

Introduction à la construction en terre

Document préparatoire au séminaire-formation " Construire en terre crue de Guyane"
Organisé par la DEAL Guyane - Ministère de l'Environnement - 11-15 avril 2016 au Lycée
professionnel de Balata à Matouri.

Enseignants : Myriam Olivier (CEREMA), Ali Mesbah (ENTPE).



Table des matières

1.	Construire en terre.....	1
1.1	Notions générales.....	1
1.2	La terre pour la construction.....	3
2.	Identification du matériau terre.....	3
2.1	La granulométrie et la sédimentométrie.....	3
2.2	La sensibilité à l'eau.....	3
2.3	L'adsorption.....	4
2.4	Condensation.....	5
2.5	La capillarité.....	5
3.	Les techniques de construction en Terre:.....	5
3.1	La terre, utilisée à l'état plastique, sous forme de boue:.....	5
3.1.1	Adobe:.....	5
3.1.2	Bauge (Vendée), banco (Afrique), cob (Irlande), zabor (Yémen):.....	6
3.1.3	Torchis (Normandie), tchicka (Ethiopie), tappa (Brésil):.....	6
3.2	La terre, utilisée à l'état légèrement humide:.....	6
3.2.1	Pisé (France, Maroc), rammed earth (USA, Grande Bretagne):.....	6
3.2.2	Briques de terre compactée (France), BTS (Algérie), compacted earth blocks:..	6
3.3	Le compactage de la terre.....	7

1. Construire en terre

1.1 Notions générales

Le matériau terre est à la fois l'un des plus anciens et des plus modernes des matériaux de construction. Grâce à une connaissance qui n'est qu'empirique, donc difficilement transmissible, on construit en terre depuis des millénaires. Dans les conditions économiques actuelles, les techniques de construction en terre présentent une alternative intéressante aux matériaux onéreux comme le béton et l'acier, sous réserve que celles-ci aient les bases scientifiques suffisantes pour garantir l'homogénéité et la fiabilité des briques et des produits en terre et des méthodes techniques de réalisations adaptées aux conditions économiques et sociales du site considéré.



Contrairement au béton, la technique peut varier suivant le matériau, les conditions économiques et sociales du pays. Une technique ne doit pas être favorisée à priori par rapport à une autre. Le choix doit être le résultat d'analyses tenant compte des paramètres :

- physiques des sols (nature, liants disponibles, conditions climatiques);
- techniques (savoir-faire disponible, niveau de formation des techniciens et ouvriers, organisation et suivi de chantier, type de structures à construire, matériel disponible...);
- économiques (coût de la main d'œuvre, des matériaux et matériels,...);
- sociaux (acceptation des populations ...).

Quelle Terre utiliser ?

C'est, avant tout, un matériau naturel, meuble, extrait sur le site ou à proximité du site de construction.

C'est un mélange, en proportions très différentes d'éléments (graviers, sables, limons -silts et argile-) auxquels s'ajoutent, éventuellement, d'autres matériaux tels que sels, oxydes... et matières organiques.

Le matériau Terre, utilisé en construction, est donc un matériau extrêmement hétérogène, dont les caractéristiques sont très diverses d'une région à une autre.

Le matériau terre à l'extraction, peut avoir des caractéristiques très différentes de par sa composition et la nature de ses constituants.

- Certains sols sont composés essentiellement d'éléments fins argileux. On doit y ajouter beaucoup d'eau pour l'humidifier et l'homogénéiser. Ces matériaux ainsi humidifiés (état proche de saturation), contiennent peu d'air. Par conséquent, ils ne peuvent être que modelés et non pas compactés. Les techniques adaptées sont alors l'adobe, la bauge, et le torchis.
- D'autres terres contiennent essentiellement des gros éléments et peu de fines argileuses. Dans ce cas, il faut utiliser la terre en adoptant la technique de la terre compressée : le pisé ou les blocs de terre compactée (BTC). Pour certains matériaux se trouvant entre ces deux sols, il est possible de les utiliser en les modelant et/ou en les compactant.

1.2 La terre pour la construction

Le matériau terre, que l'on trouve selon des épaisseurs variables, résulte d'un processus de transformation complexe : la pédogenèse. Sa nature est conditionnée par de nombreux facteurs de nature physique, chimique et biologique, par des conditions climatiques et la vie végétale et animale. La nature d'une terre repose sur la structure de la roche mère (calcaire, granite), hydrologie, le degré de transformation du sol par les humains (agriculture, travaux publics).

Dans la construction en terre, la terre à bâtir est toujours prélevée sous la couche de terre arable, en éliminant la couche végétale et les matières organiques qui ont une activité biologique trop importante pour être employées. On trouve ainsi les composants stables tels que les graviers, les sables, le limon et les argiles.

Le matériau terre rassemble différents constituants (eau, air, matières organiques et les matières solides) dont les proportions respectives caractérisent la structure et la texture de la terre. Il est formé d'un mélange d'agrégats aux éléments, natures, et proportions variables (graviers, sables, limons, argiles).

2. Identification du matériau terre

La qualité des produits (de la construction) dépend en grande partie de la texture de la terre ainsi que de la qualité de ses composants. Cette qualité est directement liée à la proportion de chaque élément et à la nature des argiles présentes.

La terre est principalement caractérisée par :

- sa granulométrie : la quantité et les dimensions des agrégats
- sa plasticité : la propriété d'absorption c'est-à-dire son pouvoir d'absorber et retenir l'eau. Ce qui peut se traduire par le gonflement, retrait et donnant lieu à des fissures de retrait.
- sa compressibilité : sa capacité de densification et de réduction de volume et de porosité, variable selon le taux d'humidité, et l'énergie ou la force de compactage utilisée.
- sa cohésion : capacité des particules à se maintenir lorsqu'on exerce une force de traction.

La reconnaissance de ces propriétés peut se faire en laboratoire suivant les processus et normes existant. Il peut faire appel à des matériels simples ou sophistiqués. Cette reconnaissance peut également se réaliser de manière simple et empirique sur le terrain. Dans ce cas elle se fait de façon sensoriel et est basée sur l'expérience de la personne (le maçon).

2.1 La granulométrie et la sédimentométrie

La courbe granulométrique et sédimentométrique nous permet de savoir si le matériau peut être utilisé à l'état naturel ou, s'il faut le cribler pour éliminer une partie des gros éléments. Elle peut aussi nous permettre de faire une classification de ce matériau suivant la classification existant du pays dans lequel on est situé.

En laboratoire, elle se fait par voie sèche et/ou humide à l'aide de tamis et de balances.

Sur le terrain, elle est estimée visuellement en touchant le matériau et en mesurant la tailles des gros éléments et éventuellement en estimant leurs proportions (terre sableuse, graveleuse ou terre fine...).

2.2 La sensibilité à l'eau

La consistance d'un sol peut varier suivant la quantité d'eau interstitielle que contiennent ses pores et l'épaisseur des couches d'eau adsorbées, qui enrobent les éléments fins (les argiles).

L'argile contenue dans le matériau est de nature et de sensibilité variable suivant leurs surfaces accessibles à l'eau (qui peut varier de 1 à 4 m² par gramme pour les moins sensibles et de plusieurs centaines de m² par gramme, pour les plus sensibles). La structure cristalline des particules d'argile leur confère un ensemble de propriétés de comportement : cohésion, plasticité, adsorption d'eau, gonflement, retrait,...

Il y a des constantes physiques conventionnelles qui mesurent la sensibilité des sols appelées « limites d'Atterberg », ainsi qu'une valeur mesurée à l'aide du bleu de méthylène appelée valeur de bleu.

Un échantillon de la terre peut se trouver dans plusieurs états :

- **état liquide** s'il contient beaucoup d'eau. Dans ce cas, il prend la forme du contenant dans lequel il se trouve. Si l'on diminue peu à peu son humidité, à moment donné, bien qu'il reste très humide, l'échantillon garde sa forme et non pas la forme du contenant : il est alors à sa limite de liquidité soit W_l .

- **état plastique** s'il contient un peu moins d'eau que le précédent. Dans ce cas, il est encore à l'état très humide, il ne change pas sa forme mais reste modelable à la main.

Si l'on continue à diminuer son taux d'humidité tout en le modelant, il arrive un stade où l'échantillon se fissure. L'échantillon est à sa limite plastique W_p

En diminuant son taux d'humidité, il dépassera sa limite de plasticité, où il est encore humide mais se fissure en le modelant (limite de plasticité) soit W_p .

- **état sec** s'il contient très peu et/ou pas d'eau.

La différence W_l et de W_p est un paramètre important, appelé l'indice de plasticité I_p , qui montre la plage dans laquelle le matériau reste à l'état plastique.

Plus I_p est grande, plus la terre peut contenir des argiles très actives, ce qui implique une plus grande vigilance au moment de son utilisation ainsi que l'entretien de structures en terre.

2.3 L'adsorption

Ce phénomène est caractérisé par l'augmentation de la masse d'un élément (mur en terre) si l'on augmente le taux d'humidité relative. Ceci correspond en réalité à la fixation par le milieu poreux d'une certaine quantité d'eau attribuée aux forces intermoléculaires (force de Van Der Waals) agissant sur les molécules de vapeur au voisinage de l'interface solide-fluide dans les pores.

2.4 Condensation

Le phénomène de condensation (passage de l'état vapeur à l'état liquide) apparaît sur une paroi, avec formation de masse d'eau liquide provenant, d'une part de la condensation de la vapeur initialement en place dans le corps, d'autre part de la condensation du flux d'humidité en phase vapeur s'écoulent vers les zones froides.

Si on empêche que la vapeur puisse traverser librement la structure (avec un enduit imperméable par exemple), elle se condense derrière cet écran imperméable et crée des désordres importants dans la structure. D'où la nécessité d'appliquer des enduits à la chaux sur des murs en pisé.

2.5 La capillarité

La capillarité est un phénomène qui a lieu lorsque les structures poreuses (les murs en terre) se trouvent en contact avec un liquide (de l'eau le plus souvent).

Cela se produit lorsque la différence entre la pression en phase liquide et celle de la phase gazeuse provoque le cheminement du liquide dans les pores de la structure.

Le niveau de la capillarité des structures poreuses (les murs en terre) dépend de plusieurs facteurs :

- la nature et la quantité des argiles présentes dans la structure (dans le mur)
- la quantité et dimension des pores de la structure (matériau)
- le climat (température et hygrométrie)
- la présence de sels dans l'eau
- la force de gravité

Il est judicieux de prévoir un soubassement résistant à l'eau ainsi qu'une barrière de capillarité, afin d'éviter au maximum que la structure soit en contact direct avec de l'eau.

Il est également important de veiller que le mur ne soit pas recouvert d'un enduit imperméable. Faute de quoi l'eau se trouvant derrière cette barrière, peut se condenser, créer des pressions interstitielles, et finalement, éclatera l'enduit.

3. Les techniques de construction en Terre :

Les modes de construction en terre sont très variés. La terre peut être moulée, modelée, compactée, compressée. Pour chaque cas, il existe plusieurs technologies, de la plus naturelle et artisanale à la plus industrialisée.

Cette diversité est due à la fois de types de terres rencontrées et aux matériels disponibles et/ou développés localement. Elle a ainsi entraîné une architecture très variée de par le monde. On peut présenter les principaux modes d'utilisation de la terre en les classant en fonction de l'état d'humidité de la terre au moment de son utilisation, et en fonction du mode de mise en œuvre du matériau.

A noter : il n'y a pas de « bonne terre ». Il y a juste de bons maçons qui savent utiliser la terre disponible.

3.1 La terre, utilisée à l'état plastique, sous forme de boue :

3.1.1 Adobe :

Ce procédé utilise un matériau très argileux, préparé à l'état liquide (teneur en eau de l'ordre de 30 %). Il s'agit d'un mode artisanal et manuel de fabrication de blocs, dans des moules de bois ou de métal. Ces blocs seront, après séchage au soleil, mis en place dans une maçonnerie dont le mortier est une boue de la même terre. Les blocs ainsi réalisés sont utilisés comme matériau porteur ou matériau de remplissage.

Cette technique a été industrialisée et fortement mécanisée dans certains états du Sud aux U.S.A. (Arizona, Californie...) où elle est utilisée pour la construction neuve.

3.1.2 Bauge (Vendée), banco (Afrique), cob (Irlande), zabour (Yémen) :

La terre est semblable à celle des adobes et préparée de la même manière.

Le mode de fabrication est artisanal: il consiste à modeler manuellement des murs à l'avancement, en formant des boudins d'environ 60 cm de hauteur et d'épaisseur à partir de boules de terre. Le matériau utilisé est très argileux, et peut être additionné de fibres végétales ou de paille. Les murs ainsi réalisés sont porteurs, en général.

3.1.3 Torchis (Normandie), tchicka (Ethiopie) :

Le matériau de base est identique à la bauge.

Il est en général additionné de fibres, puis projeté ou placé en enrobage sur une ossature de bois ou de bambou. Il s'agit donc un remplissage, la fonction porteuse étant assuré par l'ossature de bois.

Dans tous les cas, la réalisation des constructions fait appel à des technologies artisanales et anciennes. Le matériau final est assez peu résistant, notamment vis-à-vis des intempéries ou de l'eau à l'état liquide (salles d'eau, cuisine,...). Pour pallier cet inconvénient, des solutions architecturales ont été mises au point au cours d'adobe de plus de 30 m de hauteur, âgés de plus de 300 ans, dans la vallée de l'Hadramaout au Yémen. On peut aussi citer les imposantes mosquées du Mali, ou les églises du sud des Etats-Unis.

3.2 La terre, utilisée à l'état légèrement humide:

3.2.1 Pisé (France, Maroc), rammed earth (USA, Grande-Bretagne) :

Ce procédé utilise un matériau sableux ou graveleux (diamètre maxi des grains de 10 à 60 mm), préparé à l'état peu humide (teneur en eau de l'ordre de 10 à 15%).

La méthode artisanale traditionnelle de mise en œuvre consiste à compacter manuellement la terre entre deux banches de bois (coffrages de 60 cm de hauteur, 40 à 60 cm de largeur, et 3 à 5 m de longueur), à l'aide de dames ou pisoirs. Les murs en pisé sont constitués de bandes horizontales correspondant aux branches, leur donnant une allure assez massive.

La mise en œuvre du pisé s'est modernisée en utilisant des dames adaptées sur un marteau piqueur et des branches modulables métalliques.

Le pisé est utilisé comme matériau porteur. C'est la méthode traditionnelle utilisée dans certaines régions du Sud-Est de la France jusqu'au début du siècle, et encore utilisée de nos jours au Maroc.

3.2.2 Briques de terre compactée (France), BTS (Algérie), compacted earth blocks :



Les briques de terre compactées sont fabriqués à partir d'une terre sablo-argileuse dont les éléments ne dépassent pas 20mm. Ce matériau est utilisé comme matériau porteur ou de remplissage.

Les briques sont fabriquées par compactage statique, dynamique ou par vibro-compression avec des presses manuelles, hydrauliques ou mécaniques. Cette technique est un mode moderne de construction dérivé de la maçonnerie en parpaing de ciment.

Cette technique à l'intérêt de permettre la mise en place d'un contrôle de qualité simple des matériaux pendant leur fabrication, et d'utiliser, en les adaptant, les connaissances locales des maçons pour leur mise en œuvre.

Si le pisé est assez utilisé aux USA pour la construction neuve, la technique des blocs compactés ou comprimés est actuellement celle qui a le meilleur avenir. Ses atouts sont la multiplicité des machines adaptées, les possibilités du suivi de sa fabrication, la simplicité de la mise en œuvre, les formes architecturales complexes et pourtant à réaliser (linteaux en arc, voûtes et coupoles).

3.3 Le compactage de la terre

Le compactage est une technique qui consiste à augmenter la masse volumique d'un sol en diminuant son volume, donc en réduisant ses vides.

En terrassements routiers, l'efficacité du compactage se définit, de manière générale, par sa capacité d'atteindre une densité sèche moyenne sur une épaisseur ou une profondeur donnée en un nombre de passes limite.

Pour la fabrication de BTC, le compactage est en général produit par la mise en compression de la terre dans un moule, via une presse.

Il existe plusieurs types de compactage :

- compactage dynamique
- compactage statique
- compactage par vibro-compression

Le **compactage dynamique** est utilisé en géotechnique routière lors de la mise en œuvre du sol pour la construction des ouvrages :

- remblais routiers
- remblais de voies ferrées
- digues et barrages en terre
- plates-formes pour bâtiment
- etc.

Pour optimiser le compactage, il existe deux grands types d'essais correspondant à des modes opératoires de compactage sur chantier :

- essai Proctor normal
- essai Proctor modifié

Ces deux essais permettent d'étudier et/ou optimiser la mise en œuvre des matériaux, sans permettre d'étudier leur comportement en service.

Le compactage statique. Il consiste à imprimer un effort croissant sur un matériau, de façon à le comprimer dans un moule. Dans « l'essai de compactage statique », le matériau est compacté de façon quasi-statique, et permet la fabrication d'éprouvettes homogènes qui serviront, d'une part pendant le compactage pour déterminer les paramètres de mise en œuvre, et d'autre part pour l'étude du comportement en service (R_c , R_t ...).

La vibro-compression

Ce mode de compactage associe la vibration du moule et l'application d'une charge de compression, en général assez faible. Il est utilisé pour la mise en œuvre des produits béton.