



**HAL**  
open science

# L'architecture en terre crue d'aujourd'hui en Aragon, Espagne, à travers la pratique de l'architecte Angels Castellarnau Visus

Vanille Joséphine

► **To cite this version:**

Vanille Joséphine. L'architecture en terre crue d'aujourd'hui en Aragon, Espagne, à travers la pratique de l'architecte Angels Castellarnau Visus. Architecture, aménagement de l'espace. 2022. dumas-04472877

**HAL Id: dumas-04472877**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04472877v1>**

Submitted on 22 Feb 2024

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

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



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



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE

Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement en Architecture  
- Mention patrimoine -  
Architecture de terre et Cultures constructives et développement durable  
Directeur d'études : Arnaud Misse

# L'architecture en terre crue d'aujourd'hui en Aragon, Espagne

*à travers la pratique de l'architecte Angels Castellarnau Visus*



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE

Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement en Architecture  
- Mention patrimoine -  
Architecture de terre et Cultures constructives et développement durable

# **L'architecture en terre crue d'aujourd'hui en Aragon, Espagne**

*à travers la pratique de l'architecte Angels Castellarnau Visus*

**Directeur d'études :**

Arnaud Misse, Architecte, maître de conférences en Théorie et Pratique de la Conception Architecturale et Urbaine

**Membres du jury :**

Sébastien Moriset, Architecte, Enseignant-Chercheur ENSA Grenoble  
Martin Pointet, Architecte, Maître de conférences en Sciences et Techniques pour l'Architecture  
Anne-Sophie Cléménçon, Historienne de l'architecture  
Hugo Gasnier, Architecte HMONP, Docteur en architecture

Vanille JOSEPHINE  
Architecte DE HMONP





# Sommaire

## Introduction

### I / Edra Arquitectura km0 : une agence ancrée dans son territoire

- a / l'Aragon, quel territoire, quel patrimoine, quelles traditions ?
- b / Parcours d'Angels Visus, formations et expériences professionnelles
- c / Être ancré dans un territoire : quelle signification pour un architecte
- d / Expérience et remise en question

### II / Edra Arquitectura km0 : ancrée dans son temps

- a / Solutions locales pour désordre global
- b / Répondre aux enjeux environnementaux
- c / La matière terre : apprendre à la connaître par les études de laboratoire et l'expérimentation
- d / La terre présente dans tous les projets de l'agence : pertinence de son utilisation

### III / Cas d'étude

- a / Des leçons apprises du vernaculaire : une variété infinie des techniques
- b / Détails constructifs à observer : techniques du calicostrada
- c / La bodega de Cervera de Cañada
- d / La maison vernaculaire du XXIe s. à Ayerbe

## Conclusion

### Conclusions personnelles : ma pratique future

## Bibliographie

Annexe 1 : *Interview d'Angel Castellarnau Visus*

Annexe 2 : *Photographies de Anne-Sophie Cléménçon*

Annexe 3 : *Les catalogues d'analyses de terre effectués lors de la mise en situation professionnelle*





# Introduction

Le reportage photo « L'architecture vernaculaire de terre crue en Aragón » de Anne-Sophie Cléménçon réalisé en 2016 lors d'un périple à vélo ainsi que le choix de mon stage au sein de l'agence d'architecture Edra Arquitectura km0 à Huesca auprès d'Angels Castellarnau Visus sont les points de départ de ce mémoire. C'est véritablement la rencontre de ces deux personnes qui m'a amenée dans cette région assez méconnue de l'Espagne. J'ai rencontré l'historienne de l'art et de l'architecture Anne-Sophie Cléménçon avant de partir en Espagne, et elle m'a partagé son expérience et son travail photographique ce qui m'a apporté un premier support de réflexion. Puis vint la rencontre avec Angels Castellarnau Visus.

Dans le cadre de ma mise en situation professionnelle auprès de cette architecte catalane, j'ai pu découvrir une région riche d'un patrimoine bâti en terre alors peu documenté ainsi que la pratique humble et engagée d'une architecte de la région. En tant qu'architecte, arrivée à un point de ma carrière où je souhaite m'engager plus radicalement dans des projets respectueux de leur environnement, de leurs usagers tout en prenant en compte l'économie locale, le patrimoine existant, et la situation d'urgence climatique dans laquelle nous nous enfonçons chaque année, j'ai souhaité renforcer le savoir appris au cours de ces deux années de formations au DSA terre. Cela s'est fait par un passage au sein d'une agence qui pour moi serait un modèle, un exemple et qui m'aiderait concrètement à me positionner dans le monde du bâtiment. Décrypter les mécanismes et le contexte qui a pu favoriser la réussite de l'agence Edra, peut, je crois, m'aider à avancer professionnellement tout comme la compréhension des freins et limites qu'a pu rencontrer l'architecte.

Il s'agissait pendant cette deuxième année de DSA, et durant quatre mois de collaboration au sein de l'agence, de comprendre les enjeux des projets, des décisions qui sont prises, de la philosophie de l'architecte ainsi que ses

engagements et choix politiques, économiques et sociaux. Comment son architecture s'insère-t-elle dans un environnement rural, et dans ce paysage bien particulier du Nord de l'Espagne ? La problématique se concentre tout particulièrement sur la notion d'ancrage d'une architecte dans son temps et dans son territoire.

Ce mémoire s'intéresse donc au travail de l'agence Edra Arquitectura km0 de Angels Castellarnau Visus à travers le prisme de la construction vernaculaire, et du patrimoine aragonais de terre crue. Ce patrimoine a d'abord fait l'objet de mon intérêt grâce au travail photographique d'Anne-Sophie Cléménçon. A sa manière j'ai souhaité voyager à travers l'Aragon du Nord au Sud (l'historienne et photographe l'avait fait d'Est en Ouest : d'Irun à Tarragone en passant par Saragosse. Voir carte Annexe 2). Ce nouveau reportage photographique, qui se veut complémentaire mais non exhaustif au travail A-S Cléménçon donnera une compréhension du contexte dans lequel évolue l'architecte Angels Castellarnau Visus. De manière plus précise, ma problématique sera donc la suivante : comment se positionner en tant qu'architecte dans un territoire et dans un contexte si riche de patrimoine en terre crue. Ce mémoire interroge donc dans une première partie les conditions de l'ancrage territorial d'une architecte, dans une région riche d'un patrimoine en terre crue délaissé et méconnu.

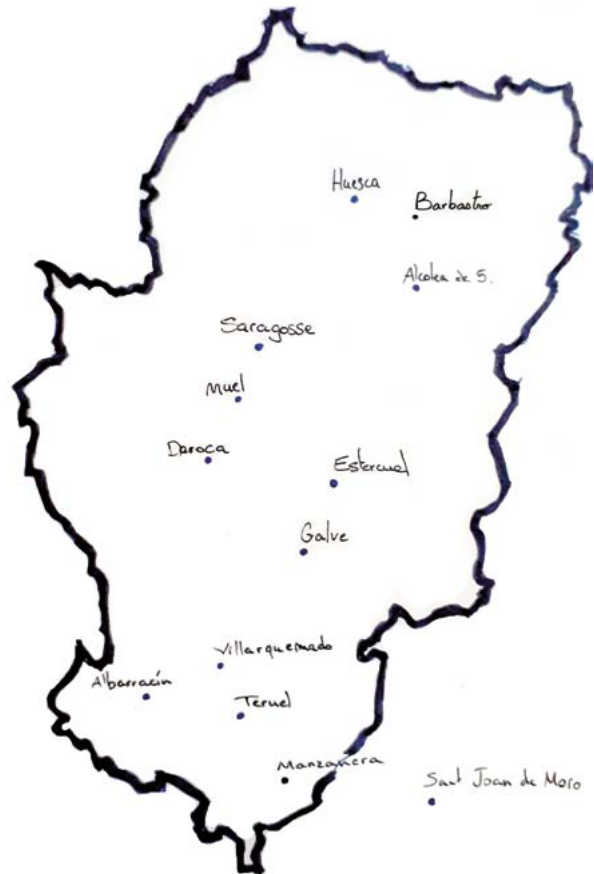
Un ancrage dans son territoire et un ancrage dans son temps : dans une deuxième partie, il s'agira de se concentrer sur l'ancrage temporel de l'agence Edra, c'est à dire plus précisément sa pratique, sa philosophie, et comment l'architecte fait-elle face aux enjeux environnementaux.

Dans une troisième et dernière partie avec l'analyse de quelques projets de l'agence, nous chercherons à comprendre les enjeux ainsi que le rôle que la terre crue a pu avoir dans le processus de projet.

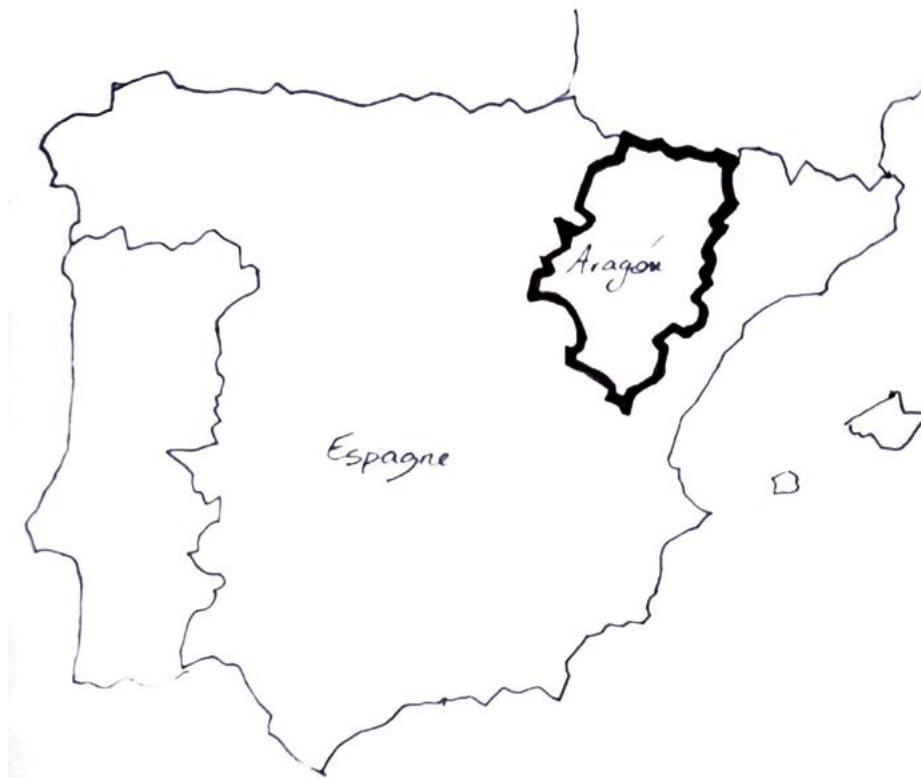


I / Edra Arquitectura km0 :  
une agence ancrée dans son territoire





Carte d'Aragon. Dessin personnel d'une carte de la région en vue de visiter certaines villes et certains villages. 2021



Carte d'Espagne. Dessin personnel.

Cette première partie illustre ma découverte d'un territoire et d'une architecture. En effet à mon arrivée je ne connais presque rien de cette région, ni de la ville de Huesca dans laquelle je m'apprête à vivre 4 mois durant à partir d'Octobre 2021. Le but sera donc d'en apprendre le plus possible, de m'imprégner d'une ambiance, de lieux, de politique. Cela passe par des voyages, des visites, des lectures mais aussi beaucoup d'échanges avec l'architecte qui m'accueille. Qui est-elle ? Comment travaille-t-elle ? et dans quel contexte territorial s'inscrit son travail ?

*a / l'Aragon, quel territoire, quel patrimoine, quelles traditions ?*

L'Aragón est une communauté autonome d'Espagne et se situe au Nord Est du pays. Elle compte parmi les plus grandes régions d'Espagne et borde les Pyrénées au Nord et possède donc une frontière avec la France. Elle compte 1 million 330 000 habitants et bien que 50% des habitants vivent dans la capitale : Saragosse, sa densité de population est assez faible (525hab/km<sup>2</sup>) ce qui en fait une des régions les plus dépeuplées d'Espagne. On constate très facilement en visitant les villages qu'il existe un patrimoine de terre très important. Les bâtiments en adobe, en pisé et à colombage ne sont pas rares.

Historiquement la terre est très présente dans la construction de toute la péninsule ibérique. La variété des paysages, des types de terre, des topographies et des climats de la région résulte une variété de techniques développées dans la région. Les techniques de terre crue en Aragón remonte au moins à l'âge de bronze, en témoigne des vestiges archéologiques retrouvés au Castillo de Frías de Albarracín, datant de 1520 av-jc : il s'agissait d'un remplissage terre/paille disposé sur un tressage en bois (L. Villacampa Crespo, *La restauración y la rehabilitación de la arquitectura tradicional de tierra, el caso Aragón*). La très grande variété des configurations, et l'usage

de la terre crue à travers les siècles dans la province ibérique a prouvé l'importance et la grande confiance accordée à ces systèmes constructifs ainsi que l'évolution parfois minime mais constante au fil des siècles d'utilisation, d'optimisation et d'invention. On trouve très souvent des murs voir des murailles qui se composent de plusieurs techniques, voire de plusieurs terres qu'il est facile de distinguer après observation visuelle. Ces murs peuvent être construits, réparés ou renforcés en adobe, en pisé ou en pierre dans un entremêlés de matériaux parfois anarchique. (voir muraille Daroca, Saragosse)

D'après mes visites, discussions avec les locaux, recherches bibliographiques et à la lecture de la thèse de Laura Villacampa<sup>1</sup> les principales techniques de construction impliquant de la terre crue sont : l'adobe, le pisé ainsi que, dans une moindre proportion : les façades à pans de bois remplissages terre paille, pierres, adobe, pisé ou briques cuites.

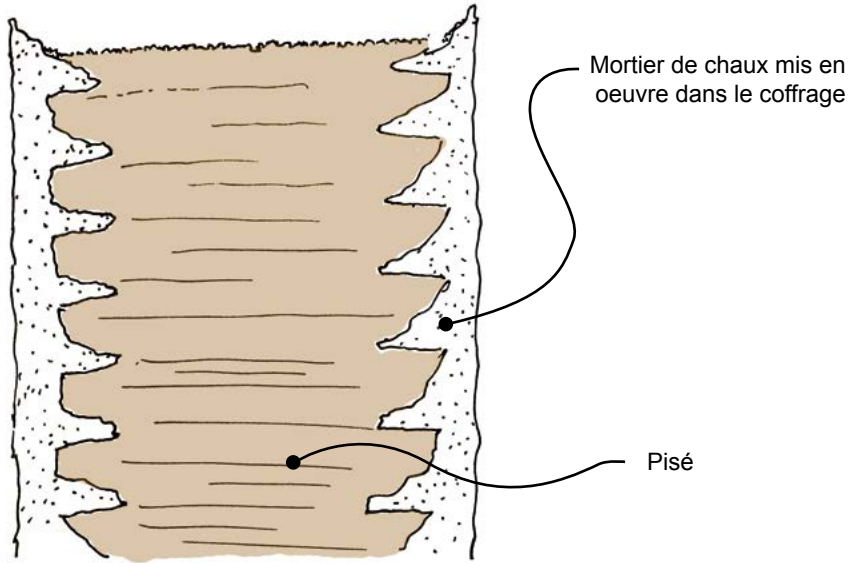
Selon la thèse de L. Villacampa la technique du pisé présente des sous groupes et de nombreux variants: pisé simple, pisé qui présente un ajout de matériau sur sa façade extérieure (afin d'augmenter sa durabilité en réduisant l'érosion), tapia suplementada en juntas (les brencas par exemple, voir dessin de chaux entre chaque banches) et un pisé mixte. Il existe un pisé de plâtre. Ce dernier regroupe les murs de matériaux mixtes qui peuvent comprendre un pisé de terre avec des briques cuites, du ciment, des pierres, des adobes...

La Tapia Calicostrada ou pisé avec croûte de chaux est une technique très rependue dans la construction en pisé espagnole, elle consiste à couler un enduit stabilisé directement dans le coffrage en même temps que le pisé est mis en œuvre. Cette couche de chaux ou de plâtre (et parfois de ciment) recouvre la surface extérieure et intérieure du mur, le protège et augmente sa durabilité en réduisant l'érosion du pisé. Le fait de couler cette finition dans le coffrage directement permet de gagner du temps à la mise en œuvre et de rendre l'enduit et le mur pisé solidaire. Les matières sont entremêlées et l'enduit est parfait.

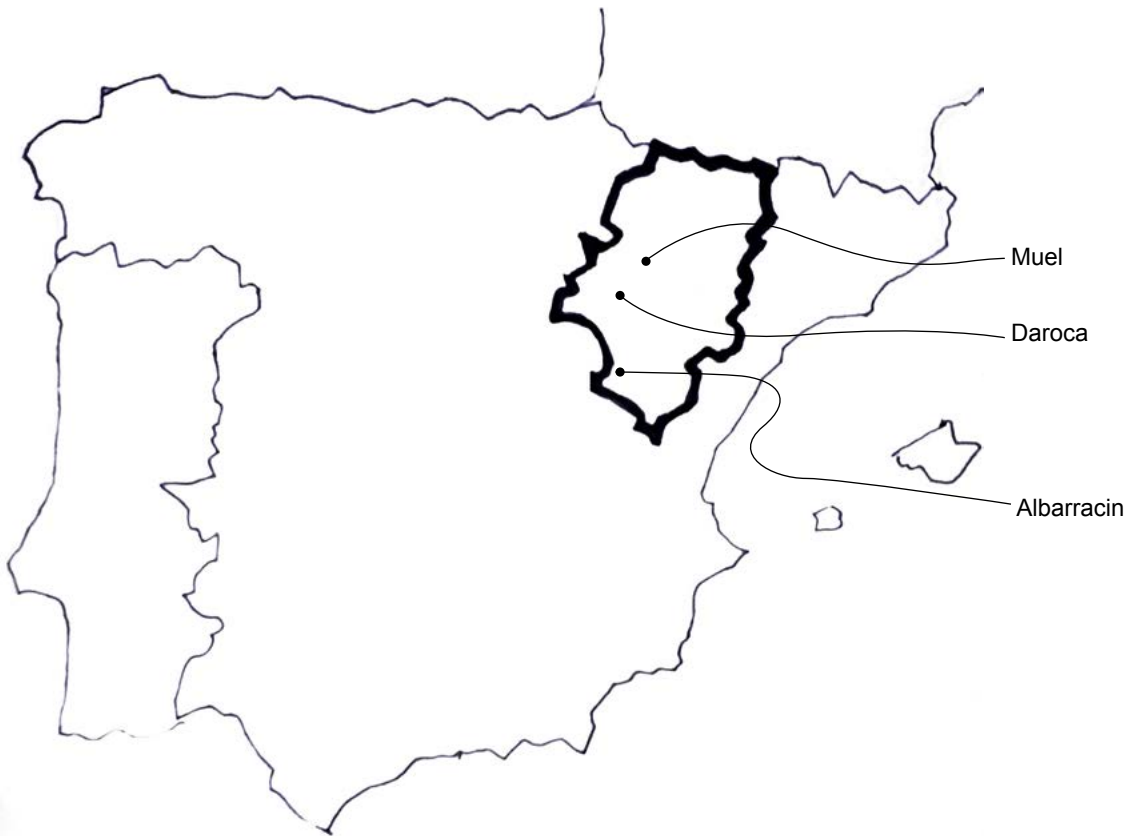
## Note

---

1 Villacampa Crespo Laura, 2018, *La restauración y la rehabilitación de la arquitectura tradicional de tierra*, [Thèse de doctorat, Universitat Politècnica de València]



Tapia colicostriada  
⇒ pisé, crôte de chaux





tement appliqué au mur. C'est une technique également utilisée pour la construction de l'Alhambra : la *tapia calicostrada* est un signe de richesse et donc de pouvoir.

Afin de cerner ce territoire et de comprendre la logique et les disparités vernaculaires que forment les habitats traditionnels d'Aragon, j'ai choisi quelques cas d'études parmi les villes et villages visités en cet hiver 2021-2022. Ces exemples n'ont pas pour vocation à être parfaitement représentatifs, mais ils montrent, selon moi, l'utilisation de la terre crue dans la construction, et l'état global actuel de ce «petit» patrimoine.

Le cas Muel :

Il y a sans nul doute la présence d'adobe et de pisé dans les constructions de Muel. Cette commune de la province de Saragosse est connue pour ses traditions de céramiques depuis le Moyen-Âge. Des pièces de céramiques décorent en effet les rues, les bâtiments, des trottoirs de la ville. Une école de céramiste très réputée ainsi que l'entreprise de production de matériau : CEMEX indique l'exploitation importante des terres de cette zone. Les marques de la terre crue dans les constructions sont cependant assez discrètes. Toutes les façades sont enduites ou recouvertes d'un crépis assez épais qui paraissent assez entretenus malgré l'état général assez détérioré de certaines bâtisses. On peut malgré tout observer des pans de murets de clôture entier ou des fissures dans les revêtements de façade laissant parfois apparaître la maçonnerie de terre crue. Les constructions semblent pour la plupart mixtes de matériaux. Un mélange de pierres, briques cuites, ciment, terre... modèlent le centre bourg. L'ensemble du village présente beaucoup de dénivelé. Une ruine faites de pisé, de pierres et d'adobe est située sur une colline à l'entrée du village. (voir photo) Le talus semble façonné par l'activité humaine. La

route en bas du talus est bordé de l'autre côté par un autre talus sur lequel est installé la voie de chemin de fer (voir croquis). De plus le talus comporte de grands trous/grottes qui indique également une excavation potentielle de la terre pour l'exploiter.

Le cas Daroca :

Pisé et adobe. La muraille qui surplombe Daroca et faisait historiquement le tour de la ville est certainement le témoignage le plus visible de la terre dans la construction de cette commune au Sud de Saragosse. Les vestiges les plus impressionnants sont de très hauts murs en pisé (au moins 5m), très large (plus de 2m d'épaisseur) avec renforts en adobe dans les angles. Une architecture militaire qui s'accompagne d'une architecture plus domestique et administrative au sein même de la ville. De nombreuses bâtisses présentent des parties construites en pisé et en adobe et je constate beaucoup de techniques mixtes. Cette petite ville qui accueille quelques touristes a su mettre en valeur son patrimoine grâce à des panneaux explicatifs qui ponctuent le chemin de ronde facilement empruntable par tous pour une balade/visite du site. Cette muraille est pour moi un excellent exemple de la durabilité de la construction en terre (malgré son état d'érosion avancée, la muraille a été construite il y a des centaines d'années) et de l'importance de la terre crue dans les constructions depuis le Moyen Age jusqu'à nos jours. Sa mise en valeur dans le parcours touristique de la ville témoigne d'une volonté politique de communiquer sur le sujet. Je ne note aucune démarche particulière pour une potentielle restauration ou préservation de la muraille, mais des restaurations de bâtiments en ville ont manifestement été entreprises.



Murs en pisé en ruine en bordure du village de Muel

Couche de terre minérale, probablement utilisée pour la construction des bâtiments du village

Muel, Aragon. Photos personnelles - 2021





Enceinte fortifiée en pisé de Daroca, Aragon. Photos personnelles - 2021





Enceinte fortifiée en pisé avec pilier de briques crues et cuites structurel. Daroca, Aragon. Photos personnelles - 2021



Daroca : enceinte fortifiée musulmane datant possiblement du XIe s., Aragon. Photos personnelles - 2021





Albarracín, Aragón. Photos personnelles - 2021



Albarracín, Aragón. Photos personnelles - 2021

Le cas Albarracín :

La ville rose. Cette ville située dans la comarque de Teruel est classée «plus beaux villages d'Espagne». (Association homologue des «Plus beaux villages de France»). C'est une petite ville assez touristique car bâtie sur les flancs de la montagne elle impressionne par sa position et par son esthétique architecturale. En effet Albarracín s'insère parfaitement dans son environnement de par l'homogénéité de son architecture mais aussi par sa couleur rose plutôt originale. Un enduit rose dans les nuances poudré, grenat, brique... recouvre toutes les façades de la ville. On observe rapidement en sortant de la ville dans les alentours de la commune, des carrières sauvages ou sur les flancs de route une terre rougeoyante à rose qui semble être celle utilisée pour ces enduits.

Dûe à l'exode rural important, les villages nucléaires répartis dans toute la région ont connu à partir des années 1950 un dépeuplement qui n'a cessé de s'accélérer par la suite. En effet la région s'organise autour de nombreux villages très petits répartis sur tout le territoire. Des villages aragonais entiers sont alors totalement abandonnés (environ 350)<sup>1</sup>. Comme par exemple Belchite, qui, célèbre pour avoir été un lieu de massacre de la guerre civile, doit surtout son état actuel en ruine à l'abandon soudain des habitations en 1937.

En a résulté, de fait, l'abandon de nombreux habitats, et bâtiments agricoles dans ces milieux ruraux. La région d'Aragon et surtout la partie en bas des Pyrénées se caractérisent par une multitude de petits villages (avec un petit nombre d'habitants : 60% abritent moins de 500 habitants et 85% moins de 1 500.) qui se situent proches les uns des autres.

Note

---

<sup>1</sup> Source : Wikipédia



Carrière d'argile, Entreprise PAMESA, Mina Galve, Aragon. Photos personnelles - 2021



### *b / Parcours d'Angels Castellarnau Visus*

L'architecte d'origine catalane se forme à la Escola Tècnica Superior d'arquitectura del Vallès à Barcelone de 1998 à 2003. Elle travaille ensuite trois années durant au sein d'une importante agence barcelonaise : PINEARQ mais quitte son poste après avoir été interdite de suivi de chantier suite à des discriminations liées à son genre. Dès lors elle fonde une première agence d'architecture à son nom : *acv arquitectura*, puis s'associe : *Periferia arquitectura y sostenibilidad*, avant de revenir à une pratique solitaire au sein de *Edra arquitectura km0* en 2015. L'une de ses premières œuvres sera sa propre cave à vin à Ayerbe en 2005, le projet est monté avec Alex Ascaso, le mari d'Angels CV.

L'exploitation de vin : *Edra cultura y natura* est liée à l'agence d'architecture : *Edra arquitectura km0*. Il s'agit d'une entreprise commune mais de deux activités bien distinctes. Angels ne reçoit pas de formation spécifique sur la construction en terre, exceptée une unique sensibilisation délivrée par Amàco, mais s'entoure parfois d'acteurs compétents comme pour réaliser les voûtes en adobes d'une partie de sa maison en 2014, l'occasion d'organiser un chantier participatif et formateur. En parallèle, A. Castellarnau Visus rédige une thèse en *Arquitectura Energía y medio ambiente* en la arquitectura sur les systèmes d'irrigation traditionnels du nord d'Aragon. Ce travail de recherche est effectué à la *Escuela Superior de Arquitectura (Universitat Politecnica de Catalunya)*.

### *c / Ancrage territorial : un choix conscient et un engagement de tous les instants*

Investissement des lieux et engagement politique :

Angels Castellarnau Visus vit et travaille à Ayerbe, une commune de 1 000 habitants au Nord

de la région, au pieds des Pyrénées. En 2014 elle construit la maison vernaculaire du XXI<sup>e</sup> siècle, qui sera sa maison, son lieu de travail et un lieu d'expérimentation. La maison reprend des volumes architecturaux et une écriture traditionnelle du territoire. La simplicité de dessin de façade, l'orientation et son implantation à l'angle de deux ruelles font de cette maison un habitat parfaitement inscrit dans la grille urbanistique. Deux locaux se seraient même demandés si la maison eut toujours été là ? Comme si sa présence allait de soi. La mise en œuvre des matériaux est indissociable du travail de conception d'Angels tout comme le choix des collaborateurs. Pour la mise en œuvre du pisé elle a choisi une entreprise de maçonnerie conventionnelle de la commune qui a du monter des murs porteurs en pisé pour la 1<sup>ère</sup> fois. Expérience qu'ils n'ont plus jamais réitérée. Certains détails auraient pu présenter quelques difficultés à l'entreprise comme la paille à ajouter à la matière ainsi que les enduits à la chaux directement mis en œuvre dans le coffrage.

Comme l'assume Hassan Fathy, le travail d'un architecte peut également se développer en formant les artisans. Pas par un biais direct de formation professionnelle mais en les incitant à expérimenter et en apprenant ensemble (concepteur et exécutant) à fabriquer et à tester de nouvelles techniques en les accompagnant techniquement. C'est un cercle vertueux qui font, non seulement, gagner les entreprises en compétences, mais permet également de faire revivre des savoirs faire peut-être disparus.

On ne parlera pas d'échec car l'entreprise de Ayerbe qui a réalisé la maison de Angels n'a pas réalisé d'autres ouvrages en pisé. Je dirais que le fait d'avoir pu travailler avec cette entreprise « conventionnelle » mais locale (du village même) est déjà une réussite en soi et participe à un renforcement de l'économie locale et de fait au repeuplement de ces zones rurales délaissées d'Aragón. Ce qui demande, pour le projet et pour le chantier, une implication et une énergie bien plus importante et un pré-travail de sensibilisation mais c'est également un coût supplémen-

### Note

1 Edra désigne le lierre grimpant en dialecte aragonais

taire évident. Cependant cette démarche a toute sa logique dans cette volonté d'ancrage territoriale pour une architecte.

Par ailleurs, A. Castellarnau Visus, s'est engagée au sein même de sa commune à la mairie d'Ayerbe en tant que présidente de la Comunidad de regantes de Riego de Ayerbe. En effet, la région d'alto Aragón possède un réseau d'irrigation très élaboré et très sophistiqué : fait de nombreux infrastructures telles que des canaux, des aqueducs, des réserves en bassin, des barrages ou encore des systèmes plus traditionnels comme un aménagement en terrasse avec murs de soutènement en pierre qui permettent de retenir l'eau et de la diffuser plus lentement. Pour gérer ces systèmes publics, des organismes (publics également) sous forme d'associations travaillent dans la région et se répartissent le territoire en sous-département. Cette gestion permet d'organiser collectivement les maintenances, les modernisations, le partage et les conflits qu'ils pourraient y avoir entre agriculteurs. Toutes ces installations d'origine humaine, qui ont été élaborées depuis plusieurs générations façonnent encore aujourd'hui un paysage exceptionnel, qui se perd de par la modernisation des systèmes d'irrigations et plus globalement de la gestion plus industrielle des cultures agricoles. Or ce sujet intéresse tout particulièrement l'architecte qui en a fait son sujet de thèse.

Je suis personnellement convaincue qu'un engagement de la part du plus grand nombre est indispensable surtout dans une collectivité à taille « humaine » comme peut l'être Ayerbe. Le point de vue d'une architecte/citoyenne peut à ce titre être très profitable, il doit pouvoir peser dans les décisions concernant la gestion du patrimoine et du paysage, l'urbanisme, l'achat ou la vente de certains terrains...etc

Un savoir faire local en déclin :

D'après Laura Villacampa Crespo, les bâtiments en terre et ce patrimoine Aragonais pâtissent d'une image péjorative. Les techniques constructives

ont elles même connu un déclin et un abandon assez soudain à partir de la 2ème guerre mondial qui vit arriver l'importation massive de matériaux industriels.

Le savoir-faire des techniques de constructions traditionnelles comme le pisé, l'adobe, la fabrication de la chaux artisanales... sont en grande partie des connaissances orales qui se transmettent de génération en génération. Cette manière de conserver le savoir a pu être la cause de son déclin, mais a également probablement permis de progresser et de s'améliorer de génération en génération. En effet les connaissances à propos des proportions de matière pour la fabrication de matériaux est pointue mais différent selon les localités, les extractions et les caractéristiques des terres. Cette richesse de ces savoirs faire jamais couchés sur le papier, a pu disparaître au fil du temps de l'abandon des techniques, des villages et cela en même temps que l'abandon de la langue aragonaise.

Des reportages vidéos réalisés par Eugenio Monesma en 1998<sup>2</sup> témoignent de pratiques artisanales ancestrales espagnoles, qui semblent perdurer. En effet dans l'un des documentaires : *El horno tradicional de cal*, on suit pendant une semaine le travail d'un artisan à Agüero, qui fabrique un four à chaux, l'enduit, construit la voûte en pierres calcaires qui bouchera le four et alimente le feu durant 3 jours et 3 nuits. Cet espagnol Hilario Artigas, n'avait, il est vrai, pas fabriqué de chaux depuis des années. Le documentaire montre que ce savoir-faire perdure. Il existe de nombreuses usines à chaux encore dans la région, c'est un matériau que l'on peut donc considéré comme local. La haute température nécessaire à sa fabrication (900°C au moins) fait malheureusement augmenté son bilan carbone. Dans les projets de l'agence Edra, la chaux est souvent utilisée mais en toute connaissance de cause. Son utilisation est donc minime, la technique du pisé avec une croûte de chaux (*calicotrada*) utilisée pour bâtir les murs de la maison personnelle d'Angels Castellarnau Visus et traditionnelle en Espagne, est un exemple d'une juste utilisation de ce matériau très durable : la chaux se trouve uniquement en surface des murs et le reste du mur n'est que

## Note

---

2 MONESMA Eugenio, Documentales etnograficos. (1998) Agüero, Huesca, Aragón. *El horno tradicional de cal. Oficios perdidos*.

terre compactée non stabilisée.

Ce même artisan est également filmé en 93 en train de construire une cabane traditionnelle avec des adobes qu'il a préalablement fabriqué lui-même. (Les adobes. Construction traditionnelle d'une cabane avec terre, paille et eau, Eugenio Monesma. Documentales, 1993)

Ces pratiques très artisanales sont peut-être aujourd'hui rares mais elles ont le mérite d'avoir été enregistrées ce qui permet d'en garder une trace filmée et participe à la valorisation de ces pratiques ainsi qu'à leur diffusion.

La loi sur le patrimoine culturel, architectonique, ethnologique...etc d'Aragón de 1999 indique que ce patrimoine appartient à tous les citoyens de la région et qu'il « constitue d'un des témoignages fondamentaux du parcours historique de la nationalité aragonaise. » Il indique également que : « les générations successives nous ont légué leur patrimoine culturel comme un témoignage de notre être, en tant que héritage irremplaçable et stimulant fondamental pour la créativité contemporaine. » mais aussi que : « Sans la préservation et la promotion de notre culture, l'uniformité s'imposerait, renforçant des formes de développement social basées sur un modèle uniforme. ... »<sup>3</sup> Cette loi nous montre la volonté de préserver les traditions régionales, mais ne mentionne pas clairement le patrimoine en terre crue, et ne cite pas non plus les villages ou les zones qui seraient en danger. Ce flou participe au déclin de ces villages et de leur patrimoine et si aucune aide financière n'est apportée les quelques initiatives locales qui tentent de sauver leur patrimoine ne peuvent se concrétiser ni perdurer. Certains villages comme Alquézar, Huesca ou Albaracín, Teruel par exemple sont classés « Pueblos más bonito de España » et possède un patrimoine parfois peu visible mais bel et bien là en terre crue (pisé et adobe), ce qui peut aider à leur préservation et valorisation.

En gagnant des prix comme le Terra Award 2016 catégorie Habitat individuel ou le premier prix TER-

RA Iberica 2021 en étant nommée pour les Fibras award 2021, l'agence Edra Arquitectura km0 contribue, à son échelle, à la valorisation des architectures contemporaines en terre crue et la promotion de ces techniques ancestrales.

D'autre part en 2011, un projet d'outils d'aide à la restauration du patrimoine rural accompagné de formations dédiées aux professionnelles a été développé par le Centre de Développement Integral du Somontano qui est une région située au sud des Pyrénées, près de Barbastro (voir carte page 8). Dans le cadre de ce projet des études ont été menées pour la caractérisations de l'architecture domestique traditionnelle du Somontano. Puis ce sont trois ateliers de formation sur les matériaux traditionnels qui ont été organisés, ce qui au vue de la quantité de patrimoine en danger dans la région paraît très peu : pisé, pierre, adobe, enduits et l'emploi de la chaux. Des expositions photographiques sur les différentes rénovations de maisons ainsi que les artisans locaux ont été installées. Une maquette 3D d'une maison traditionnelle du Somontano, l'organisation de plusieurs conférences sur le sujet « Arquitectura rural, el valor de lo nuestro » et enfin la publication de plusieurs ouvrages et manuel sur le projet, ainsi que sur les solutions techniques pour la réhabilitation de l'architecture rurale traditionnelle ont pu également être organisés.

En Aragon, il existe de nombreuses carrières de terre notamment dans la région de Teruel. Il est fait une utilisation relativement variée de ces argiles, ce qui permet à certains savoir faire et certaines traditions, plus particulièrement de la céramique, de ne pas s'éteindre. Il y a dans la province de Teruel 43 carrières au total<sup>4</sup>. Ces carrières posent cependant certains problèmes environnementaux. Une loi de 1982 oblige les exploitants à réhabiliter les sols après exploitations. Cependant une étude de l'université de Saragosse, indique que seulement 15% de ces carrières d'argiles seraient restaurées et en règle.

## Note

<sup>3</sup> Loi 3/1999 du 10 mars sur le patrimoine culturel aragonais.

<sup>4</sup> source Youtube.com : Minas de arcilla sin rehabilitar. Aragon noticias. 10 juin 2016

## Implantation plus citadine

Pour un rayonnement plus important et un lieu de réunion plus facile (et pour des raisons également personnelle et familiale) Angels s'est aujourd'hui installée avec mari et enfants à Huesca la capitale de la comarca (équivalent communautés de commune) où se trouve Ayerbe. Le bureau d'architecture revêt alors un aspect plus installé et plus central. La démarche reste cependant la même, si les projets peuvent parfois se situer plus loin dans la région, en majorité il reste en Aragón ou en Catalogne qui est la région voisine. Les matériaux sont toujours locaux autant que faire se peut, la terre reste la matière première de la majorité des projets et les collaborateurs sont également des personnes proches géographiquement, dans la maîtrise d'œuvre comme parmi les artisans.

Cet ancrage territorial se matérialise par la collaboration avec les artisans locaux, la localisation des projets dans un périmètre restreint mais aussi et surtout par l'utilisation des matériaux locaux. La terre est le moyen ultime de renouer avec les traditions aragonaises et avec la terre de leurs ancêtres, au propre comme au figuré.

### *d / Expérience et remise en question*

Un territoire qui possède un réseau bien organisé d'acteurs de la construction terre peut faciliter la mise en place de projets géo-sourcés. Une filière bien installée est certainement l'assurance de projets terre menés plus facilement. Et c'est ce qui aurait pu expliquer la profusion des projets de Edra Arquitectura. Cependant j'ai constaté, comme en France, un cruel manque d'artisans sensibilisés et même formés sur le sujet. Pour remettre le travail d'Edra dans son contexte il y a tout de même quelques acteurs dans la région comme : Fetdeterra qui fabrique des briques de terre comprimées stabilisées de grandes tailles, Pedro Bel Anzué architecte à Saragosse mentionné au dernier Terra Fibra Award et l'entreprise Ecoclay

qui fournit des argiles et des terres à enduire à Teruel. Ils sont très peu nombreux et bien que chacun soit très prolifique professionnellement, Edra ne collabore avec aucun d'entre eux. L'architecte a en effet fait le choix jusque là, de travailler plutôt avec des collaborateurs locaux qui pour la plupart construisent en terre pour la première fois : que ce soit les artisans, les bureaux d'études ou même les maîtrises d'ouvrage. Il est bien entendu obligatoire de s'entourer de professionnels motivés et convaincus, car il peut arriver de se retrouver face à des collaborateurs moins rassurés, d'autant que le système espagnol fait que c'est le «constructora» (équivalent de l'entreprise générale) qui assure le chantier en terme assurantiel.

En terme d'équipe fixe, il n'y a qu'une dessinatrice de Las Riglos qui travaille quotidiennement avec A. Castellarnau Visus. L'architecte renouvelle régulièrement ses partenaires et n'hésite pas à se séparer de ceux qui ne feraient pas avancer le projet dans le bon sens. En mettant par exemple de la mauvaise volonté à sortir de la construction conventionnelle et à réinventer les solutions techniques ou ceux qui marquent leur défiance vis à vis des matériaux bio et géosourcés.





## **II / Edra : une agence ancrée dans son temps**





Ecoconstruire, c'est penser l'action et le geste architectural dans un contexte précis et surtout dans les limites d'une société.

Salima Naji,  
*Architectures du bien commun*

Dans cette deuxième partie, il s'agit de raconter la rencontre avec cette architecte, fondatrice de Edra Arquitectura, qui se trouve être le fil conducteur de ce mémoire. Après une découverte plutôt factuelle en première partie, des liens plus personnels vont se mettre en place. Quelles sont les actions concrètes de cette architecte sur son territoire et comment sont menés les projets ?

#### *a / Solution locale pour désordre global*

Chaque matériau et chaque décision prise lors de la conception et de la réalisation d'un projet fait l'objet d'un calcul rapide du bilan carbone. La terre est en ce sens le matériau le plus adéquat au bilan carbone le plus bas avec une production de déchet quasiment nulle, ce qui est probablement la motivation première d'Angels. De manière générale, le bilan carbone de chaque projet est recalculé à la fin et communiqué aux maîtres d'ouvrage. Afin de renouer avec le territoire et surtout afin de retrouver une certaine indépendance, l'agence fait le choix de construire le plus local possible. Afin de ne pas perdre cet objectif de vue, il a même été inscrit dans le nom de l'agence, à l'instar de Atelier Zéro Carbone (Edra Arquitectura Km0). Dans la situation actuelle de pénurie et de flambée des prix des matériaux dû notamment à la reprise du marché de la construction aux Etats-Unis et en Chine, la démarche prend tout son sens dans le fait de regagner en indépendance et de pouvoir plus sereinement développer des projets. Cette fois peut-être que le local retrouvera un prix plus attractif que l'importation de matière première et de matériau lointain mais peu coûteux.

Certains projets présentent des situations qui exigent que des choix politiques soient affirmés. Dans le cas de la bodega (cave à vin) à la Cervera de Cañada, des murs de soutènement ont été conçus en gabions avec des pierres récupérées sur le site de projet. Il était en revanche prévu d'importer la maille en acier de Chine, car introuvable en Espagne. Dans un souci d'améliorer le bilan carbone du bâtiment industriel nous avons suggéré l'idée de changer ces murs en

béton cyclopéen à la chaux. Bien que la chaux présente un impact carbone important, (libérés pendant sa cuisson à haute température) cette dernière solution a été préférée dans le but, encore une fois, de renforcer l'économie locale et afin de se passer de la maille en acier contenant les pierres qui seraient fournies, forcément par une entreprise étrangère. La cuisson de la chaux étant une importante tradition aragonèse, il persiste quelques industries locales qui en fabriquent. Privilégier la chaux dans certains cas, permet de soutenir ces filières traditionnelles locales. Par ailleurs l'agence tend également à ré-activer certains savoirs faire. Le lot pisé dans tous les projets, est réalisé par des entreprises de maçonnerie conventionnelles n'ayant jamais expérimenté la terre crue. Contracter avec des entreprises locales que l'on va former, c'est aussi cela : s'ancrer dans son temps.

La pratique de l'agence Edra, est avant tout vertueuse et promet des matériaux qualitatifs sans jamais perdre de vue les qualités d'usage qui confère aux dimensionnements des espaces, à l'esthétique des constructions, des proportions et de l'insertion paysagère bien sûr. Dans le travail de conception réalisé à l'agence, il y a une grande attention portée aux détails et au respect de l'existant. Une importante connaissance du patrimoine et du vernaculaire est d'ailleurs nécessaire pour concevoir, paradoxalement, le contemporain d'Angels Castellarnau Visus. C'est probablement en ce sens, que l'agence travaille encore sur un logiciel 2D. Comme l'explique Salima Naji dans son ouvrage Architectures du bien commun, les logiciels de conception assistée par ordinateur sont maintenant non plus un simple outil «permettant de gagner en performance» mais une finalité pour concevoir des formes et des volumes que le logiciel aura créé pour vous. A propos du patrimoine et dans le cadre de projets de rénovation ou de restauration elle affirme également que les particularismes de détail de pierre, de non alignement, de rugosité de certains matériaux qui font justement la richesse de ces ouvrages sont, après le passage des logiciels 3D, raboter, lisser, conformiser...etc Cette méthode de



Laboratoire d'analyse de terre, installée à l'agence Edra Arquitectura en 2021 (Huesca, Espagne)



Matériauthèque et laboratoire d'analyse, installée à l'agence Edra Arquitectura en 2021 (Huesca, Espagne)

travail paresseuse peut faire perdre l'essence même des constructions vernaculaires.

*b / Les nouveaux leviers de la décarbonation du bâtiment*

Dès les années 1970, le bâtiment tente de réduire son impact environnemental. Plus dans un but d'économie d'énergie (donc un but financier surtout) que dans un but écologiste, le gouvernement de l'époque instaure une première réglementation thermique française la RT 1974. Puis se succèdent différentes réglementations de plus en plus précises et contraignantes mais se concentrant toujours sur la consommation d'énergie des bâtiments, pour enfin en venir à la réglementation environnementale qui prendra finalement en compte l'énergie grise des bâtiments, la consommation d'énergie, le bilan carbone...etc. Le coût global des constructions est enfin pris en compte. La prochaine étape sera peut-être une réflexion sur l'utilité même de construire en neuf, afin privilégier alors la rénovation et la réhabilitation ? Aujourd'hui il semble que les efforts à faire doivent se concentrer sur les matériaux, d'où l'engouement de la terre crue en Europe et un peu partout dans le monde occidental notamment. De manière assez intuitive, réduire l'impact environnemental des bâtiments doit passer par le choix de matériaux bio et géosourcés et surtout revenir à du local en réduisant au maximum les importations de matériaux industriels, carbonnés et nous rendant dépendant de nations étrangères. Chez Edra Arquitectura, Angels Castellarnau a fait le choix d'aller plus loin. Aujourd'hui maîtrisant le sujet des matériaux et du local (km0), elle et son équipe choisissent de cibler les éléments les plus carbonnés grâce à un calcul global du bilan carbone de chaque projet. En effet de manière non intuitive cette fois-ci on s'aperçoit que parfois le coût énergétique peut se cacher là où on le soupçonne le moins. Depuis la conception de certains grands projets publics ou industriels (marché couvert, cave à vin ...etc) l'architecte a identifié un potentiel de décarbonation dans

l'équipement technique des bâtiments : plus spécifiquement les fluides et parfois la domotique. En effet la ventilation, souvent imposée par les normes et par les bureaux d'études représente un coût très important dans le budget global mais également dans le bilan CO<sub>2</sub>. Réduire ces éléments là, consiste à penser le projet autrement et solutionner ces points techniques parfois dès les phases d'esquisse.

Le projet de la cave à vin de la Cervera, présente du chauffage par cloisons chauffantes, un puits canadien, et de grands bassins de rétention d'eaux pluviales, ce qui a été pensé très en amont du projet.

«Réduire les émissions de carbone signifierait pourtant aussi l'occasion de prouver qu'il est important de privilégier avant tout le geste sur les mécaniques, privilégier l'architecture de collecte, faite de ces matériaux disponibles sur place, privilégier la pensée sur le prêt à construire, privilégier les héritages locaux sur une architecture standardisée.»

Salima Naji,  
*Architectures du bien commun*

*c / Matière terre, apprendre à la connaître (tradition, expérimentation, labo, formation)*

Non seulement le pisé fait intégralement partie des traditions locales, dans cette région du Nord-Est de la péninsule ibérique, d'où une partie de la famille d'A. Casterllarnau Visus est originaire, mais en plus l'architecte a choisi de s'y intéresser professionnellement et sérieusement afin d'approfondir ses connaissances.

Par l'expérimentation, d'une part avec la construction de sa propre maison. Les autres chantiers qui ont suivi sont également, à chaque projet, un nouveau défi et une nouvelle expérience. Des expériences parfois douloureuses, comme celle d'un bâtiment dont un mur en pisé s'est écroulé après avoir été mis en

œuvre sous des températures extrêmement basses en hiver. Le gel dans le mur et le très lent séchage des murs, ralenti par l'enduit à la chaux a fait effondré le mur sur lui même. Après visite du sinistre, les morceaux de mur écroulés étaient soit des morceaux de pisé congelés soit sous forme visqueuse voire liquide. L'eau s'était en effet condensée au centre du mur.

La connaissance de la matière va également se faire au sein de l'agence par l'analyse scientifique, via la création d'un petit laboratoire en interne. J'ai pu accompagner A. Castellarnau Visus, durant mon stage dédié au DSA de Octobre 2021 à Février 2022, à l'élaboration d'un manuel avec protocole de tests pour l'analyse de terres, tests de chantier et tests de laboratoire. Le manuel est rédigé en espagnol et il est tel qu'il doit être imprimé sur papier et rempli à la main pour chaque terre étudiée. Le manuel a pour but de rassembler toutes les informations nécessaires à l'étude d'une unique terre. Les manuels remplis de données, pourront alors être archivés et viendront enrichir un catalogue que nous avons commencé ensemble à l'agence avec une terre provenant d'Abiego, une terre de Palma de Majorque et une terre d'Alquézar. En parallèle, nous avons commencé à commander tout le matériel nécessaire à faire les tests de laboratoire qui seraient primordiaux. L'équipement pourra être étoffé avec le temps. Nous avons alors priorisé le matériel qui servirait à faire la granulométrie, la sédimentométrie, et le test du bleu de méthylène. Ce petit laboratoire a permis en janvier 2022 d'analyser deux premières terres (Abiego et Palma), et en a résulté une réflexion sur la reformulation de ces terres, imparfaites à la mise en œuvre d'un pisé. Avec Angels, nous avons lors de ces analyses, pu comparer nos expériences de granulométrie et de sédimentométrie. En effet, en plus de sa connaissance du patrimoine local, de son expérience de chantier et de l'élaboration du petit laboratoire, A. Castellarnau Visus a su se former auprès de professionnels pluri-disciplinaire. Elle s'est rapprochée de l'Université de géographie : la Escuela Polytechnica Superior de

Huesca, afin d'apprendre au sein même de leur laboratoire à faire une granulométrie et une sédimentométrie. Les protocoles se sont révélés très différents entre ceux de l'Université de Huesca et ceux du laboratoire Craterre. La granulométrie par exemple se fait à sec, et la sédimentométrie s'opère en prélevant une pipette de mélange après 6 heures de décantation, et en la faisant sécher à l'étuve afin de récupérer la portion de fines contenue dans la pipette. La confrontation de ces différents procédés permettra à l'architecte de personnaliser au mieux les différentes étapes d'analyse et de se constituer un protocole le plus adéquat possible.

Le travail d'analyse granulométrique a particulièrement servi à la reformulation de la terre destinée à bâtir les murs en pisé de la future bodega de la Cervera de Cañada. Cependant j'y émets personnellement quelques réserves dans le chapitre III / c / dédié au projet de la bodega.

#### *d / Pertinence de la terre crue dans les projets architecturaux*

L'agence Edra, sans jamais laisser les qualités d'usage, d'espace et le dessin architectural, est très engagée dans la construction durable et la limitation des déchets et des gaz à effets de serre. C'est pourquoi le choix des matériaux prend une place primordiale dans la processus de conception des projets de l'architecte. En effet la quasi totalité des projets en cours comporte de la terre crue : souvent du pisé, parfois des enduits ou du terre-paille. Bien que les architectes qui privilégient un unique matériau ne soient pas rares, et sont souvent reconnus et encensés pour cette raison (Gion Caminada avec le bois, Gilles Perraudin avec la pierre, Livio Vacchini avec le béton de ciment ...etc) je n'en connais pas ou très peu qui fasse le même travail avec la terre. Peut-être Martin Rauch qui est plus artisan-constructeur, qu'architecte ou Marcelo Cortes avec le torchis. Je me suis cependant posé la question de la légitimité de choisir le pisé comme élément de construction principal pour

la majorité des projets, et donc devant s'adapter à tous les programmes, à toutes les situations et à tous les maîtres d'ouvrage travaillant avec Edra arquitectura. Je me suis souvenue d'un conseil d'Elvire Leylavergne, architecte et DSA 2012 : « la terre j'en mets partout dès que je peux ». Ce que j'ai traduit par il y a une telle variété de terres, de techniques et de possibilités qu'il est toujours possible d'intégrer la terre que l'on a à disposition et parfois même que l'on a en abondance et qui nous encombre car on l'a extraite pour l'implantation du bâtiment que l'on s'appête à construire par exemple. D'autant qu'en Aragón, il y a énormément de construction en terre, celle-ci y est visible ou cachée. Ce choix de matériau est donc tout à fait légitime et justifié. Dans tous les cas, le choix de la terre est un choix local qui respectent donc la devise de l'agence : *kilometro cero* et la loi espagnole : celle du 10 mars 1999 sur le patrimoine culturel.

Dans l'interview située en annexe de ce mémoire qu'Angels Castellarnau m'a accordé en février 2022, celle-ci nie cette utilisation systématique de la terre crue que j'ai noté en collaborant à ses côtés. Elle se justifie plutôt par la pertinence des choix à engager tout d'abord : environnement, intégration, logique sociale... sans en faire une doctrine. Il est vrai que la terre répond souvent aux critères qu'elle recherche cependant elle abandonne volontier le matériau au profit de réponse architecturale qui s'avère parfois plus pratique, écologique, ou tout simplement logique. Ces choix sont appuyés par ses calculs de bilan carbone, démarche entamée depuis plusieurs années maintenant bien avant l'obligation prochaine d'analyse de cycle de vie.

De manière plus générale et pour sortir un peu de cette mode du pisé, nous constatons une telle variété des techniques de constructions en terre et également une infinie variété des terres et de leurs caractéristiques que l'on peut en déduire que chacune pourrait éventuellement trouver sa place dans la construction. Les techniques de constructions et ses dérivés nous prouvent ainsi que l'innovation est continue et que chaque projet reste unique.



### III / Cas d'étude





Pisé avec la technique des brencas, Aragon. Photo personnelle 2021.



Une fois perdue, la connaissance de cette technique (voute nubienne) disparaît à jamais (...) Ils serait peut être possible de rétablir lentement ce savoir-faire dans le pays qui l'a connu, si notre expérience à Gourna réussissait et attirait l'attention des architectes et du peuple égyptien

Hassan FATHY,  
*Construire avec le peuple*

Pour cette troisième et dernière partie, nous nous pencherons un peu plus précisément sur les visites que j'ai pu faire durant mon séjour, sur le travail effectué concrètement au sein de l'agence et sur quelques projets précis. Cette immersion va permettre de prendre un peu de recul sur la pratique de l'agence, et donc d'y apporter un regard peut être plus critique.

*a / Des leçons apprises du vernaculaire :  
une variété infinie des techniques*

De manière globale, et comme précisé dans la première partie, il existe dans le Nord-Est de l'Espagne, 3 grandes techniques de construction en terre : l'adobe, le pisé et le remplissage des pans de mur à colombage type torchis. En espagnol : *adobe, tapia et encadenada*. Ces techniques de base, sont le plus souvent associées de détails constructifs très divers dans des configurations extrêmement variées. Par exemple les murs de pisé ou d'adobe s'imbriquent dans des structures parfois pré-existantes. La terre peut ainsi servir à réparer, renforcer, étendre ou surélever. La thèse de Laura Villacampa fait état de ces diversités, de leur état de nos jours et des restaurations qui ont pu être mises en place ou non. Rien que dans le cas de la *tapia*, on observe au sein de la même région d'Aragon 5 ou 6 variantes de pisé : la *tapia encadenada* (le pisé s'inscrit dans une structure quadrillée en pierre en bois ou en briques crues ou cuites), la *tapia valenciana* (qui comporte des briques cuites parsemées dans le mur), la *tapia con brencas* (avec des cordons de chaux en demi cercle pour chaque module de pisé), et la *tapia calicostrada*. Il existe même des pisés de chaux et de plâtre qui étaient plus usités dans les cas de bains arabes, *aljibe* (citerne souterraine) ou des bâtiments présentant des bassins. L'attention particulière portée à ces améliorations qui sont le résultat

de centaines voire milliers d'années d'élaboration et de contributions de tous types et de toutes origines sur le territoire aragonais et plus généralement espagnol nous renseigne sur l'évolution des techniques et l'intelligence constructive de ces époques.

Les techniques sont au fur et à mesure du temps modifiées et améliorées comme le prouve cette technique du *calicostrada* (enduit en *croûte de chaux*) qui présente une stabilisation sur le pisé en surface. Un exemple extrêmement intéressant est une partie de la muraille de Daroca constituée d'un mur très épais en pisé (< 2,00m de largeur) avec dans les angles des adobes maçonnées mélangées à de la brique cuite et un remplissage pisé (voir photo page 14).

Autre mise en œuvre originale, découverte en arrivant dans la région : les *brencas*. Ce sont des lits de chaux réalisés entre les modules de pisé correspondant aux longueurs de coffrage, qui remontent sur les côtés en quart de cercle (voir photo ci-contre). Cette technique permet de renforcer les liaisons entre pans de pisé, de limiter l'érosion et de stabiliser l'ensemble du mur, sans ajout de chaux à la totalité du mélange. Ce qui est plus économe en chaux, plus subtil dans la mise en œuvre et participe de l'effet esthétique agissant même comme une sorte de repère dans le paysage.

Les adobes, l'une des méthodes de construction traditionnelles les plus anciennes, semblent pouvoir être utilisées dans toutes les occasions. Elles sont souvent un remplissage privilégié pour tout type de bâtiment même les plus prestigieux. (voir illustration page 38) Ce détail prouve que cette technique intelligente et intéressante permet de construire des façades cossues à faible coût.

Cela dit, nous devons reconnaître que le patrimoine en terre crue Espagnol est actuellement en piteux état. De nombreux villages, dû à l'exode rurale

et à leur abandon n'ont pas été entretenus depuis plusieurs dizaines d'années. Les ouvrages en pisé ou en adobe souffrent d'une érosion très importante (voir illustrations dans les pages suivantes) participant en même temps à la dévalorisation de ces architectures. Les nombreuses ruines qui sont présentes dans toute la région, ne sont pas uniquement des ruines en terre. Toutes sortes de constructions mixtes, en pierre, briques, bois, parpaing de ciment... etc tombent en désuétude dû à leur abandon encore une fois. Les murs en adobe et le pisé cohabitent souvent dans les mêmes communes et parfois dans les mêmes constructions. On suppose par observation, que la même terre est utilisée pour ces deux techniques s'agissant d'une terre limono-argileuse, assez fine. Ce choix paraît surprenant et pourrait expliquer une érosion importante du pisé. On a des exemples de pisé qui semblent répondre à cette problématique. La technique de l'entramado notamment : le pisé, non porteur, est encadré d'éléments structurels, comme des briques cuites, ou de la pierre (voir illustration). Il est alors utilisé plutôt comme un remplissage, son érosion est limitée car la technique du pisé est combinée à un soubassement en pierre, et deux poteaux en briques par exemple.

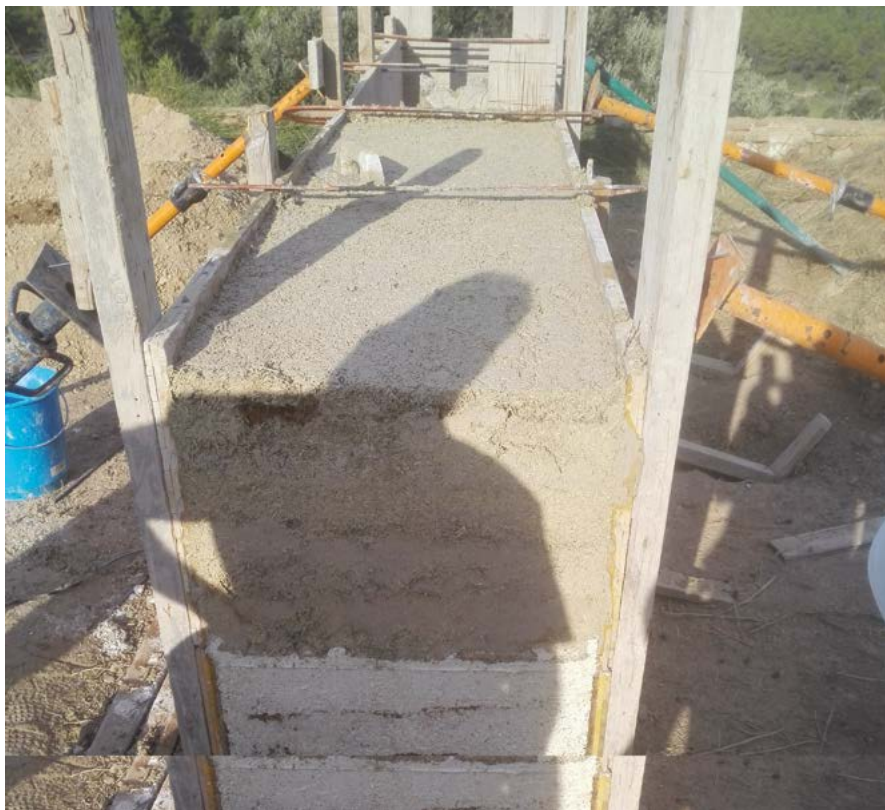
La réhabilitation comme vecteur social : c'est la théorie défendue notamment par Salima Naji et pratiquée quotidiennement dans son travail au Maroc. Dans son ouvrage «Architecture du bien commun» elle raconte comment les grands greniers communautaires de la campagne marocaine ont été peu à peu abandonnés et que cela est la marque d'une évolution des habitudes des marocains et d'un exode rural néfaste aux campagnes marocaines. L'engagement de Salima Naji va plus loin que simplement reconstruire ou protéger ces précieuses architectures. Elle forme, sensibilise, installe et travaille de façon durable, elle s'inscrit dans une lutte anticapitaliste et contre la mondialisation en tentant de rendre les populations locales indépendantes. Elle tente grâce à ces chantiers de rénovations du patrimoine de rendre leur gouvernance aux habitants tout en faisant revivre les centres bourg plus

ou moins abandonnés. La logique d'Angels Visus est la même. C'est pourquoi elle accompagne avec intérêt les chantiers en auto-construction. C'est une mission assez peu effectuée par les architectes français mais Angels semble à l'aise avec cette pratique qui lui semble indispensable une fois le projet dessiné. Dans le cas de constructions de maisons individuelles qui présentent des murs en terre, l'architecte se doit, selon elle d'accompagner le client dans la concrétisation du projet. Non seulement dans une logique d'appropriation du matériau et de sensibilisation à l'éco-construction dans un sens plus large, mais également dans la logique de durabilité et maintenance des matériaux. Apprendre à construire, manier les matériaux, c'est aussi apprendre à prendre soin de son foyer, réparer, entretenir...etc. Une logique économique est également à prendre en compte évidemment et c'est probablement la motivation première des auto-constructeurs.

*b / détails constructifs à observer : technique du calicostrada*

L'une des techniques vernaculaire privilégiée qui fut réadaptée par Angels Castellarnau Visus est la tapia calicostrada ou littéralement croûte de chaux (voir illustration page 10 ou photos ci-contre). Comme dit précédemment l'enduit protecteur est mis en oeuvre directement dans le coffrage. Le mur sera donc stabilisé en surface, ce qui limite son érosion et réduit sa friabilité qui peut parfois faire défaut à un pisé mal formulé un peu trop fragile.

Développée pendant des millénaires dans la région du Maroc, entre autre, la technique du pisé a pu être exportée par les dynasties almoravides et a su s'adapter, se diversifier et s'améliorer au grès des années de pratique. (source : S. Naji, *Architectures du bien commun*)



Mise en oeuvre de la *tapia calicostrada* : pisé avec enduit chaux directement posé dans le coffrage. Photos personnelles Angels Castellarnau.





Exemple de remplissage en briques crues, Palencia, Castilla-y-Leon, Espagne.  
Photo personnelle 2021.



Ermite El Carrascal, Saragosse. 18ème siècle. Technique mixte de pisé avec tuile cuite intégrée et enduit «calicostrada»





Enceinte fortifiée de Daroca, Aragon. Technique du calicostrada. Photo personnelle 2021.









Cuenca de Campos. Technique du encadenada. Photo personnelle 2021.





Autre technique plus contemporaine du encadenada (date inconnue). Photo personnelle 2021.  
*Ce mur présente un soubassement en pierre et des piliers en briques (ce qui semble être de la brique de terre comprimée). Le pisé sert alors plutôt de remplissage.*



Image de synthèse de la future bodega à la Cervera de la cañada, Espagne



Situation de la parcelle

### *c / la bodega de Cervera de la Cañada*

Le projet de la cave à vin des Escoses volantes né en 2021 de la volonté d'un couple d'écossais déjà vigneron qui souhaitent s'installer à la Cervera de la Cañada dans le nord de l'Aragon donc pour cultiver la vigne, presser le raisin, produire le vin, le vendre et accueillir du public lors de visites et de dégustations. La parcelle se situe un peu en dehors de la commune, sur le bord de la route qui accède au village et est relativement en pente. Pour intégrer le bâtiment il s'agira donc d'escaver une quantité relativement importante de terre 300m<sup>3</sup> environ, car le niveau bas sera semi enterré.

J'arrive à l'agence en octobre 2021, le projet en est à la phase équivalente à une phase PRO (loi MOP) française. La conception est bien avancée, mais de nombreux détails techniques restent à dessiner, notamment les agencements entre les différents matériaux et plus spécifiquement les murs en terre pour lesquels nous devons encore une fois porter une attention particulière. Les murs en terre présentent des qualités indéniables concernant la qualité de l'air intérieur comme l'a démontré le projet de la cave de l'oeuf en Bourgogne conçu par l'agence Atelier Zéro Carbone. Cette ossature bois remplissage terre-paille revêtu d'un enduit terre relativement épais permet une importante régulation de l'hygrométrie intérieure. Les écarts de température trop extrêmes sont également évités le vin peut procéder à sa vification sans soucis climatique ou insertion de composés organiques volatiles qui pourrait altérer le vin. Cela Angels Castellarnau l'a bien compris, c'est pourquoi elle propose rapidement la matériau terre à ses maîtres d'ouvrage écossais. La terre pourra également être intégrée dans certaines cloisons intérieure en torchis enduit, et des cloisons terre-paille rayonnantes (avec réseau de chauffage intégré).

Chaque choix architecturaux et constructifs fait l'objet d'une réflexion très poussée de la part de l'architecte, dans un but de rationalité, d'économie, d'usage et de

décarbonatation du bâtiment. Bien que la réglementation thermique en vigueur ne le demande pas, Angels Castellarnau s'applique à faire le calcul CO<sub>2</sub> de tous les projets qui sortent de l'agence<sup>1</sup>. Sont alors comptabilisées pour chaque matériau : les émissions de gaz carbonique à la fabrication ainsi que le transport jusqu'au site de chantier. Ces données sont en partie disponible dans la base de l'ITeC (Instituto tecnologico de construccion) de Catalogne. Dans le cas de la bodega, le niveau bas du bâtiment était prévu en gabion (beaucoup de pierres sont présentes sur le site). Cependant la découverte d'une fabrique de chaux à proximité du chantier a fait changer les murs de soutènement en béton cyclopéen à la chaux. Donner du sens à l'acte de construire, en impliquant les acteurs locaux c'est le parti pris de l'agence.

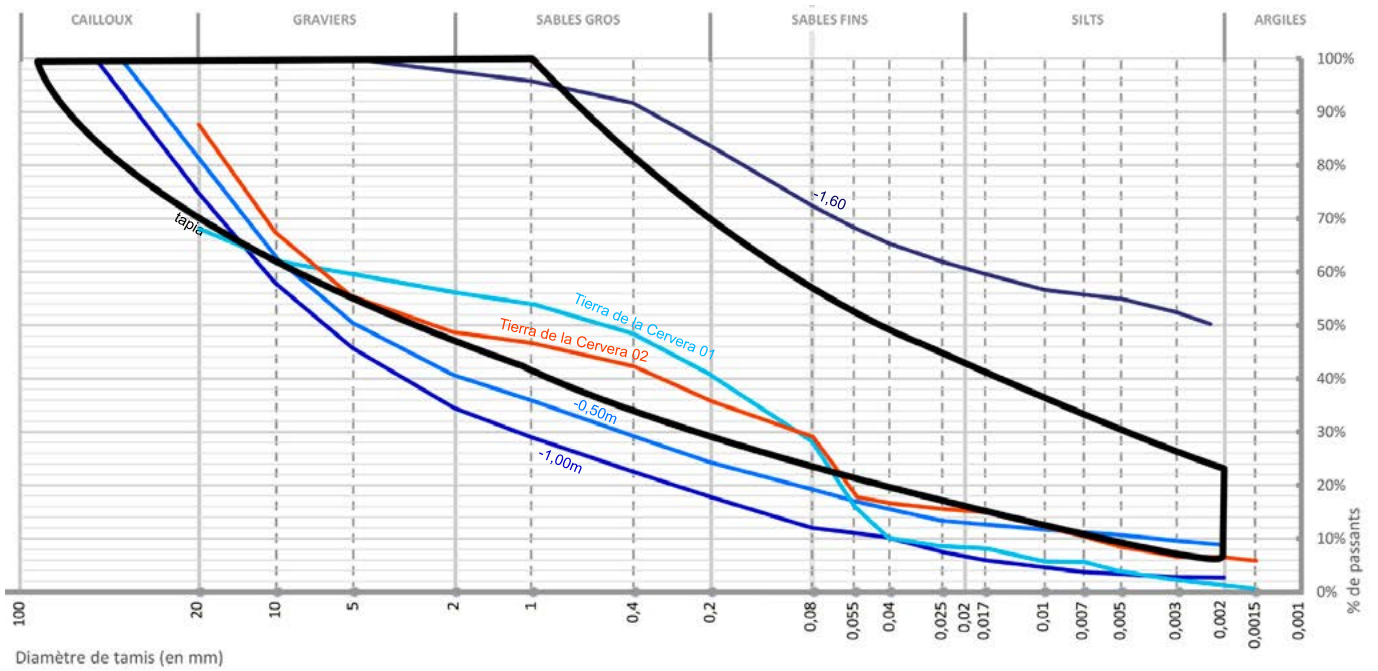
Une conception par module : Le projet prévoit la pré-fabrication de modules de pisé directement sur site. Cette mise en oeuvre permet de réduire le temps de chantier et donc les coûts. Les coffrages sont également simplifiés et le temps de séchage peut être maîtrisés ce qui évite les sinistres en cas de mise en oeuvre en hiver par exemple. Les contraintes sont surtout liées à la manutention des blocs. Celle-ci peut engendrée des dégradations et surtout nécessite une grue sur place.

Des analyses sur la terre du site ont été effectuées afin d'affiner la mise en oeuvre et le pourcentage de stabilisation le cas échéant. Une étude géotechnique a été commandée par l'architecte à un laboratoire de Huesca. Des granulométries ont été faites sur 3 échantillons à 3 profondeurs différentes : -0,50m; -1,00m et -1,60m. Les analyses indiquent alors sous la couche végétale : une couche de terre sableuse et graveleuse et une couche au dessous plus épaisses plutôt argilo limoneuse. Donc deux terres extrêmement différentes. Pour compléter ces analyses, nous faisons une granulométrie au sein de l'agence par nous même à partir de deux échantillons prélevés et rapportés par les clients eux mêmes. Au vu des courbes granulométriques obtenues (en bleu clair et

### Note

<sup>1</sup> La réglementation thermique en vigueur qui régit la construction en Espagne est la DB HE 2013. Elle tend à évoluer vers une nouvelle réglementation environnementale à l'instar de la RE2020 française.

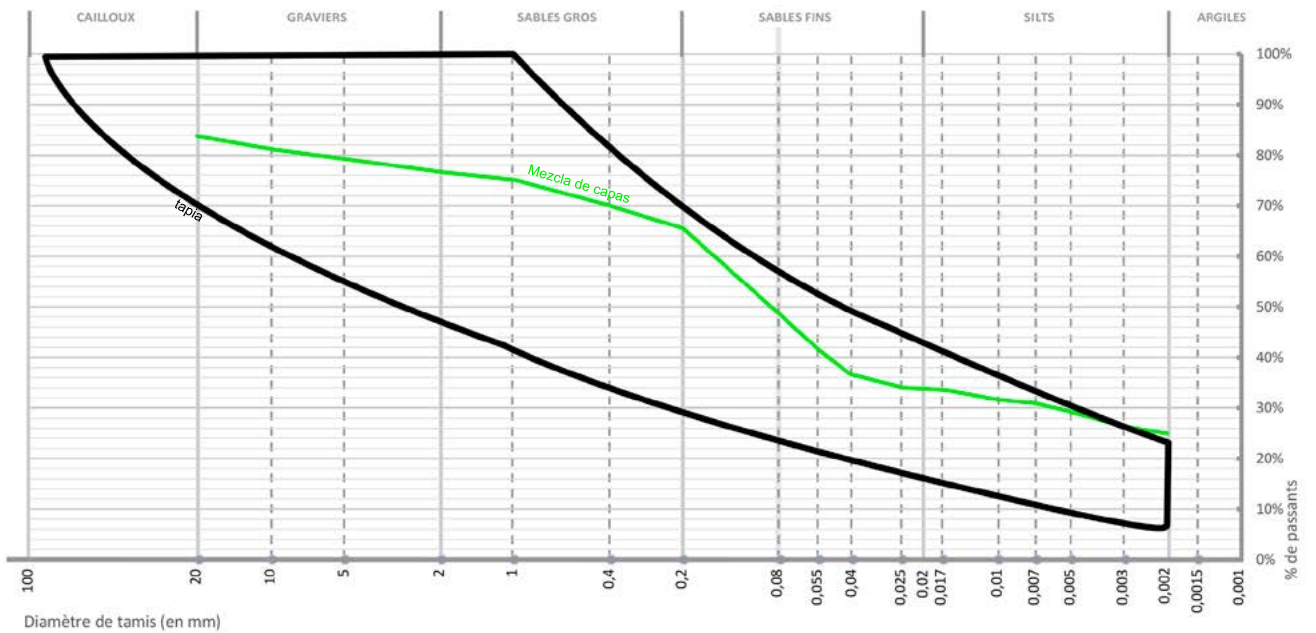




Diamètre de tamis (en mm)

Curvas de la tierras analizadas por Edra y las 3 calicatas del geotécnico. Dos bolsas fueron traídas del sitio.

- ▬▬▬ granulométries effectuées par Igeo 2, échantillons prélevés par le laboratoire lui même.
- ▬▬▬ granulométries effectuées par Vanille Josephine, au sein de l'agence Edra, échantillons fournis par les maîtres d'ouvrage.



Diamètre de tamis (en mm)

Curba de la mezcla proporción 1 por 1 de la capa gravosa + capa fina

rouge sur le graphique) cela semble être une sorte de mélange des différentes couches. Les résultats sont tellement différents entre nos analyses au sein de l'agence et les analyses du laboratoire que le sujet d'un futur protocole de prélèvement est soulevé. Angels Castellarnau et moi décidons qu'il faudra impérativement dans le futur prélever nous même les échantillons de terre à analyser. En effet à plusieurs reprises des doutes sont émis sur la rigueur des prélèvements : les échantillons doivent être absolument représentatifs.

Dans tous les cas les terres ne rentrent pas dans le fuseau granulométrique des terres idéales pour la mise en oeuvre du pisé. Une reformulation semble recommandée. Nous tentons de faire une courbe mixant les deux terres (celle se situant à -0,50m et celle à -1,60m) à une proportion de un pour un. La nouvelle courbe (en vert dans le 2ème graphique) rentre dans le fuseau. La quantité de terre extraite pour l'implantation du bâtiment est suffisante concernant les deux couches pour bâtir les 300m<sup>3</sup> de murs périphériques.

La philosophie de l'agence d'architecture Edra est de construire de la manière la plus frugale, rationnelle et durable possible tout en apportant satisfaction aux usagers. Dans le cas de la bodega de la Cervera, il s'agit alors de trouver les moyens techniques pour que les murs en terre ne s'érodent pas afin de ne pas libérer de poussières qui pourraient altérer le vin. Contre l'érosion, la solution apportée par l'agence est la stabilisation en surface.

Remarque du 1er juillet 2022 :

Ayant assistée aux Assises de la terre crue en Juin 2022 à Sevran, une discussion avec Erwan Hamard, chercheur au laboratoire granulats et procédés d'élaboration des matériaux à l'Université Gustave Eiffel de Nantes m'a fait beaucoup remettre en question l'utilisation du fuseau granulométrique. En effet pour lui se baser sur la simple analyse granulométrique ne suffit pas à caractériser une terre. Après avoir analysé environ 25 terres à piser pendant une dizaine d'années, certaines courbes sortent du fuseau élaboré<sup>2</sup> et sont pourtant mises en oeuvre dans le bâtiment. Ce qui voudrait dire que se baser uniquement sur une courbe granulométrique ne suffit pas et qu'elle pourrait même nous faire passer à côté d'une terre convenable. A l'inverse, les études prouvent également qu'une terre forcée à entrer artificiellement dans le fuseau (via une reformulation par exemple) sera toujours moins *bonne* qu'une terre utilisée telle quelle. Les artisans expérimentés approuvent cette théorie. J'aimerais donc émettre un bémol à ces analyses effectuées au sein de l'agence, et y ajouter d'autres tests notamment la réalisation d'un échantillon de pisé in situ. Un petit module a été effectué à l'agence d'architecture, mais il est trop petit pour en tirer des conclusions structurelles (15x15x15cm). Les recherches de ce chercheur rencontré aux assises de la terre crue 2022 doivent cependant être prises avec du recul. Les 25 échantillons de terre prélevés et analysés (cf : «*Towards an easy decision tool to assess soil suitability for earth building : Construction and Building Materials*» Vol 257, 10 octobre 2020.) et dont la granulométrie apparaît sur le graphique (voir annexe 3) n'indique pas précisément l'état dans lequel se trouve les constructions ce qui veut dire que ce graphique compare des terres à pisé mais pas les bâtiments construits, ni leur état actuel, leur évolution dans le temps, leurs pathologies...etc

Pour ma part j'en conclurai que la granulométrie peut donner une indication tout comme les autres tests de laboratoire et ceux de chantier. Je continuerai à les utiliser, à les observer, à les comparer jusqu'à avoir moi même une certaine expertise.

## Note

---

2 Source : Luquain Amélie, «La terre crue en voie de caractérisation», Le Moniteur, 21 mai 2021





En appliquant la théorie classique de l'innovation, nous verrions que cela est arrivé parce que la construction en pisé, comme produit et comme procédé, pouvait être remplacée par des « substituts industriels » répondant à deux exigences très importantes : l'amélioration mécanique du produit et l'efficacité de sa production.

Roger Bolthausen,  
*Pisé : Traditions et Potentiels*

#### *d / la maison vernaculaire du XXIe s à Ayerbe*

Le projet de la maison personnelle d'Angels Castellarnau est la première expérience du pisé de l'agence. Cette maison conçue et réalisée en 2014, est la quintessence de l'expérimentation d'une *machine à habiter* dans un climat très froid en hiver et très chaud en été. Elle fut primée au Terra Award 2016 catégorie habitat individuel, au «construcción sostenible de Castilla y Leon 2016» et «sostenibilidad Garcia Mercadal 2017».

Le travail de conception de l'agence intègre une stratégie bioclimatique. Ce projet ne fait pas exception. La façade sud est largement vitrée ce qui permet de chauffer la maison l'hiver en récupérant naturellement les calories du soleil. Le vitrage s'étend devant le mur en pisé formant un mur trombe. Aujourd'hui ce mur trombe s'avère peu fonctionnel, car il manque des ouvertures en bas et en haut de mur qui garantirait les échanges d'air, caractéristique d'un mur trombe. Les isolants sont également choisis avec soin : de la laine de mouton pour la toiture et du liège pour le sol produits dans un rayon de 150km.

Cette maison est admirable et réussie de plusieurs points de vue. Elle réutilise une technique de construction traditionnelle oubliée tout en la modernisant. Elle s'intègre dans une économie locale et circulaire en valorisant le tissu entrepreneurial local. L'impact environnemental réduit est prouvé par le calcul et par les chiffres. En effet le bilan carbone et les dépenses énergétiques ont été calculés et comparés avec un système constructif plus conventionnel : des murs périphériques en briques de terre cuites dans une première hypothèse et les murs en pisé dans la seconde. L'insertion de la maison dans le tissu plutôt dense du centre bourg de Ayerbe rend à la construction une certaine banalité et une discrétion qui apparemment, aurait fait se demander aux anciens du village si cette

maison avait-elle toujours été là ou était-elle récente. D'où son nom oxymorique : Maison vernaculaire du XXIème siècle. La surface des murs est stabilisée, en effet une couche de mortier de chaux a été coulée directement dans le coffrage au fur et à mesure que sont mis en oeuvre les lits de terre. Pour l'expérimentation et parce que comme Angels, je suis convaincue qu'il faut tester, bricoler, expérimenter, échouer... etc le pisé contient un peu de paille qui avait un but thermique. La réussite de ce bâtiment tient également dans son extrême simplicité : une charpente traditionnelle, une couverture de tuile canale typique du bourg, de petites ouvertures au nord, de grandes baies généreuses au sud.

Régulièrement médiatisée, la maison a contribué à la petite renommée de l'architecte, et peut-être de là sont nés les projets suivants qui ont convaincu de plus en plus de maîtrises d'ouvrage. Le projet est une référence pour l'agence. Il faut admettre que sur ce projet, avoir été architecte et maître d'ouvrage a certainement permis à Angels Castellarnau de le réaliser.

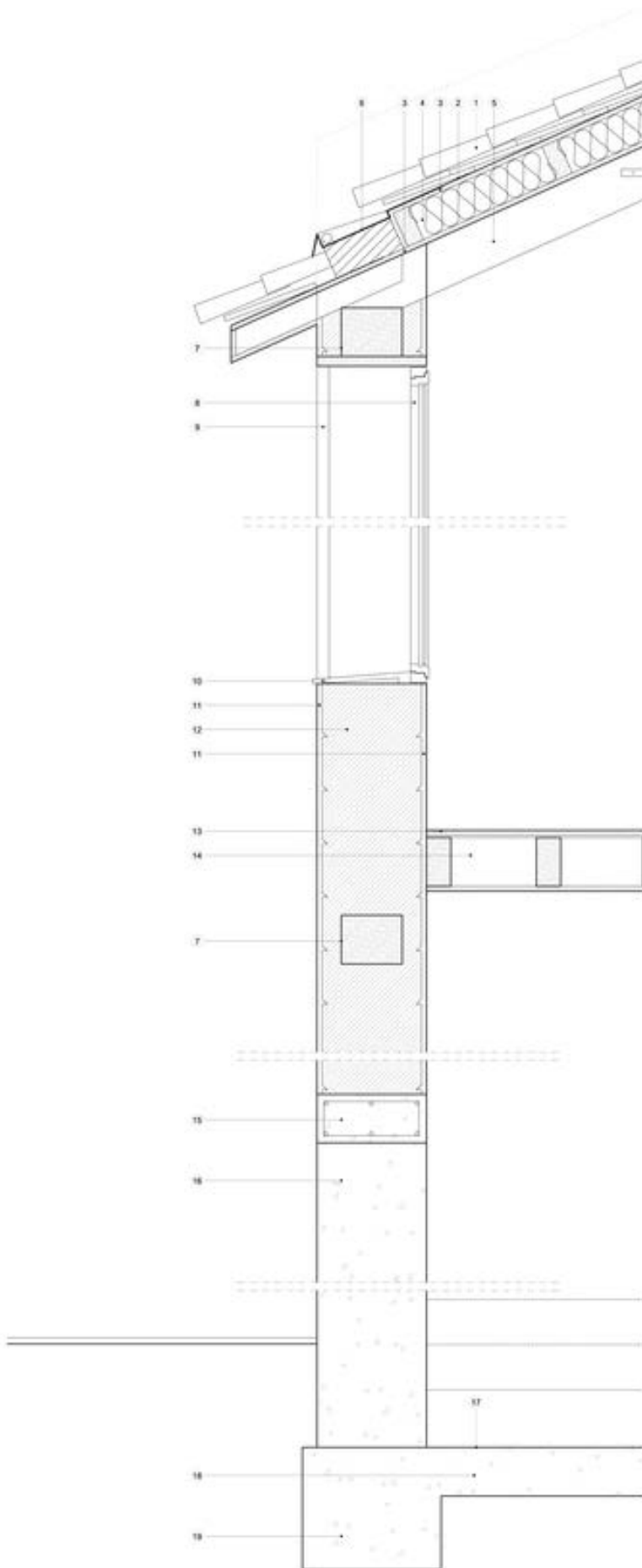
Cette configuration a été l'occasion pour elle de développer sa réflexion sur sa version du développement durable<sup>3</sup>. D'après elle décarbonner l'architecture passe par une restructuration profonde et un changement de paradigme via :

- Une culture de l'habiter retrouvée, qui serait liée à l'environnement naturel.
- Un choix conscient des matériaux et des équipements en fonction de leur impact environnemental
- Un développement de technologies à faibles impacts.
- La paramétrisation et la normalisation.

#### Note

---

3 Définition : Le développement durable est «un développement qui répond aux besoins du présent, sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs» Citation de Mme Gro Harlem Brundtland, Premier ministre norvégien 1987

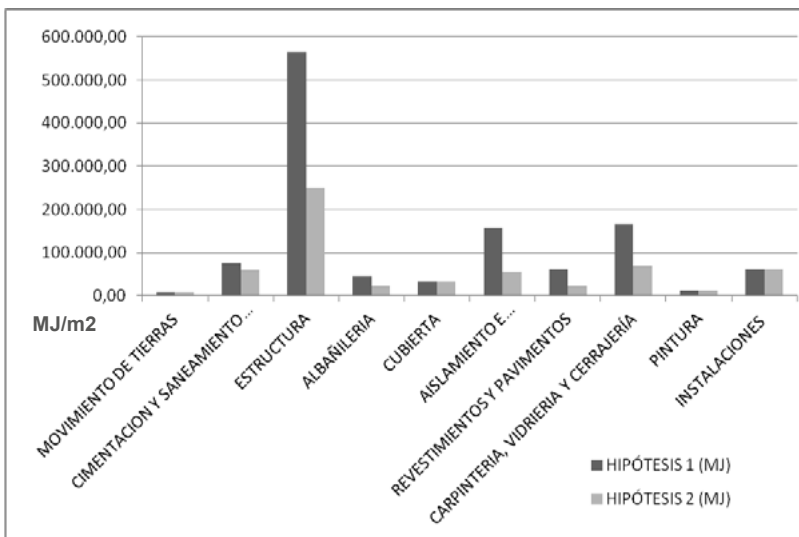


#### LEYENDA

1. Teja cerámica
2. Lámina transpirable
3. Tablero de madera
4. Lana de oveja 20cm
5. Cercha de madera de pino aserrada
6. Canalón de chapa
7. Zunchos perimetral de madera de pino aserrada
8. Carpintería de madera con vidrio bajo emisivo 4/16/6
9. Contravetano de madera
10. Verteador de barro cocido
11. Mortero de cal calicostrado
12. Tapial (tierra+paja)
13. Pavimento de tarima de pino
14. Forjado de viguetas de madera de pino aserrada unidireccional
15. Zuncho perimetral de hormigón para forjado de viguetas autoportantes+rasilla+capa de compresión entre planta sótano y planta baja. Aislamiento de corcho natural 5cm
16. Muro de hormigón en masa
17. Acabado de hormigón fratasado
18. Solera de hormigón en masa
19. Cimentación de hormigón



L'analyse de cycle de vie pour la maison de Ayerbe s'est fait via le calcul de la masse des matériaux, de la quantité de CO<sub>2</sub> émises, et de la quantité d'énergie nécessaire à la fabrication des matériaux notamment. Pour une plus grande prise de conscience les mêmes caculs ont été faits sur une version «conventionnelle» de la maison : avec des murs en briques cuites. Les résultats (ci-dessous) indique une économie de 60% d'émissions de CO<sub>2</sub>, et de 50% d'énergie grise (calculée en MJ/m<sup>2</sup>).





**h1**

**4.280**  
MJ / m2  
construido



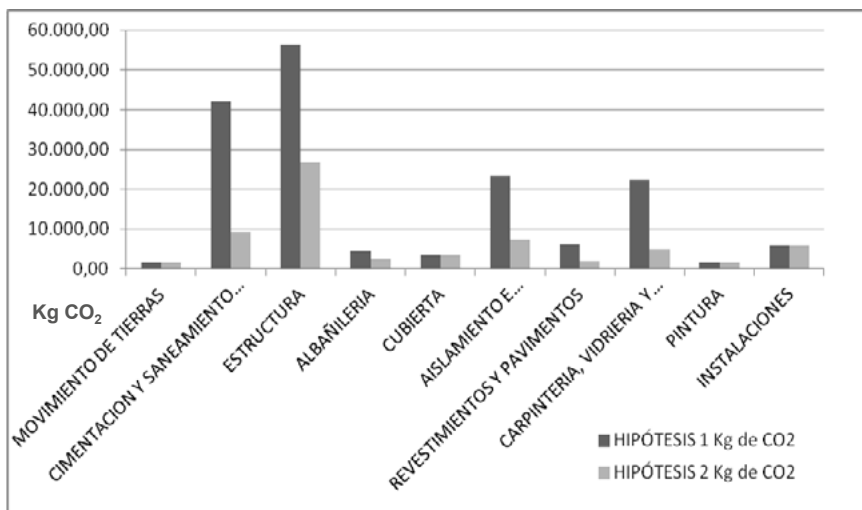
**h2**

**2.140**  
MJ / m2  
construido

**ENERGÍA INCORPORADA**

**-50%**

Décompte de l'énergie dépensée en MJ/m2 pour les 2 systèmes constructifs : une hypothèse conventionnel en brique cuite(monomur) et une hypothèse en pisé.





**h1**

**608 kg**  
emisiones  
de CO<sub>2</sub>/  
m2  
construido



**h2**

**237 kg**  
emisiones  
de CO<sub>2</sub>/  
m2  
construido

**EMISIONES DE kg de CO2 equiv.**

**-60%**

Décompte des kg emissions CO2 equivalents pour 2 systèmes constructifs : une hypothèse conventionnel en brique cuite(monomur) et une hypothèse en pisé. D

# Conclusion

La réussite des projets de l'agence Edra Arquitectura Km 0 dirigée par Angels Visus, tient avant tout de son engagement sur tous les sujets politiques, sociaux et environnementaux. Les choix qui sont faits au sein de l'agence forment un cercle vertueux qui prend en compte toutes les dimensions et l'impact global que peut avoir un projet d'architecture ou d'aménagement sur son environnement. Le projet passe tout d'abord par des questionnements comme : sa raison d'être. L'architecte doit, selon moi, pouvoir et savoir refuser un projet qu'il considère comme inutile ou néfaste ou abérrant. Angels choisi ensuite les matériaux dans un souci de rationalité globale : matériaux disponibles sur place, ressources des maîtres d'ouvrage, patrimoine alentour... Sans oublier la partie sociale toujours au coeur des considérations : emplois créés, savoir-faire réactivés, filières locales soutenues, artisans formés...etc. Bien sur des choix et des compromis sont faits au cours de l'élaboration des projets. Travailler pour des maîtrises d'ouvrage plus ou moins fortunées, et concevoir du «haut de gamme» pour délaisser parfois des clients plus modestes peut participer aux succès et à la renommée des architectes.

Les choix de vie de l'architecte sont également un rouage à part entière de la pratique de l'agence. S'installer au coeur de l'Aragon dans un village à proximité des Pyrénées, dans une zone plutôt dépeuplée est un choix fort. La construction de sa maison personnelle à Ayerbe a également été vecteur de projets et a déclenché une relative renommée qui a permis de faire connaître l'agence et de présenter une première expérience de pisé (réussie !) car rien ne peut mieux convaincre de construire en terre à nouveau que de montrer des projets contemporains construits. La thèse en cours de rédaction sur le sujet de l'irrigation et de l'aménagement paysager et agricole à Ayerbe, tout comme son engagement au sein de l'organisme municipal qui gère la répartition de l'eau entre les exploitants agricoles en sein de ce territoire permet à Angels Castellarnau d'être véritablement une architecte ancrée dans son territoire.

Edra Arquitectura n'est pas vraiment entouré d'acteurs dynamiques de la filière terre. L'Espagne est un pays qui présente beaucoup de potentiels pour la filière par son patrimoine très important, répartis sur tout le territoire présentant cependant un état de conservation globalement assez dégradé et une mise en valeur peu développée. Cependant l'architecte a su créer sa propre dynamique en s'entourant de professionnels motivés (bureau d'étude, laboratoires d'analyse géologique, dessinatrice, architectes associés...etc) et en collaborant avec des maîtrises d'ouvrage engagées et convaincues dans le public comme dans le privé.

Pour conclure, cette petite agence d'architecture située dans les Pyrénées espagnoles doit la réussite de ses nombreux projets en terre crue, à plusieurs paramètres que j'analyse ici :

- L'engagement et la conviction très forte de l'architecte (A. Castellarnau Visus) du bien fondé de construire en terre.
- Ses compétences techniques liées à son expérience (Architecte salariée, puis associée, puis indépendante depuis 10ans) ainsi que sa capacité à se former en continue sur tous les sujets (notamment la construction en terre, la construction d'arcs, voûtes, coupes, les calculs d'ingénierie structurelle...etc). Il faut également rappeler dans ce contexte que les architectes en Espagne suivent une formation d'architectes/ingénieurs. Cette approche transdisciplinaire consolidée par une démarche expérimentale permet de maîtriser au mieux le projet. Les projets réalisés doivent également leur qualité au sérieux des démarches effectuées qui s'appuient sur la recherche de justifications technico-scientifiques solides.
- Les qualités d'inertie et d'hygrométrie du matériau dans un pays d'autant plus touchés par le réchauffement climatique et par les pics de chaleur, alors moins concerné par une sur-isolation l'hiver.
- Une pratique plutôt locale, qui permet un réel ancrage dans le territoire.

# Conclusions personnelles

Je suis partie en octobre 2021 pour réaliser cette mise en situation professionnelle au sein de l'agence Edra Arquitectura km0, en pensant écrire un mémoire sur le patrimoine vernaculaire de terre d'Aragon. En effet cette région plutôt méconnue possède un patrimoine très important en pisé, en adobe mais également une sorte de torchis appelé *entramado*. Cette expérience m'a permise d'apprendre à connaître la région, de visiter de nombreux sites et villages où j'ai pu observer l'état de ce patrimoine rural plutôt dégradé mais observer également sa grande diversité. Ce travail de visites a finalement permis de remettre en contexte le travail d'Angels Castellarnau Visus qui en fait devenu le sujet principal de ce mémoire.

Son travail, intense, fourni, complet a constitué pour moi une réserve de savoir, de technicité et d'inspiration. A la question est-il possible aujourd'hui pour une architecte de pratiquer son métier de façon engagée, radicale et politique ? L'activité d'A. Castellarnau Visus nous dit que oui. A la question une architecte seule peut-elle construire de nombreux projets privés et quelques projets publics durables, dans le respect de l'environnement et qui pour la plupart présentent de la terre crue dans leur mise en oeuvre ? La réponse est encore une fois oui. Ces projets peuvent-ils en plus d'être décarbonés, trouver un sens dans leur existence même, leur implantation ou leur fonctionnement ? Oui, oui et oui. Par le biais de maison individuelle en autoconstruction avec des techniques accessibles selon le profil de chaque maître d'ouvrage (terre paille, pisé pour les plus audacieux...), par des projets plus ambitieux comme l'hôtel luxueux de Monroyo - Teruel (rénovation et extension en pierre et en pisé), des projets plus techniques comme la cave du vin 'los Escoses Volantes' à la Cervera de Cañada, ou encore grâce à des projets plus sociaux comme les logements collectifs de Majorque.

Cette expérience auprès d'Angels, m'a permis de gagner en confiance, en compétence et d'avoir un exemple et une référence supplémentaire qui va m'aider à avancer dans ma vie professionnelle. Je suis actuellement architecte libérale inscrite à l'ordre et j'ai déjà quelques projets architecturaux dans mes références. Mon travail de conception gagnera à être plus radical et affirmé. Par radical, j'entends le sens premier du terme, son origine : relatif à la racine, à l'essence de quelque chose. C'est ce qui me plaît dans ce métier et ce que je retiens de cette collaboration eu sein de Edra Arquitectura. Pouvoir travailler de manière complète c'est à dire en alliant plusieurs disciplines et plusieurs compétences, et en tentant de mettre au centre du projet tous les enjeux contemporains possibles qu'ils soient économiques, sociaux, philosophiques, politiques, écologiques...etc Le terme peut faire peur car il appelle à l'extrémisme. Mais plus qu'extrémiste je tenterai d'adopter une démarche «jusque boutiste».

# Remerciements

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à la rédaction de ce mémoire, à la réussite de ma mise en situation professionnelle ainsi qu'à la formation DSA terre à l'école d'architecture de Grenoble. Je tiens à remercier plus particulièrement :

- Arnaud Misse, mon directeur d'étude, pour son suivi, ses conseils, ses relectures.

- l'équipe Craterre et tous les professeurs qui sont intervenus lors de ces deux années de formation riches et passionnantes.

- à Anne-Sophie Cléménçon pour m'avoir reçue chez elle à Lyon et avoir partagé avec moi son travail et sa passion pour l'architecture de terre.

- à Angels Castellarnau Visus pour m'avoir acceptée au sein de son agence et avoir partagé avec moi tout son travail, ses réflexions, ses réussites, ses doutes. Merci également pour tous ces échanges très enrichissants.

- à tous mes camarades de la promotion 2020-2022 qui ont grandement contribué à ma formation, à mon évolution professionnelle et intellectuelle et à Alix pour sa relecture.

- à David pour son soutien inconditionnel, ses précieux conseils, sa présence et sa confiance.



# Bibliographie

YUSTE, Beatriz

«Arquitectura de tierra, caracterización de los tipos edificatorios» *Mémoire Master Arquitectura Energía y medio ambiente, Universidad politécnica Cataluña.*

ALLANEGUI BURRIEL, Guillermo

«Arquitectura popular en Aragón» *Librería General.* 1979.

VILLACAMPA CRESPO, Laura

«La restauración y la rehabilitación de la arquitectura tradicional de tierra, el caso Aragón» *Universitat politécnica de Valencia.* 2018.

FATÁS FERNÁNDEZ Luis, y CATALÁN GARZARÁN Susana

«La construcción con tierra en la protohistoria del bajo Aragón : El caso de San Cristobal de Mazaleon» 2005

MILETO Camila, VEGAS LOPEZ-MANZANARES Fernando, VILLACAMPA CRESPO Laura, and GARCIA-SORIANO Lidia

«The Influence of Geographical Factors in Traditional Earthen Architecture: The Case of the Iberian Peninsula» Article Published: 20 April 2019

NAJI, Salima

«Architectures du bien commun : pour une éthique de la préservation» *MétisPresses.* 2019

FATHY, Hassan

«Construire avec le peuple : histoire d'un village d'Égypte» Sindbad. Actes sud. 1969

ROJAT Fabrice, HAMARD Erwan, FABBRI Antonin, CARNUS Bernard, MCGREGOR Fionn

«Towards an easy decision tool to assess soil suitability for earth building : Construction and Building Materials» Vol 257, 10 octobre 2020.

Documentaires vidéos :

MONESMA Eugenio, Documentales etnográficos. (1998) Aguero, Huesca, Aragón. *El horno tradicional de cal. Oficios perdidos.*

ARAGON NOTICIAS, (10 juin 2016). *Minas de arcilla sin rehabilitar.* Youtube. URL.





# Annexe 1

## ENTRETIEN AVEC ANGELS CASTELLARNAU VISUS, architecte

*Angels, quel est ton parcours académique et professionnel ?*

J'ai fait mes études à l'Universitat politecnica de Catalunya pendant 5 années. Pendant et après mes études j'ai travaillé dans une agence d'architecture barcelonaise : Pinearq. durant 4 ans. Je m'installe à Ayerbe en Aragon en 2006. A ce moment là je suis m'installe en libérale avec une associée : nous montons l'agence Periferia Arquitectura qui va durer 3 ans, puis je continue seule avec Edra. Edra est une entreprise qui comporte l'agence d'architecture ainsi que le vignoble (Edra Cultura y Natura) géré par son époux Alex Acaso.

*Comment as-tu connu la construction en terre ? As-tu toujours connu cette tradition constructive ?*

Je me suis toujours intéressée à l'architecture bioclimatique, durable et au respect de l'environnement. Dans tous les voyages que j'ai effectué (Mexico, Chile..etc), j'observais ces architectures et remarquais que la terre était utilisée dans de nombreuses situations et configurations. J'ai plutôt commencé à travailler avec les briques cuites et les briques «termoarcilla».

*Je souhaite comprendre la pertinence du choix de la terre dans tous tes projets. Penses-tu que ce matériau a sa place dans tous les contextes ? Pourquoi ?*

Tous mes projets ne comportent pas d'ouvrages en terre. Les choix que l'on fait prennent tout leur sens selon le contexte, la situation, car la terre a une présence et souvent résout la majorité des problèmes rencontrés. Par exemple dans les Pyrénées, on a de la pierre, et la matière organique qui sert plutôt à l'agriculture, si on doit chercher un matériau à distance, cela perd tout son sens. Si un client me dit qu'il a en sa possession tel ou tel matériau, alors c'est parti ! Nous avons la chance d'avoir un très grand catalogue de ressources. La terre c'est le matériau star car elle résout beaucoup de problématique : hygro-métrie, structure porteuse, matériau local... etc

La terre ne peut pas être une anecdote du projet. Si elle peut porter alors qu'elle porte ! Là où on est pertinent c'est quand on arrive à faire sortir tout le potentiel et que ça donne du résultat. A l'inverse il m'est arrivé de refuser des projets comme celui de la maison d'un très riche footballeur pour lequel je pense que la terre allait les décevoir. Je savais que cette équipe (la maîtrise d'ouvrage et leur architecte d'intérieur) n'accepterait pas la moindre fissure, abrasion, imperfection. Ils n'étaient pas dans l'expérimentation.

Le savoir doit pouvoir voyager. A l'agence nous travaillons «km 0» au maximum, mais je pense que le savoir doit voyager. Le plus important est de développer avec le client un objectif qui soit noble. Le but est de faciliter le processus, accompagner les personnes dans leur idée jusqu'au succès du projet. On se doit d'être assez proche de nos maîtres d'ouvrage afin de sortir le meilleur potentiel. Il y a également une forme de tutorat pour les auto-constructeurs. J'aime moi même le travail manuel et m'impliquer sur le chantier donc cet engagement me paraît plutôt évident. Le problème assurantiel se pose (de la même manière qu'en France concernant l'autoconstruction), mais je veux quand même pouvoir accompagner mes clients si je leur ai conçu une maison bio

ou géo-sourcé. Je pense que l'architecture est une discipline transversale qui doit permettre de gérer les ressources, observer le paysage avec une partie artistique, et technique. Nous ne vendons pas un objet architectural, mais nous allons beaucoup plus loin via l'intégration, l'abaissement de l'impact environnemental, l'impact social, politique...etc

Je ne suis jamais les documents techniques ou les règles de l'art basiques. J'essaye toujours d'aller plus loin en dessinant mes propres détails constructifs. Je pense qu'il faut absolument remettre en question les normes. Je veux suivre la norme mais à ma manière.

*Dans la plupart de tes projets qui présentent du pisé, tu utilises la méthode du préfabriqué, pourquoi ?*

Je cherche à détemporaliser le chantier qui avec le pisé peut être très long et donc très couteux. Par ailleurs, nous avons eu de graves problèmes avec des mises en oeuvre en hiver. Simplifier le coffrage, la calepinage c'est éviter les surcoûts. Par contre je tiens à préfabriquer in situ, car préfabriquer en atelier reviendrait à repousser le problème du transport de la matière. Ce qui ne m'intéresse pas du tout c'est alimenter un système industriel comme celui des BTC si je n'en vois pas le sens «local». Le même problème se pose pour le bois, si je travaille le bois dans mes projets je souhaite qu'il y ait une réflexion sur la gestion de la forêt, avec des clients qui possèderait leur propre bois par exemple. L'impact environnemental le plus faible pour un impact social le plus important ! Ce n'est pas la technique BTC qui me gêne mais plutôt le fait d'être détaché du site de projet. Le matériau doit avoir le lien et l'identité du lieu. Il faut analyser le lieu de projet et se demander : que pouvons-nous apporter ?

Exemple : des clients viennent me voir des Pyrénées. Ils possèdent des moutons, la logique a voulu que nous isolions tout leur logement en laine de mouton.

Je préfère travailler avec des gens qui ne connaissent pas la construction en terre, et donc les former. C'est comme une sorte de dévouement à mes racines, je suis originaire de Ayerbe moi même et donc du peuple aragonais.

*Que signifie EDRA ?*

C'est une plante grimpante en aragonais.

*Quelle est ta méthode de travail concernant les analyses de cycle de vie de tes projets ?*

Je calcul le bilan carbone à partir des quantitatifs, et d'une base de données de l'ITEC de Catalogne. Les éléments qui peuvent/doivent être améliorés, le sont. Les matériaux qui pourraient être obtenus localement, permettent de faire évoluer le transport. Nous comparons ensuite les résultats au même projet en conventionnel avec du béton de ciment par exemple.

Il vaut mieux vendre un service, plutôt que des matériaux. Réduire l'impact environnemental des machines, c'est bien, changer de système c'est mieux. C'est le sujet du capitalisme qui revient souvent plutôt que celui de l'écologie pure. Je fais une distinction entre le durable faible et le durable fort.

Voiture électrique -> solutionner les problèmes de pollution atmosphérique par un chemin court -> Durable faible  
Au contraire le durable fort, s'attaque au problème à la racine, à l'essence même. -> réduire les distances, réduire les consommations, réduire l'utilisation de la voiture.

*Peux-tu m'expliquer en quoi consiste ton engagement au sein de la municipalité d'Ayerbe ?*

Je suis présidente de la communauté d'irrigation de Ayerbe. Traditionnellement ce sont de petites associations dans chaque village. Auparavant la société fonctionnait plus en autogestion, et chacun pouvait donner son avis et avait un pouvoir décisionnel. Aujourd'hui l'Etat a changé ce système en une organisation plus grande et plus hiérarchique qui décide de comment il fait irriguer chaque culture et délivre les autorisations. Ces communautés ont quand un certain pouvoir sur l'organisation de leur propre territoire. Elles permettent en quelque sorte de maintenir la tradition d'auto-gérer son territoire et de posséder l'eau.

*Où as-tu appris à faire des analyses de terre et des granulométrie ?*

A l'Université de géologie de Huesca qui m'a invitée alors que je posais des questions à observer et à pratiquer avec eux.

*Et sur les techniques de construction en terre ? As-tu suivi une quelconque formation ?*

J'ai suivi une formation sur la terre coulée avec Amàco. Sinon je suis une autodidacte, je me renseigne dans les livres et dans mes visites.

*Qui sont tes collaborateurs habituels ? Et quelle compétence recherches-tu dans ton équipe ?*

Patricia est dessinatrice. Ce que je cherche c'est surtout de la fidélité et de la curiosité. On est en permanence en processus de création et d'apprentissage. Je cherche également à ce que durant ce processus le savoir et la connaissance soit partagés. Spécifiquement pour la terre crue, je recherche les connaissances scientifiques et des géologues ainsi que des «aparejador» (maîtres d'oeuvre/OPC) pour le suivi de chantier et le contrôle qualité de la terre.

*As-tu collaboré avec d'autres architectes ? d'autres acteurs de la terre crue ?*

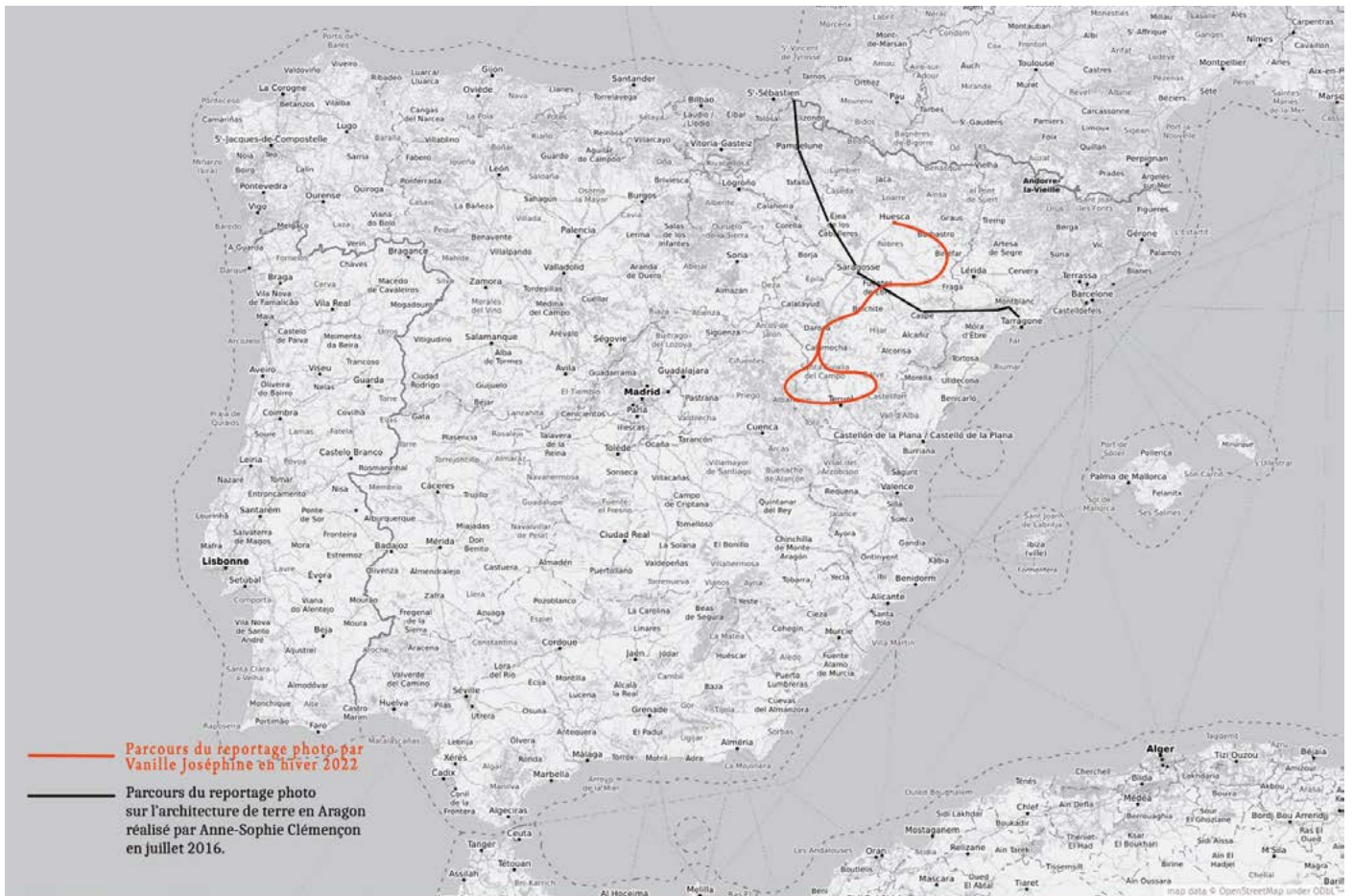
Avec Pilar Diez de Palencia, plutôt en milieu associatif pour organiser des chantiers participatifs, écrire des articles faire de la sensibilisation...etc Notre association Mas Tierra va justement sortir un livre sur les femmes et la construction terre crue. Egalement avec le groupe PRO tierra d'Amérique du sud, qui a tenté de former un groupe en Espagne malheureusement il y a si peu d'acteurs...





# Annexe 2

TRAVAIL PHOTOGRAPHIQUE par Anne-Sophie CLEMENCON réalisé en 2016 lors d'un voyage à vélo.





























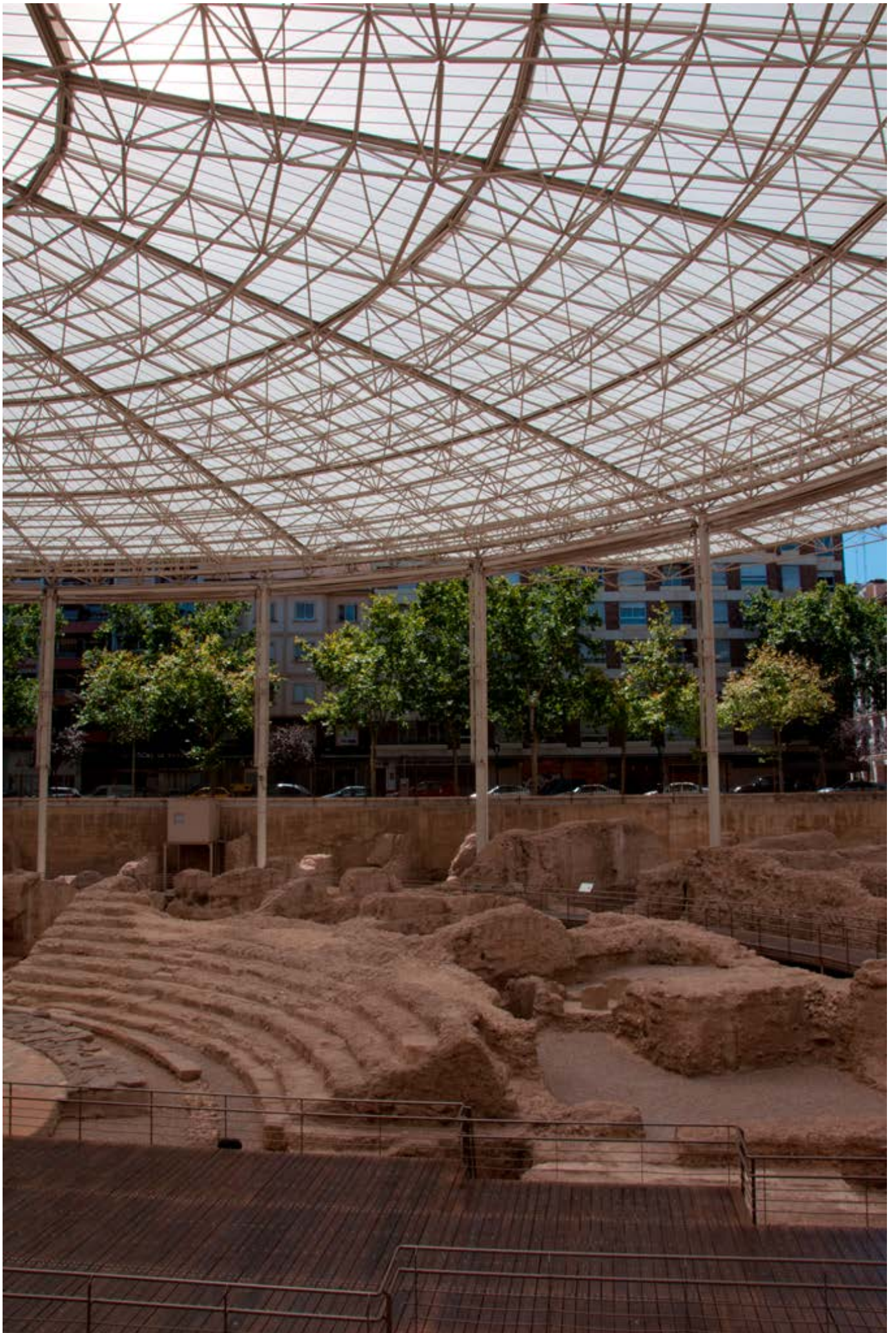
























# Annexe 3

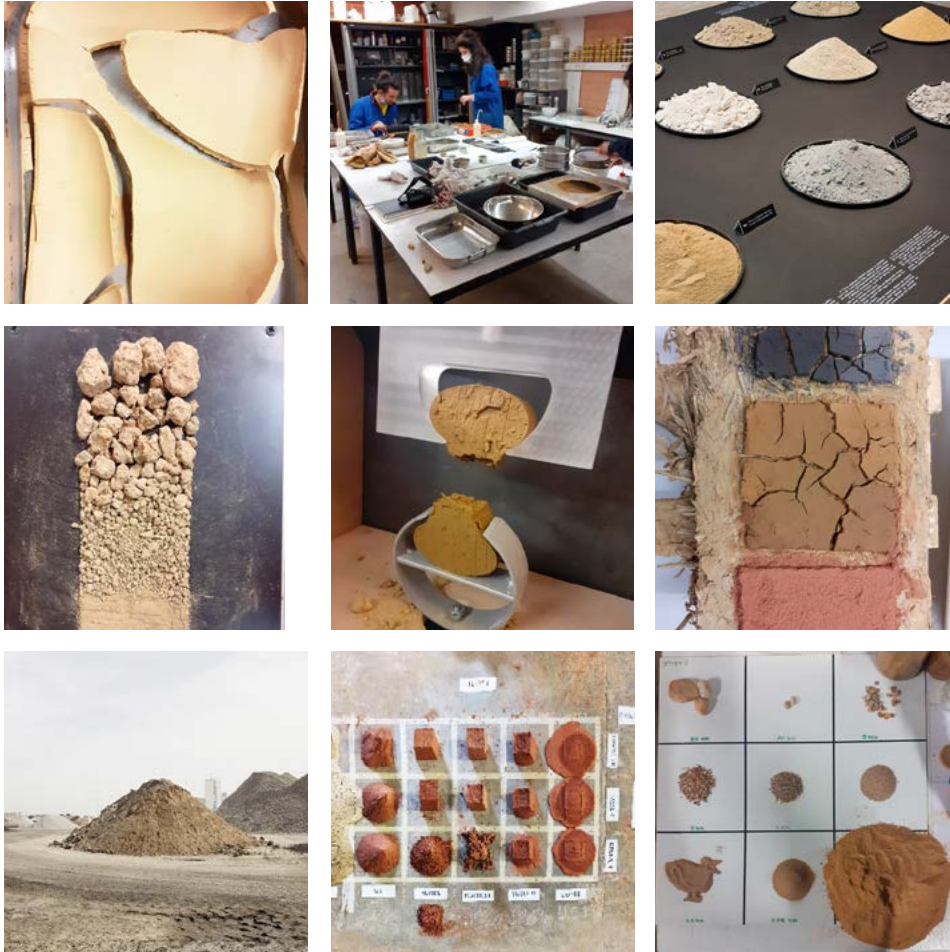
Catalogues d'analyses de terre effectués lors de la mise en situation professionnelle. Janvier 2022.





# RESUMEN Y INTERPRETACIÓN DE LA ANÁLISIS DE TIERRA

Fecha :



## EDRA ARQUITECTURA KM 0

proyecto :

[Bodega de La Cervera de Cañada, Huesca](#)

origen de la tierra :

[sitio de obra](#)

técnica :

[Muros de tapia](#)

# OBSERVACIONES PRELIMINARES

La tierra tiene un color marrón mineral y al estado plástico huele a la materia orgánica. Al estado viscoso parece muy arenosa y no pega a los dedos (Ausencia de arcilla ?). Las pastillas, hechas con la parte < 0,4mm, se rompen fácilmente y no tiene retiro. El ensayo (< 0,4mm) del churro también, con trocito de 7 a 8 cm indica que a la tierra le falta cohesión, entonces no tiene arcilla ?

-> Interpretamos que esta tierra parece limosa-arenosa

# ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio geotécnico hecho en diciembre 2020, ha analizado tres tierras a 3 profundidades diferentes : a 50cm, a 1m y a 1,60m. Dos tipos de tierra muy distintas aparecen : una tierra muy fina (queda arriba del gráfico) y las dos otras tierras muy gravosas. Las curvas fueron agregadas al gráfico con la curva de la tierra analizada en el laboratorio del estudio Edra Arquitectura.



El estudio nos da un límite plástico de 13%, 16% y 16% et un límite líquido de 22%, 20% y 21% que para las 3 medidas indican un índice de plasticidad de 6%, 3.5% y 8% que se interpretan, las tres, como un suelo **ligeramente cohesivo**.

LIMITES ATTERBERG UNE 103103-103104	PROCTOR MODIFICADO UNE103501	ANALISIS QUIMICOS
Límite Líquido (LL)..... 22.4	Máxima Densidad, g/cm <sup>3</sup> ..... -	UNE 103201/103206/103205/103204
Límite Plástico (LP)..... 16.6	Humedad Óptima, %..... -	Sulfatos solubles, % SO <sub>3</sub> ..... -
Índice Plasticidad (IP)..... 5.8	PROCTOR NORMAL UNE103500	Íon sulfato, mg SO <sub>4</sub> /kg muestra..... 100
EQUIVALENTE DE ARENA UNE EN 933-8	Máxima Densidad, g/cm <sup>3</sup> ..... -	Yeso, % CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O..... -
Equivalente..... -	Humedad Óptima, %..... -	Sales solubles, %..... -
DESGASTE ANGELES UNE EN 1097-2	INDICE CBR UNE 103502	Materia orgánica, %..... -
Coefficiente desgaste, %..... -	CBR 95% compactación..... -	CLASIFICACION PG-3
HUMEDAD NATURAL UNE 103300	CBR 98% compactación..... -	Casagrande..... GW-GC
Humedad natural, %..... -	CBR 100% compactación..... -	H.R.B..... A-1-b
COLAPSO UNE103406	HINCHAMIENTO LIBRE UNE 103601	Índice de grupo..... (0)
Pot. Porcentual de colapso, lc..... -	% Hinchamiento libre..... -	GRAVAS Y ARENAS CON PEQUEÑA PROPORCIÓN DE ARCILLAS.

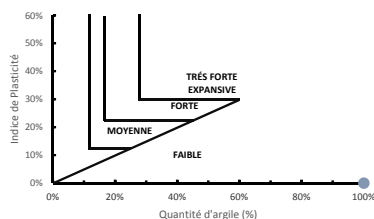
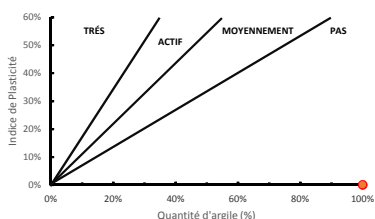
Analisis geotécnico de la calicata 1 a -0,50m ●

LIMITES ATTERBERG UNE 103103-103104	PROCTOR MODIFICADO UNE103501	ANALISIS QUIMICOS
Límite Líquido (LL)..... 19.6	Máxima Densidad, g/cm <sup>3</sup> ..... -	UNE 103201/103206/103205/103204
Límite Plástico (LP)..... 16.1	Humedad Óptima, %..... -	Sulfatos solubles, % SO <sub>3</sub> ..... -
Índice Plasticidad (IP)..... 3.5	PROCTOR NORMAL UNE103500	Íon sulfato, mg SO <sub>4</sub> /kg muestra..... 100
EQUIVALENTE DE ARENA UNE EN 933-8	Máxima Densidad, g/cm <sup>3</sup> ..... -	Yeso, % CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O..... -
Equivalente..... -	Humedad Óptima, %..... -	Sales solubles, %..... -
DESGASTE ANGELES UNE EN 1097-2	INDICE CBR UNE 103502	Materia orgánica, %..... -
Coefficiente desgaste, %..... -	CBR 95% compactación..... -	CLASIFICACION PG-3
HUMEDAD NATURAL UNE 103300	CBR 98% compactación..... -	Casagrande..... GW-GC
Humedad natural, %..... -	CBR 100% compactación..... -	H.R.B..... A-1-a
COLAPSO UNE103406	HINCHAMIENTO LIBRE UNE 103601	Índice de grupo..... (0)
Pot. Porcentual de colapso, lc..... -	% Hinchamiento libre..... -	GRAVAS Y ARENAS CON PEQUEÑA PROPORCIÓN DE ARCILLAS

Analisis geotécnico de la calicata 2 a -1,00m ●

LIMITES ATTERBERG UNE 103103-103104	PROCTOR MODIFICADO UNE103501	ANALISIS QUIMICOS
Límite Líquido (LL)..... 20.8	Máxima Densidad, g/cm <sup>3</sup> ..... -	UNE 103201/103206/103205/103204
Límite Plástico (LP)..... 12.7	Humedad Óptima, %..... -	Sulfatos solubles, % SO <sub>3</sub> ..... -
Índice Plasticidad (IP)..... 8.1	PROCTOR NORMAL UNE103500	Íon sulfato, mg SO <sub>4</sub> /kg muestra..... 200
EQUIVALENTE DE ARENA UNE EN 933-8	Máxima Densidad, g/cm <sup>3</sup> ..... -	Yeso, % CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O..... -
Equivalente..... -	Humedad Óptima, %..... -	Sales solubles, %..... -
DESGASTE ANGELES UNE EN 1097-2	INDICE CBR UNE 103502	Materia orgánica, %..... -
Coefficiente desgaste, %..... -	CBR 95% compactación..... -	CLASIFICACION PG-3
HUMEDAD NATURAL UNE 103300	CBR 98% compactación..... -	Casagrande..... CL
Humedad natural, %..... -	CBR 100% compactación..... -	H.R.B..... A-4
COLAPSO UNE103406	HINCHAMIENTO LIBRE UNE 103601	Índice de grupo..... (7)
Pot. Porcentual de colapso, lc..... -	% Hinchamiento libre..... -	ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD

Analisis geotécnico de la calicata 2 a -1,60m ●

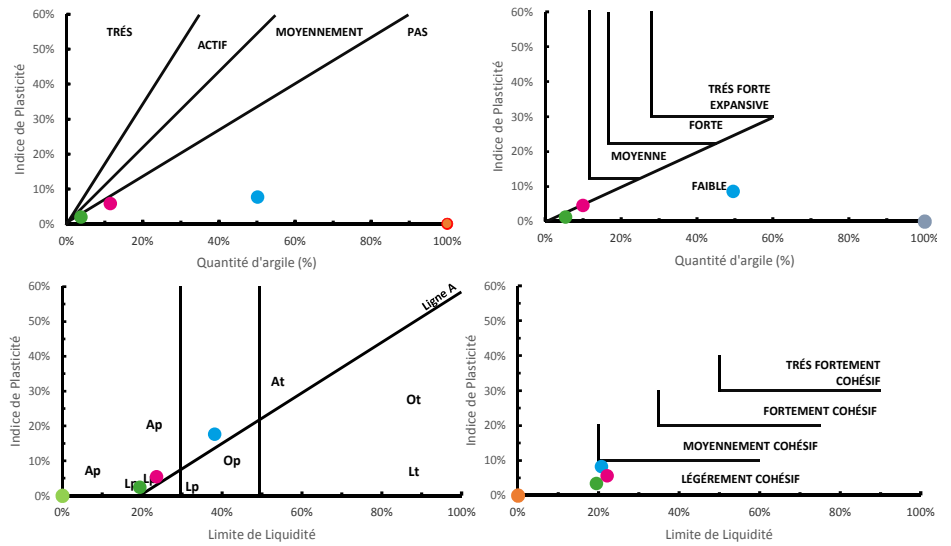




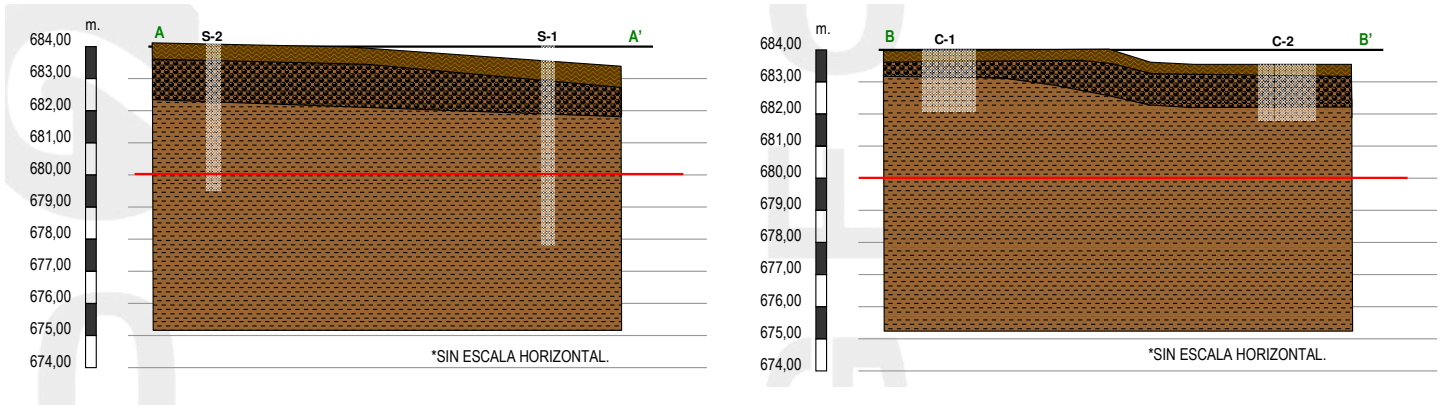
Para interpretar Limite Plástico, Limite Líquido y Índice de Plasticidad :

- calicata 1 a -0,50m
- calicata 2 a -1,00m
- calicata 2 a -1,60m

Suelos ligeramente cohesivo que no es expansivo y tampoco activa.



De estas analisis resultaron cortes en el terreno, que nos indica las espesores de cada capa analizada. Una capa de gravas cementadas sobre el primer metro, abajo de la capa vegetal y una capa abajo muy fina y muy limosa compacta hasta el nivel más bajo que se conoce.



## ENSAYOS DE LABORATORIO

Granulometria y sedimentometria :

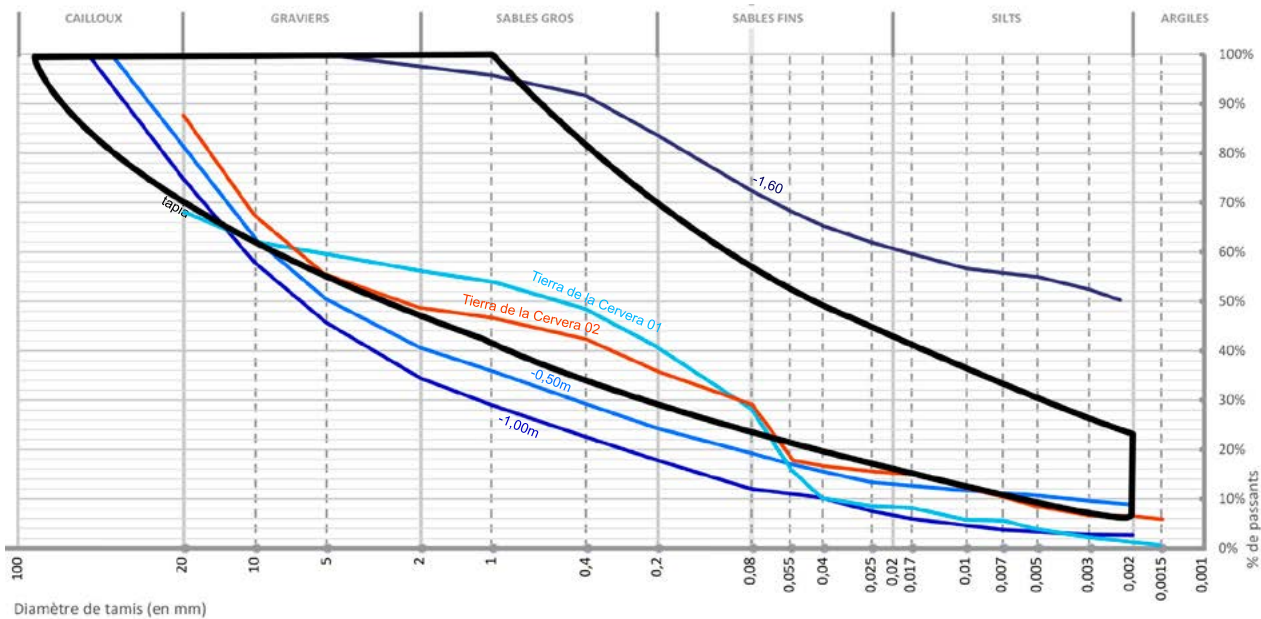
Gravas = 45%

Arenas = 52%

Limos = 3%

Arcillas = 0%

-> La granulometria nos confirme que la tierra es bastante gravosa-arenosa y no tiene casi nada de arcilla !



Diamètre de tamis (en mm)

Curvas de la tierras analizadas por Edra y las 3 calicatas del geotécnico. Dos bolsas fueron traídas del sitio.



La curva analizada de la bolsa 1 en azul claro como la de la segunda bolsa en rojo salen del rango de tapia. Lo que le hace falta es la parte fina y arcillas. Estas características, ya lo habíamos observado más o menos con los ensayos del campo. El churro se rompaba bastante corto y la pastilla no tenía retro y se rompe fácilmente.

Azul de metileno : el valor del azul obtenido es muy bajo **0,24m<sup>2</sup>/gr**. Lo interpretamos como que este suelo es muy poco sensible al agua, las arcillas no se activan mucho -> porque el suelo tiene poca arcilla. La superficie específica del suelo total es de **5,1m<sup>2</sup>/gr**, que es muy poco también, confirma que hay muy poca arcilla. La superficie específica obtenida se acerca a la **caolinita**, podemos sospechar que la tierra analizada, que es la capa gravosa del terreno contiene caolinita de manera puntual. Porque el mapa de las arcillas indica que la arcilla presente es la **illita**.

- V<sub>bs</sub> = 0,1 sol insensible à l'eau
- V<sub>bs</sub> = 0,2 apparition de la sensibilité à l'eau
- V<sub>bs</sub> = 1,5 seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols sablo argileux
- V<sub>bs</sub> = 2,5 seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sol limoneux de plasticité moyenne.
- V<sub>bs</sub> = 6 seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
- V<sub>bs</sub> = 8 seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

Granulometria de la bolsa 1, hecho el 20.01.2022

**TABLA** Valores de cantidad de carga, superficie específica y densidad de carga (la más frecuente) de algunos coloides del suelo. (Tomados de Fassbender, 1982; Bohn et al, 1993 y Zhang y Zhao, 1997).

COLOIDE	CANTIDAD DE CARGA* [cmol kg <sup>-1</sup> ]	SUPERFICIE ESPECIFICA (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	DENSIDAD DE CARGA (cmol m <sup>-2</sup> )x10 <sup>-7</sup>
Caolinita	9	7 a 30	1.286 a 0.3
Montmorillonita	100	766 a 810	0.131 a 0.124
Vermiculita	125	~ 750	0.167
Illita	30	67 a 100	0.448 a 0.3
Cloisita	30	~ 100	0.3
Alofano	80	260 a 450	0.308 a 0.178

\* Puede tomarse como promedia y en los coloides mencionados la carga es negativa.

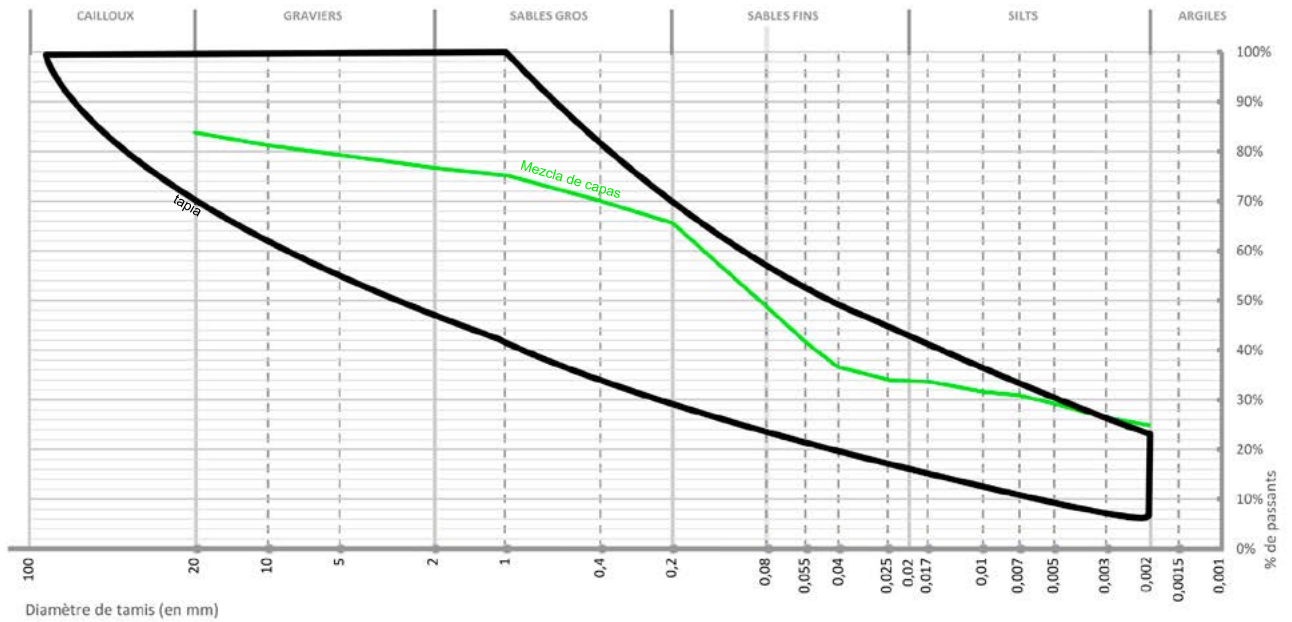
## CONCLUSIÓN DE LOS ENSAYOS

Entonces de las tierra analizadas gravosas por Edra Arquitectura, como de la tierras analizadas gravosas del laboratorio geotécnico, concluimos que para construir tapia, le falta una parte fina. Las tierras recogidas para analisis en el laboratorio Edra Arquitectura son muy distintas de las curvas que resultan de las analisis del laboratorio geotécnico. Se supone que las muestras, a lo mejor fueron sacadas de la parte intermedio entre las dos capas principales.

Al contrario de las capas gravosas, se observa que la capa cogida a 1,60m (en azul oscuro) que lo ha analizado el geotécnico como «limos compactos» es muy alta en el gráfico, y ayudaría a encontrar esta parte fina que hace falta.

# REFORMULACIÓN

Entonces de la tierra analizada le falta una proporción de fina. Y se supone que en el sitio de obra, hay estas dos capas muy distintas que podrían ser compatibles. La cantidad de la parte gravosa es mínima, pero más de 6 000m<sup>3</sup> de tierra escavada estarán disponible en total para implantar la bodega que está la mitad enterrada. Son más de 1 000m<sup>3</sup> disponible de tierra gravosa y más de 5 000 de tierra limosa. El volumen de tapia necesaria es de menos de 300m<sup>3</sup>.



Entonces, bastante volumen estará disponible para edificar los muros de tapia de la bodega con un volumen de 1 por 1 de las dos capas de tierra disponible a la escavación. El gráfico encima indica que esta proporción conviene, aunque la cantidad de fina acerque la curva a su límite alto.

# ESTABILIZACIÓN

Índice de plasticidad de la grava cementada 3-6% y IP de los limos compactos 8% en ambos casos según el pliego Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), ambos tipos de suelo se deben estabilizar con cemento.

La superficie específica de la arcilla en la capa gravosa es de 5m<sup>2</sup>/gr, de lo que se deduce es que una arcilla caolinítica. La capa limo arcilloso se deduce una arcilla íltica (David badía dice que en general las capas geológicas suelen ser ílticas).

Las arcillas ílticas se estabilizarían con cales aéreas o hidratadas, en este caso con hidróxido de cal... Esto es contradictorio... en cualquier caso el estrato de los limos está pendiente de hacer el azul de metileno para definir su superficie específica... pero se propone una estabilización con cal hidráulica por la presencia de sulfatos.

**TABLA** Valores de cantidad de carga, superficie específica y densidad de carga (la más frecuente) de algunos coloides del suelo. (Tomados de Fassbender, 1982; Bohn et al, 1993 y Zhang y Zhao, 1997).

COLOIDE	CANTIDAD DE CARGA* [cmol kg <sup>-1</sup> ]	SUPERFICIE ESPECIFICA (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	DENSIDAD DE CARGA (cmol m <sup>-2</sup> )x10 <sup>-7</sup>
Caolinita	9	7 a 30	1.286 a 0.3
Montmorillonita	100	766 a 810	0.131 a 0.124
Vermiculita	125	~ 750	0.167
Ilita	30	67 a 100	0.448 a 0.3
Cloita	30	~ 100	0.3
Alofano	80	260 a 450	0.308 a 0.178

\* Puede tomarse como promedia y en los coloides mencionados la carga es negativa.



### 2.1.4 Suelos en capas estabilizadas de explanadas

En el artículo 512 “Suelos estabilizados in situ” del PG-3” se exponen las características exigidas a los suelos para poder ser estabilizados con cemento o cal. Éstas se resumen en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3 – Prescripciones de los suelos a utilizar en estabilizaciones**

		S-EST1	S-EST2	S-EST3	
Granulometría	Tamaño máximo	80 mm			
	Suelo con cal	Pase 63 µm	≥ 15	-----	
	Suelo con cemento	Pase 63 µm	< 50	< 35	
Pase 2 mm		> 20			
Plasticidad	Suelo con cal	IP	≥ 12	≥ 12 y ≤ 40	-----
	Suelo con cemento	LL	-----	≤ 40	
		IP	≤ 15		
% Materia orgánica		< 2	< 1		
% Sulfatos solubles		< 1			

En general los cementos más adecuados son :

*Los cementos más adecuados para estabilizar suelos son los que tienen un elevado plazo de trabajabilidad, un moderado calor de hidratación para limitar los efectos de la fisuración por retracción y un desarrollo lento de resistencias y módulos de rigidez a edades tempranas, recuperándolas a largo plazo.*

*Los cementos que más se aproximan a las cualidades anteriores son aquellos con mayor contenido de adiciones activas, como pueden ser los tipos CEM III, CEM IV, CEM V o ESP VI.*

PERO en este caso ambos estratos cuentan con entre 100 y 200 iones de MgSO<sub>4</sub>/ kg de muestra, por tanto el cemento deberá ser resistente al sulfato.

**Si la capa estabilizada se tiene que disponer sobre terrenos yesíferos o que contengan sulfato de magnesio, es conveniente aislarla y, en cualquier caso, utilizar cementos resistentes a los sulfatos o con alto contenido de adiciones (ceniza volante, escoria de horno alto o puzolana).**

El principio de fraguado del cemento, determinado según la norma UNE-EN 196-3, no ha de tener lugar antes de las dos horas. No obstante, si la extensión se realiza con temperatura ambiente superior a 30°C, el principio de fraguado, determinado según dicha norma, pero realizando los ensayos a una temperatura de 40 ± 2 °C, no ha de tener lugar antes de una hora.

**Es conveniente destacar que tanto en Francia como en Alemania se emplean frecuentemente en estabilizaciones los denominados conglomerantes hidráulicos para carreteras. Se trata de productos preparados en fábrica, con un contenido reducido de clinker e incluso sin clinker, y que suelen presentar un fraguado muy lento, lo que hace que sea posible obtener fácilmente plazos de trabajabilidad del orden de 10 h.**

**Tabla 2.5 Tipos de cementos**

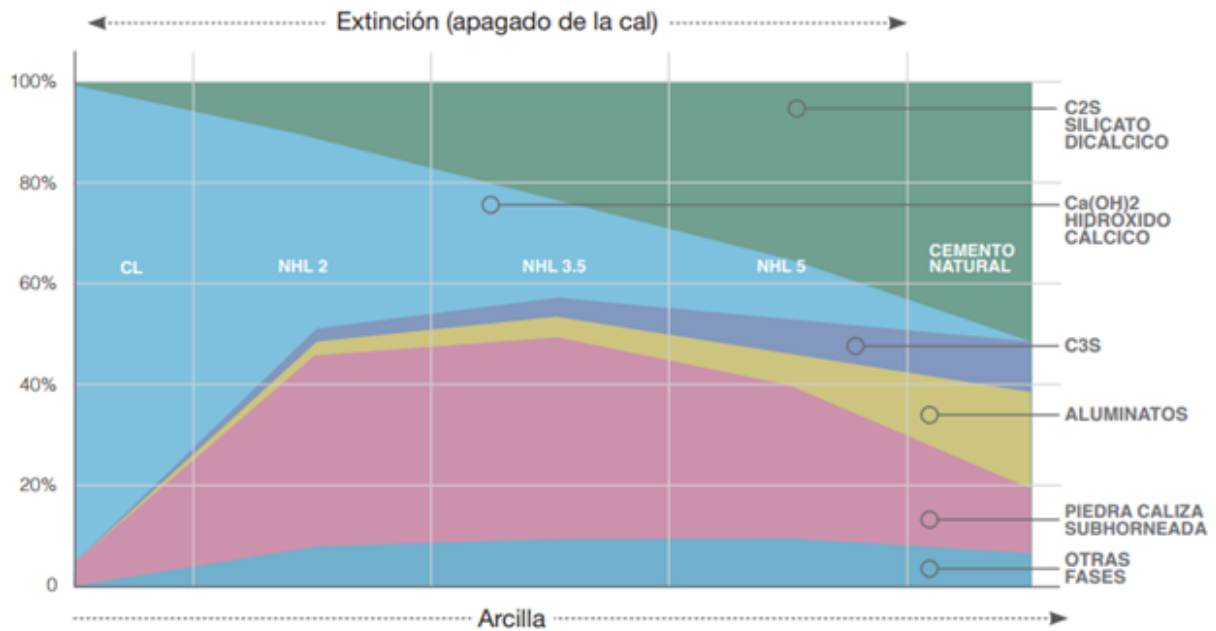
Tipo de cemento	Designación		Composición porcentual (proporción en masa) <sup>(1)</sup>						
			Componentes principales <sup>(2)</sup>						Componentes minoritarios
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D <sup>(3)</sup>	Puzolana <sup>(4)</sup>	Cenizas volantes <sup>(5)</sup>	Caliza <sup>(6)</sup>	
CEM I	Cemento pórtland	CEM I	95-100	----	----	----	----	----	0-5
CEM II	Cemento pórtland con escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	----	----	----	----	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	----	----	----	----	0-5
	Cemento pórtland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	----	6-10	----	----	----	0-5
	Cemento pórtland con puzolana <sup>(7)</sup>	CEM II/A-P	80-94	----	----	6-20	----	----	0-5
		CEM II/B-P	65-79	----	----	21-35	----	----	0-5
	Cemento p�rtland con ceniza volante <sup>(8)</sup>	CEM II/A-V	80-94	----	----	----	6-20	----	0-5
		CEM II/B-V	65-79	----	----	----	21-35	----	0-5
Cemento p�rtland con caliza <sup>(9)</sup>	CEM II/A-L	80-94	----	----	----	----	6-20	0-5	
	CEM II/B-L	65-79	----	----	----	----	21-35	0-5	
Cemento p�rtland mixto <sup>(10)</sup>	CEM II/A-M	80-94	6-20				----	0-5	
	CEM II/B-M	65-79	21-35				----	0-5	
CEM III	Cemento de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	----	----	----	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	----	----	----	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	----	----	----	0-5	
CEM IV	Cemento puzolánico <sup>(10)</sup>	CEM IV/A	65-89	----	11 - 35			0-5	
		CEM IV/B	45-64	----	36 - 55			0-5	
CEM V	Cemento compuesto <sup>(10)</sup>	CEM V/A	40-64	18-30	----	18-30 <sup>(11)</sup>		0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	----	31-50		0-5	
ESP VI	Cemento para usos especiales	ESP VI-1	25-55	45-75 <sup>(12)</sup>				0-5	

- (1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento, entendiéndose por tal el clinker y las adiciones, con exclusión del sulfato de calcio regulador de fraguado y de los aditivos).
- (2) Se incluyen también en las Normas cementos pórtland con esquistos calcinados (CEM II/A-T y CEM II/B-T), con los mismos límites en el contenido de adición (esquistos) que en los restantes cementos CEM II, aunque por el momento no se fabrican en España.
- (3) La proporción de humo de sílice se limita al 10 por 100.
- (4) Se admiten dos tipos de puzolana: la natural, P, y la natural calcinada, Q.
- (5) Se admiten dos tipos de cenizas volantes: las siliceas, V, y las calcáreas, W.
- (6) Se admiten dos tipos de caliza: la L, con un contenido de carbono orgánico total (TOC) inferior al 0,50% en masa, y la LL, en la que el TOC debe ser inferior al 0,20% en masa.
- (7) Est n normalizados también los cementos CEM II/A-Q y CEM II/B-Q, en los que se utiliza puzolana natural calcinada (Q).
- (8) Están normalizados también los cementos CEM II/A-W y CEM II/B-W, en los que se utilizan cenizas volantes calcáreas (W).
- (9) Están normalizados también los cementos CEM II/A-LL y CEM II/B-LL, en los que se utilizan caliza del tipo LL.
- (10) Los componentes principales distintos del clinker deberán ser declarados en la designación del cemento.
- (11) No podrán utilizarse cenizas volantes calcáreas (W).
- (12) Podrán emplearse en estos cementos escorias de horno alto (S), puzolanas naturales (P) y cenizas volantes siliceas (V), de forma que el conjunto de las mismas quede dentro de los límites indicados en la Tabla. El contenido de puzolana natural no superar  el 40 %.

Los conglomerantes hidráulicos son los que fraguan bajo el agua , entendemos que se refiere a la cal hidráulica. Por tanto se propone una estabilización con **CAL HIDRÁULICA**

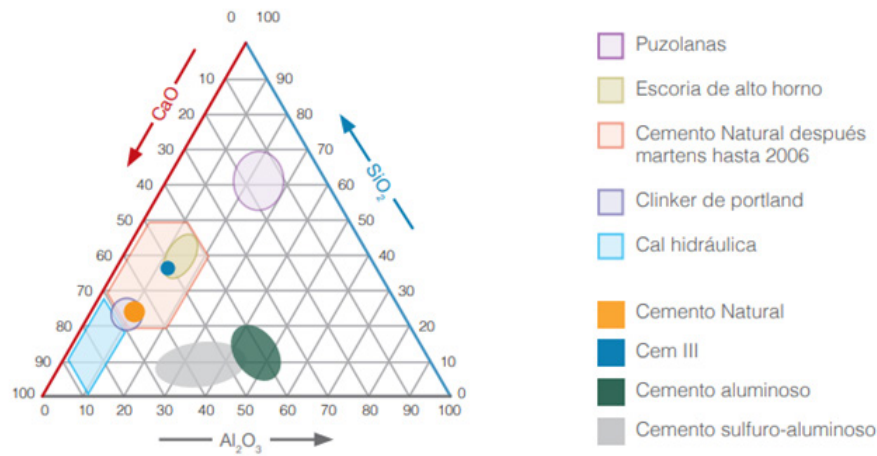
Tipos de cales hidráulica :

Fig. 6: Composición mineralógica de las cales y del Cemento Natural



Como se puede observar, la composición mineralógica del Cemento Natural, es la misma que la de las cales hidráulicas, pero en diferentes proporciones.

Fig. 2: Composición mineralógica de los cementos



Composición mineralógica a partir del análisis químico o composición centesimal del cemento. El fundamento reside en supuestos estados de equilibrio y por consiguiente, solo son aproximados.



## ENSAYOS HACIENDO FALTA

Cohesion (ensayo del 8) : Para confirmar si la tierra le hace falta cohesión para trabajarla en tapia. Este ensayo es complementario con el ensayo del chorro, la pastilla y la granulometría (cantidad de arcilla)

Proctor : Para conocer el contenido de agua óptimo y luego hacer el ensayo de resistencia a la compresión

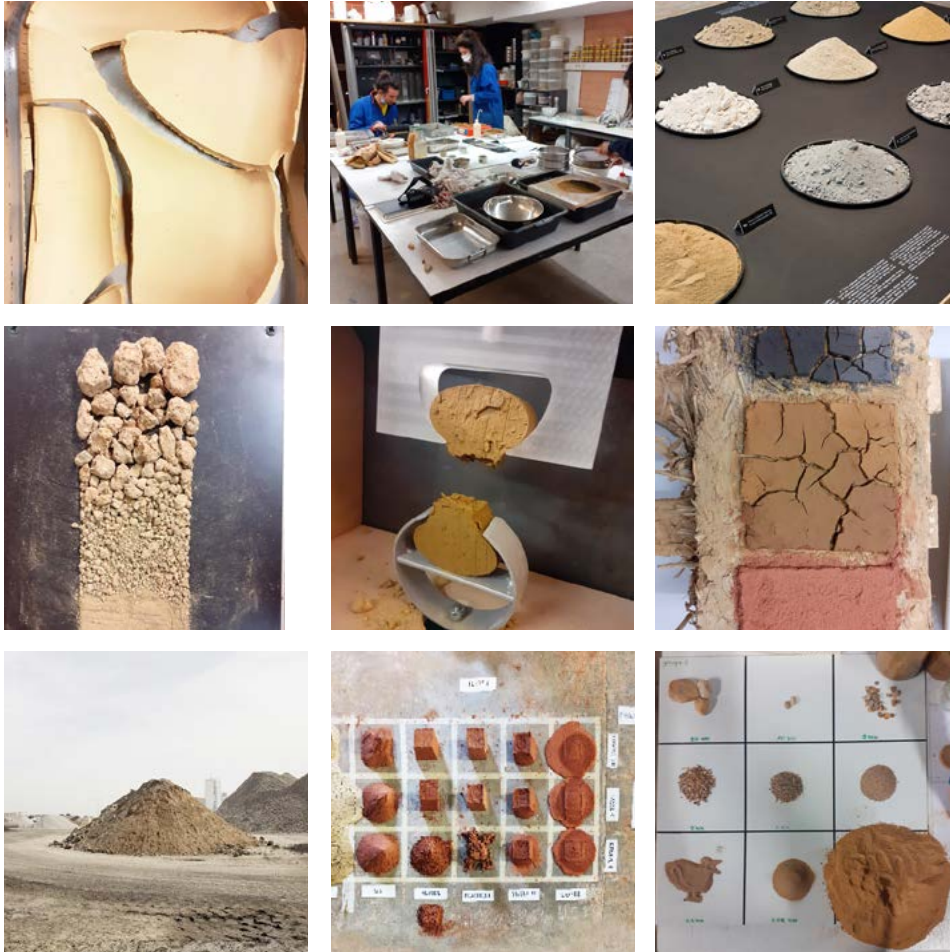
Ensayo resistencia a la compresión : Las probetas se hacen con el contenido de agua óptimo que resulta del proctor. Este ensayo da informaciones sobre la resistencia a la compresión en MPa y entonces la capacidad portante del muro de tapia. Si se estabiliza : hacer ensayos sobre probetas sin estabilización y con distintas estabilización (cal hidráulica, óxido de calcio ...etc)

Resistencia al abrasión o al erosión : Estos ensayos pueden informar sobre la cohesión de la tapia, y permitir de evitar la estabilización.



# RESUMEN Y INTERPRETACIÓN DE LA ANÁLISIS DE TIERRA

Fecha :



## EDRA ARQUITECTURA KM 0

proyecto :

[Vivienda en Palma de Mallorca, C/ Cabusso 41 La Ribera, Playa de Palma](#)

origen de la tierra :

[C/ Tous 1 La Soletat, Palma](#)

técnica :

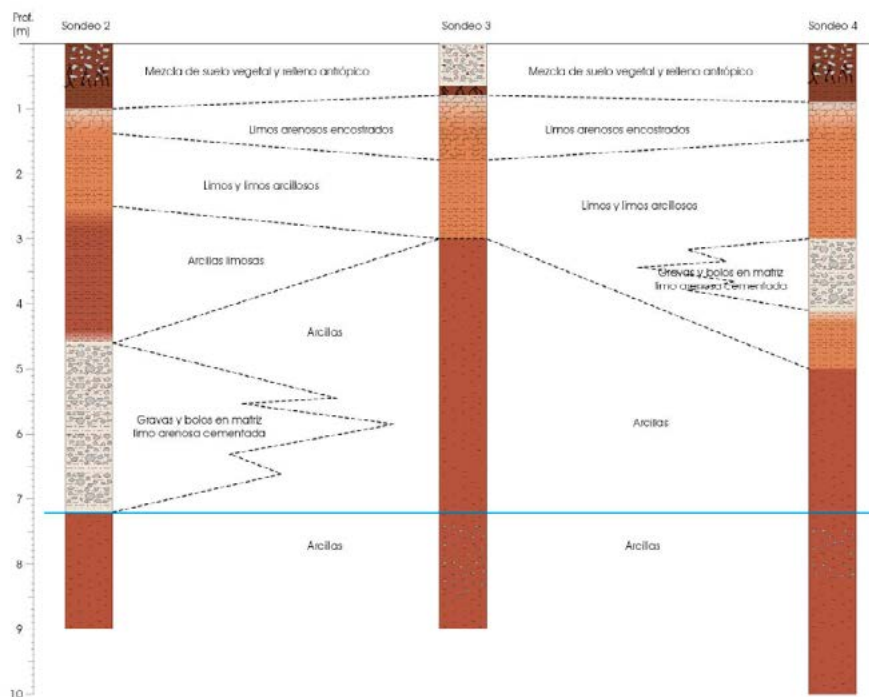
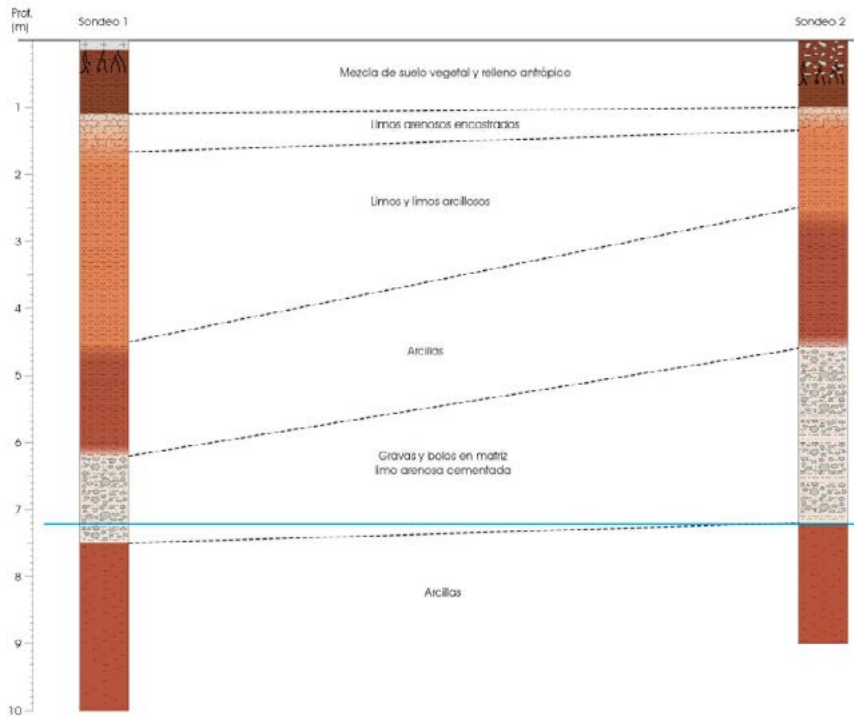
[Muros de tapia - Volumen necesaria : 90m3](#)



# ESTUDIO GEOTÉCNICO

Una analisis geotecnica ha sido hecha por el estudio geológicos GEOMA. El laboratorio ha analizado varias muestras del terreno desde 1m de profundidad hasta 10m. La granulometria que nos parece la más cerca de la tierra sacada es la del Sondeo 1 MR 1 de 2,00 a 2,30m. Así la caracteriza el estudio geológico : **arcillas limosas marrónes**

La tierra analizada en el laboratorio de Edra arquitectura fue sacada del montón de tierra escavada del sitio de obra calle Tous 1 La Soletat, Palma. Entonces se supone que es una mezcla de las capas. Pero la muestra es bastante significativa porque es esta mezcla que se usara para el proyecto.



## OBSERVACIONES PRELIMINARES

De los primeros ensayos de campo, hemos visto que no tenía olor, que la tierra tenía un color rosa, concluimos que no tiene materia orgánica. De la pastilla, hemos observado que no era muy difícil de reducirla en polvo. Se ve muy poco retiro. Con el ensayo del churro los trozos que caen tienen un largo de 10cm.

-> Interpretamos que esta tierra parece limosa-arenosa con bastante cohesión.

## ENSAYOS DE LABORATORIO

Granulometría y sedimentometría :

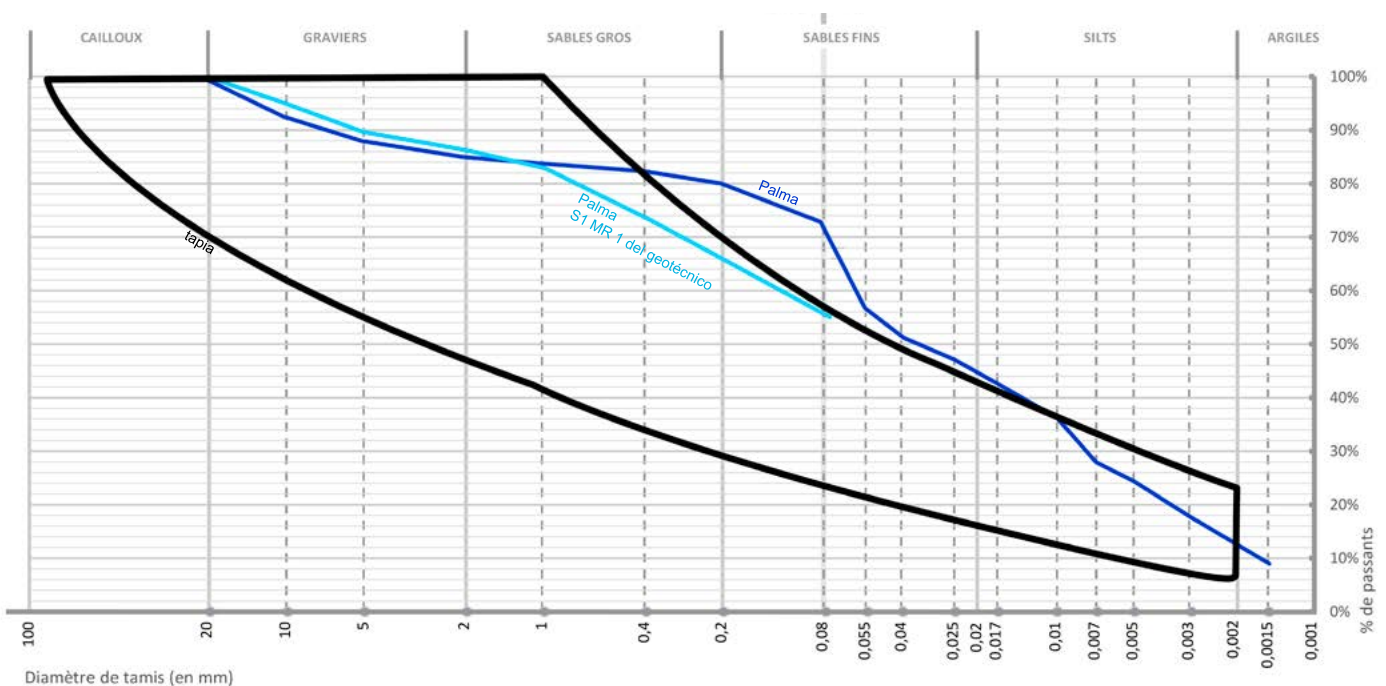
Gravas = 15%

Arenas = 50%

Limos = 29%

Arcillas = 6%

-> La granulometría nos confirme que la tierra es bastante limosa-arenosa fina



Curba de la tierra analizada que fue recogida del montón de tierra escavada del sitio calle Tous, La Soletat, Palma



La curva sale del rango, en efecto faltaría grava y arena gruesa. Se nota visualmente con la granulometría al lado que la parte intermedia de 1mm a 0,2mm es mínima de volumen.

La tierra tiene una gran parte fina pero de arcilla solo 6% que cabe en el rango igual, pero se podría mejorar esta parte para llevar más cohesión a la tapia. La cantidad de arcilla medida por sedimentación, como el ensayo de churro nos enseña que el suelo tiene bastante cohesión.

Azul de metileno : valor muy baja de **0,71 m<sup>2</sup>/gr**. Significa el suelo es poco sensible al agua, que las arcillas se activan poco.

La superficie específica es de **15m<sup>2</sup>/gr** que se acerca de la superficie específica de la **CAOLINITA**

Granulometría de la tierra analizada, hecho en 01/2022

Limites de Atterberg :

LÍMITES DE ATTERBERG (UNE 103-103/94 y UNE 103-104/94)		HUMEDAD (UNE 103-300/93)	DENSIDAD (UNE 103-301/94)	
Limite Líquido, Wl:	21.5	Humedad, W (%):	Seca	Húmeda
Limite Plástico, Wp:	15.3	---	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>
Indice de Plasticidad, Ip:	6.2	---	---	---

DETERMINACIONES QUÍMICAS	CLASIFICACIÓN DEL SUELO
Carbonatos (%) UNE 103-200/93	Clasificación U.S.C.S - Casagrande  <b>CL+ML</b>  H.R.B. Índice de Grupo <b>A-4</b> <b>1</b>
Cualitativo Sulfatos (%) UNE 103-202/95	
Sulfatos Solubles (mg/Kg) ANEJO 5 EHE 98	
Materia Orgánica (%) UNE 103-204/93	
---	

Analisis de la muestra S1 MR1 por el estudio geotécnico GEOMA

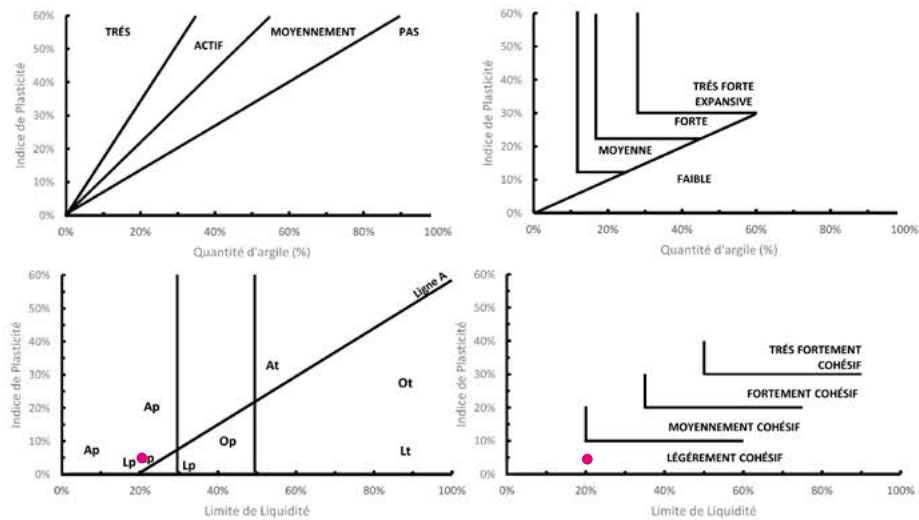


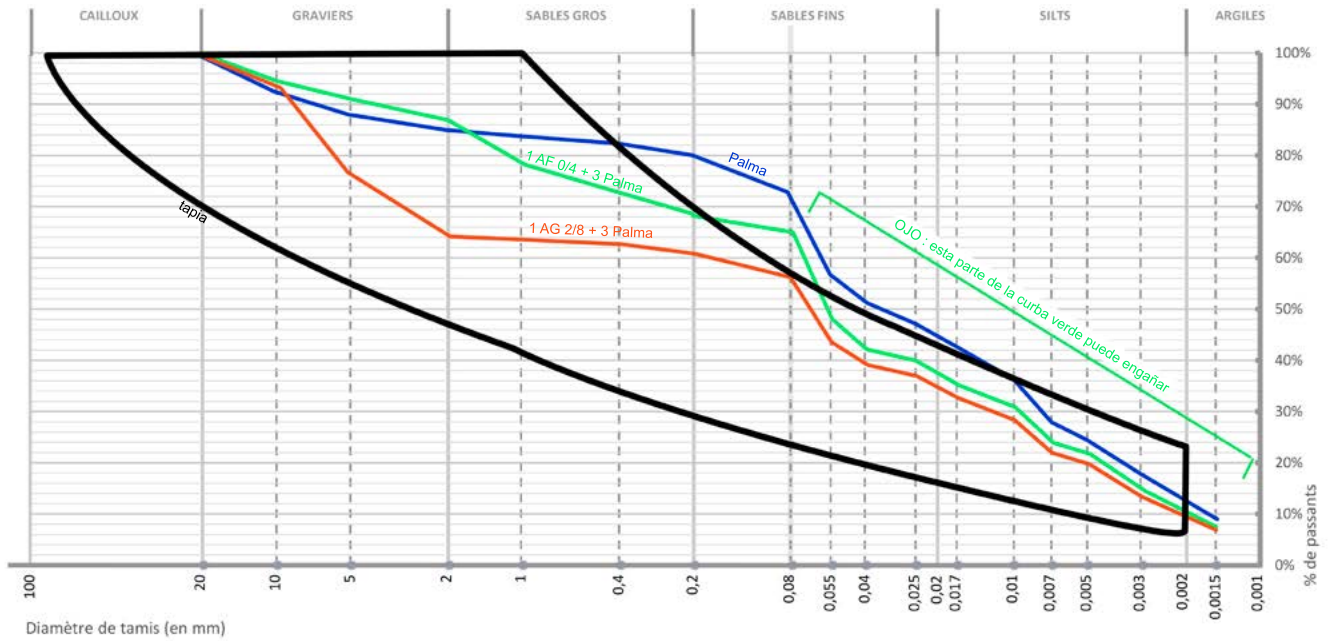
Tabla de interpretación de Atterberg - Protocolo CRAterre

El suelo limoso analizado por el estudio geológico es **ligeramente cohesivo**. Hace falta la cantidad de arcilla para más informaciones sobre la expansividad o la actividad de la arcilla. Pero hay poco riesgo.



# REFORMULACIÓN

Se tomo la decisión de reformular la tierra. La gravera SON AMAT de Porreres (Mallorca) tiene de este tipo de aridos :



Granulometria de la tierra analizada, de las mezclas 1x3 de arido fino con la tierra y 1x3 de arido grueso con la tierra.

AF-T-0/4 : Arena Fina Triturada de tamaño 0 a 4mm y

AG-T-2/8-D : Arido Grueso Triturado de tamaño 2 a 8mm

Las mezclas se hacen por calculo directamente en la tabla. Se experimenta una proporción de 1 volumen de arido grueso o fino de la gravera para 1 volumen de tierra de Palma. La curva de la mezcla AG T 2/8 con la tierra de Palma cabe en el rango de tapia. Pero de los datos de la gravera, **faltan informaciones sobre la parte fina < 0,063mm**. Si el AF-T-0/4 lleva una proporción de arcilla, podría ayudar en obtener más cohesión a la tapia pero también podría salir del rango.

-> Hay que investigar sobre la parte fina de la arena fina triturada 0/4 de lo que podría modificar en la curva.

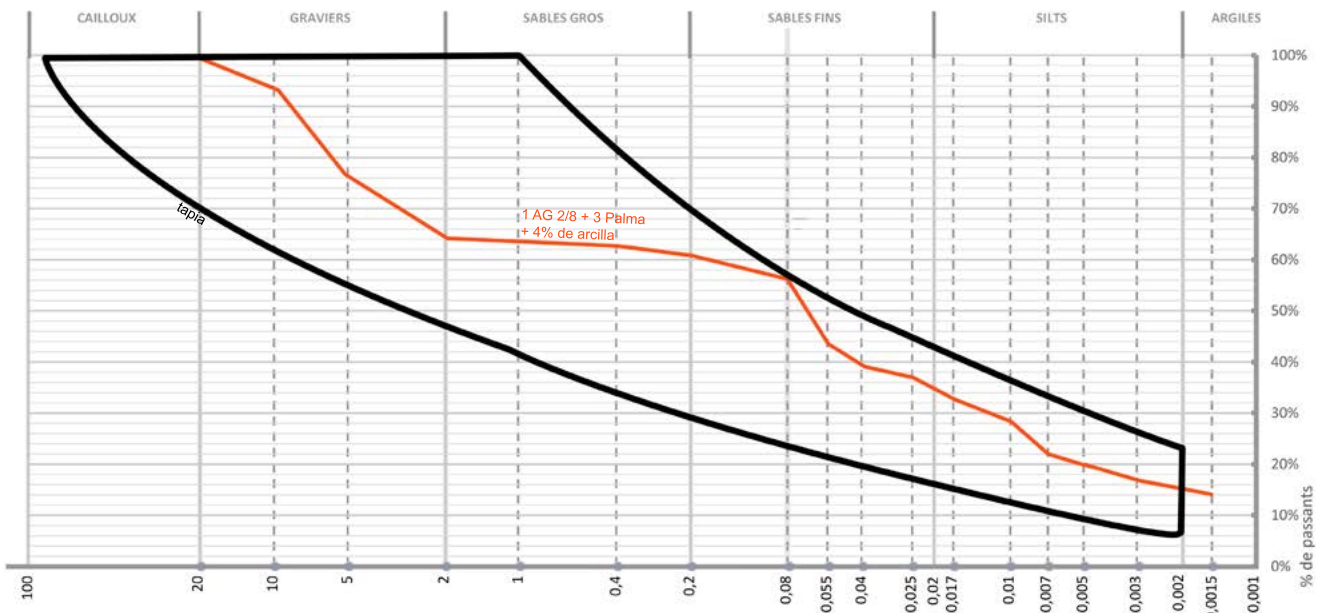
-> Si no, el Arido Grueso Triturado 2/8 mejora mucho la tapia y podría servir en esta proporción : 1 volumen de AG 2/8 con 3 volúmenes de tierra de Palma pura.

Para mejorar el final de la curva y entonces la cohesión, se puede agregar porcentaje de arcilla hasta llegar a un 10% en vez de 6%. Para esto, a los 90m3 de tapia necesaria (volumen de tierra compactada) agregar 4m3 de arcilla pura.

**OJO** : que la arcilla no sea expansiva !

-> La arcilla se encuentra en una cantera de arcilla, o se puede usar la arcilla del lavado de las graveras (A COMPROBAR CON ENSAYOS)

Curba mejorada con arido grueso 2/8 y 3% de arcilla :



Granulometria de la tierra analizada reformulada con 1 volumen de arido grueso por 3 de la tierra con 4% de arcilla pura agregada

# ESTABILIZACIÓN

Si la tapia se estabiliza porque la solución de agregar una proporción de arcilla no conviene, buscar un material que sea compatible con la arcilla que hay. Se sospecha que la tierra tiene CAOLINITA.

En efecto del azul, ha salido un valor de **0,71 m<sup>2</sup>/gr** que es muy baja. Significa el suelo es poco sensible al agua, que las arcillas se activan poco.

V<sub>bs</sub> = 0,1 sol insensible à l'eau

V<sub>bs</sub> = 0,2 apparition de la sensibilité à l'eau

V<sub>bs</sub> = 1,5 seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols sablo argileux

V<sub>bs</sub> = 2,5 seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sol limoneux de plasticité moyenne.

V<sub>bs</sub> = 6 seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.

V<sub>bs</sub> = 8 seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

La superficie específica es de **15m<sup>2</sup>/gr** que se acerca de la superficie específica de la **CAOLINITA**

**TABLA** Valores de cantidad de carga, superficie específica y densidad de carga (la más frecuente) de algunos coloides del suelo. (Tomados de Fassbender, 1982; Bohn et al, 1993 y Zhang y Zhao, 1997).

COLOIDE	CANTIDAD DE CARGA* [cmol kg <sup>-1</sup> ]	SUPERFICIE ESPECÍFICA (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	DENSIDAD DE CARGA (cmol m <sup>-2</sup> )x10 <sup>-7</sup>
Caolinita	9	7 a 30	1.286 a 0.3
Montmorillonita	100	766 a 810	0.131 a 0.124
Vermiculita	125	~ 750	0.167
Illita	30	67 a 100	0.448 a 0.3
Cloeita	30	~ 100	0.3
Alofano	80	260 a 450	0.308 a 0.178

\* Puede tomarse como promedia y en los coloides mencionados la carga es negativa.

El índice de pasticidad de la tierra limosa arcilla analizada por el laboratorio GEOMA es de 6,2%. Según el pliego de «Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes» (PG-3) se tiene que estabilizar con cemento.

## 2.1.4 Suelos en capas estabilizadas de explanadas

En el artículo 512 "Suelos estabilizados in situ" del PG-3" se exponen las características exigidas a los suelos para poder ser estabilizados con cemento o cal. Éstas se resumen en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3 – Prescripciones de los suelos a utilizar en estabilizaciones**

		S-EST1	S-EST2	S-EST3
Granulometría	Tamaño máximo	80 mm		
	Suelo con cal	Pase 63 µm	≥ 15	.....
	Suelo con cemento	Pase 63 µm	< 50	< 35
Pase 2 mm		> 20		
Plasticidad	Suelo con cal	IP	≥ 12	≥ 12 y ≤ 40
	Suelo con cemento	LL	.....	≤ 40
		IP	≤ 15	
% Materia orgánica		< 2	< 1	
% Sulfatos solubles		< 1		

### DETERMINACIONES QUÍMICAS

Carbonatos (%) UNE 103 200/93	---
Cualitativo Sulfatos (%) UNE 103 202/95	---
Sulfatos Solubles (mg/Kg) ANEJO 5 EHE 98	---
Materia Orgánica (%) UNE 103-204/93	---

### CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Clasificación U.S.C.S - Casagrande
CL+ML
H.R.B.
Índice de Grupo
A-4
1

La tierra no lleva Sulfato de magnesio según las análisis del laboratorio. Entonces se puede usar cualquier tipo de cemento.

**Tabla 2.5 Tipos de cementos**

Tipo de cemento	Designación		Composición porcentual (proporción en masa) <sup>(1)</sup>						
			Componentes principales <sup>(2)</sup>						Componentes minoritarios
			Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D <sup>(3)</sup>	Puzolana <sup>(4)</sup>	Cenizas volantes <sup>(5)</sup>	Caliza <sup>(6)</sup>	
CEM I	Cemento pórtland	CEM I	95-100	----	----	----	----	----	0-5
CEM II	Cemento p�rtland con escoria	CEM II/A-S CEM II/B-S	80-94 65-79	6-20 21-35	----	----	----	----	0-5 0-5
	Cemento p�rtland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	----	6-10	----	----	----	0-5
	Cemento p�rtland con puzolana <sup>(7)</sup>	CEM II/A-P CEM II/B-P	80-94 65-79	----	----	6-20 21-35	----	----	0-5 0-5
	Cemento p�rtland con ceniza volante <sup>(8)</sup>	CEM II/A-V CEM II/B-V	80-94 65-79	----	----	----	6-20 21-35	----	0-5 0-5
	Cemento pórtland con caliza <sup>(9)</sup>	CEM II/A-L CEM II/B-L	80-94 65-79	----	----	----	----	6-20 21-35	0-5 0-5
	Cemento pórtland mixto <sup>(10)</sup>	CEM II/A-M CEM II/B-M	80-94 65-79	6-20 21-35					0-5 0-5
	CEM III	Cemento de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	----	----	----	----
CEM III/B			20-34	66-80	----	----	----	----	0-5
CEM III/C			5-19	81-95	----	----	----	----	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico <sup>(10)</sup>	CEM IV/A	65-89	----	11 - 35			----	0-5
		CEM IV/B	45-64	----	36 - 55			----	0-5
CEM V	Cemento compuesto <sup>(10)</sup>	CEM V/A	40-64	18-30	----	18-30 <sup>(11)</sup>		----	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	----	31-50		----	0-5
ESP VI	Cemento para usos especiales	ESP VI-1	25-55	45-75 <sup>(12)</sup>					0-5

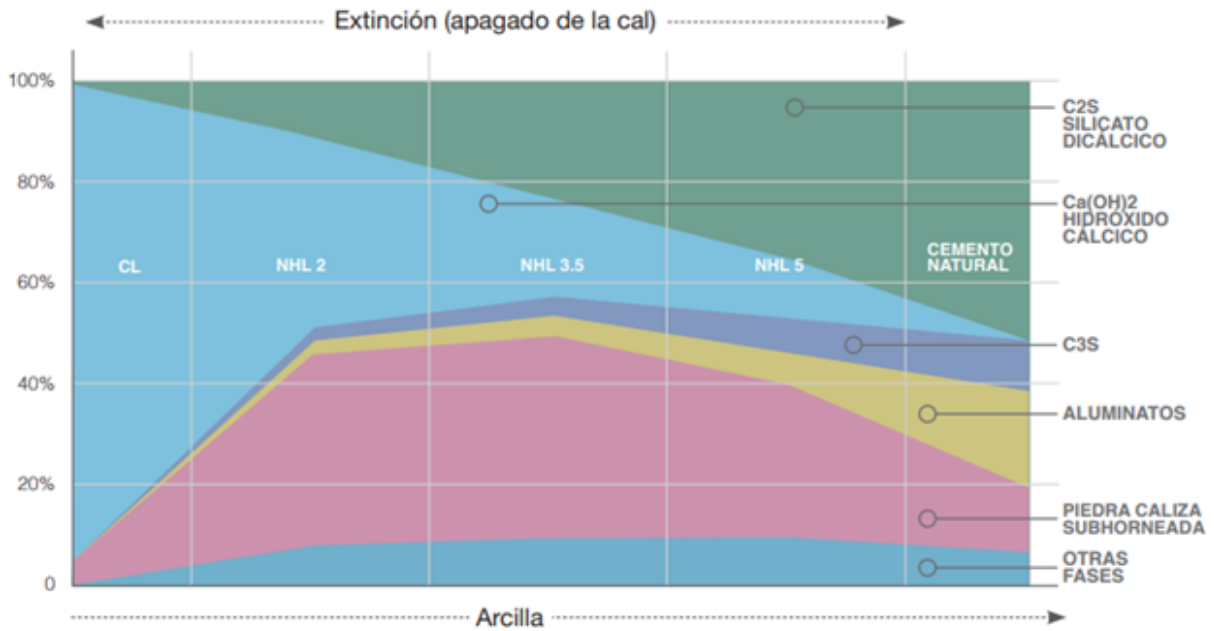
- (1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento, entendiéndose por tal el clinker y las adiciones, con exclusión del sulfato de calcio regulador de fraguado y de los aditivos).
- (2) Se incluyen también en las Normas cementos pórtland con esquistos calcinados (CEM II/A-T y CEM II/B-T), con los mismos límites en el contenido de adición (esquistos) que en los restantes cementos CEM II, aunque por el momento no se fabrican en España.
- (3) La proporción de humo de sílice se limita al 10 por 100.
- (4) Se admiten dos tipos de puzolana: la natural, P, y la natural calcinada, Q.
- (5) Se admiten dos tipos de cenizas volantes: las silíceas, V, y las calcáreas, W.
- (6) Se admiten dos tipos de caliza: la L, con un contenido de carbono orgánico total (TOC) inferior al 0,50% en masa, y la LL, en la que el TOC debe ser inferior al 0,20% en masa.
- (7) Est n normalizados también los cementos CEM II/A-Q y CEM II/B-Q, en los que se utiliza puzolana natural calcinada (Q).
- (8) Están normalizados también los cementos CEM II/A-W y CEM II/B-W, en los que se utilizan cenizas volantes calcáreas (W).
- (9) Están normalizados también los cementos CEM II/A-LL y CEM II/B-LL, en los que se utilizan caliza del tipo LL.
- (10) Los componentes principales distintos del clinker deberán ser declarados en la designación del cemento.
- (11) No podrán utilizarse cenizas volantes calcáreas (W).
- (12) Podrán emplearse en estos cementos escorias de horno alto (S), puzolanas naturales (P) y cenizas volantes silíceas (V), de forma que el conjunto de las mismas quede dentro de los límites indicados en la Tabla. El contenido de puzolana natural no superar  el 40%.

Los conglomerantes hidráulicos son los que fraguan bajo el agua, entendemos que se refiere a la cal hidráulica. Por tanto se propone una estabilización con **CAL HIDRÁULICA**



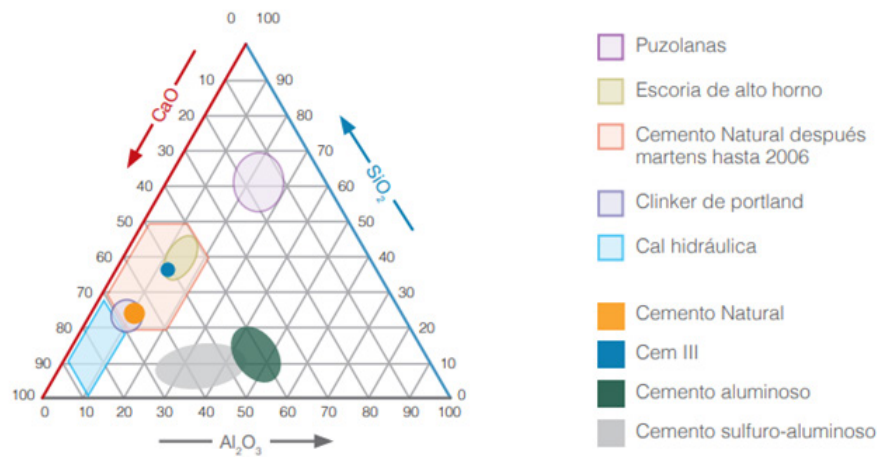
Tipos de cales hidráulica :

Fig. 6: Composición mineralógica de las cales y del Cemento Natural



Como se puede observar, la composición mineralógica del Cemento Natural, es la misma que la de las cales hidráulicas, pero en diferentes proporciones.

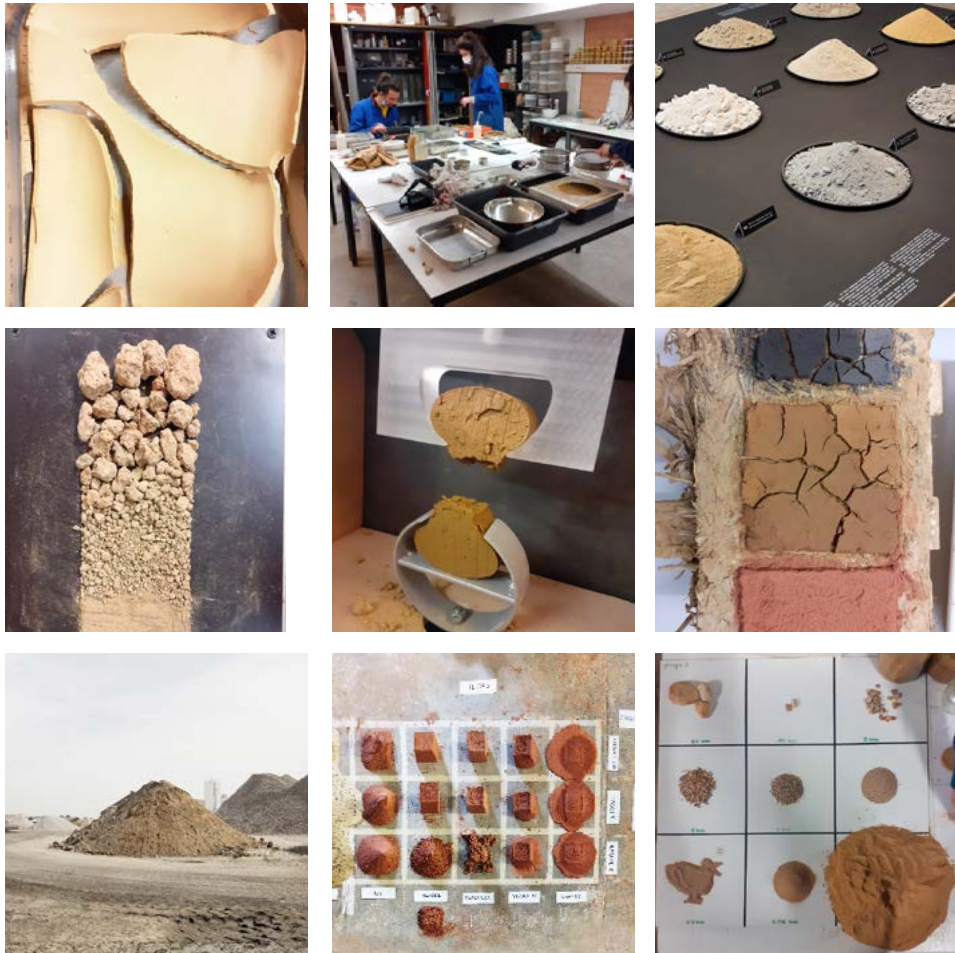
Fig. 2: Composición mineralógica de los cementos



Composición mineralógica a partir del análisis químico o composición centesimal del cemento. El fundamento reside en supuestos estados de equilibrio y por consiguiente, solo son aproximados.

# RESUMEN Y INTERPRETACIÓN DE LA ANÁLISIS DE TIERRA

Fecha :



## EDRA ARQUITECTURA KM 0

proyecto :

Casa - Las Riglos, Huesca

origen de la tierra :

Sitio en el pueblo de otro propietario

técnica :

Muros de paja-arcilla y muro de tapia interior

## OBSERVACIONES PRELIMINARES

La tierra tiene un color marrón/café y huele un poco a la materia orgánica. Además tiene oja y raíces, me parece bastante orgánica. La tierra fue sacada por los clientes en el pueblo mismo pero no es la tierra del solar. La pastilla tiene un poco de retiro es muy difícil de romperla y de ponerla en polvo. Del churro salen trozos de 10cm -> Si los trozos salen de menos de 5cm de largo, tenemos una tierra arenosa, si es mayor que 20cm, significa que la tierra es muy arcillosa. Por tanto tenemos una tierra bastante cohesiva.

-> Interpretamos que esta tierra parece arcillosa y muy cohesiva.

## ENSAYOS DE LABORATORIO

Granulometría y sedimentometría :

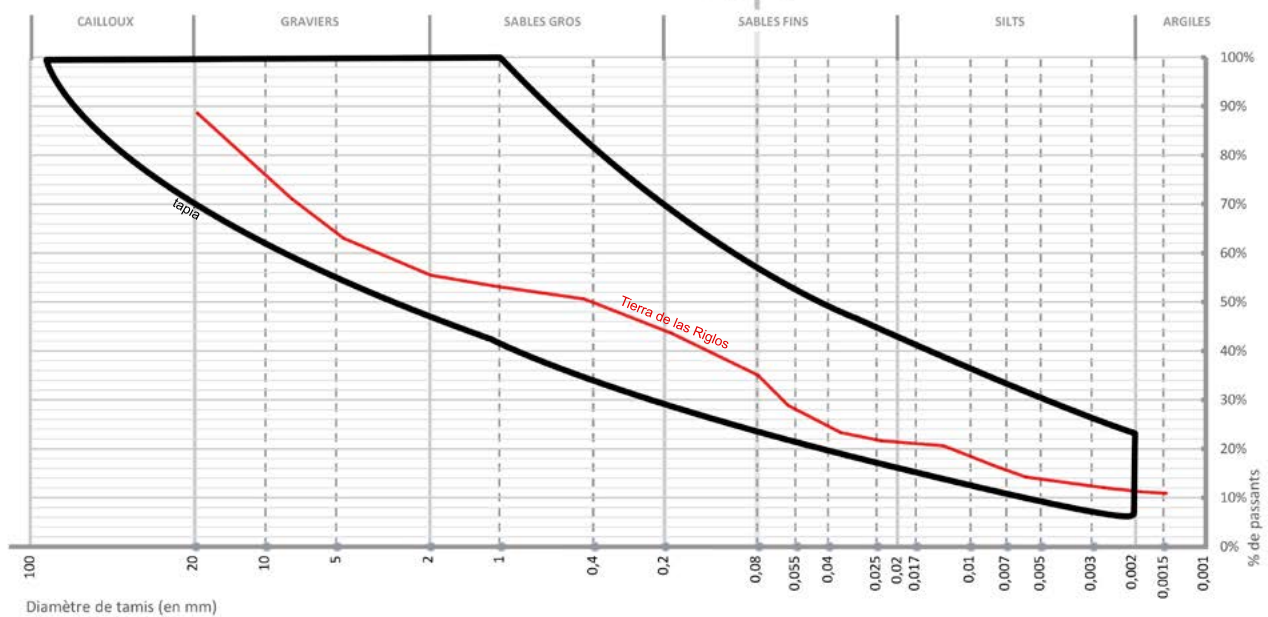
Gravas = 45%

Arenas = 45%

Limos = 5%

Arcillas = 5%

-> La granulometría nos confirme que la tierra es bastante gravosa-arenosa y convendría perfectamente para la tapia. Pero



Granulometría de la tierra analizada por el laboratorio Edra Arquitectura

La tierra analizada lleva mucha piedra y grava. Para hacer paja-arcilla se necesita una tierra fina-arcillosa, que tendría una densidad al final de 200 a 1 200kg/m<sup>3</sup> trabajada al estado viscoso puesto en un encofrado entre una estructura de madera.

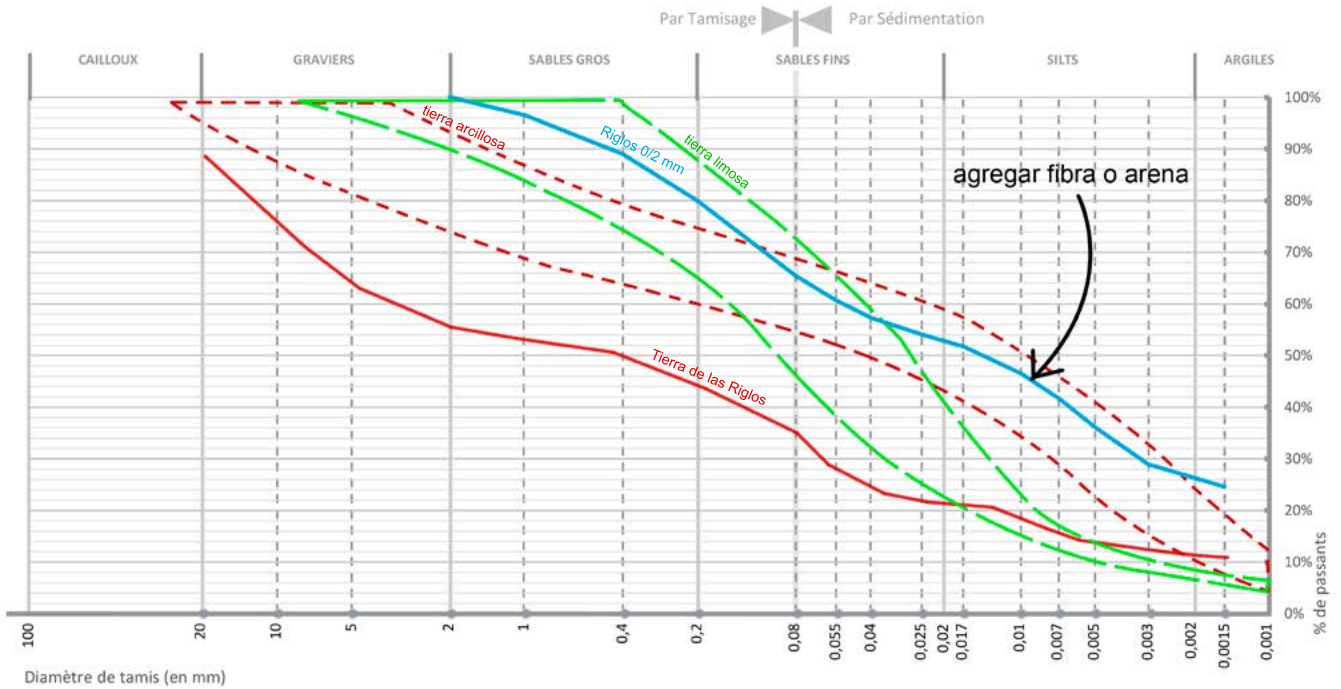
«Todas las tierras arcillosas pueden ser usada para hacer paja arcilla. Pero más la tierra es cohesiva (cantidad y tipo de arcilla), más es posible obtener una mezcla ligera con características mecánicas adecuadas.»  
source : Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue, 13 decembre 2018



Operateur Vanile JOSEPHINE

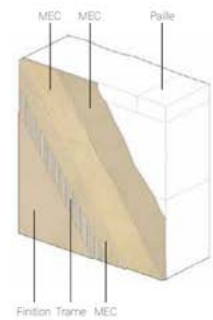
Date 17.01.2022

Echantillon LAS RIGLOS



**Revoco :**

- cribar la tierra 0/2mm
- revocar capas de 15mm aproximadamente hasta obtener una pared plana
- poner malla (fibra de vidrio por ejemplo)
- revocar el acabado 10mm con tierra cribada 0/1mm

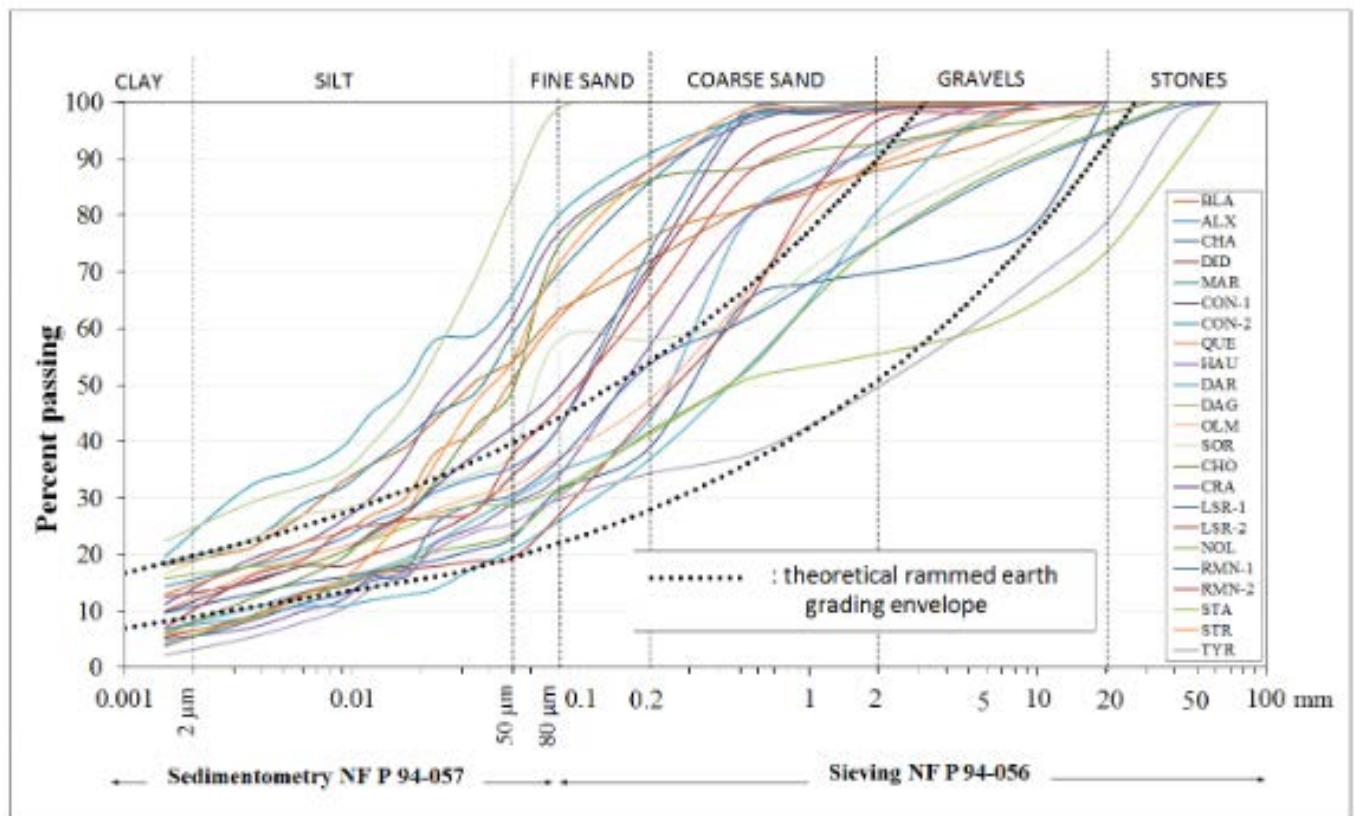


## «Towards an easy decision tool to assess soil suitability for earth building»

Vers un outil d'aide à la décision de la convenance des terres pour la construction.

Fabrice Rojat, Erwan Hamard, Antonin Fabbri, Bernard Carnus, Fionn Mcgregor

Dans cette étude plus de 20 terres différentes collectées dans des bâtiments du patrimoine rhônalpin sont caractérisées. Ces caractérisations sont ensuite étudiées au regard des systèmes actuels de sélection pour en tester la validité, puis à l'aide de classifications nouvelles dans le contexte de la construction en terre. L'objectif est d'apporter des outils simples de sélection d'une bonne terre à construire.



**Figure 5: A comparison between the theoretical grading envelope from Houben et al. [33], and grading curves of 23 samples from French vernacular rammed earth buildings measured in the present research program**