoir la bonne quantité d'eau. Ce qui influence la hauteur de la brique produite, une terre légèrement plus sèche, la brique va moins se comprimer au contraire si la terre est trop humide, la terre va plus se comprimer. Si la terre est trop mouillée, elle va se coller dans la machine et il sera impossible de presser les briques.

Une fois la brique moulée elle est stockée sous un toit et emballée dans un plastique pour que l'humidité reste dans la brique et que le ciment puisse faire sa prise durant une semaine. Après, elle peut être utilisée, mais idéalement elle devrait sécher une semaine de plus pour qu'elle devienne plus ferme. Si la brique sèche trop rapidement elle risque de se fissurer et le ciment de faire une mauvaise prise.



Figure 107 : Tamisage



Figure 108 : Mélange de la terre pour les briques



Figure 109 : Pressage de la terre pour faire de la brique

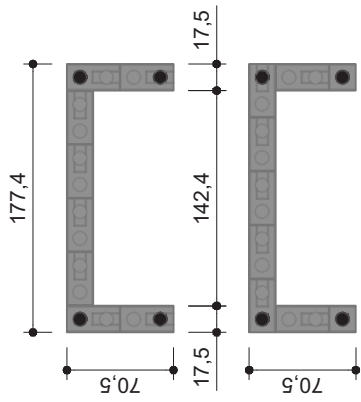


Figure 110 : stockages des briques



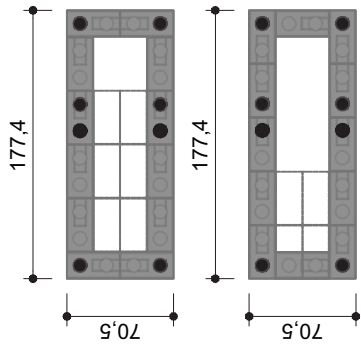
Figure 111 : Curage des briques

⁴⁰ Satprem Maini, *Production and use of compressed stabilised earth blocks*, code of practis, pages 31 à 33

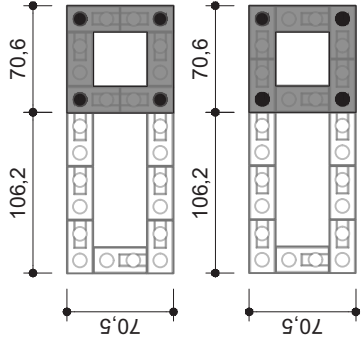


Lignes impaires

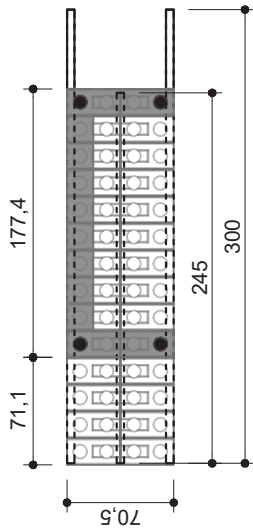
Lignes paires



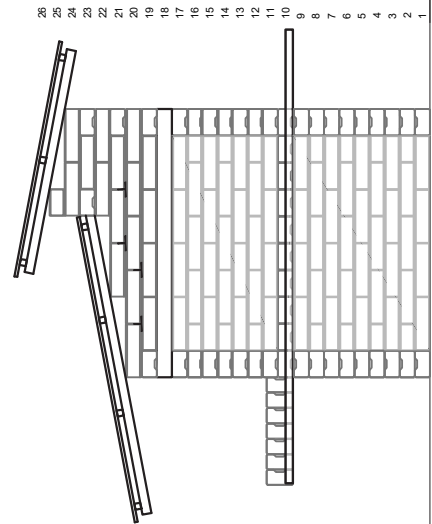
Lignes 18 à 20



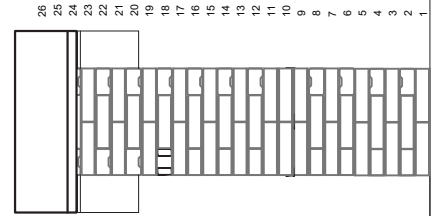
Lignes 21 à 25



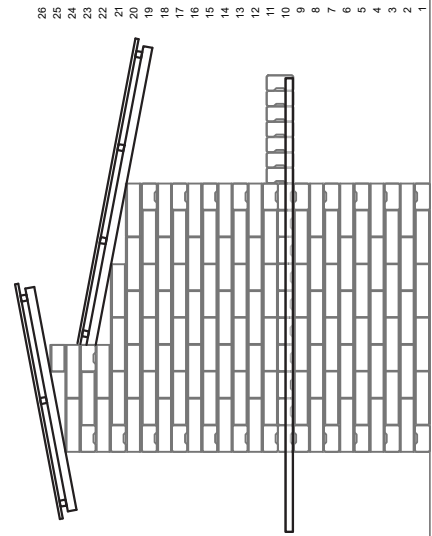
Ligne 10



Elevation



Elevation



Elevation

Parillero para Lucas, Brenda y Mateo

Matias Cesari

1/50 - 15.10.2018

Design du parrillero

La parrillero est un grill pour cuisiner de la viande au charbon de bois. C'est un objet qui fait partie de toutes les habitations en Uruguay que l'on va retrouver chez toutes les classes sociales. Comme les caquelons à fondu en Suisse.

Le parrillero est composé d'un panier pour le feu (1), une grille(2), une table pour les braises (3) et une cloche/cheminée (4) pour l'évacuation de la fumée. Les formes pour les construire sont variables, il peut être en métal, en brique terre cuite, en briques réfractaire ou en béton.



Figure 112 : Parrillero fini

Les objectifs pour construire ce parrillero ont été multiples, une première expérience d'autoconstruction, un test pour les briques en terre crue et comment elles peuvent être appareillées en plan vertical ou horizontal.

Pour le dimensionnement du grill, il a été donné par la trame des briques et le dimensionnement de la cheminée est un rapport de 12% entre le diamètre de la cheminée et la bouche du grill. Il est important d'avoir ce rapport pour avoir un bon tirage de la cheminée⁴¹.

La maçonnerie est posée sur une dalle en béton et la première ligne de brique est collée avec un mortier de ciment hydrophobe pour éviter les remontées capillaires. La toiture du grill a été faite en acier pour résister au feu et il a été couvert d'une toiture métallique qui débordé généreusement pour protéger les façades du grill. La liaison entre la toiture et la

maçonnerie a été réalisée avec un bois dur cèdre dans la brique avec un mortier de terre.

⁴¹ Diego C. Venturini, *Parrillero familiar*, Almanaque del banco de seguros del estado, 1988, pages 264-271



Figure 113 : Décapage de la terre végétale



Figure 114 : Pose du coffrage



Figure 115 : Pose d'un lit de hérisson



Figure 116 : Radier en béton armé



Figure 117 : Décoffrage du radier en béton



Figure 118 : Pose de la première rangée de ligne pour vérifier la dimension du radier



Figure 119 : Collage de la première ligne de brique avec un mortier hydrofugé



Figure 120 : Collage des prochaines lignes avec un mortier de terre



Figure 121 : Collage des lignes avec un mortier de terre



Figure 122 : Pose d'une armature horizontale à la hauteur de la table



Figure 123 : Les équerres métalliques sont fixées à l'aide de fil de fer



Figure 124 : La table est construite avec les briques posées sur les profils métalliques



Figure 125 : Collage des lignes avec un mortier de terre



Figure 126 : Linteau métallique



Figure 127 : Collage des briques avec un mortier de terre (même recette que les briques)



Figure 128 : Collage des lignes avec un mortier de terre



Figure 129 : Linteau métallique fixé à l'armature avec un fil de fer



Figure 130 : Mur fini



Figure 131 : Charpente métallique fixée à l'aide d'un bois dur scellé dans le mur



Figure 132 : Prémontage de la toiture métallique sur le grill



Figure 133 : Fixation de la tôle ondulée sur la charpente préfabriquée



Figure 134 : Fixation de la toiture finie sur la latte en bois



Figure 135 : Appeillage de briques



Figure 136 : Objet fini



Figure 137 : Prix de la brique.

Retour des expériences du parillero

Après 8 mois de construction, le grill a bien résisté aux conditions climatiques, même les faces exposées à la pluie. La brique c'est légèrement érodée sur la face très exposée, mais dans l'ensemble la construction gardait sa solidité. Les avant-toits et la végétation jouent bien leurs rôles de protection contre la pluie. Pour prolonger la durée de vie, il serait important que la brique reçoive une couche de crépis pour la protéger des intempéries.

Une brique est restée exposée sans protection. Elle a préservée sa forme originel, malgré quelques grains qui se sont effrités. Cette friabilité peut venir d'un mauvais malaxage de la terre avec le ciment ou un séchage trop rapide de la terre.



Figure 138 : Bloc exposé 8 mois aux intempéries.



Figure 139 : parillero 8 mois.



Figure 140 : parillero 8 mois.



Figure 141 : Entrée de la Chacra Jabes



Figure 142 : BP714 Earth Blox machine entreposée

Conclusion

La construction en terre est une méthode qui est utilisée de tout temps par l'homme pour s'abriter. Les premiers bâtiments construits par les colons européens qui sont arrivés au XVI^e siècle en Uruguay furent en terre et chaume. Jusqu'au début du XX^e siècle les maisons dans les campagnes sont bâties en terrón (motte de terre) ou en torchis. À partir du XX^e siècle, il y a eu un décalage entre la construction traditionnelle et les matériaux de construction industrialisés. Dès les années 1980, il y a un regain d'intérêt pour la construction en terre crue. Les raisons sont diverses : un sauvetage des techniques constructives traditionnelles, importantes pour la culture d'un jeune pays qui cherche ses racines.

La terre est aussi un élément très intéressant pour régler le taux d'humidité dans la maison. C'est une qualité importante pour la construction dans des zones où le taux d'humidité est conséquent en hiver. Grâce à sa masse, il permet également de réguler la température des maisons, fraîche en été et chaude en hiver. Le matériau doit être protégé de la pluie battante et des remontées capillaires de l'eau qui peut s'accumuler dans le sol. C'est une des caractéristiques des bâtiments en terre en Uruguay ce que l'on ne va pas nécessairement retrouver dans d'autres régions du monde.

Il y a aussi la disponibilité du matériau sur le site de construction qui permet de faire des économies de transport. Le travail peut se faire en autoconstruction ou avec de la main-d'œuvre peu qualifiée. Il faut juste être accompagné par un professionnel. Le travail emploie des habitants des environs, ce qui va favoriser l'économie locale. C'est un matériau par excellence pour répondre à la construction durable et écologique.

Si l'on part sur un projet construit en chantier participatif, cela fait partie de la culture constructive en Uruguay où de nombreuses coopératives d'habitation sont construites de cette manière. Chaque famille doit donner un certain nombre d'heures de construction durant la semaine. Ce qui va créer des liens entre les habitants de la coopérative. Cela va aussi favoriser une plus grande attention portée au bâtiment par les utilisateurs.

Pour démontrer la pertinence de construire en terre en Uruguay, durant mon séjour entre septembre et octobre 2018, j'ai rencontré la communauté chrétienne de Jabes qui se situe en périphérie de Montevideo. Cette communauté souhaite s'agrandir. Leurs moyens financiers sont limités, mais ils ont une grande énergie pour travailler. De plus la chacra Jabes a déjà les outils pour travailler la terre et on leur a prêté des machines pour produire des briques en terre comprimée de manière semi-industrielle. Il y a aussi le challenge de construire en terre dans ce pays où le vent et la pluie peuvent être violents et mettre à mal les constructions en terre mal conçues.



34°45'48.99»S

56° 8'5.65»O

La Chacra Jabés

Communauté d'accueil

La chacra Jabés, est une communauté qui cultive la terre, élève d'animaux et de divers travaux manuels. Actuellement l'exploitation agricole est habitée par 21 personnes. Durant la journée quelques personnes viennent pour aider dans les différentes tâches. Cette communauté a été fondée en 2000 par l'église protestante «Vision Cristiana». Cette espace à la campagne crée un refuge où des personnes en difficulté peuvent trouver une solution à leur problème. Les raisons peuvent être diverses : toxicomanie, violence au sein de la famille, absence de domicile, délinquance, etc. Certains membres de la communauté font un long séjour, d'autres un court, ou sont uniquement là pour la journée. Dans tous les cas, toutes les personnes qui vivent dans la communauté reçoivent un soutien pour résoudre leur problème.

La ferme est dirigée par Pablo Pedroza et Marianela Daneri, tous deux membres de l'église «Vision Cristiana». Tous les deux ont une formation d'éducateur social et de psychologie pour pouvoir accompagner les personnes. La communauté travaille avec des partenaires comme *Juventud para Cristo*. Cette ONG chrétienne qui partage les mêmes valeurs que la communauté de Jabés: Promouvoir une culture de la vie en phase avec l'Évangile et les valeurs de justice, de paix, de solidarité, de tolérance, d'amour et de respect de la diversité. Ces deux entités travaillent dans des quartiers où la population est défavorisée.

Le travail qui est demandé de faire à la ferme permet de valoriser les personnes qui y vivent et de leur redonner un rythme de vie plus sain. La production maraîchère sera consommée par ses habitants et le surplus sera revendu pour acheter d'autres produits alimentaires et payer les frais de fonctionnement.

La communauté propose également plusieurs espaces pour organiser des séminaires, une course d'école à la ferme, réunions de famille, mariages, etc.. Ils peuvent mettre à disposition de leur hôte, une salle polyvalente et une grande maison (casona). Et s'il manque de la place. Le centre est encore équipé de quelque temps. que l'on peut monter dans le jardin.

Aujourd'hui la communauté fonctionne bien et souhaite diversifier ses activités et s'agrandir.

Chara Jabes

église «Vision Cristiana»



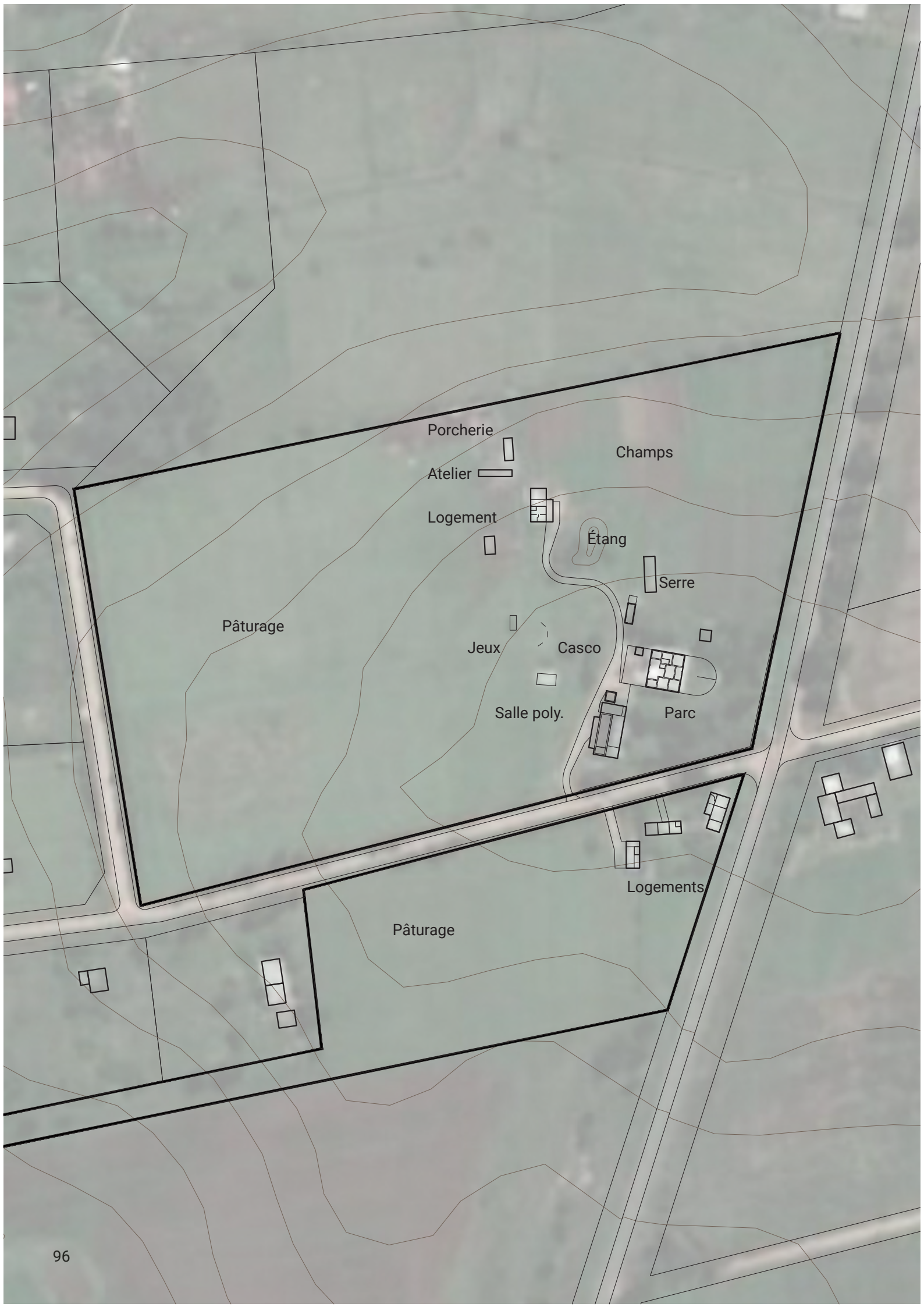
Site du projet

La Chacra Jabes se trouve au nord-est de Montevideo dans la zone de Montevideo Rural. En partant du centre-ville avec son bruit et tumulte, le parcours fait 15 kilomètres jusqu'à la ferme. On prend la route n°8 avant de bifurquer sur l'avenue José Béloni qui va nous conduire jusqu'à la ferme, les deux derniers kilomètres se passent dans le calme de la campagne.

Une fois sur place, on découvre une petite forêt au sommet de la butte où est la ferme. On rentre par le camino de la Cabra qui marque la limite entre les deux parcelles ou vit la communauté. Au sud, c'est la parcelle qu'a pu acheter l'église. Là on va trouver trois bâtiments de taille moyenne qui sont des logements pour les résidents. Le reste du terrain est du pâturage pour les animaux. Au nord, on trouve une plus grande parcelle qui est louée par la communauté depuis 15 ans. C'est en attendant de trouver le financement pour l'acheter. En rentrant sur le chemin on voit à gauche du terrain de football et des pâturages, à droite le grand bâtiment qui est la salle polyvalente où se sont construits autour une cuisine, un réfectoire et des sanitaires. Et derrière, la Casona (grande maison) qui a appartenu à un général portugais à l'époque de la Grande Guerre. Elle est une place stratégique. Depuis le toit de la maison, on peut surveiller la ville de Montevideo et son port. Aujourd'hui elle est louée à des groupes pour des camps ou des fêtes. Un peu plus loin, une maisonnette où l'on fabrique des produits de nettoyage. En continuant le chemin, on aperçoit une serre qui est utilisée pour produire des plantons. On continue, en longeant l'étang qui fait office de réservoir d'eau pour arroser les champs avant d'arriver à la maison de Pablo et Marianela. Derrière la maison, on va retrouver un atelier et des espaces pour les animaux.



Figure 143 : En arrivant à la Chacra.



Porcherie

Atelier

Logement

Champs

Étang

Pâturage

Serre

Jeux

Casco

Salle poly.

Parc

Logements

Pâturage

Programme existant

- Logements
 - Logement de Pablo et Magrianelea
 - Casa 1, 3 pièces 3 lits
 - Logement pour les résidents
 - Casa 2, trois logements: deux studios; et un 3 pièces. 8-10 lits
 - Casa 4, deux dortoirs avec salle de bain 8 lits
 - Logement pour les résidents
 - Casona, 8 pièces 35-40 lits
- Ferme
 - animaux
 - Étable
 - Porcherie
 - Poulailier
 - Pâturages
 - Plantes
 - Champs
 - Serre
 - Étang
 - Atelier mécanique
 - Dépôt matériel
 - Laboratoire de production des produits de nettoyage.
- Salle polyvalente 70 places
 - Cuisine d'été
 - Réfectoire d'été
 - Garde-manger
 - Espace polyvalent
 - Salle de bain et douche commune
- Aménagement extérieur
 - Jeux pour enfants
 - Piscine
 - Parc

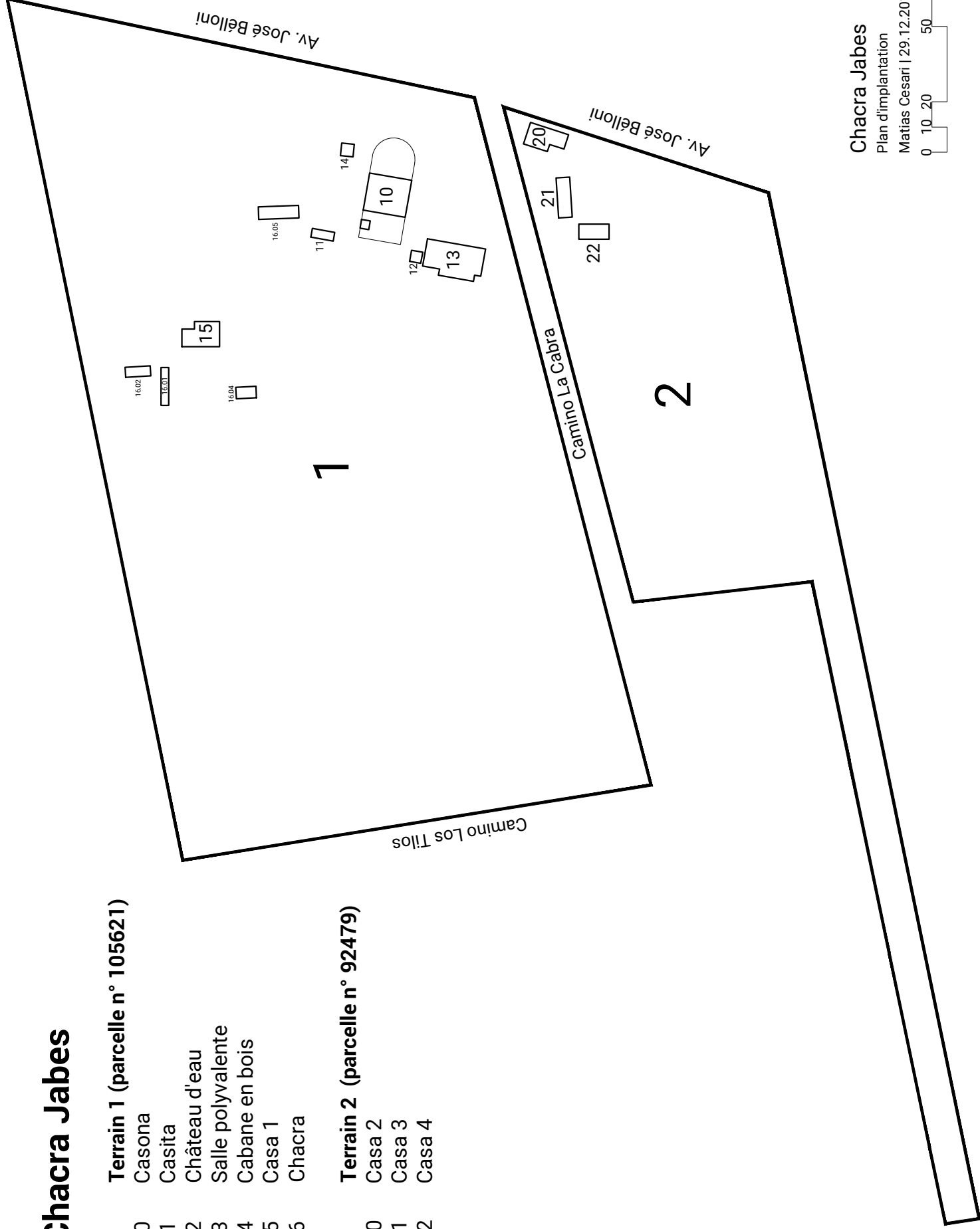
Chacra Jabes

1 Terrain 1 (parcelle n° 105621)

- 10 Casona
- 11 Casita
- 12 Château d'eau
- 13 Salle polyvalente
- 14 Cabane en bois
- 15 Casa 1
- 16 Chacra

2 Terrain 2 (parcelle n° 92479)

- 20 Casa 2
- 21 Casa 3
- 22 Casa 4



Chacra Jabes

Plan d'implantation

Matias Cesari | 29.12.2018



N°	Terrain / Bâtiment / affectation	m2 net	m2 brut	m2 brut	Nombre de lits cantidad de camas
	1 Terrain 1			57000	
	10 Maison historique, Casona		255		20
10.01	Salle à manger/cuisine	50			
10.02	Cuisine	13			
10.03	Bureau	22			
10.04	Chambre	22			
10.05	Halle	23			
10.06	Loggia	17			
10.07	Chambre	22			
10.08	Chambre	15			
10.09	Dépôt	13			
10.10	Salles de bain/WC	10			
10.20	Salle tour nord	13			
10.21	Salle tour sud	13			
10.30	Annex	10			
	11 Maisonnée				
11.01	Laboratoire produit de nettoyage	25			
11.02	Serre	12			
	12 Château d'eau		50		
12.01	Dépôt	14			
12.02	Parking couvert	30			
	13 Salle polyvalente		294		
13.01	Salle polyvalente	60			
13.02	Douches/WC	35			
13.04	Économat 1	13			
13.05	Économat 2	26			
13.06	salle à manger	78			
13.07	Cuisine d'été	47			
	14 Cabane en bois				
14.01	Pièces	25			
	15 Maison 1		135		3
15.01	Séjour	15			
15.02	Salle de bain	4			
15.03	Cuisine	4			
15.04	Chambre 1	9			
15.05	Chambre 2	11			
15.06	Couvert d'entrée	30			
15.07	Dépôt 1	21			
15.08	Atelier / Dépôt	35			
	16 Ferme				
16.01	Couvert / dépôt / préparation de la nourriture pour les cochons	45			
16.02	Atelier	16			
16.03	Porcherie	24			
16.04	Écurie/étable	37			
16.05	Serre	80			
	17 Aménagement extérieur				
17.01	Piscine				
17.02	Terrain de basket				
17.03	Cabane pour enfants				
17.05	Terrain de football				
17.06	Étang				
	2 Terrain 2			19800	
	20 Maison 2		126		1
20.01	Chambre	28			
20.02	Salle de bain	4			
20.10	Cuisine	14			
20.11	Séjour et chambres	36			7
20.20	Studio	24			3
	21 Maison 3		88		
20.01	Pièce	47			
20.02	WC	5			
20.03	Couvert	30			
	22 Maison 4		72		
22.01	Couvert	35			
22.02	Chambre 1	14			4
22.03	Salle de bain 1	4			
22.04	Salle de bain 2	4			
22.05	Chambre 2	14			4
			1020	76800	

Photos de arrivée sur le site



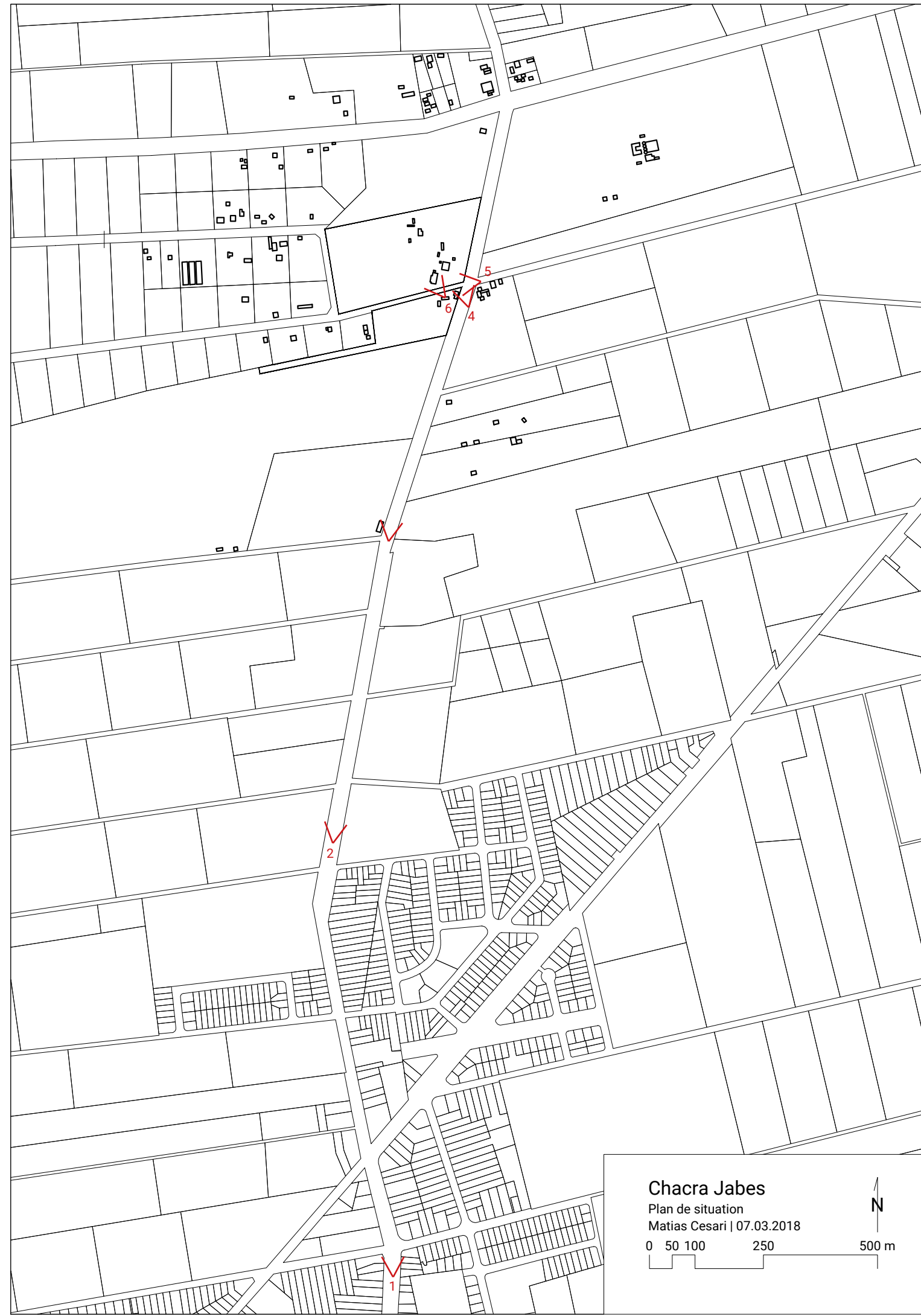


Photo 1



Photo 3



Photo 5



Photo 2



Photo 4

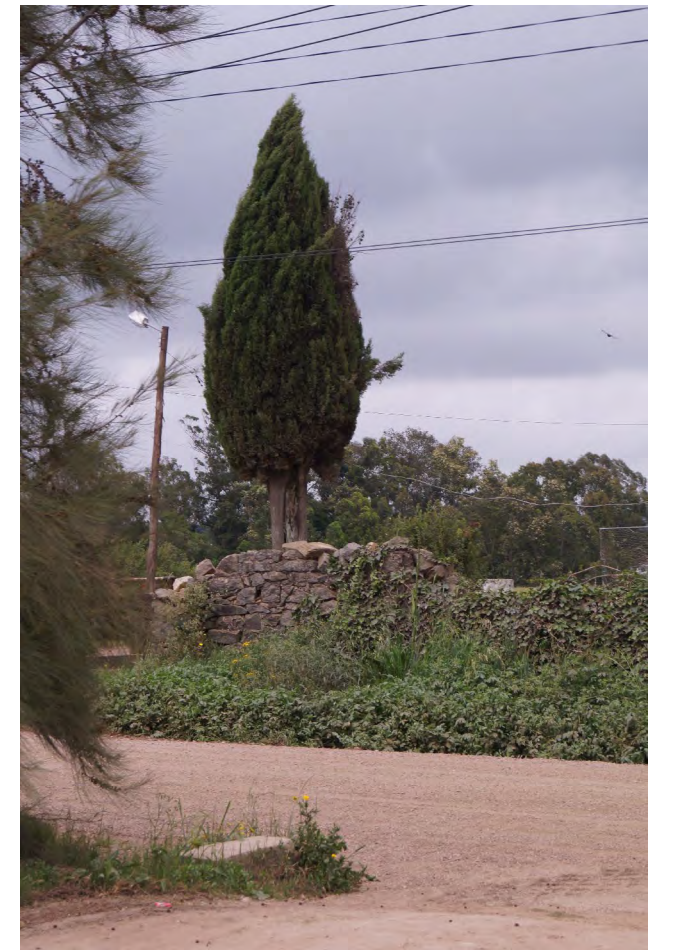


Photo 6

Photos panoramiques du site





Photo 1

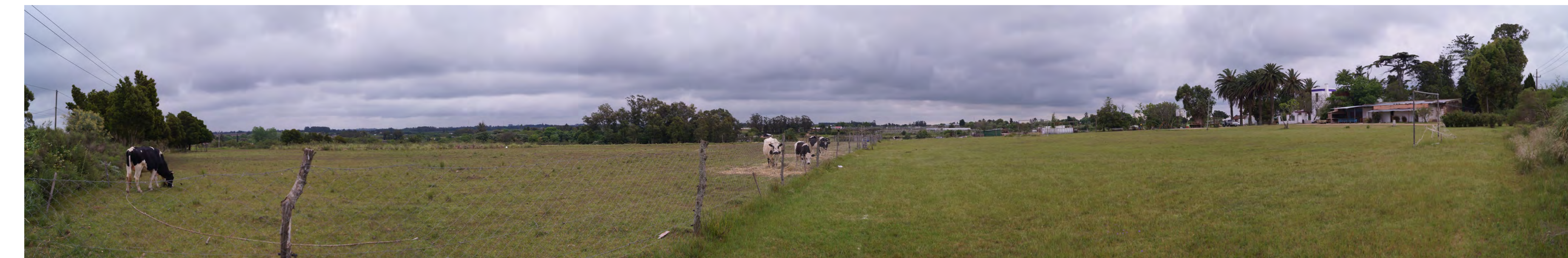


Photo 3



Photo 2



Photo 4

Photos du site 1 (nord)





Photo 1



Photo 3



Photo 7



Photo 9



Photo 11



Photo 13



Photo 15



Photo 17



Photo 2



Photo 4



Photo 6



Photo 8



Photo 10



Photo 12



Photo 14



Photo 16



Photo 18

Photos du site 2 (sud)





Photo 1



Photo 3



Photo 5



Photo 7



Photo 9



Photo 11



Photo 13



Photo 15



Photo 17



Photo 2



Photo 4



Photo 6



Photo 8



Photo 10



Photo 12



Photo 14

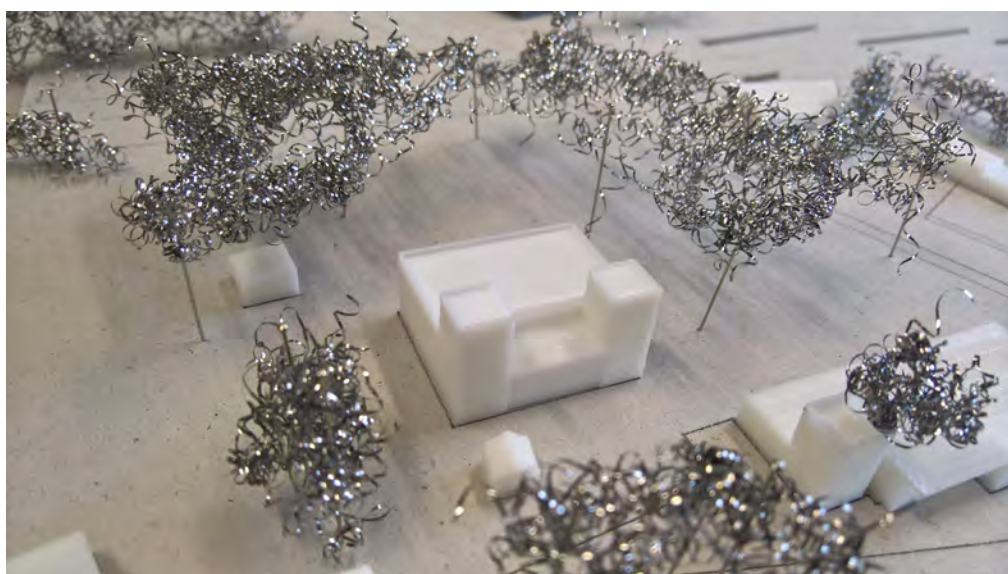


Photo 16



Photo 18

Photos «Casona»



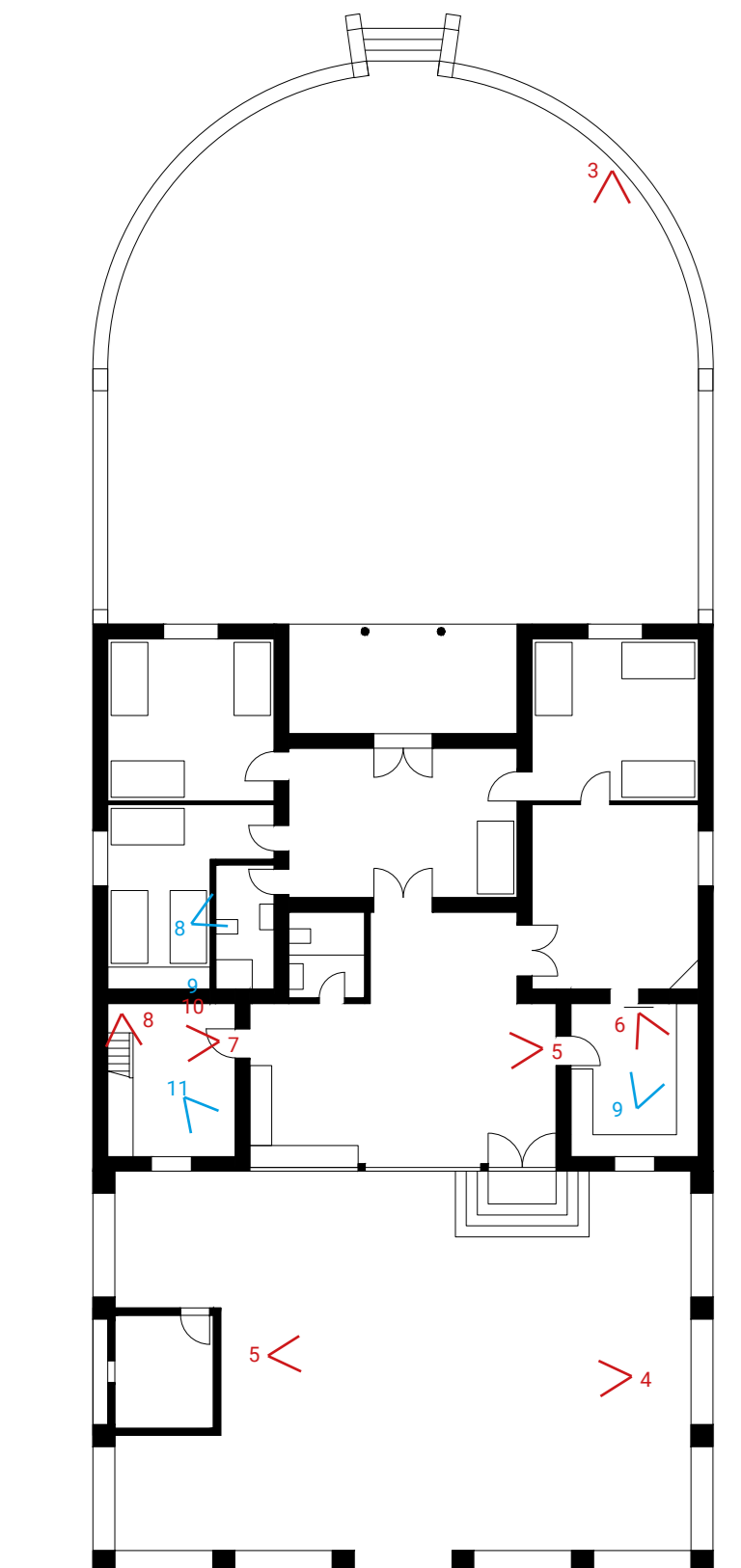


Photo 1



Photo 2



Photo 3



Photo 4



Photo 5



Photo 6



Photo 7



Photo 8

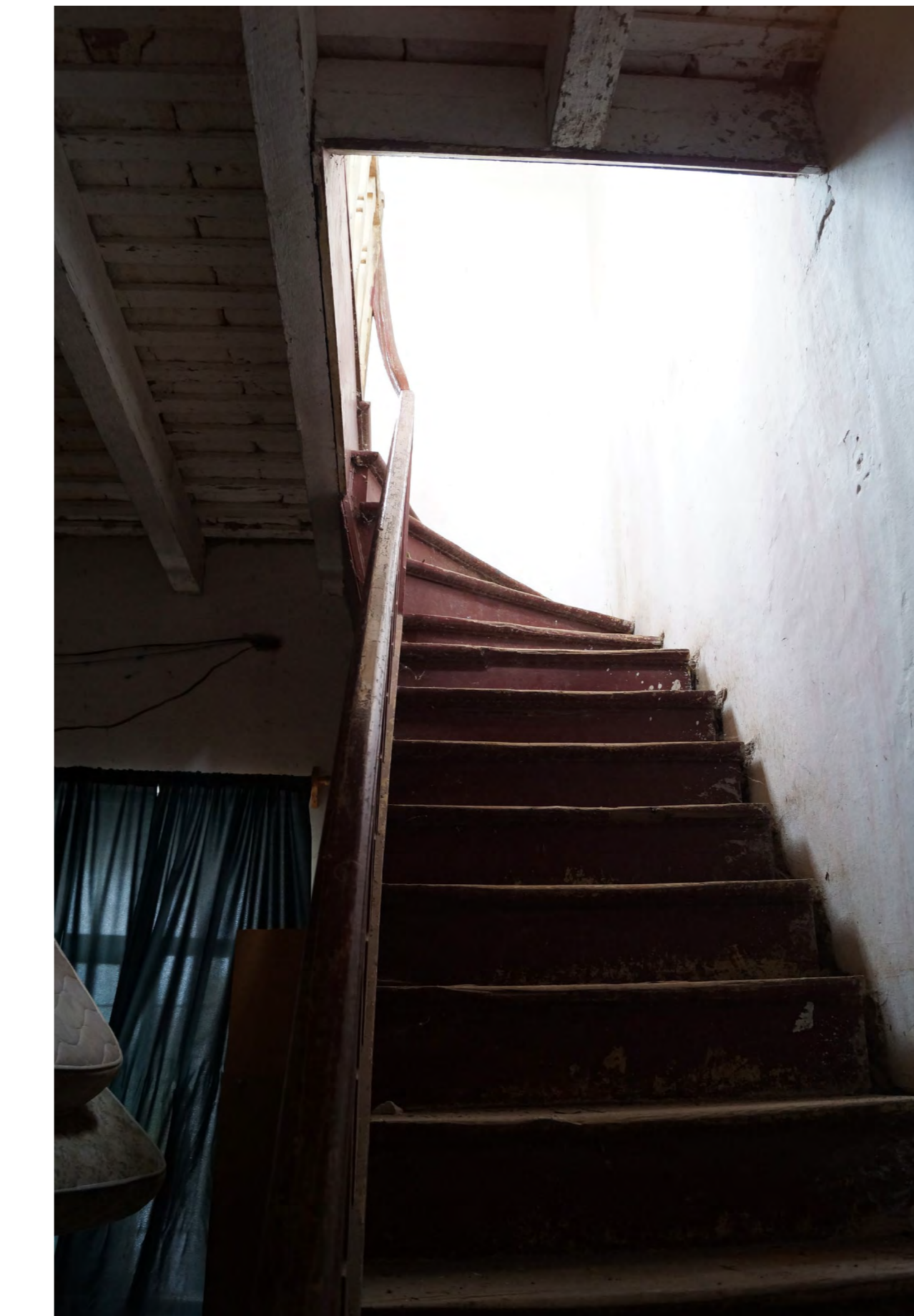


Photo 9



Photo 10



Photo 11



Photo 12



Photo 13



Photo 14

Photos salle polyvalentes







Figure 144 : Façade est de la Casona



Figure 145 :Charpente de la Casona

Analyse

Les bâtiments sont construits de manière très simple. Les plus vieux bâtiments doivent dater de la fin du XIXe siècle sont construits en brique terre cuite. Se sont la casona n°10, la casita n°11, le château d'eau n°12 et la salle polyvalente n°13. Les fondations sont en pierre de taille. Le casona à une toiture plate avec une étanchéité en asphalte. Les fenêtres qui devaient être en bois ont été remplacées par des fenêtres simples vitrage avec un cadre en aluminium. La salle polyvalente à une toiture en tôle et la casita à une toiture en tuile à emboîtement importé de France.

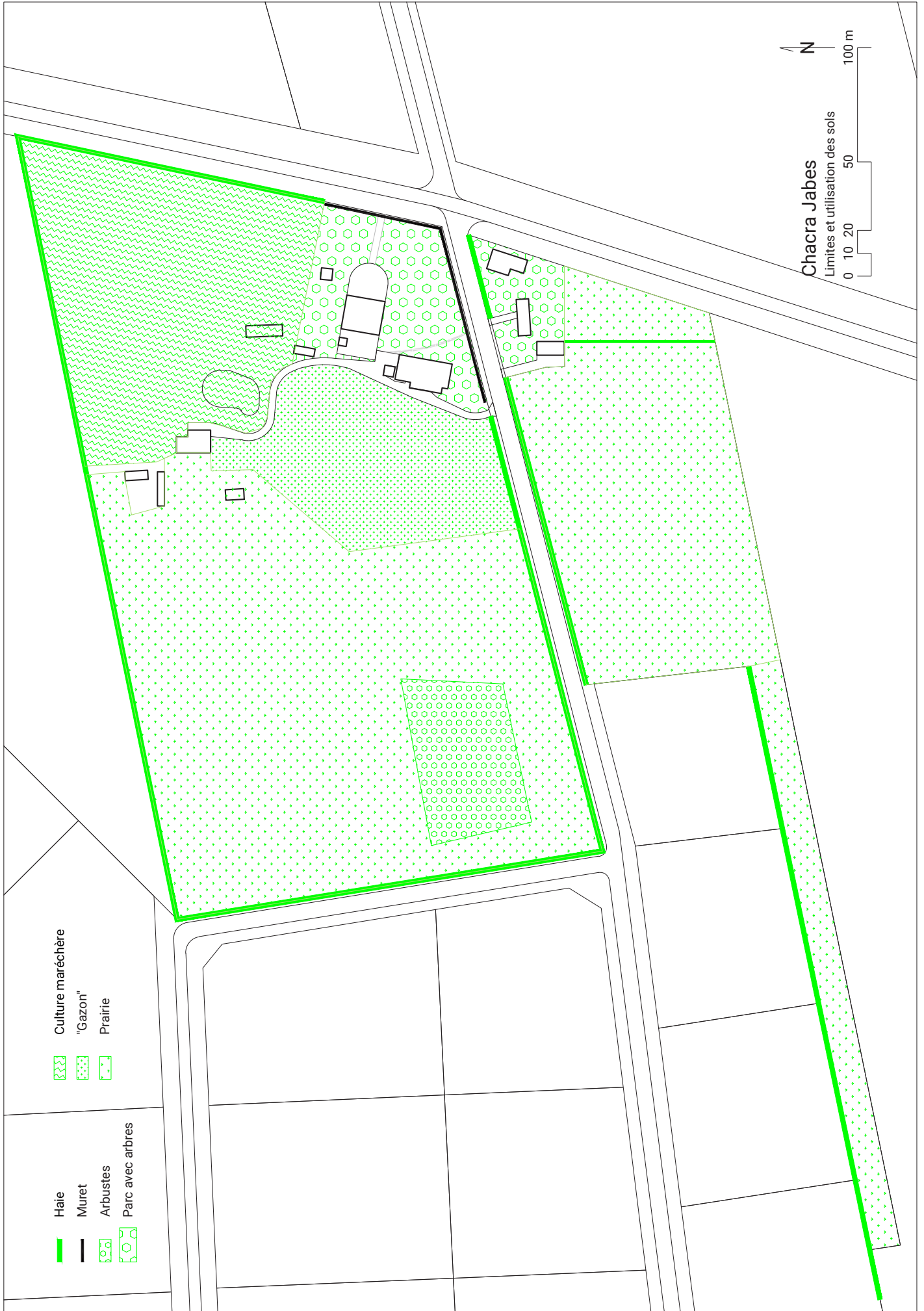
On peut aussi voir que les bâtiments ont subi des transformations ou des agrandissements dans le temps. Le plus parlant et la salle polyvalente ou autour de la grande salle en maçonnerie et venu une série d'annexes comme des sanitaires maçonner à l'ouest, une cuisine en panneau OSB au nord et un couvert servant de réfectoire à l'est.

Les bâtiments les plus récents (casa 1 à 3) reposent sur des radiers en béton. Les murs sont construits avec des briques-ciments. La toiture est construite avec une tôle ondulée avec éventuellement un doublage avec un panneau OSB à l'intérieur.

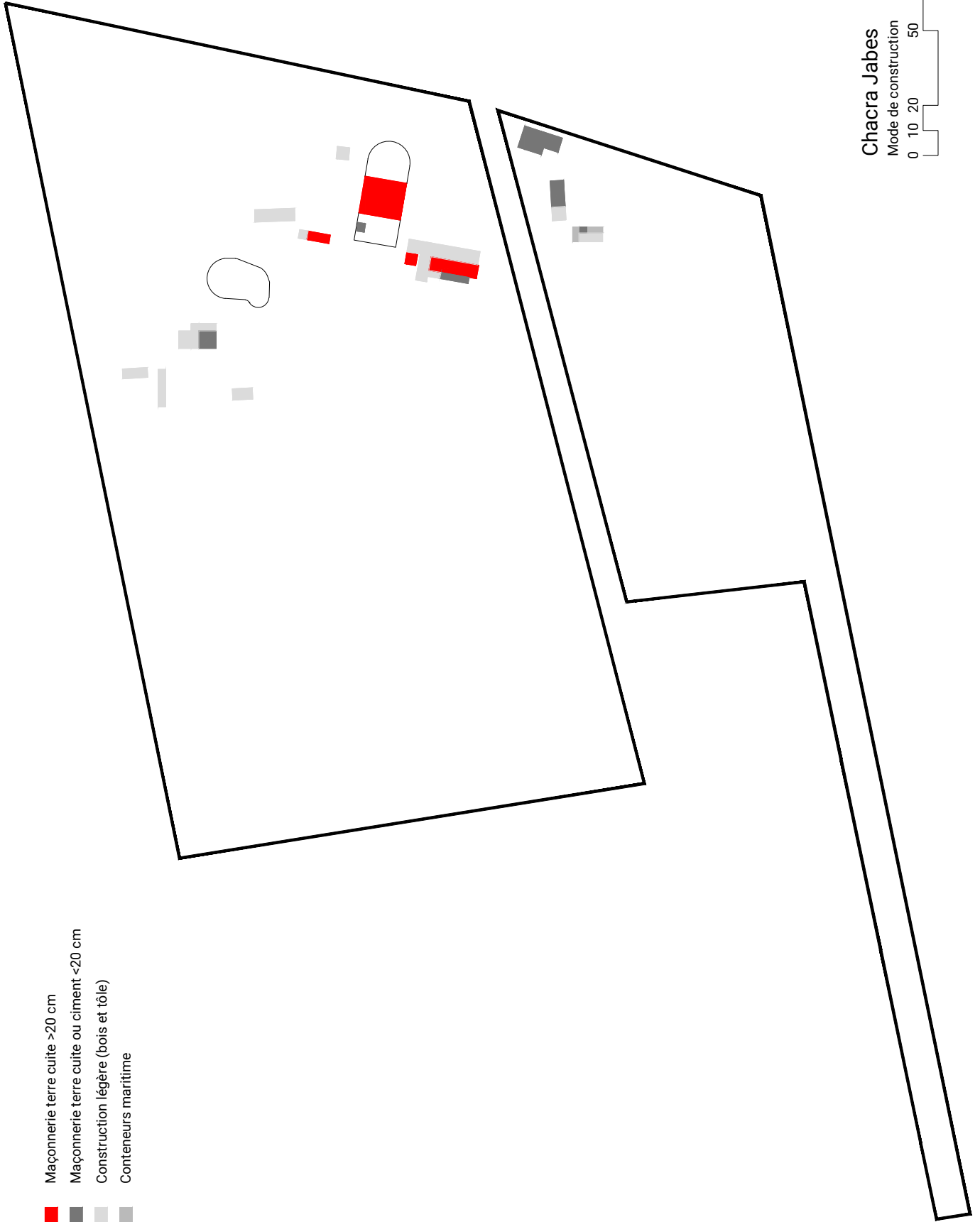
La casa 4 est construite de deux conteneurs maritimes transformés en chambre. Ces deux conteneurs sont reliés par un bloc sanitaire en maçonnerie. Le tout est construit sous un toit qui crée un couvert d'entrée. Sur le toit est encore installé un chauffe-eau solaire pour la douche de maison.

Dans l'ensemble les maisons sont mal isolées, ce qui les rend très inconfortables en hiver. Elles peuvent être chauffées à l'aide d'une cheminée à bois ou d'une climatisation. Malheureusement ces climatisations sont rares gourmandes en énergie.

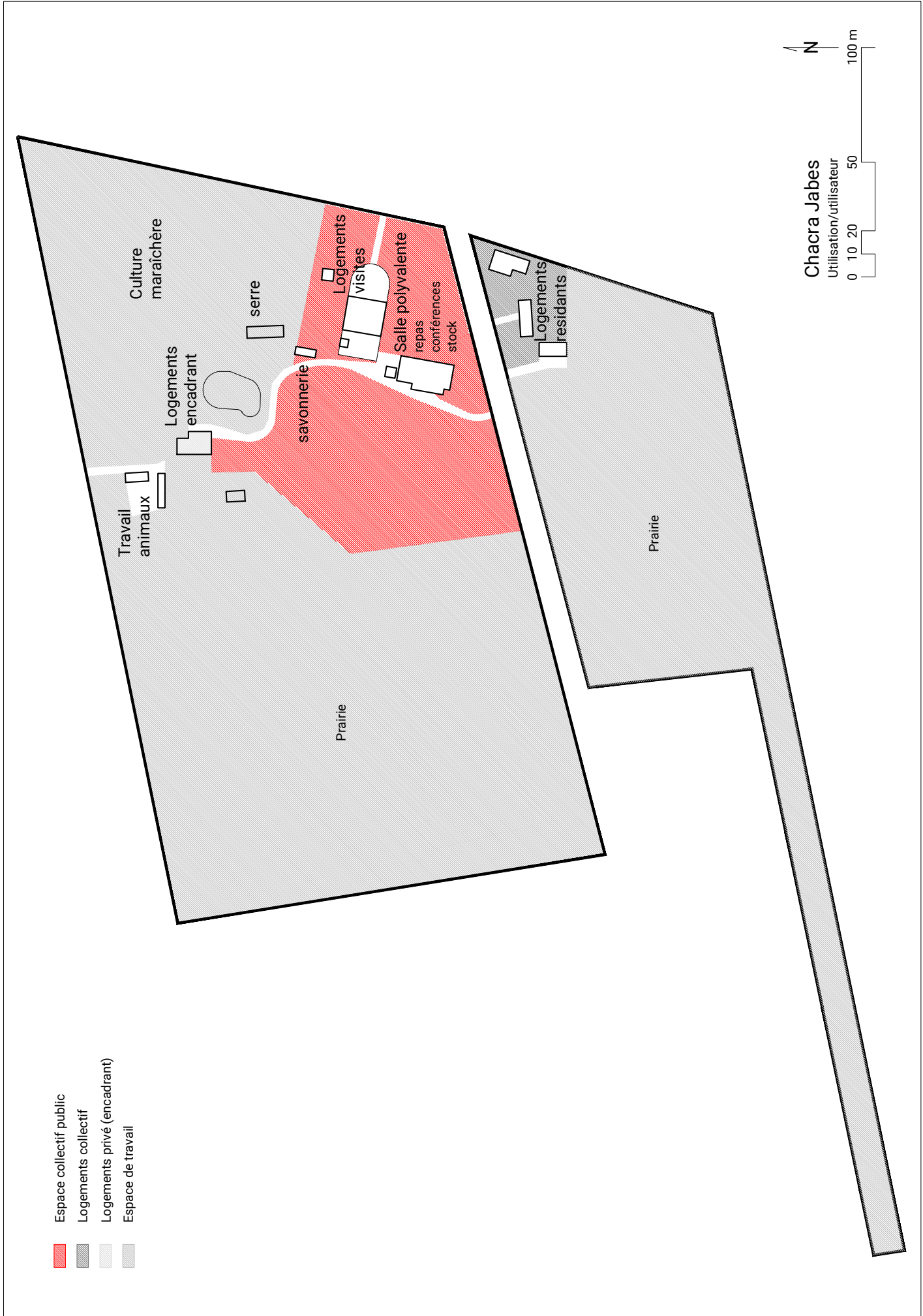
Les bâtiments pour la ferme (porcherie, poulailler, couvert) sont construits avec des matériaux de récupération. Principalement des palettes et des tôles ondulées.

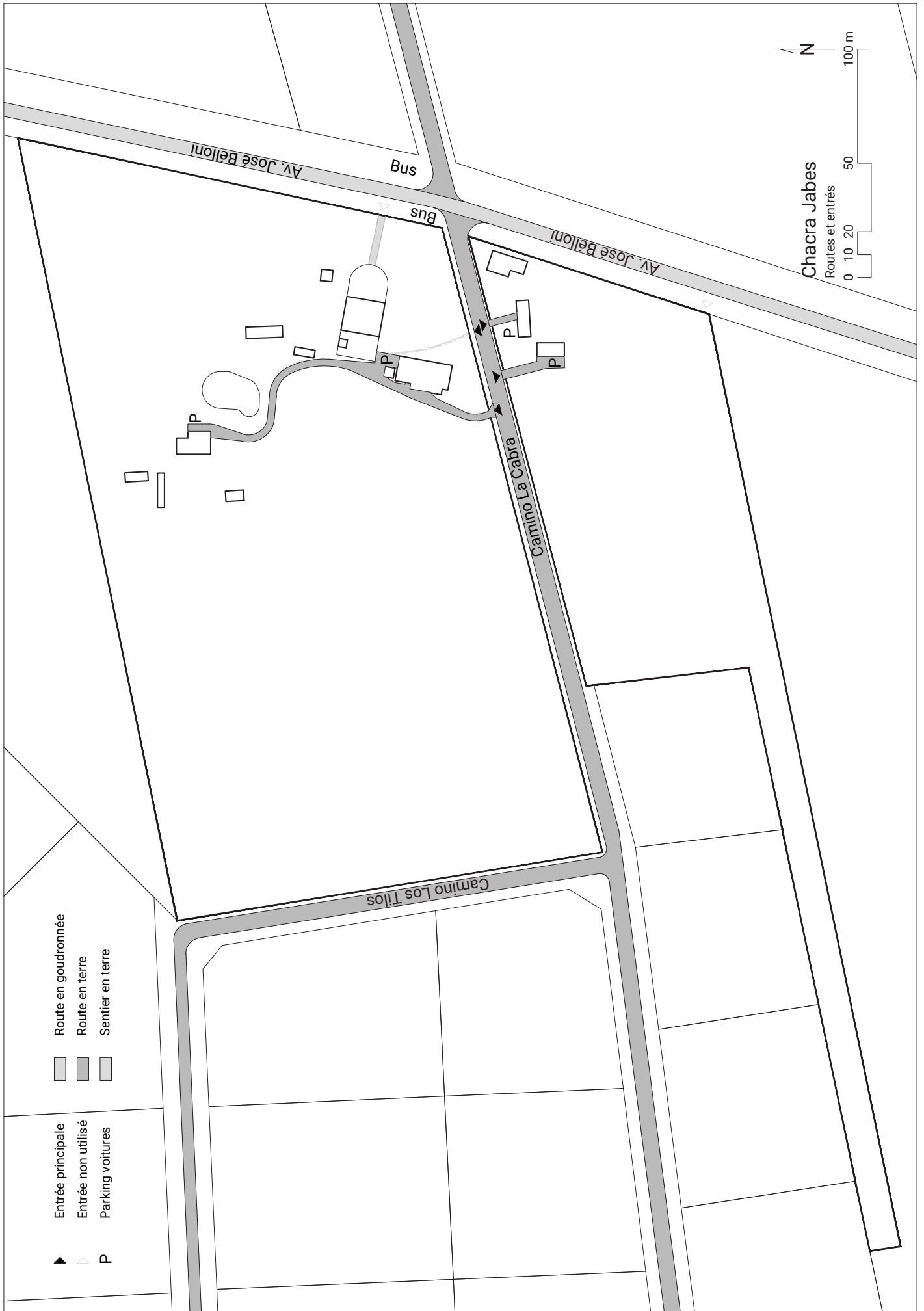


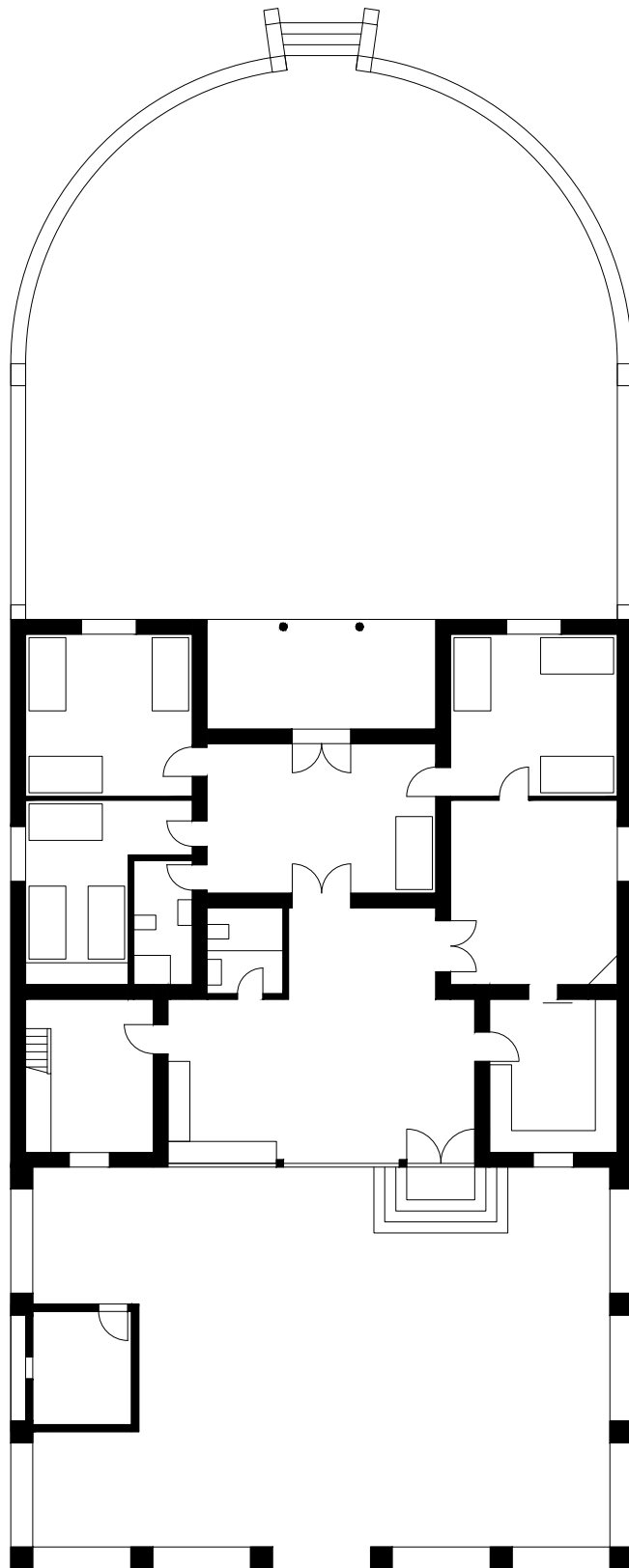
- Maçonnerie terre cuite >20 cm
- Maçonnerie terre cuite ou ciment <20 cm
- Construction légère (bois et tôle)
- Conteneurs maritimes



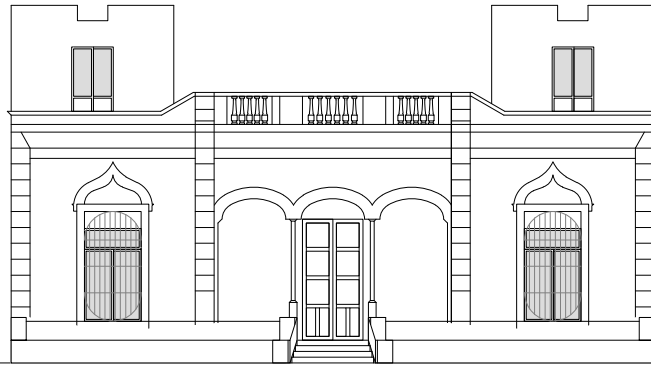
Chacra Jabes
 Mode de construction
 0 10 20 50 100 m



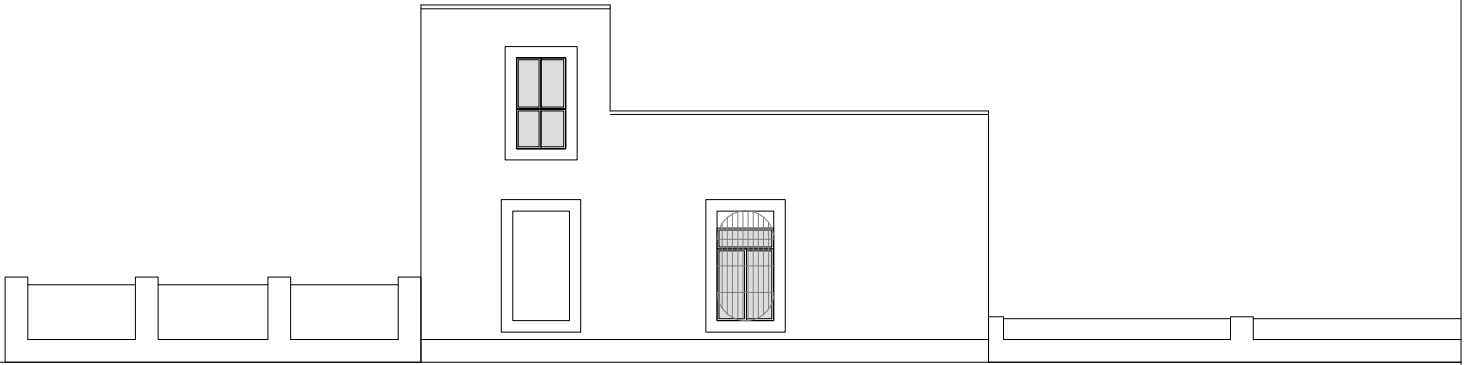




Plan



Façade est



Façade nord



Façade ouest



Figure 146 : Angle sud-ouest de la salle polyvalente

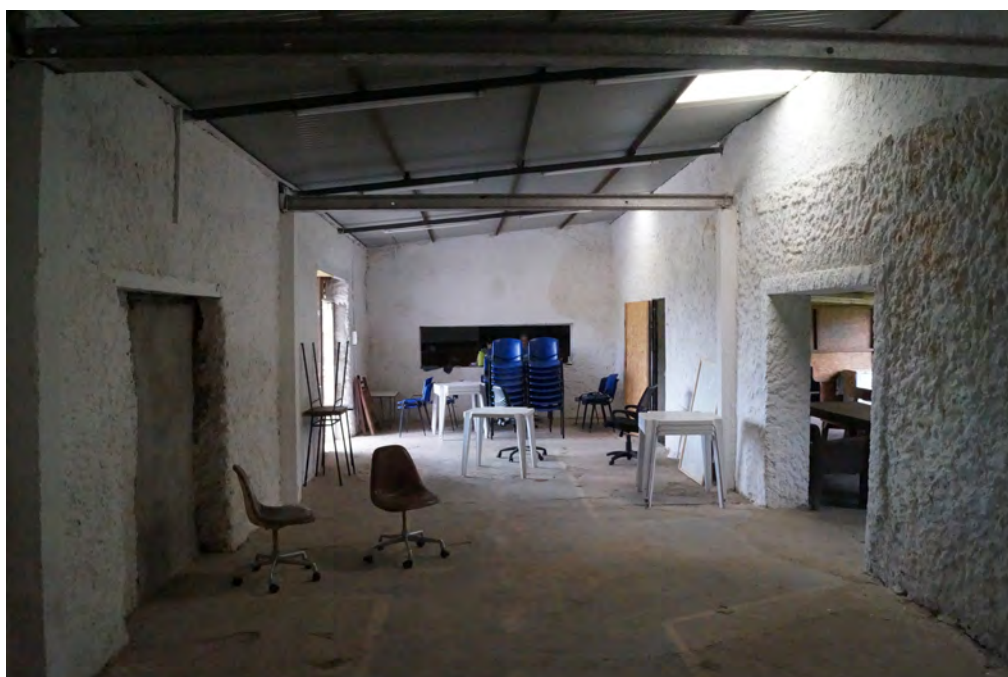
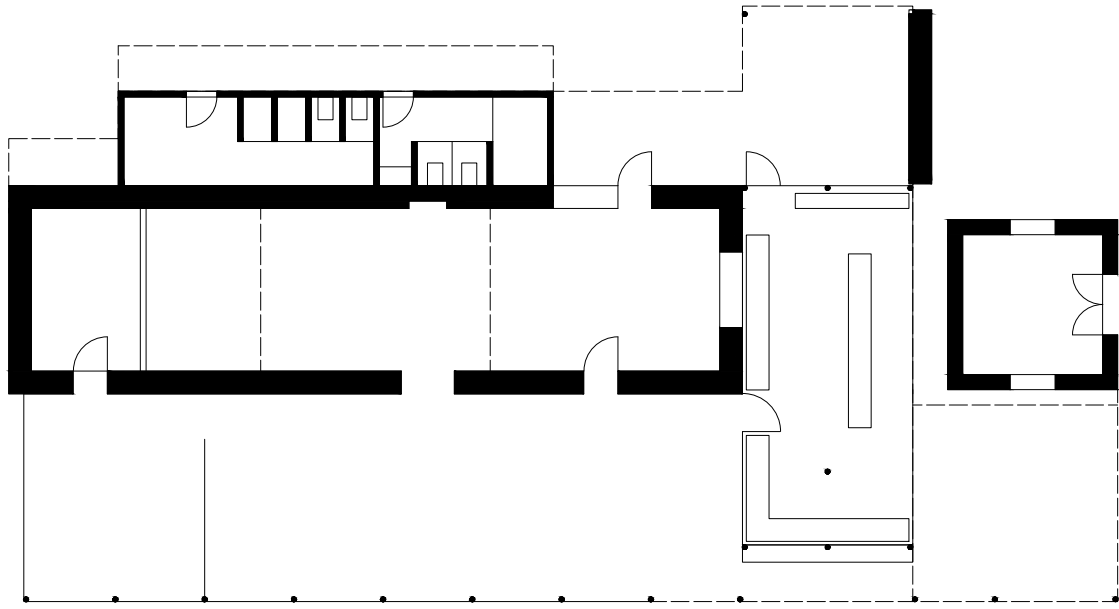
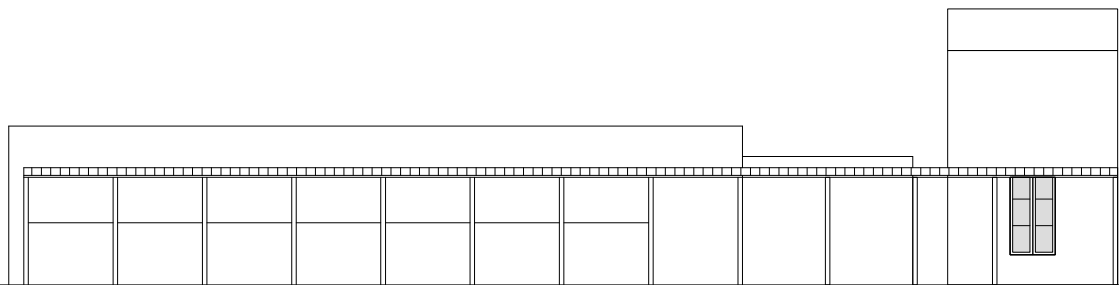


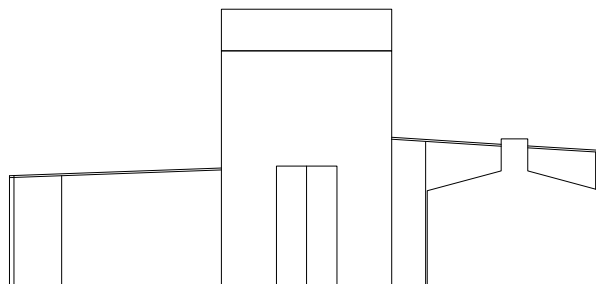
Figure 147 : Salle polyvalente



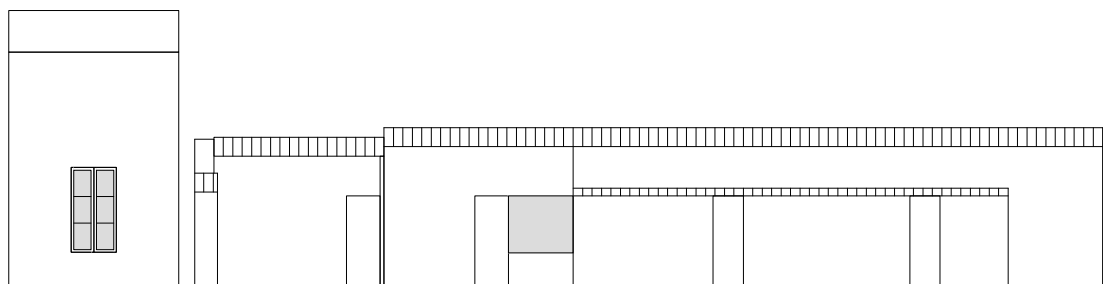
Plan



Façade est



Façade sud



Façade ouest



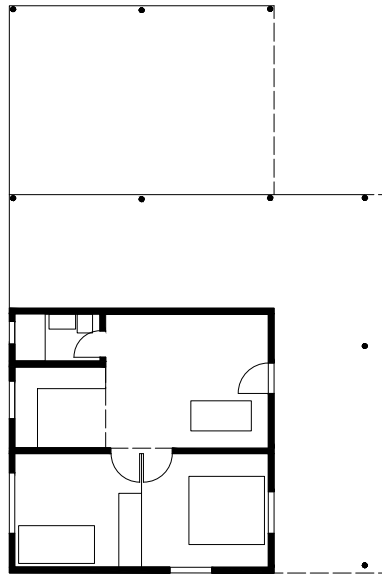
Façade nord



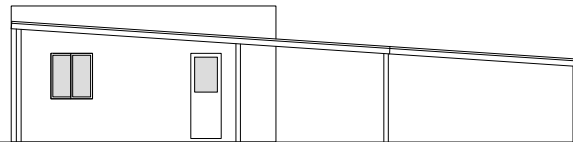
Figure 148 : Casa 1 façade est



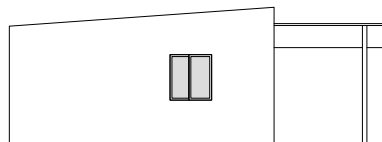
Figure 149 : Casa 1



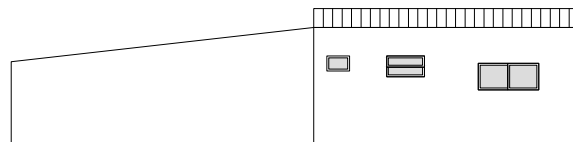
Plan



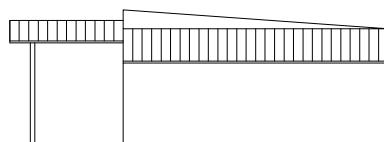
Façade est



Façade sud



Façade ouest



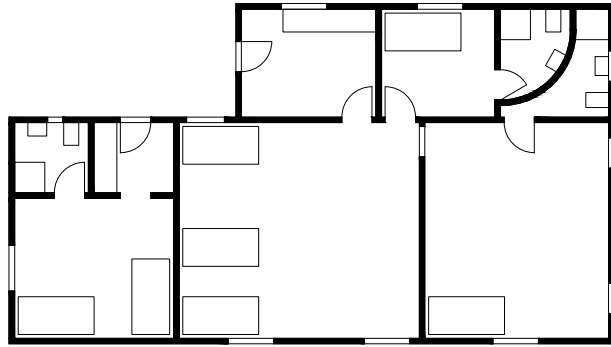
Façade nord



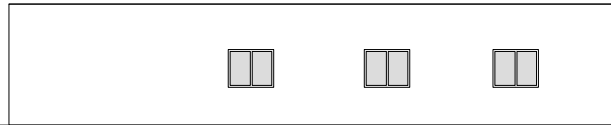
Figure 150 : Casa 2 façade est



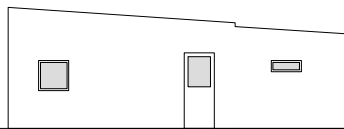
Figure 151 : Casa 2



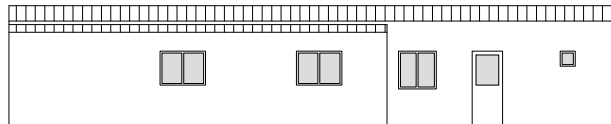
Plan



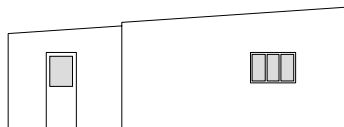
Façade est



Façade sud



Façade ouest



Façade nord



Figure 152 : Casa 3, façade ouest

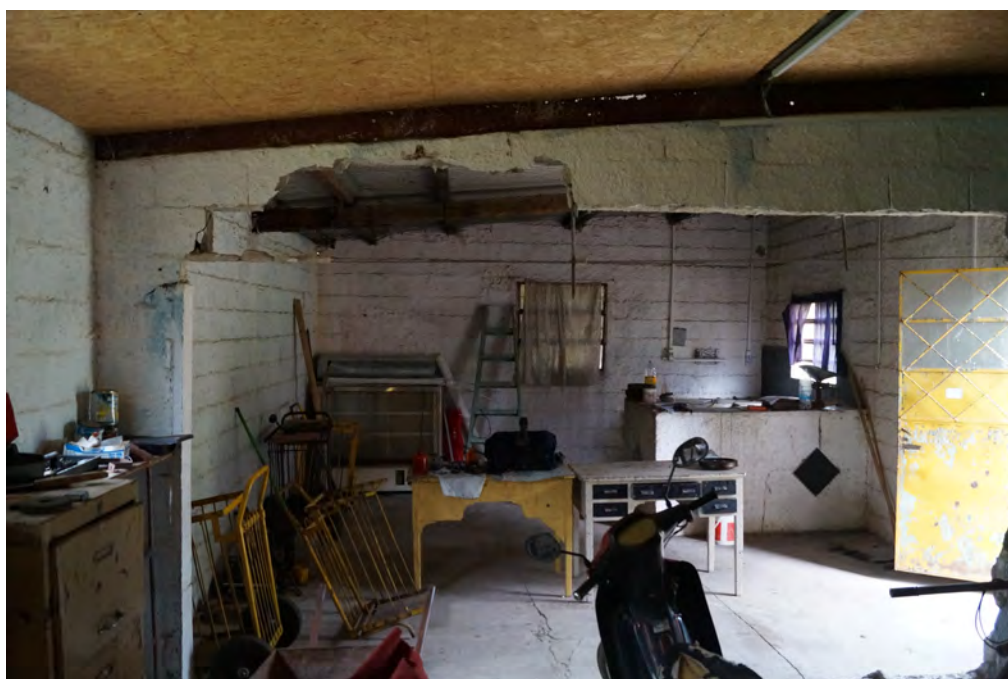
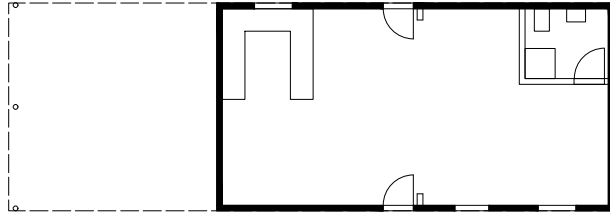
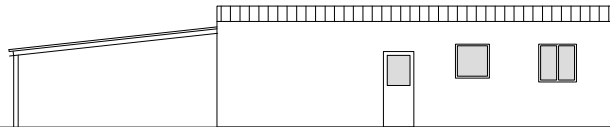


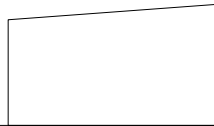
Figure 153 : Casa 3



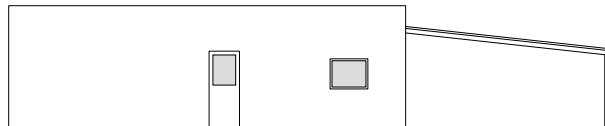
Plan



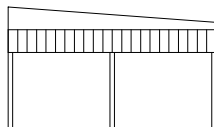
Façade est



Façade sud



Façade ouest



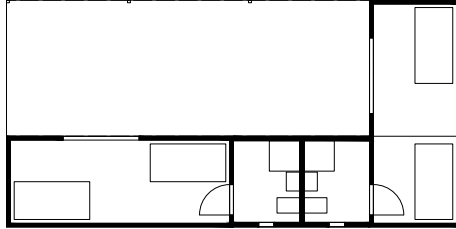
Façade nord



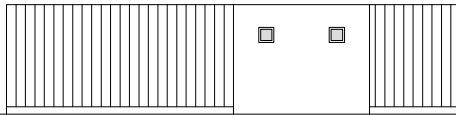
Figure 154 : Casa 4, angle sud ouest



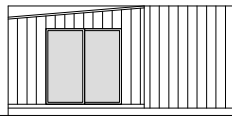
Figure 155 : Vue sur les champs de la casa 4



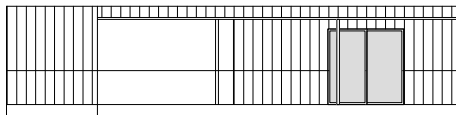
Plan



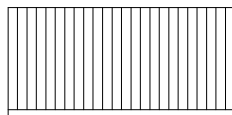
Façade est



Façade sud



Façade ouest



Façade nord



Figure 156 : Vue sur les champs depuis la salle polyvalente



Figure 157 : Vue de la toiture de la casona en direction de la casa 1

Rendu travail de master

Projet

Après de nombreux échanges avec Pablo et Magrianelea , j'ai eu la chance qu'ils me transmettent leurs rêves pour la communauté. Le souhait d'agrandir et de pouvoir accompagner entre 25 à 30 personnes en pension. Créer un logement d'urgence pour 10 à 15 personnes. Ces personnes seraient accompagnées par trois ou quatre familles. Ces familles feraient aussi fonctionner le centre. Les résidents qui suivent une thérapie habiteraient dans des dortoirs avec une salle de bain privative. La cuisine et le réfectoire sont communs.

La Casona garderait la fonction qu'elle a aujourd'hui. Il y aurait éventuellement les tours qui seraient réaménagées pour des missionnaires ou volontaires en visite dans la communauté. La salle polyvalente ne change pas, uniquement des améliorations sont apportées pour pouvoir l'utiliser toute l'année.

Pour le travail, là aussi un souhaite de diversification, avec un atelier pour le bois et un espace pour la production de brique en terre comprimée qui viennent compléter l'atelier mécanique et le laboratoire de produits de nettoyage.

La ferme, garde cette activité avec une plus grande diversité d'animaux, comme des lapins ou poules. Un nouveau bassin pour stocker d'eau et créer une pisciculture.

Pour les aménagements extérieurs, une multitude d'activités sont imaginées. Pour des activités sportives, en plus du terrain de foot, un espace pour pratiquer du patin ou du skate. une piscine enterrée, de la danse acrobatique, etc.

Pour le spirituel, il manque un espace de méditation. Qui pourrait prendre forme sous l'image d'une chapelle, d'un sentier qui amène à une pergola d'où l'on peut contempler le coucher de soleil sur la campagne.

Sous la forme de programmes simplifiés:

- Chapelle - espace de méditation
- Logements
 - Logement pour pensionnaire 25-30 lits
 - Logement d'urgence 10-15 lits
 - logement équipe d'encadrant 3-4 familles
 - logement pour missionnaires, bénévoles 2-5 lits
- Salon/Bibliothèque pour pensionnaire
- Cuisine et salle à manger commune
- Travail
 - Atelier bois,
 - Atelier métal
 - Briqueterie (BTC)
- Ferme
 - Animaux
 - Porcherie
 - Poulailier
 - Elevage de lapin
 - Culture maraichère
- Étang pour une pisciculture et stock d'eau.



Figure 158 : Culture terrain 1



Figure 159 : Champs terrain 2

En plus de ces nouveaux bâtiments, une rénovation thermique des bâtiments peut être un plus pour faire des économies d'énergie.

Comment faire passer ces rêves à la réalité. La communauté n'a pas beaucoup d'argent, mais des bras pour le réaliser.

Matériaux et mode de construction

Le projet va être imaginé pour travailler avec un maximum de matériaux naturels. Le projet va aussi chercher à donner des détails constructifs simples. L'idée est que les nouveaux bâtiments soient construits en autoconstruction par les membres de l'église et les pensionnaires de la ferme. Il y aura aussi des synergies à chercher entre les différents pôles du projet.

Matériaux de constructions disponibles

- Terre (creusée de l'étang pour la production de brique)
- Bois (eucalyptus ou pin)
- Paille
- Laine de mouton brute (produit de la ferme)
- Épluchure de riz. (déchet agricole)
- Profil en acier

Outils présents sur la ferme

- Tracteur avec pelle hydraulique
- Presse à brique hydraulique,
- Malaxeur linéaire hydraulique,
- Malaxeur à béton électrique
- Pelles
- Pioches
- Bidons
- Brouettes
- Échafaudages



Figure 161 : image intérieure avec jeu de lumière de la voûte

Objet, pratique

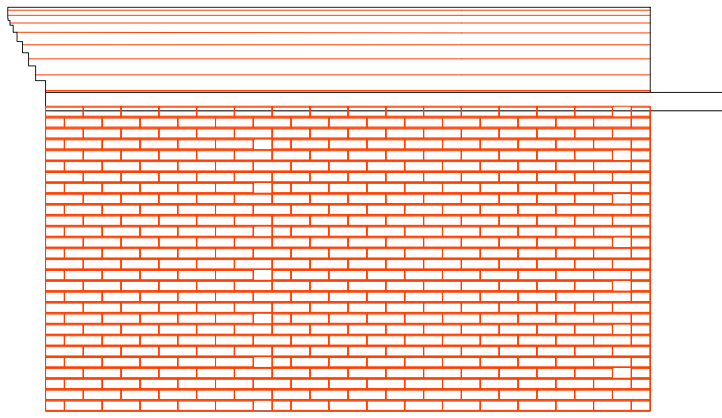
Objectifs

Les objectifs pour cet objet sont multiples :

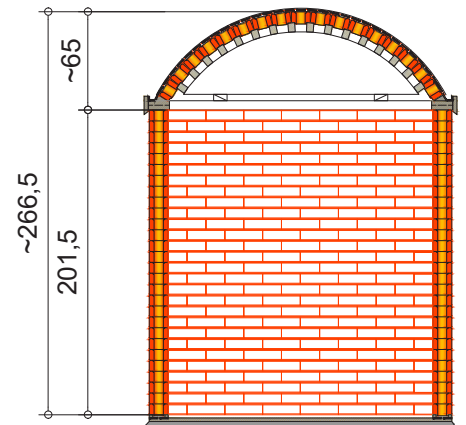
- Tester la construction d'une voûte sur coffrage.
- Utiliser la perforation des briques pour apporter de la lumière par le plafond.
- Tester la facilité de l'autoconstruction avec la terre comme matière
- Créer un espace introverti.



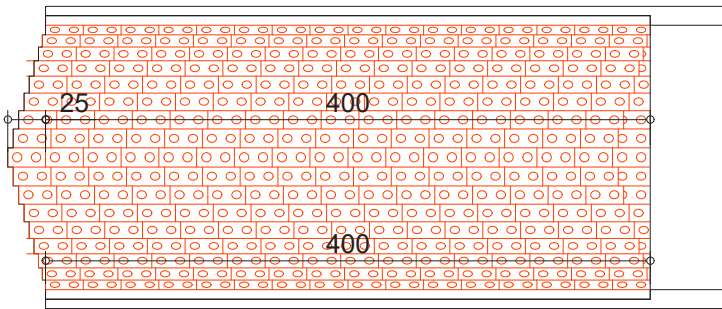
Figure 162 : image intérieur avec jeu de lumière de la voûte



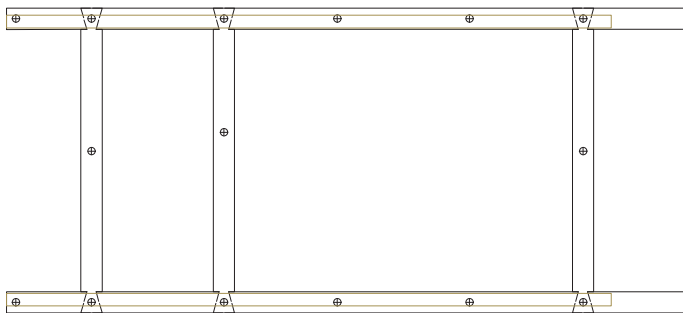
Elévation



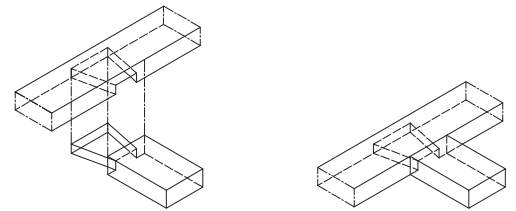
Elévation



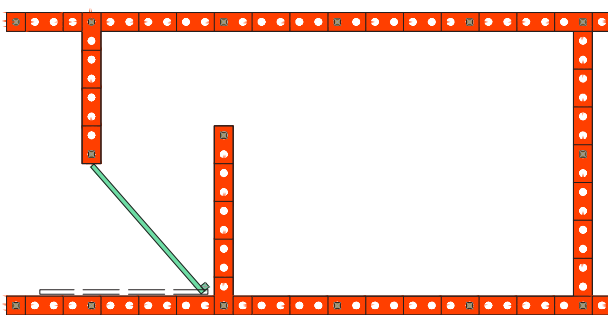
Plan toiture



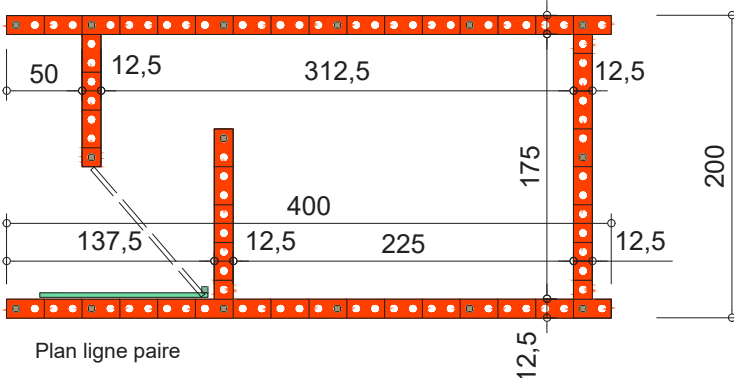
Plan chaînage



détail chaînage



Plan ligne impaire



Plan ligne paire

Nombre de briques 25/12.5/7cm

Voûte : 280 pc

Murs : 1250 pc

Réserve : 60 pc

Total : 1600 pc (~6m³ terre foisonnée)

Construire en terre en Uruguay

Prototype en brique terre crue BFF

Matias Cesari | 04.06.2019

0 25 50 125 250 cm

Devis estimatif pour la construction d'un prototype d'une voûte en terre crue pour le travail de master

Construction en terre en Uruguay, Développement, modernisation actualisation d'une communauté d'accueil.

	quantité	unité	prix/unité	prix
Analyse de terres				
Utilisation laboratoire génie civil	2	heures	80.00	160.00
Divers et imprévu	25	%		40.00
Totale analyse				200.00
Prototype "Espace de méditation"				
Productions brique + mortiers				
Terre préparée pour briques et enduis ¹ (terre foisonnée)	4.5	m3	200.00	900.00
Mise en route et formation pour production ¹	12	heures	85.00	1020.00
Forfait de location pour production de briques (~4'000 pcs) ¹	1	pc	200.00	200.00
Mecalac et machiniste pour déplacement matériaux ¹	2	pc	190.00	380.00
Mise à disposition de l'emplacement de fabrication et de stockage ¹	0			
Ciment pour stabilisation (sac de 25 kg) (11 stabilisation terre + 4 pour radier)	15	pc	5.00	75.00
Chaux (sac de 20 kg)	5	pc	18.00	90.00
Sable fin (sac de 25 kg)	5	pc	10.00	50.00
Bouteille en verre (pour puits de lumière)	100	pc	2.00	200.00
Feuille bitumineuse	2.5	m2	10.00	25.00
Grillage triple torsion (armature crépie voûtes)	16	m2	3.20	51.20
Bois				
Chaînage toiture épicea 140x80mmx16'000mm	0.1792	m3	675.00	120.96
Coffrage en bois (panneau 3 plis)	10	m2	25.00	250.00
Latte en bois coffrage (30x60mm)	80	m1	0.00	0.00
Visserie et petits matériels	1	pc	200.00	200.00
Transport				
Transport du bois	1	pc	100.00	100.00
Transport briques + terre (~6t)	1	pc	500.00	500.00
Location camionnette pour transport avec pont basculant	2	jours	250.00	500.00
Aide				
Aide pour la construction	25	heures	25.00	625.00
Divers et imprévu	10	%		528.72
Total prototype				5815.88
Total prototype arrondi				5800.00
Totale analyse et prototype				6000.00

¹ selon offre n° 1076 du 25 mars 2019 de Pittet Artisans

Les prix ont été vus avec Charle Riedo

Non compris, utilisation de l'atelier popup avec ses outils

Les analyses de terre peuvent être faites dans les laboratoires de la filière de génie civil de l'HEIA-FR.

Le prix des analyses est une estimation.

Production des briques

La production des briques s'est déroulée à Ursy sur le site du nouveau dépôt de l'entreprise Pittet artisans durant la semaine de Pâques 2019. La terre utilisée pour produire ces briques provient de l'excavation du site. La terre a été calibrée et stabilisée à la chaux vive (5%) avant de reposer durant une année. Pour produire les briques, j'ai rajouté un 5% de ciment et garder le taux d'humidité naturel de la terre qui était proche des 10%. C'est là que l'on va avoir le meilleur taux de compression des blocs. La terre et le ciment ont été mélangé dans un malaxeur avant de passer dans un concasseur pour casser les éventuelles mottes qui se sont formées. Une fois la terre préparée, elle a été pressée à l'aide d'une presse hydraulique. Le taux de compression est d'environ 1.5 avec cette machine. Une fois le bloc moulé, il est conditionné sur palette et emballé dans un film plastique pour le curage d'une semaine à un taux d'humidité de 100%. Le rendement de production était d'environ 100 briques par heure pour deux personnes et d'environ 180 briques à trois ou quatre personnes. Dans ce dernier cas la production avec la presse peut se faire en discontinue.

Après 10 jours les briques ont été transportées à Fribourg par camions et déballées pour finir le séchage.



Figure 164 : terre stabilisée avec la chaux et 10% d'humidité.



Figure 166 : Réglage de la presse avec Sébastien Pittet.



Figure 165 : Mélange de la terre et du ciment dans le malaxeur avant de concasser les mottes.



Figure 167 : Curage des briques.

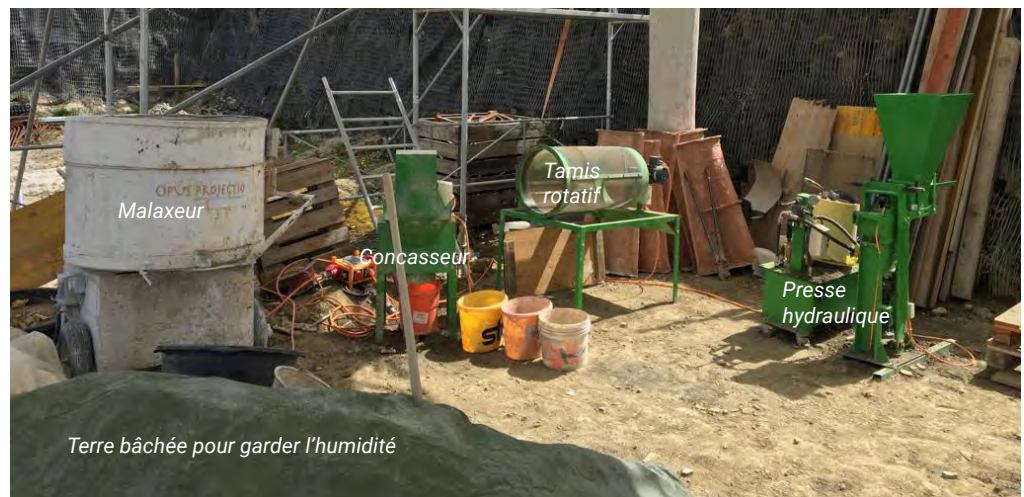


Figure 163 : Outils pour production des blocs.

Construction

La construction à Fribourg s'est passée en deux étapes, la première étape a été de préfabriquer tous les éléments en bois (sol, chaînage et coffrage) durant le séchage des briques.

La construction de l'objet s'est bien déroulée dans l'ensemble, une fois le plancher en bois posé sur le lit de sable nivelé, les murs (24m²) ont été montés en moins d'une journée à deux. La construction de l'arasée, la pose du chaînage et du coffrage ont pris une journée à deux personnes. Le maçonnerie de la voûte a pris deux jours à deux personnes. La production de la voile de toiture a pris une journée de travail à une personne. Le décoffrage et les travaux de finitions (pose de voile, chéneaux et panneaux de fermeture) ont pris une journée de travail à deux.



Figure 168 : Découpe queue d'aigle



Figure 169 : Découpe queue d'aigle

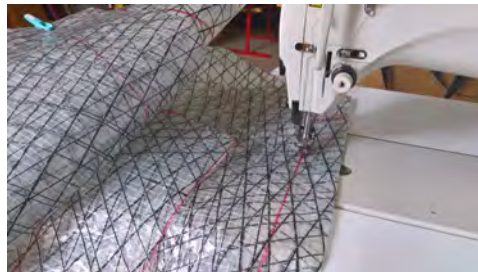


Figure 170 : Couture d'ourlet sur la voile



Figure 171 : Découpe arc de cercle avec un guide.

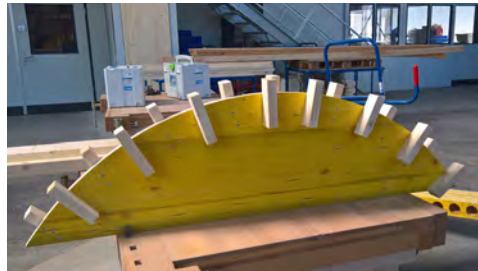


Figure 172 : Coffrage prêt.

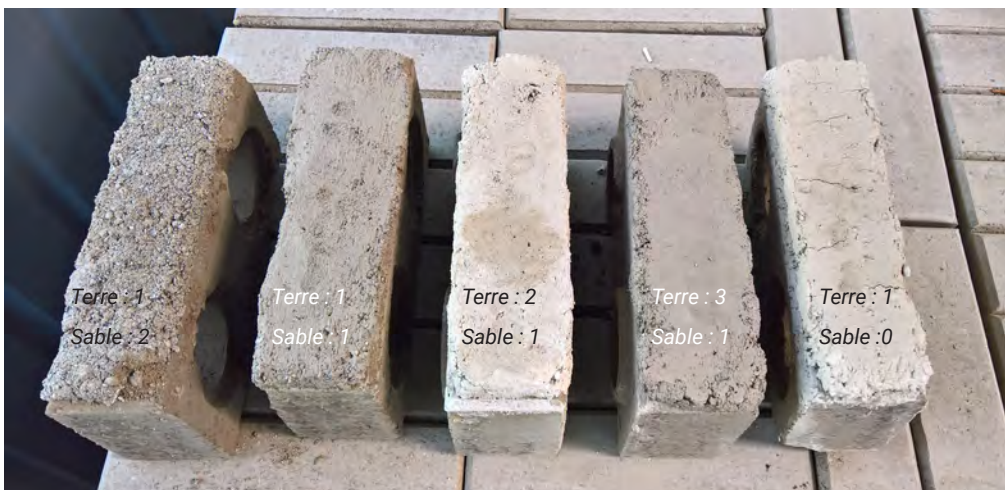


Figure 173 : Test de mortier terre et sable.



Figure 174 : Lit de sable nivelé.



Figure 175 : Panneau de bois pour fondation.



Figure 176 : Construction des murs avec latte de bois.



Figure 177 : Construction des murs avec lattes de bois.



Figure 178 : Coupe des 1/2 briques.

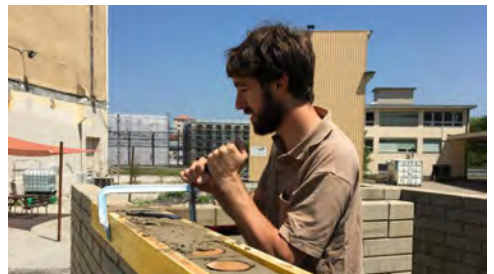


Figure 179 : Arasé de mortier pour pose du chaînage.



Figure 180 : Coffrage sur coin pour le démontage.



Figure 181 : Coffrage fini .



Figure 182 : Briques dans l'eau avant de les coller.



Figure 183 : Construction de la voûte.



Figure 184 : Voûte finie.



Figure 185 : Décoffrage de la voûte.

Bilan prototype

La production des briques s'est bien passée. La mécanisation du mélange de la terre et du ciment permettent de produire de plus gros volumes rapidement en comparaison avec le grill en Uruguay. Presser les blocs avec le taux d'humidité naturel du terrain était aussi un gain de temps. L'empilage des briques sur les palettes ne s'est pas toujours très bien déroulé, les briques au fond de la palette avaient tendance à être cassées. Ceci devait venir des palettes qui n'étaient pas toujours très plates et donc recevaient une charge avant d'être suffisamment dures.

Pour la construction des murs, la pression des briques est très importante pour garder des lignes horizontales, ce qui a plus ou moins bien marché. Comme les murs sont montés à sec, il n'y a pas de moyens pour corriger la ligne. Pour une pression maximale, il aurait fallu mettre un mortier pour compenser les imperfections.

Les chaînages en bois verticaux que j'ai mis dans les murs ont gonflé avec l'humidité, ce qui a fait fissurer quelques briques (fig. 184), mais dans l'ensemble, cela fonctionnait bien. Pour un prochain objet, il faut prévoir un peu plus de marges. Le crépi bâtard utilisé pour la voûte avait une granulométrie de 0 à 4 mm, ce qui compliquait le remplissage régulier des joints. Il faudrait utiliser un mortier plus fin pour une prochaine voûte.



Figure 186 : Jeu de lumière avec les alvéoles du bloc.



Figure 187 : Détail porte.

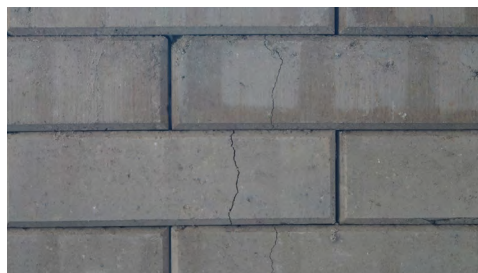


Figure 188 : Fissure au niveau des latte dans le mur.



Figure 189 : Appareillage brique.



Figure 190 : Appareillage brique.

Projet de références

Réduction⁴² Jésuite⁴³

Entre la fin du XVI^e siècle jusqu'au XVII^e siècle, des missionnaires Jésuites ont mis en place une organisation sociale utopique dans la région du sud du Brésil, nord de l'Argentine, le Paraguay et l'Uruguay. Ces réductions Jésuites étaient des outils des espagnols pour pacifier et évangéliser les indigènes guaranis qui vivaient là-bas. Ces réductions étaient des villages dirigés par quelques moines et qui pouvaient regrouper jusqu'à 4'000 personnes. Les Indiens qui vivaient dans ces réductions Jésuites avaient les mêmes droits que les colons espagnols. Avec le temps les Guaranis sont armés pour se défendre contre les portugais et les esclavagistes. Ils sont une force redoutable en Amérique latine qui va aider plusieurs fois l'Espagne. À partir de 1767, les Jésuites sont chassés d'Amérique latine par les rois d'Espagne et du Portugal. Une fois les moines partis, les Indiens sont retournés dans la forêt.



Figure 191 : Carte de la province Jésuite.



Figure 192 : mission de São João Batista. Dessin polychrome du XVIII^e siècle

⁴² « Réduction » est le nom des villages des Guaranis sous la protection des missionnaires Jésuites.

⁴³ Carlos Zerón, *Mission et espace missionnaire*, Archives de sciences sociales des religions [En ligne], 169 | Janvier-mars 2015,, consulté le 22.01.2019, [http:// assr.revues.org/26772](http://assr.revues.org/26772)

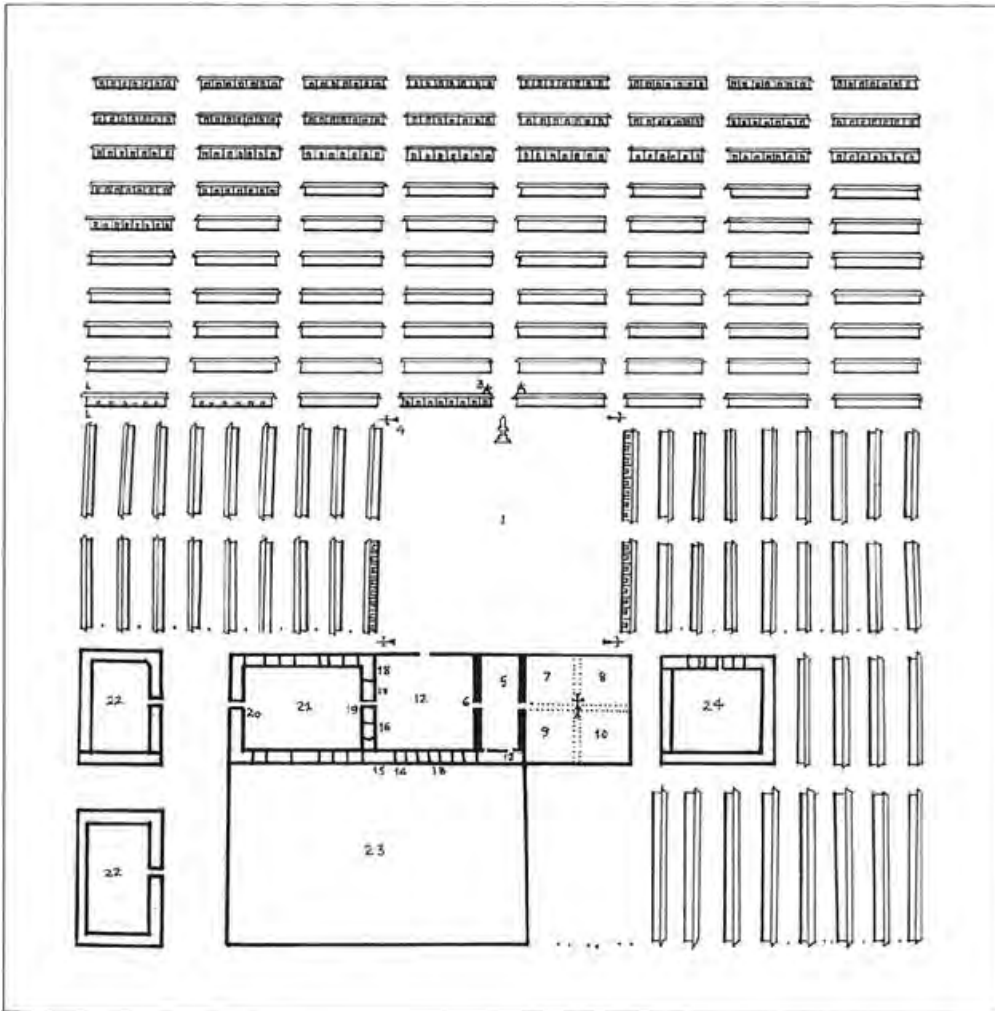


Figure 193: 1. Place ; 2. Rolo ; 3. Deux chapelles où les morts adultes sont veillés ; 4. Croix (il y en a quatre, aux angles des places) ; 5. Église, avec trois portes qui donnent sur la place et deux sur les côtés ; 6. Porte qui donne sur la cour des pères ; 7. Cimetière : zone des garçons ; 8. Cimetière : zone des filles ; 9. Cimetière : zone des adultes ; 10. Cimetière : zone des femmes adultes ; 11. Sacristie avec deux portes d'accès à l'église ; 12. Cour de la maison des pères ; 13. Logis des pères, comme ceux des collègues ; 14. Avant-réfectoire ; 15. Réfectoire ; 16. Bureaux des serviteurs et magasins du commun ; 17. Magasins où les armes étaient conservées, par ordre du roi ; 18. Chambre de musique et de danses pour la célébration des fêtes ; 19. Porte qui donne sur la cour ; 20. Porte d'entrée précédant la deuxième cour ; 21. Cour séparée de tout ; 22. Dépôts du commun du peuple ; 23. Jardin potager des pères ; 24. Maison des veuves (cotiguaçu).

Ces villages étaient organisés autour d'une grande place. Dans le monastère, on retrouvait une école, un dispensaire ou des ateliers. Sur les trois autres faces de la place sont les habitations des Indiens guaranis construits sur un plan en damier. Cette forme organisation permettait aux jésuites d'avoir un contrôle sur le village.

Calera de las Huérfanas, monastère Jésuite en Uruguay

En Uruguay, dans la Province de Cognac à 16 kilomètres de Carmelo, on retrouve la trace d'un monastère Jésuite. Fondé en 1741-1742. Ce monastère occupait environ 250 personnes. C'était une ferme avec un verger et des vignobles. En plus de la ferme, des ateliers permettaient de produire une série de bien comme : des briques, des tuiles, de la chaux. On y produisait du tissu, des outils forgés ou du savon. Ces biens étaient exportés à Montevideo, Cologna ou Buenos Aires.

Le monastère se développe autour de deux cours la première regroupe les logements, les ateliers et la Chapel. La deuxième cour regroupe les bâtiments agricoles.

Aujourd'hui on peut encore voir les ruines de la chapelle, quelques murs du monastère et les fours à chaux.

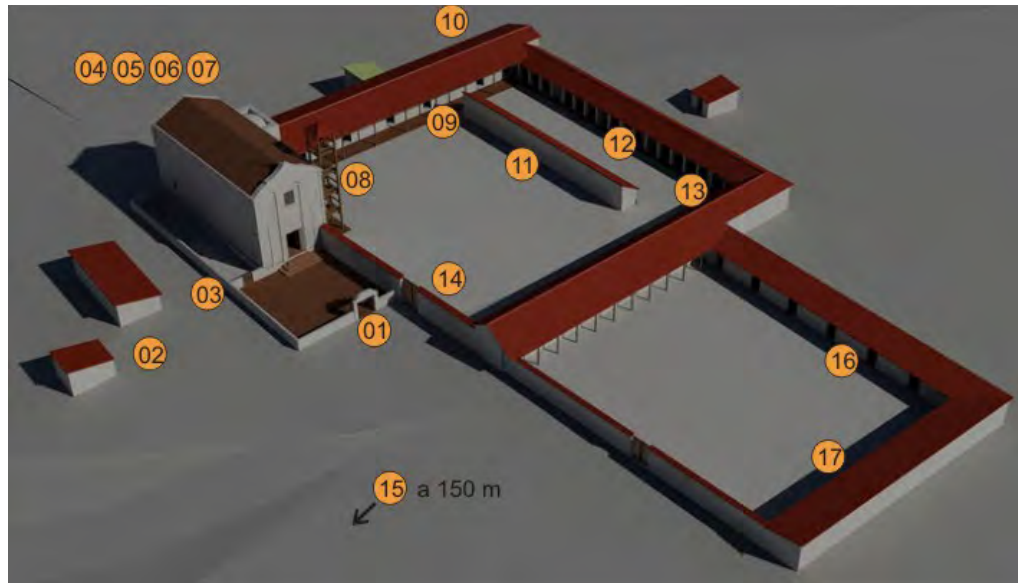


Figure 194 : 01. Parvi 02. Cuisine San Martin, 03. Cimetière, 04. Tombes, 07. Chapelle, 08. Sacristie, 09. Logements, 10. Réfectoire, 11. Logement des esclaves, 12. Ateliers, 13. Nouveaux logement, 14. Porte pour la cours d'honneur 15. Fours, 16. Logement esclaves, 17. ferme.

Iglesia de Cristo Obrero y Nuestra Señora de Lourdes,

Eliadio Dieste, 1974, Ceramique armée, Atlántida UY

Structures : toit, voûte gaussienne (continue) | mur, surfaces réglées



Figure 195 : Clocher



Figure 196 : Entrée de l'église

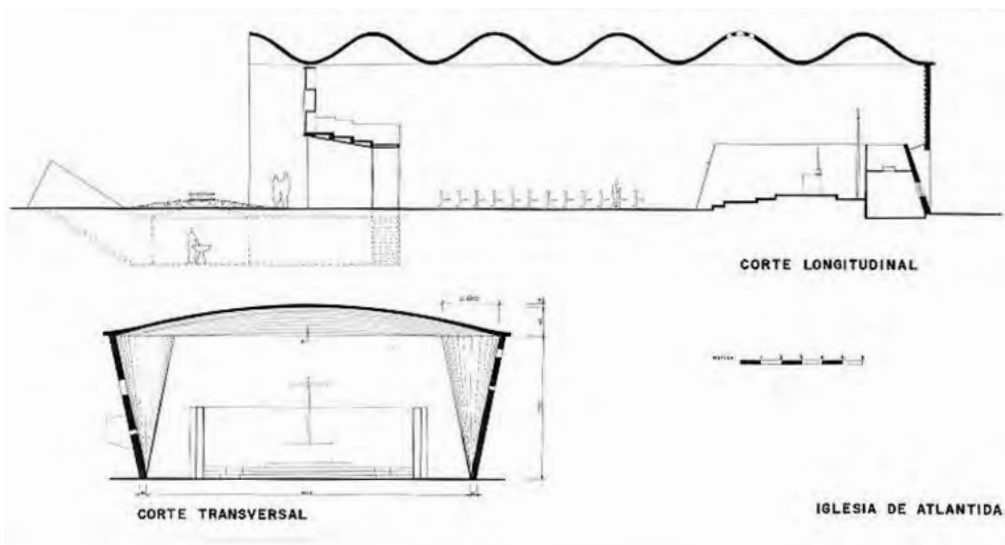


Figure 197 : Coupes

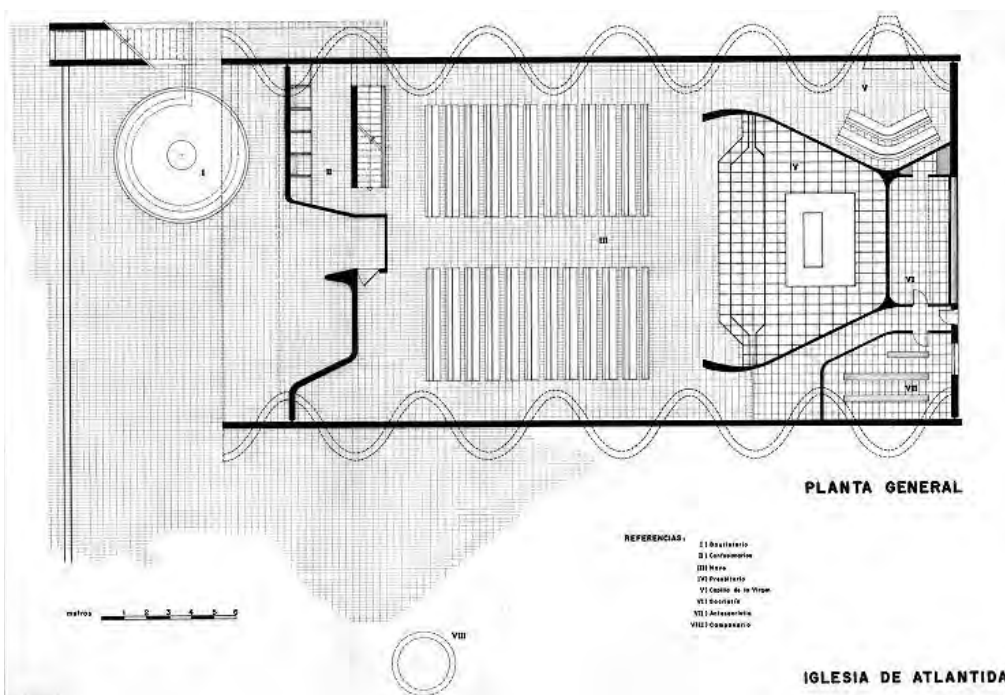


Figure 198 : Plan

Coupole acoustique

Arch. Gernot Mike, Kareen Herzfeld et N. Carlos Picielli, 2007, adobe, Sierrea de Rocha,

Dome en adobe et toiture végétalisée.



Figure 199 : Extérieur du dôme

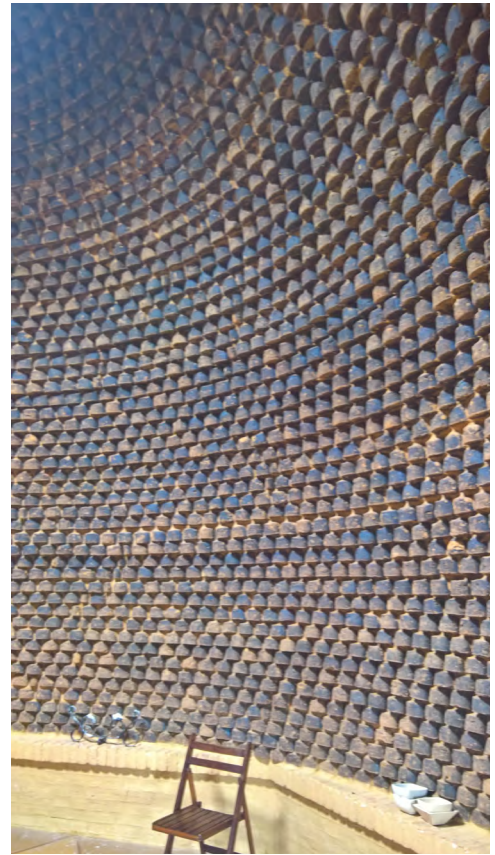
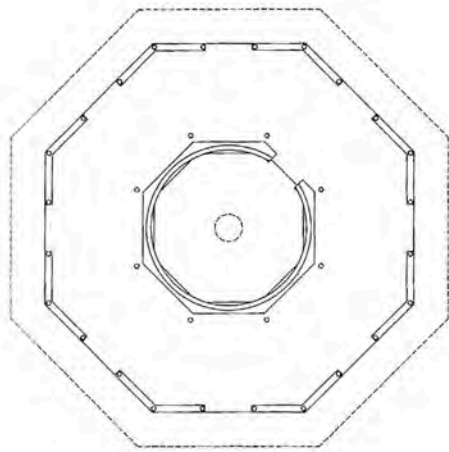


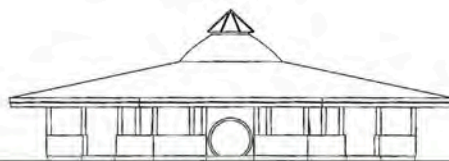
Figure 200 : Intérieur du dôme



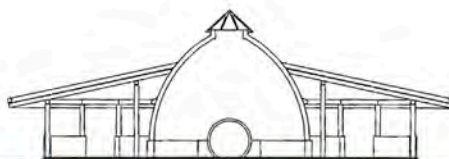
Figure 201 : Vue extérieur



planta



fachada noreste



corte

Figure 202 : Plans

Divers projets de logements

Arch. Gernot Mike

Gernot Mike est un architecte allemand né le 8 avril 1937. Durant sa carrière, il a développé des constructions écologiques et à bas coûts en argile, paille ou bambou. Il a fait plusieurs projets ou recherches en Amérique latine et en Allemagne dans l'université de Kassel où il enseigne. Il est aussi régulièrement invité en Uruguay pour aider sur des projets ou donner des conférences.



Figure 203 : Construction de voûtes en paille pour cinq unités d'habitation, Buchberg-Wangelin Allemagne, 2013



Figure 204 : Cinq unités d'habitation fini, Buchberg-Wangelin Allemagne, 2013



Figure 205 : Projet pour une clinique de santé en Allemagne

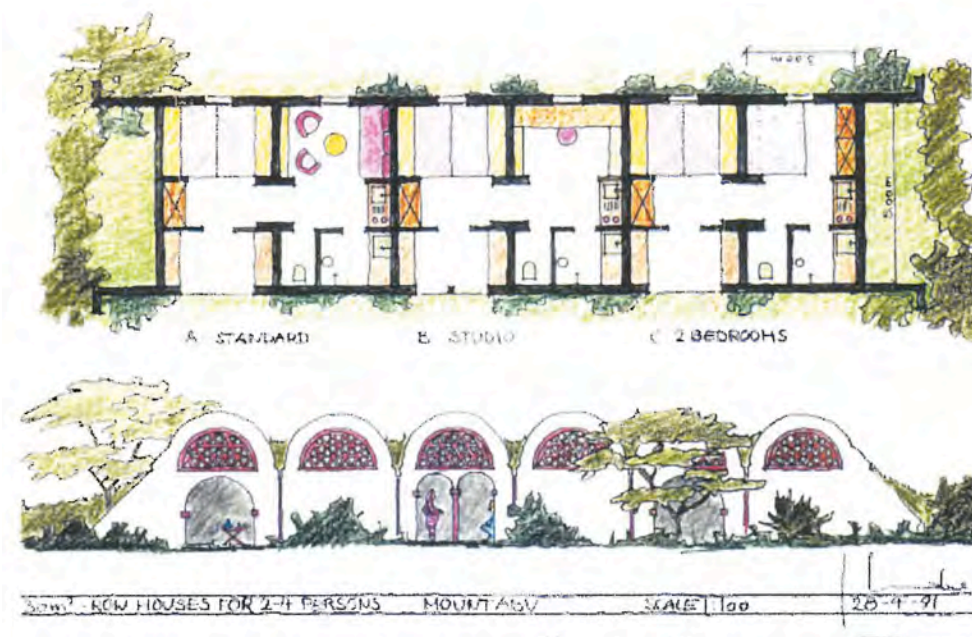


Figure 206 : Projet d'unités d'habitation pour une ville du futur en Inde, 1991

Sources

Bibliographie

Alejandro Ferreiro, *Arquitectura con tierra en Uruguay*, Montevideo 2010, EcoHabitar.

Alejandro Ferreiro, Jessica Mesones, Andrea Meynet, Nadia Muñoz, Bruno Palumbo, Catalina Radi, Gabriela Vázquez, *Construir con terrón, de la tierra a la experiencia*, Montevideo, Mastergraf, 2014

Diego C. Venturini, *Parrillero familiar*, Montevideo, Almanaque del banco de seguros del estado, 1988, pages 264-271

Galaor Carbonell, *Eliadio Dieste, La Estructura Ceramica*, Colombie, Edicion ESCALA, 1987

Gernot Minke, *Building with earth, Design and technology of a Sustainable architecture*, Basel, Birkhäuser Verlag, 2013

Gernot Minke, *Diseño interior en tierra : Pisos, estufas y hornos, lavamanos e instalaciones*, Barcelona: Icaria, 2018

Gernot Minke, *Cúpulas y bóvedas : para vivir y trabajar, crear y meditar*, Barcelona, Icaria, 2017

Gernot Minke, *Muros de barro*, Barcelona: Icaria, 2014

Gernot Minke, *Manual de construcción en tierra : La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*, Montevideo, Fin de siglo, 2008

Juan Antonio Rodriguez, *Constuya ud. mismo su casa con tierra y portland*, Montevideo, Almanaque del banco de seguros del estado, 1950, pages 33-73

Juan Guira. *Desde la época de cuero crudo hasta la del hormigón armado*,. Montevideo, UR, FA, IHA, 1976.

Hugo Píriz, *Son los de Jabes*, San Martin, Edition Zonalibro, 2017

Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, Marseille, Éditions Patenthèses, 2006

Lucile Couvreur, *Matière eau, développement de contenus pédagogiques pour le projet amàco*, Grenoble, ENSAG, septembre 2014

Mariana Correia, *Vesuvius, Leçon du patrimoine vernaculaire pour une architecture durable*, Genoble, CRAterre/ESG/UNICA/UNIFI/UPV, 2014,

Mateo Legnani, *El Rancho*, Montevideo, Almanaque del banco de seguros del estado, 1917, pages 297-315

Marie Milesiet et Johannes Riesterer, *Les sol en terre*, Mens: terre vivante, 2012

Mariette Moevus-Dorvaux, Lucile Couvreur, Basile Cloquet, Laetitia Fontaine, Romain Anger, Patrice Doat, *Béton d'Argile Environnemental 2010-2013, Résultats d'un programme de recherche tourné vers l'application*. CRAterre, éditions Villefontaine, 2016

Matías Marchesoni y Sophia Evans, *La construcción en Madera en Uruguay, Una historia en el tintero*, Montevideo, Facultad d'architecture de la republique d'Uruguay, 2011

Romain Anger et Laetitia Fontaine, *Grains de bâtisseurs, La matière en grains, De la géologie à l'architecture*, Grenoble, CRATerre-ENSA, 2005

Satprem Maini, *Building with arches, vaults and domes Training Manual for architects and engineers*, Auroville, earth intitute, 2012

Satprem Maini, *Productioun and use of compressed strabilised earth blocks, code of practis*, Auroville, earth intitute, 2015

Virginia Del Pino y Verónica estramil, *Arquitectura con tierra Bioconstrucción en cooperativa de viviendas por ayuda mútua*, Montevideo, Facultad d'architecture de la republique d'Uruguay, 2014

Internet

Adam De Jong, «Dwell Earth Presents Innovations in Soil Analysis and Mix Design for Earth Blocks» *conférence* [online], mise en ligne le 3 juin 2016, <https://youtu.be/KrMAuJQoNYk> (consulté le 20 septembre 2018)

Amàco, *Site internet dans son intégralité* [online], <http://www.amaco.org/>, (consulté le 5 juin 2018)

Alejandro Ferreiro, «Construir con terrón : Building with turf», film[online], mise en ligne le 20 avril 2015, <http://www.enterron.edu.uy/#video> (consulté le 28 mai 2018)

Chacra Jabes, *Site internet dans son intégralité* [online], <https://cjabes.wixsite.com/lachacrajabes> (consulté le 1 novembre 2018)

CRAterre, *Site internet dans son intégralité* [online], <http://craterre.org/>, (consulté le 5 mai 2018)

Dwell Earth , *Site internet dans son intégralité* [online], <https://dwellearth.com> (consulté en septembre et octobre 2018)

Cartes d'Uruguay, *Site internet dans son intégralité* [online], Site <http://www.angelfire.com/ma2/geouruguayleo/mapas.html> (consulté le 30 mai 2018)

Dominique Gauzin-Müller, «Conférence «Cycle Matières» : Architecture en Terre d'aujourd'hui» *conférence* [online], mise en ligne le 7 décembre 2016, https://youtu.be/w_L-wyzeq_c (consulté le 16 mai 2018)

Gichet cartographique de montevideo : *Site internet dans son intégralité* [online], <http://intgis.montevideo.gub.uy/pmapper/map.phtml?modo=fullscreen> (consulté le 27.10.2018)

Juventud para Cristo *Site internet dans son intégralité* [online], <http://juventudparacristo.org.uy>, (consulté le 14.01.2019)

Pittet artisans sàrl, *Site internet dans son intégralité* [online], <http://www.pittet-artisans.ch/> (consulté le 16 juillet 2018)

Romain Anger, «La Terre et les fibres végétales : matériaux de construction du futur». *conférence* [online], mise en ligne le 8 décembre 2015, https://youtu.be/WJIJb625_04 (consulté le 16 mai 2018)

Liste des figures.

- 01 World resoures institute, consulté le 6.12.2018 <https://www.wri.org/resources/charts-graphs/world-greenhouse-gas-emissions-2005>
- 02 *Leçon du patrimoine vernaculaire pour une architecture durable*, page 12,17,29,41
- 03 photos : Matias Cesari
- 04 mind map, materiaux, Matias Cesari, mai 2018
- 05 CRAterre, consulté le 5 juin 2018, <http://craterre.org>.
- 06 Wikipedia, consulté le 16.01.2019 https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Formaci%C3%B3n_del_suelo.png
- 07 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 31
- 08 Wikipedia, consulté le 16.01.2019 https://fr.wikipedia.org/wiki/Texture_du_sol
- 09 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 32
- 10 photo : Matias Cesari
- 11 photo : Matias Cesari
- 12 *Béton d'Argile Environnemental 2010-2013* pages 23,25,27
- 13 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 36
- 14 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 37
- 15 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 37
- 16 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 37
- 17 Muros de barro page 5
- 18 consulté le 16.01.2019 <https://dwellearth.com/soils-analysis-mobile-testing-lab/>
- 19 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 81
- 20 *Conférence du 26 mars de TERRABLOC Rodrigo Fernandez, Yverdon*
- 21 cours de construction en terre crue de la faculté d'architecture de l'Uruguay
- 22 Hugo Houben et Hubert Guillaud, *Traité de construction en terre*, page 163
- 23 photo : Matias Cesari
- 24 photo : Matias Cesari
- 25 Cooperative Equilibre, consilté le 9 avril 2016, www.cooperative-equilibre.ch/projets/soubeyran/
- 26 photo : Matias Cesari
- 27 photo : Matias Cesari
- 28 photo : Matias Cesari
- 29 photo : Matias Cesari
- 30 photo : Matias Cesari
- 31 photo : Matias Cesari
- 32 photo : Matias Cesari
- 33 photo : Matias Cesari
- 34 photo : Matias Cesari
- 35 photo : Matias Cesari
- 36 photo : Matias Cesari
- 37 photo : Matias Cesari
- 38 photo : Benjamin Neuhaus
- 39 photos : Jean-Michael Taillebois
- 40 photo : Matias Cesari
- 41 photo : Matias Cesari
- 42 photo : Matias Cesari
- 43 photo : Matias Cesari
- 44 photo : Matias Cesari
- 45 photo : Marie-Paule Bugnon
- 46 photo : Marie-Paule Bugnon
- 47 photo : Matias Cesari
- 48 photo : Matias Cesari

- 49 photo : Matias Cesari
- 50 photo : Matias Cesari
- 51 photo : Matias Cesari
- 52 photo : Matias Cesari
- 53 photo : Matias Cesari
- 54 photo : Matias Cesari
- 55 photo : Matias Cesari
- 56 photo : Matias Cesari
- 57 photo : Matias Cesari
- 58 photo : Matias Cesari
- 59 photo : Matias Cesari
- 60 photo : Matias Cesari
- 61 Photo : Matias Cesari
- 62 Photo : Matias Cesari
- 63 Photo : Matias Cesari
- 64 Photo : Matias Cesari
- 65 photo : Matias Cesari
- 66 photo : Matias Cesari
- 67 geouruguayleo, consulté le 30.05.2018 <http://www.angelfire.com/ma2/geouruguayleo/mapas.html>
- 68 geouruguayleo, consulté le 30.05.2018 <http://www.angelfire.com/ma2/geouruguayleo/mapas.html>
- 69 geouruguayleo, consulté le 30.05.2018 <http://www.angelfire.com/ma2/geouruguayleo/mapas.html>
- 70 geouruguayleo, consulté le 30.05.2018 <http://www.angelfire.com/ma2/geouruguayleo/mapas.html>
- 71 Alejandro Ferreiro, *Arquitectura con tierra en Uruguay*, page 4
- 72 Alejandro Ferreiro, *Arquitectura con tierra en Uruguay*
- 73 www.internet.com.uy/charruas/html/charruas_y_sus_costumbres.html.
- 74 ANEP La "edad del cuero" en la Banda Oriental, consulté le 23.01.2019, <http://www.uruguayeduca.edu.uy/recursos-educativos/1810>
- 75 www.calamandayledesesperedegustavecourbet.blogspot.com/2011/01/juan-manuel-blanesuruguay-museo.html
- 76 Juan Antonio Rodriguez, *Constuya ud. mismo su casa contierra y portland*, Montevideo, Almanaque del banco de seguros del estado, 1950, 33-73
- 77 Juan Antonio Rodriguez, *Constuya ud. mismo su casa contierra y portland*, Montevideo, Almanaque del banco de seguros del estado, 1950, 33-73
- 78 [cpmhttp://www.tierraalsur.com/obras/2005/montevideo/coop-vaimaca/](http://www.tierraalsur.com/obras/2005/montevideo/coop-vaimaca/)
- 79 Consulté le 23.01.2019, <http://www.fadu.edu.uy/eladio-dieste/obras/deposito-julio-herrera-y-obes/>
- 80 Consulté le 23.01.2019, <http://www.fadu.edu.uy/eladio-dieste/obras/vivienda-berlingieri/>
- 81 Consulté le 23.01.2019, <http://www.fadu.edu.uy/eladio-dieste/obras/deposito-julio-herrera-y-obes/>
- 82 Consulté le 23.01.2019 <http://www.fadu.edu.uy/eladio-dieste/obras/terminal-municipal-de-omnibus/>
- 83 Consulté le 23.01.2019, <http://www.fadu.edu.uy/eladio-dieste/obras/torretel/>
- 84 Galaor Carbonell, *Eliadio Dieste, La Estructura Ceramica*, page
- 85 Galaor Carbonell, *Eliadio Dieste, La Estructura Ceramica*, , page 37
- 86 Cours construction en terre de la faculté d'architecture d'Uruguay

87	www.uruguayeduca.edu.uy/Portal.Base/Web/verContenido.aspx?ID=202802
88	Centros de Desarrollo Regional, Consulté le 28.11.2018, http://www.desarrolloregional.org.uy/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=247:el-rancho
89	Cours construction en terre de la faculté d'architecture d'Uruguay
90	Cours construction en terre de la faculté d'architecture d'Uruguay
91	Alejandro Ferreiro, <i>Arquitectura con tierra en Uruguay</i> , page 73
92	Alejandro Ferreiro, <i>Arquitectura con tierra en Uruguay</i> , page 72
93	Cours construction en terre de la faculté d'architecture d'Uruguay
94	Alejandro Ferreiro, <i>Arquitectura con tierra en Uruguay</i> , page 67
95	Alejandro Ferreiro, <i>Arquitectura con tierra en Uruguay</i> , page 68
96	Cours construction en terre de la faculté d'architecture d'Uruguay
97	Cours construction en terre de la faculté d'architecture d'Uruguay
98	Alejandro Ferreiro, <i>Arquitectura con tierra en Uruguay</i> , page 107
99	Alejandro Ferreiro, <i>Arquitectura con tierra en Uruguay</i> , page 106
100	photo : Jorge Cesari
101	photo : Matias Cesari
102	Dwellearth consulté le 22.09.2018, https://dwellearth.com/soil-science-2/
103	photo : Matias Cesari
104	photo : Matias Cesari
105	photo : Matias Cesari
106	photo : Matias Cesari
107	photo : Matias Cesari
108	photo : Matias Cesari
109	photo : Matias Cesari
110	photo : Matias Cesari
111	photo : Matias Cesari
112	photo : Matias Cesari
113	photo : Matias Cesari
114	photo : Matias Cesari
115	photo : Matias Cesari
116	photo : Matias Cesari
117	photo : Matias Cesari
118	photo : Matias Cesari
119	photo : Matias Cesari
120	photo : Matias Cesari
121	photo : Matias Cesari
122	photo : Matias Cesari
123	photo : Matias Cesari
124	photo : Matias Cesari
125	photo : Matias Cesari
126	photo : Matias Cesari
127	photo : Matias Cesari
128	photo : Jorge Cesari
129	photo : Matias Cesari
130	photo : Matias Cesari
131	photo : Matias Cesari
132	photo : Matias Cesari
133	photo : Matias Cesari
134	photo : Matias Cesari
135	photo : Matias Cesari
136	photo : Matias Cesari
137	photo : Matias Cesari
138	photo : Lucas Cesari

139 photo : Lucas Cesari
140 photo : Lucas Cesari
141 photo : Matias Cesari
142 photo : Matias Cesari
143 photo : Matias Cesari
144 photo : Matias Cesari
145 photo : Matias Cesari
146 photo : Matias Cesari
147 photo : Matias Cesari
148 photo : Matias Cesari
149 photo : Matias Cesari
150 photo : Matias Cesari
151 photo : Matias Cesari
152 photo : Matias Cesari
153 photo : Matias Cesari
154 photo : Matias Cesari
155 photo : Matias Cesari
156 photo : Matias Cesari
157 photo : Matias Cesari
158 photo : Matias Cesari
159 photo : Matias Cesari
160 Photo : Matias Cesari
161 Photo : Cynthia Pruvost
162 Photo : Cynthia Pruvost
163 Photo : Jean-Michael Taillebois
164 photo : Matias Cesari
165 photo : Matias Cesari
166 photo : Matias Cesari
167 photo : Matias Cesari
168 photo : Matias Cesari
169 photo : Matias Cesari
170 photo : Matias Cesari
171 photo : Matias Cesari
172 photo : Matias Cesari
173 photo : Matias Cesari
174 photo : Matias Cesari
175 photo : Matias Cesari
176 photo : Matias Cesari
177 photo : Matias Cesari
178 photo : Matias Cesari
179 photo : Jean-Michael Taillebois
180 photo : Matias Cesari
181 photo : Matias Cesari
182 photo : Matias Cesari
183 photo : Matias Cesari
184 photo : Matias Cesari
185 photo : Matias Cesari
186 photo : Matias Cesari
187 photo : Matias Cesari
188 photo : Matias Cesari
189 photo : Matias Cesari
190 photo : Jean-Michael Taillebois

191 Giovanni Petroschi , 1732, consulté le 22.01.2019, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/Jesuit_Province_Paraguay_1732_map.png

- 192 Carlos Zerón, « *Mission et espace missionnaire* », *Archives de sciences sociales des religions [En ligne]*, 169 | Janvier-mars 2015, mis en ligne le 01 juin 2018, consulté le 22.01.2019 URL : [http:// assr.revues.org/26772](http://assr.revues.org/26772)
- 193 Maeder E. J. A., Gutierrez R *Atlas territorial y urbano de las misiones jesuíticas de guaraníes, Argentina, Paraguay y Brasil, Rome en 1753. Reproduit in ibid., p. 40. Séville : Consejería de Cultura, 2009.*
- 194 *Calera de las huérfanas* , consulté le 18.01.2019 <http://www.caleradelashuorfanas.org/circuito/>
- 195 photo : *Matias Cesari*
- 196 photo : *Matias Cesari*
- 197 Plataforma arquitectura, consulté le 03.06.2018, https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-98249/clasicos-de-arquitectura-iglesia-del-cristo-obrero-eladio-dieste/800px-planta_iglesia_de_atlentida
- 198 Plataforma arquitectura, consulté le 03.06.2018, https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-98249/clasicos-de-arquitectura-iglesia-del-cristo-obrero-eladio-dieste/800px-planta_iglesia_de_atlentida
- 199 photo : *Matias Cesari*
- 200 photo : *Matias Cesari*
- 201 photo : *Matias Cesari*
- 202 Alejandro Ferreiro, *Arquitectura con tierra en Uruguay*, page 88
- 203 Gernot Minke, *Cúpulas y bóvedas*, page 54
- 204 Gernot Minke, *Cúpulas y bóvedas*, page 55
- 205 Gernot Minke, *Cúpulas y bóvedas*, page 56
- 206 Gernot Minke, *Cúpulas y bóvedas*, page 57

Unidad de Educación Permanente Centro Universitario Regional del Este

Certifica que:

Matias Cesari

Asistió al curso "**Construcción con tierra e instalaciones eficientes (tratamiento ecológico de aguas)**" dictado por los docentes Alejandro Ferreiro, Helena Gallardo, Nestor Mazzeo y Pablo Miguez, con una carga horaria de 40 horas.

Maldonado, 26 de diciembre de 2018



Paula Laporta
Unidad Educación Permanente
CURE



Gonzalo Perera
Director Regional
CURE

