



*Au service
des peuples
et des nations*



**MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT
ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE**

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DES ÉTABLISSEMENTS CLASSES**

**Programme national de réduction des émissions GES
à travers l'Efficacité Énergétique dans le secteur du Bâtiment
Projet de Production de matériaux d'isolation thermique à base de Typha**

RAPPORT TECHNIQUE

Identification du contexte sénégalais



Projet PNEEB / TYPHA
« Transfert de technologie :
Projet de production de matériaux d'isolation thermique à
base de Typha. »

RAPPORT TECHNIQUE
Identification du contexte sénégalais

Lalaina Rakotomalala et Arnaud Misse

avec des contributions de
Hugo Gasnier, Thierry Joffroy, Etienne Samin

Remerciements à :
Ernest Dione, Mbacké Niang, Mansour Sow, Michel André Durand, Romain Anger,
Laetitia Fontaine, Basile Cloquet, Aurélie Vissac, Martin Pointet, Franz Volhard,
Murielle Serlet, Marina Trappeniers, Zakari Bano, Christelle Chauvin,
Fatoumata Camara, Bregje Nouwens, Anne Marie Meunier

Grenoble, France
décembre 2014



En partenariat avec



Sommaire

Introduction.....	7
1 Analyse du contexte - l'habitat au Sénégal.....	8
1.1 Rapide panorama de l'habitat au Sénégal.....	8
1.2 Typologie des bâtiments existants	12
1.3 État des lieux de la conception bioclimatique	13
2 Analyse du contexte - le secteur de la construction.....	15
2.1 Modes de production et savoir-faire	15
2.2 Systèmes constructifs, matériaux et produits	18
3 Secteur de la construction et ressources locales : typha et terre	21
3.1 Des cultures constructives utilisant le typha, d'autres la terre	21
3.2 Un désintérêt lié à un déficit d'image des matériaux locaux	22
3.3 Des expérimentations « typha » et une filière « terre » qui montrent leur pertinence	22
4 Identification des ressources locales pour l'élaboration de matériaux à base de typha et de terre.....	26
4.1 Roseau typha	26
4.2 Terres au Sénégal.....	30
4.3 Ciments	32
4.4 Chaux et plâtre.....	32
4.5 Agrégats : sables et graviers	32
4.6 Autres pistes de liants et d'adjuvants pour des produits typha-terre.....	33
5 Etude de marché afin de proposer des solutions économiquement accessibles	36
5.1 Éléments pour l'estimation du coût de produits isolants à base de terre et de typha	36
5.2 Économie d'énergie et réduction des émissions de CO ₂	36
5.3 Pistes de matériaux à développer	38
Conclusion	45
Annexe : liste des prix de matériaux	46
Annexe : essais de caractérisation des échantillons de terre prélevés au Sénégal, effectués au laboratoire CRAterre	49

Introduction

Afin de réduire l'impact environnemental du secteur du bâtiment au Sénégal, la production et l'utilisation de nouveaux matériaux peu consommateurs de ressources non renouvelables pour leur fabrication et mise en œuvre, et qui permettent une meilleure efficacité énergétique du bâti (isolation) est une obligation.

Le cas du Sénégal n'est pas isolé. Partout dans le monde, on assiste à un intérêt croissant de la part de la communauté scientifique et des bâtisseurs pour l'utilisation de fibres naturelles, y compris de différents types de roseaux, afin de réduire l'empreinte énergétique de la construction.

La présence du roseau Typha est devenue depuis plusieurs années un problème écologique majeur au Sénégal. La plante est devenue envahissante dans de nombreux espaces hydrologiques du pays, et particulièrement au Nord, le long du fleuve Sénégal. L'objectif du projet est de limiter la progression invasive du Typha en utilisant cette ressource abondante pour produire des matériaux locaux écologiques pour le secteur du bâtiment. L'exploitation durable de cette ressource est donc une piste pour contribuer à un développement local durable.

Dans le cadre du projet « Transfert de technologie : Projet de production de matériaux d'isolation thermique à base de Typha au Sénégal » Projet PNEEB/TYPHA, et plus spécifiquement du Contrat de service avec CRA-terre, une mission sur le terrain était prévue pour procéder à l'identification du contexte sénégalais en vue de mieux utiliser et valoriser les ressources humaines et matérielles sénégalaises durant le projet.

Pour la réalisation, cette analyse contextuelle a nécessité l'engagement d'une équipe pluridisciplinaire composée de compétences complémentaires suivantes :

- Ingénieur matériaux
- Architecte spécialisé dans l'usage des matériaux locaux
- Ingénieur en développement local, spécialisé dans les filières de construction en matériaux locaux.

Cette équipe s'est déployée sur le terrain du 27 septembre au 9 octobre 2014. Elle a été accompagnée par le Coordonnateur national du projet qui a largement facilité les rencontres à Dakar et à Saint-Louis et leurs environs, ce qui a permis de compléter la collecte de données (bibliographie) et ainsi aider à une définition très précise des pistes de recherche / applications à développer pendant le projet.

Ce rapport est organisé en cinq parties principales :

- la première partie présente une analyse de contexte générale sur l'habitat au Sénégal, en dressant un rapide panorama de l'habitat au Sénégal, détaillé par une typologie des bâtiments et un état des lieux de la conception bioclimatique.
- La deuxième partie, propose une analyse du secteur de la construction à travers un état des lieux des modes de production de l'habitat et des savoir-faire, ainsi que des systèmes constructifs, matériaux et produits.
- la troisième partie fait état de l'utilisation de ressources locales dans le domaine de la construction, en particulier, l'utilisation du typha et de la terre.
- la quatrième partie fait part d'une identification de ressources locales pour l'élaboration de matériaux de construction à base de typha et de terre.
- la cinquième partie présente un premier niveau d'étude de marché, afin de proposer des solutions économiquement accessibles.



Ci-dessus : Chantier d'une maison basse en ossature béton armé et agglomérés de béton le long de l'axe Dakar –Thiès. Crédits : CRA-terre.

1 Analyse du contexte - l'habitat au Sénégal

Liminaire sur l'analyse du contexte

Cette analyse se base sur les observations et les échanges avec nos différents interlocuteurs durant la mission d'indentification, croisée avec l'analyse et l'exploitation d'études déjà existantes, citons plus particulièrement les travaux de M. Mbacké Niang, architecte, ainsi que la publication de ONU-Habitat, Profil du secteur du logement au Sénégal, publiée en 2012.

1.1 Rapide panorama de l'habitat au Sénégal

1.1.1 Une majorité de maisons basses

La plus grande majorité de l'habitat populaire est constituée de maisons basses, en simple rez-de-chaussée, dont la typologie constructive va de la simple case ou abri villageois traditionnel constitué d'une pièce entièrement construite en fibres, à la maison en bloc de ciment et béton armé à toiture terrasse en béton. Cette dernière forme de typologie est entre autre particulièrement appréciée car elle permet de garder une possibilité d'évolution par l'ajout d'un étage. Cette typologie n'est pourtant pas accessible financièrement à la majorité de la population, et un grand nombre de constructions présente une typologie mur bloc de ciment et chaînage béton, toiture en tôle à une ou deux pentes.

Il n'est pas rare d'observer dans le paysage construit des toitures à pans, plus ou moins nombreux et plus ou moins inclinés. Si beaucoup utilisent effectivement la tôle ondulée, le bac acier ou même des éléments de fibrociment, on trouve également quelques exemples de toits en tuiles, qu'il s'agisse typiquement d'anciennes constructions, comme dans la ville de Saint-Louis, ou de constructions plus contemporaines.

Dans les petits bourgs, les villes moyennes et leurs périphéries, les maisons basses sont encore très majoritaires, mais on trouve de plus en plus de constructions à étages, principalement à deux niveaux. Celles-ci sont plus exceptionnellement observables à l'extérieur de ces espaces, villages ou espaces ruraux.

« Au niveau national, plus d'un ménage sur deux (56,2 %) loge dans une maison basse. Au total, 30,8 % des ménages logent dans des cases et 2,5 % dans des baraques. Les maisons à étage et les appartements abritent 8,5 % et 0,7 % des ménages respectivement ».

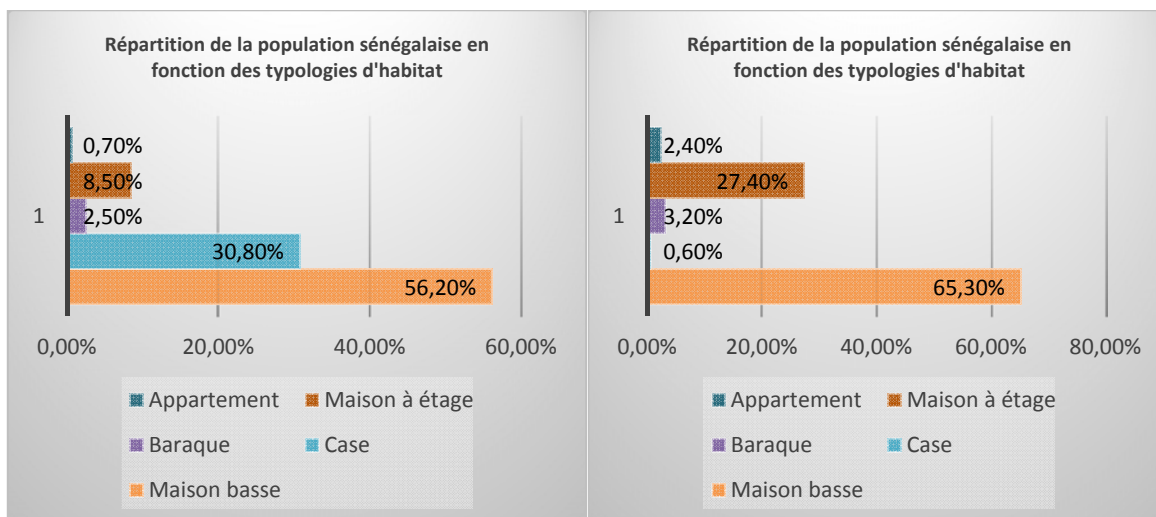


Ci-dessus : architecture traditionnelle, case en fibres le long de l'axe Saint-Louis – Richard Toll

Au niveau régional, Dakar présente une situation particulière. Environ 65,3 % des ménages occupent des maisons basses et 27,4 % sont logés dans des maisons à étages. Seule une faible partie des ménages loge dans des baraques (3,2 %), dans des appartements (2,4 %) ou dans des cases (0,6 %).

Dans les autres régions, plus de la moitié des ménages vivent dans des cases. Pour ce qui est des maisons basses, en dehors de la région de Dakar, les régions de Thiès (70,3 %) et Ziguinchor (85,1 %) comptent le plus de ménages logés dans cette catégorie de logement. La région de Tambacounda compte le moins de ménages logés dans des maisons basses, soit 28,4 %. Enfin, les maisons à étage et les appartements constituent un type de logement où vivent peu de ménages. En dehors de la région de Dakar, les maisons à étages abritent moins de 3 % des ménages et les appartements moins d'1 % d'entre eux ». (RGPH III 2002 : p134) repris dans ONU-Habitat, Profil du secteur du logement au Sénégal.

Ci-dessous : répartition de la population au Sénégal et à Dakar en fonction des différentes typologies d'habitat. Source : RGPH III, 2002, repris dans ONU-Habitat, Profil du secteur du logement au Sénégal, 2012.





Ci-dessus et ci-dessous : vues d'une rue d'un quartier d'habitat planifié (zone biscuiterie/ HLM, nord de Dakar).
Les maisons basses de l'origine servent de base à la réalisation de maisons, voire d'immeuble de plusieurs niveaux. Crédits : CRAterre.

1.1.2 Une pression foncière importante autour de Dakar entraînant une densification croissante

Dakar et sa (ses) banlieue (s)¹ présente un visage légèrement différent. La périphérie de Dakar présente un urbanisme plus dense de quartiers de faubourg, avec une augmentation du nombre de constructions à étages, et l'apparition de quartiers résidentiels où tous les types de constructions se retrouvent et qui présentent de nombreux immeubles et ensemble d'immeubles d'habitations dont certains de très grande hauteur (plus de sept étages). La majeure partie des constructions est constituée de cet habitat « régulier » (immeubles ou villas) même si certains quartiers sont constitués de constructions très hétéroclites.

Nous n'avons pas observé de quartiers d'habitat spontanés, mais selon l'enquête réalisée dans le cadre du PDU Dakar Horizon 2025, ils constituent 22% de l'habitat de la ville.

« Le taux d'urbanisation est de 42 %, tandis que 49 % de la population urbaine est concentrée dans la grande agglomération de Dakar. » « En 2009, la région de Dakar, qui ne couvre que 0,3 % du territoire national, regroupe 20,8 % de la population nationale et 49 % des citoyens. Sa densité est de 4 646 habitants au km² alors que la moyenne nationale se situe à 62 habitants au km². Un sénégalais sur deux est urbain et un urbain sur deux est dakarois ». ONU-Habitat, Profil du secteur du logement au Sénégal



¹ Banlieue proche de Dakar et grande région de Dakar (région du Cap-Vert) qui regroupe Dakar, Pikine- Guédiawaye et Rufisque, présentent cependant des morphologies différentes. C'est cependant dans cette région que la pression foncière est maximum.



Ci-dessus : immeuble de logement, Dakar. Crédits : CRAterre.

La pression foncière sur la région de Dakar est très importante². Peuplée de plus de 3 millions de personnes en 2010 (3,3 millions), c'est une prévision de 5 millions d'habitants qui est attendue à l'horizon 2025 (1/3 pour la ville de Dakar). Rythme de croissance très soutenu favorisé par les migrations liées à l'attractivité du pôle économique que constitue la région et la démographie très élevée (croissance démographique de 3% par an), avec un profil de population très jeune (42% de moins de 20 ans et 51% pour l'ensemble du pays) qu'il faudra loger dans les 15 ans à venir.

La pression foncière et le désir d'accéder à la « modernité », fragilisent la situation des populations urbaines. Elles sont de moins en moins propriétaires de leur logement et sont contraintes de vivre dans des espaces de plus en plus exigus. Ce qui se traduit d'ailleurs par la réduction systématique de la parcelle type à Dakar : d'abord 20x30 m puis 10x15 m et aujourd'hui 10x7, 5 m. Il en résulte un accroissement exponentiel de l'occupation de la parcelle, et des maisons qui poussent en hauteur avec la réalisation de niveaux supplémentaires.

1.1.3 La disparition des espaces extérieurs de cour

Dans l'espace de la ville, le coût et la rareté du terrain entraînent une nécessaire optimisation en surface construite de la parcelle. On assiste à la disparition des espaces extérieurs privés, comme les cours ou les patios, qui permettaient pourtant d'apporter un confort supplémentaire en proposant de réels espaces de vie ouverts, mieux ventilés et plus rapidement rafraîchis la nuit en saison chaude. Conséquence directement liée, une minéralisation croissante des espaces extérieurs, et le peu de place laissée à la végétation dans l'aménagement, végétation qui elle-même peut apporter un supplément de confort non négligeable dans ce type de climat (ombrage, évapotranspiration, etc.).

Cela a pour conséquence indirecte, un changement des modes de vie et des modes d'habiter. Par exemple, le nomadisme « climatique » qui permettait en saison chaude de dormir dehors dans la cour n'est plus possible.

Ci-dessus : réalisations haut de gamme le long de la corniche ouest. Crédits : CRAterre.

² La balance démographique reste tout de même en faveur des zones rurales (7 323 336 habitants en zones rurales pour 5 186 098 habitants en zone urbaine)

1.2 Typologie des bâtiments existants

1.2.1 Sept typologies d'habitat bien identifiables

En se basant sur l'analyse de M. Mbacké Niang on peut identifier sept grandes typologies d'habitat (d'architecture) qui reflètent bien le paysage construit du Sénégal :

- L'architecture traditionnelle, faite principalement de bois, de paille et/ ou de terre crue (banco ou bauge) ;
- L'architecture coloniale, faite principalement de pierre, bois ou métal et de terre cuite ;
- L'architecture moderne, Typologie d'inspiration « soudano sahélienne » ou « internationale » faite principalement d'agglomérés de ciment, de béton armé et de verre ;
- L'habitat planifié en série avec plans- types de différents standings, typologie « coloniale » ou « moderniste » ;
- L'habitat populaire régulier, urbanisme « traditionnel » et typologie « coloniale » ou de style composite ;
- L'habitat populaire irrégulier, urbanisme « traditionnel » toutes typologies présentes, hétéroclisme des styles et matériaux ;
- L'habitat spontané, précaire de type bidonville) lié le plus souvent à des conditions d'insalubrité.



Ci-dessus : architecture traditionnelle, cases en fibres le long de l'axe Saint-Louis – Richard Toll

État des lieux de la conception bioclimatique

1.3.1 Une bien trop rare prise en compte de la conception bioclimatique

L'image globale de la construction contemporaine dans le pays ne reflète pas a priori une sensibilité à la mise en œuvre de dispositifs bioclimatiques dans la conception des bâtiments. Que ce soit les maisons des faubourgs de Dakar, ou les grands immeubles contemporains des quartiers centraux, a priori aucune orientation bioclimatique ne semble avoir été mise en place. Il est par exemple intéressant de noter qu'un nombre très important de réalisations récentes ne présente aucune protection solaire, ni aucune possibilité de ventilation traversante, un comble dans le contexte climatique du pays, d'autant plus que le patrimoine bâti est riche d'exemples proposant ce type de protection (brise soleil, système de claustra, etc.).





Ci-dessus et page précédente en bas: immeubles tertiaires récents ou en chantier dans le centre de Dakar. Une architecture de style « international » marquée par l'usage abondant du verre. Crédits : CRAterre.

1.3.2 Des modèles architecturaux « décontextualisés »

Une architecture « internationale » à l'antithèse du contexte se généralise, nourrie de multiples influences stylistiques hétéroclites mais sans réflexion climatique. On peut observer ainsi un grand nombre d'ouvrages, stéréotype d'un style résidentiel globalisé, qui pourraient être implantés dans n'importe quelle banlieue d'une grande ville européenne, asiatique ou nord-américaine. Sur les bâtiments tertiaires, principalement les bureaux et les bâtiments administratifs, les façades se couvrent de pans entiers composés de verre teinté ou réfléchissant. La maison des faubourgs aisés, sans aucune prise en compte de l'environnement, expose sur la rue souvent sur trois étages, un style composite caricatural, croisement d'influence à dominante néoclassique, californienne, méditerranéenne ou bien encore moyen-orientale.

Il faut rappeler, comme le site le rapport du BIT : « qu'un grand nombre de réalisations des années 70 à 80, faisant appel à un style propre à la sous-région [...] Le style soudano-sahélien, qui a créé une véritable écriture architecturale inspirée des architectures traditionnelles remarquables de la région [...] et d'éléments pris à l'architecture coloniale (murs en courbes sous arcades). [...] Ce style architectural sera défini comme le style national et plusieurs réalisations s'en sont inspirées. Le marché Sandaga, la maternité de l'hôpital Le Dantec ou le musée de l'Institut Fondamental de l'Afrique Noire (IFAN) à Dakar en sont les principaux exemples. Cependant, le béton est déjà le matériau de prédilection pour tous ces ouvrages.

Les années 1970 et 1980 sont une autre période riche de l'architecture et de l'aménagement urbain au Sénégal, d'une part avec la création de l'école d'architecture de Dakar et d'autre part avec l'apparition d'une génération d'architectes engagés vers l'utilisation de nouveaux matériaux et aspects de surfaces, une réflexion sur l'histoire du pays et de ses aspirations. [...] Cette période a produit plusieurs des grands bâtiments d'État [...]. Dans tous ces bâtiments, le travail de la double peau, des hauteurs sous plafond, le soin des matériaux naturels choisis et mis en œuvre de façon moderne et originale (enduits coquillés, parements de marbre de Kédougou, de carreaux de latérite taillée, de coquillages, etc.) participe à une architecture nationale de qualité qui ne s'est pas altérée jusqu'à nos jours. »

Aujourd'hui, quelques réalisations font figures de très rares exemples développant des systèmes bioclimatiques : logements collectifs ou rénovations de maisons individuelles par M. Mbacké Niang, le Lycée Français Jean Mermoz de Dakar ou l'école de Dagana réalisée par l'agence TERRENEUVE, le centre communautaire pour femmes de Rufisque par Holmén-Reuter-Sandman, le projet « démonstrateur » en cours de construction réalisé par My API Lodge ainsi que l'école des sables, Centre International de Danses (Germaine Acogny) par A&D à Toubab Dialaw, etc.



Ci-dessus : Logement planifié, quartier d'habitation de maison basse. Importance du mur de clôture des parcelles qui délimite l'habitation au sens large. [c1]

2 Analyse du contexte - le secteur de la construction

2.1 Modes de production et savoir-faire

L'étude technique sur l'aspect matériau se base sur la prospection faite dans la région de Dakar et de Saint-Louis. L'objectif est d'identifier les potentialités tant en terme de savoir-faire, de matières premières et matériaux disponibles, que des prix pratiqués dans la construction. Il s'agit d'un recensement et d'une photographie des ressources disponibles afin de pouvoir élaborer de manière contextualisée les produits à base de Typha en les incluant dans le contexte sénégalais.

2.1.1 Une domination du secteur informel, tant dans la promotion que dans la production

L'autopromotion et l'auto-construction constituent les deux modes de production de logement les plus répandus dans le secteur informel sur l'ensemble du Sénégal. L'auto-construction est réalisée par des professionnels du bâtiment, mais dans la plupart des cas, les propriétaires font appel au service d'un maître maçon ou de plusieurs tâcherons (par tranches de compétences). L'autopromotion, qui repose largement sur l'auto-financement, constitue 80% du parc urbain construit. Elle génère généralement des constructions de qualité assez médiocre. Elle demeure cependant le mode de production le plus accessible aux revenus de la majorité des ménages.

Le déroulement du chantier suit le rythme des aléas de financement des propriétaires. Les chantiers durent longtemps, souvent plusieurs années, les matériaux sont préalablement achetés et stockés généralement sur site en attendant que le budget nécessaire à l'embauche de la main d'œuvre soit rassemblé. Ce système constituant une forme d'épargne, la plus visible étant la fameuse « épargne parpaing. » Ceux-ci sont en effet présents dans tout le paysage sénégalais, alignés en rangs serrés tels qu'ils ont été produits ou empilés en tas formant de petits stocks. Cette pratique renforce l'impression de chantier permanent de l'ensemble du pays qui semble continuellement en travaux.



Ci-dessus : Chantier d'une maison basse

2.1.2 Un secteur « formel » structuré

Pour le logement issu de la promotion privée, il est généralement fait appel à une entreprise/un entrepreneur de taille moyenne à grosse, prenant tout en charge, des études jusqu'à la livraison du bâtiment. Pour les opérations publiques ou sociales de logement, le secteur est principalement constitué des promoteurs publics comme la SNHLM et la SICAP.

Dans les deux cas, l'exigence de qualité est alors beaucoup plus élevée, d'où le recours à une expertise reconnue, des techniciens et une main d'œuvre qualifiée, et une fourniture de matériaux de qualité.

Cependant, dans quasiment tous les chantiers de construction, formel et informel se croisent. Même sur de très grosses opérations, une gestion très structurée et formelle organise certes l'emploi d'entreprises très qualifiées mais il est également fait appel à toute une chaîne de sous-traitance, de petits entrepreneurs et artisans, beaucoup plus informels, utilisant une main d'œuvre peu qualifiée.

2.1.3 Des techniciens supérieurs bien formés, des artisans sans formation initiale, au long parcours d'apprenti

Il est très rarement fait appel au recours d'un architecte (environ 7% des constructions). Le tableau de l'Ordre Des Architectes Sénégalais (ODAS) compte aujourd'hui environ 200 inscrits, ce qui est très faible au regard de la croissance urbaine du pays. Lorsque les maîtres d'ouvrages en ont les moyens, ils font appel à un professionnel du bâtiment, et s'orientent alors le plus souvent vers un ingénieur structure, par sécurité, au détriment du recours à l'architecte et donc à la réflexion sur la qualité architecturale du projet.

Il existe également aujourd'hui au Sénégal un nombre important de techniciens « supérieurs » du bâtiment, probablement compétents et bien formés. Ce qui permet d'éviter un nombre important de malfaçons ou de fautes de conception structurelles (structure ou génie climatique).

Il n'est pas rare de voir des bâtiments relativement importants construits sans recours à aucun technicien. On peut ainsi observer certains chantiers présentant des pathologies de structures importantes, voir même partiellement ruinés (cf. extension de l'école de Dagana).



Ci-dessus : Producteurs blocs ciment dans la région de Saint-Louis. Crédits : CRAterre, 2014.

La majorité des maçons et maîtres maçons, ainsi que les autres corps de métier du bâtiment, sont issus d'un long parcours d'apprentis durant lequel ils ne reçoivent aucun enseignement « initial » théorique. Comme pour le secteur de la construction, celui de la formation, par l'apprentissage, se fait complètement dans l'informel. Les maçons sont compétents pour construire en bloc-ciment. Toutes les étapes de construction sont maîtrisées : chaînages en béton, maçonnerie de remplissage, dalles en hourdis. De plus les formations semblent s'être améliorées, car les réalisations les plus récentes présentent une meilleure qualité d'exécution.

Cependant les connaissances restent souvent empiriques, elles se traduisent parfois dans la pratique par une méconnaissance des règles de l'art et la répétition de « mauvaises habitudes » qui peuvent être source de nombreuses malfaçons (typiquement absence de cure humide des bétons par exemple).

Les entreprises du secteur du bâtiment sont majoritairement représentées par des artisans maçons, dont la culture constructive fait principalement appel au savoir-faire du béton et de la maçonnerie d'agglomérés de béton. Puis viennent les entreprises de second œuvre, menuiserie, électricité, plomberie, peinture, plâtre, carrelage, etc.

On trouve sans difficulté de nombreuses petites entreprises qui produisent de la menuiserie bois, métal ou aluminium. Le niveau de compétence des entreprises est variable. Il est à noter la faible représentation des entreprises de charpentes.



Ci-dessus : menuiserie bois, métal et aluminium dans la région de Saint-Louis. Crédits : CRAterre, 2014

2.2 Systèmes constructifs, matériaux et produits

2.2.1 Un marché dominé par l'usage du parpaing et du béton

Le matériau le plus représentatif de la construction contemporaine au Sénégal est le béton. On trouve son emploi évidemment en fondations et en superstructures, que ce soit pour les murs, majoritairement en aggloméré de béton de remplissage et structure béton armé, que pour les planchers, soit en dalle pleine coffrée ou, le plus souvent, en poutrelle-hourdis et dalle de compression. Dès que les foyers ont les moyens suffisants pour construire, parfois au détriment des surfaces nécessaires, c'est vers ce type de solutions qu'ils vont s'orienter.

Il existe plusieurs types de production de bloc-ciments. Le bloc-ciment vibré produit par des entreprises équipées de « pondeuse » afin de répondre à un niveau de qualité correspondant aux standards européens et un bloc tapé produit sur site, à proximité des chantiers, par des petits artisans. Ce mode de production permet d'obtenir un matériau plus accessible financièrement mais d'une qualité inférieure.

L'usage du béton n'est pas sans inconvénients, il nécessite l'emploi d'importantes quantités d'acier, mais aussi de bois de coffrage, matériau et matériel relativement onéreux. Il en découle souvent l'utilisation d'acier de mauvaise qualité, de réalisation en béton « mal » coffré, donc de mise en œuvre d'une qualité très approximative.

Cette image des paysages urbanisés donne une image tronquée de la réalité constructive nationale, en effet, comme le rappelle le rapport d'ONU-Habitat, Profil du secteur du logement au Sénégal « *L'image dominante de l'habitation dans la région de Dakar est la maison avec murs en béton ou parpaings et toit en béton, fibrociment ou tôles. Tandis que, pour le reste du pays, les matériaux d'origine végétale sont encore les plus répandus.* »



Ci-dessus : publicité pour la société PREBAT, spécialisée dans la fabrication et l'utilisation d'éléments en béton précontraint



Ci-dessus : chantier d'un bâtiment en bloc ciment à Dakar. Crédits : CRAterre. 2014

2.2.2 Une popularité liée également aux possibilités d'extension et à la réduction de l'entretien

L'usage du béton est favorisé, parfois à tort, comme nous l'avons vu précédemment, par la difficulté et les aléas de financement d'une construction « moderne » entraînant un temps très long de réalisation. Ceci amène les propriétaires à s'orienter vers des solutions constructives qui, a priori, ne nécessitent que peu d'entretien, et qui permettent à la fois des chantiers sur le long terme et une possibilité d'évolution ou d'extension à terme.

2.2.3 Des matériaux de second œuvre importés

Bois, acier, aluminium, verre, équipement électrique et plomberie, quasiment l'ensemble des matériaux de second œuvre et de finition sont importés. Leur impact sur le budget global d'une construction n'est donc pas négligeable. Ainsi, à Dakar, la part des matériaux de second œuvre importée représentent 50 % du coût de la construction.

La plupart des revendeurs de matériaux importés sont implantés à Dakar. Une majorité des produits vendus est plutôt à destination de constructions « haut de gamme ». Nous avons pu visiter deux d'entre elles.

BATIMAT, importe des faux plafonds, des fixations, de l'isolant en laine de roche, Placoplatre BA13, de l'étanchéité bitume simple épaisseur pour les toitures non accessibles et double épaisseur pour les toitures accessibles, du carrelage et des équipements sanitaires.

Caoutchouc et Plastique importe aussi des matériaux de second-œuvre pour la construction. Faux plafonds en dalles de 60 x 60 cm, Onduline, BA13, laine de verre, isolation sous chape, étanchéité simple et double couche pour toiture-terrasse accessible et non accessible.



Ci-dessus : matériaux de second-œuvre d'importation. Crédits : CRAterre, 2014.

2.2.4 L'isolation thermique, un marché embryonnaire

« Il existe déjà au Sénégal des entreprises capables d'assurer l'intégration de l'isolation thermique dans tout le système de toiture, en particulier dans la couche d'imperméabilité. Ceci n'est pas applicable aux façades. » (PNEEB/Typha, 2012).

L'utilisation de matériaux isolants « conventionnels » dans le secteur de la construction est aujourd'hui anecdotique. Sur l'ensemble de notre mission de prospection et l'ensemble des chantiers visités ou vus, nous n'avons pas constaté l'utilisation de matériaux isolants. Les matériaux « conventionnels » suivants, laine de roche, de verre, polyester ou polyuréthane, exclusivement importés, sont disponibles à la commande chez les vendeurs de matériaux. Leur utilisation reste exceptionnelle, ils sont principalement employés dans l'hôtellerie, pour la réalisation de bureaux ou encore pour des opérations de logements privés de standing.

Citons la phrase du Prof. Aboubaker Chedikh BEYE extrait du Rapport d'étape Mission d'identification et tests sur les produits d'isolation thermique importés au Sénégal : " Le polystyrène (expansé ou extrudé) constitue le matériau isolant le plus importé sur le marché sénégalais tandis que les produits isolants thermiques locaux ne représentent qu'une portion congrue souvent présente en recherche-développement, en études et réalisation de prototypes par la Société Nationale des Habitats à Loyer Modéré (SNHLM), la Société Immobilière du Cap-Vert (SICAP) ou par des Architectes indépendants."

Le marché des matériaux isolants reste donc un secteur embryonnaire de la construction.



Ci-dessus : habitat traditionnel en bauge dans la région de la Casamance. Source : Thierry Joffroy, CRAterre. 1987

3 Secteur de la construction et ressources locales : typha et terre

3.1 Des cultures constructives utilisant le typha, d'autres la terre

Dans les zones visitées par l'équipe, l'architecture vernaculaire est plutôt constituée de petites constructions en ossature sommaire de bois et aux murs et toits de chaume. Celles-ci utilisent plusieurs types de matières végétales (chaume de paille, typha, krintins, etc.) suivant les zones d'implantation. Une partie des constructions observées vers Saint-Louis et le long de la vallée du fleuve Sénégal, au nord, présente de nombreux exemples d'utilisation du typha, sous forme de petits fagots ou bottes assemblés aussi bien comme couverture des toitures que comme parois des murs. Des nattes tressées sont également utilisées, particulièrement en sous toiture. On retrouve également des panneaux de typha, entre fagots assemblés et nattes épaisses grossièrement tressées, qui permettent la réalisation de clôtures autour des concessions. Les exemples les plus marquants sont les constructions rurales vers Richard Toll, construites quasiment entièrement en typha par les éleveurs semi nomades, et qui présentent une typologie très caractéristique.

Bien que nous n'ayons pas croisé beaucoup d'exemples de construction en bloc de terre moulé (BTM), type banco (adobe), la tradition semble encore exister dans les espaces ruraux. Nous avons pu voir quelques exemples de blocs produits avec les limons extraits des berges des canaux d'irrigation, ceux-ci servant pour la plupart à la réalisation des murs des « dibiteries ». Dans certaines zones, les personnes témoignent d'une connaissance ancienne de la technique mais dont le dernier souvenir remonte parfois à la génération de leur parents (ou grands-parents).

Ceci concerne les zones que nous avons visitées, où l'architecture traditionnelle de fibres est majoritaire, mais bien d'autres régions (plus à l'est ou au sud) présentent encore un large patrimoine de construction en terre et une culture constructive bien vivante. La Casamance est réputée pour sa technique de terre modelée (bauge), qu'on retrouve également au nord, le long de la vallée du Sénégal, habitat Toucouleur avec une typologie à toit terrasse ou toit végétal. Enfin de nombreuses régions sont riches d'exemples d'architectures réalisées en blocs de banco ou en terre modelée sur une ossature de krintin (sorte de torchis). A Dakar, la construction en terre n'est réalisée que par quelques propriétaires (Village Pilote, 2014).



Ci-dessus : nattes de typha artisanales du village de Diamdiam3 vendues à 2500 CFA. Crédits : CRAterre, 2014.

« ...emploie jusqu'à aujourd'hui des matériaux naturels et locaux, ceux-ci sont dépréciés et utilisés faute de mieux. Les savoir-faire de mise en œuvre et les caractéristiques spécifiques de l'architecture traditionnelle ont disparus. »

Enda – BIT « Matériaux locaux et éco architecture au Sénégal, état de lieux et perspectives dans le cadre d'une transition verte » mars 2013

3.2 Un désintérêt lié à un déficit d'image des matériaux locaux

L'importation de modèles d'architectures internationales et de modèles urbains, véhiculant une image de solidité et de durabilité, associé à l'omniprésence du ciment dans ce type d'architecture, entraîne un désintérêt pour les solutions utilisant les ressources locales. Celles-ci sont perçues comme archaïques et peu durables, synonyme, par extension, de précarité et de pauvreté. L'entretien de ces constructions revient également souvent dans les échanges comme une contrainte, tant en termes économiques qu'en charge de travail. Les populations qui désirent construire s'en éloignent majoritairement, même si beaucoup reconnaissent une meilleure adaptation au climat de ce type d'architecture.

Les savoir-faire existent encore bel et bien, même s'ils tendent à disparaître, faute de ressources économiques suffisantes, et particulièrement en milieu rural c'est encore ces solutions constructives qui sont utilisées.

3.3 Des expérimentations « typha » et une filière « terre » qui montrent leur pertinence

3.3.1 Le typha dans la construction contemporaine

« L'observation du secteur de la construction au Sénégal montre que de nombreuses réalisations utilisent des matériaux naturels locaux (habitat rural, résidences secondaires, structures touristiques, etc.). En revanche, ces matériaux et leurs techniques restent au niveau de pratiques empiriques sans recherches d'amélioration des produits ou des mises en œuvre. » Enda – BIT « Matériaux locaux et éco architecture au Sénégal, état de lieux et perspectives dans le cadre d'une transition verte » mars 2013.



Ci-dessus : toiture en chaume de typha du site Afrika Madela Ranch, association TypHAS. La durabilité de cette toiture sous les conditions climatiques locales devrait être 2 à 4 fois plus grande que celle des toitures en paille. Crédits : CRAterre, 2014.

L'utilisation du typha dans la construction contemporaine aujourd'hui se résume presque exclusivement à l'utilisation de nattes et de bottes de typha par les hôtels et les restaurants qui l'utilisent pour la réalisation de vérandas, d'abris de terrasses ou pour la finition des sous-faces des couvertures ou des plafonds. Il est non seulement utilisé comme un décor pittoresque, mais également pour procurer un amortissement thermique et bloquer le rayonnement thermique.

Nous avons identifié une coopérative inter-villageoise au village de Diamdian 3 (région de Saint-Louis) qui confectionne des nattes de typha. Leur village est situé à proximité des ressources. Les femmes de la coopérative maîtrisent les protocoles de récolte et les modes de mise en œuvre de typha afin d'en obtenir des nattes tressées. Le temps de réalisation d'une natte dépend du nombre de coutures, mais cela prend environ deux heures à deux personnes. Il serait aisé de proposer des panneaux artisanaux produits par ces mêmes professionnels.

Une expérimentation intéressante a été menée par M. Le Goff, dans le village de Rao, qui introduit sa technique de chaumier en l'adaptant au matériau pour la réalisation de chaume épais de typha qui présente potentiellement une durabilité bien plus importante que le chaume traditionnel.

Pour le moment une dizaine d'artisans chaumier ont été formés par l'association TypHAS lors d'une expérimentation dans la région de Saint-Louis. Mais cette technique de construction présente un véritable potentiel. D'autant plus que l'outillage requis est relativement aisé à faire réaliser par les ferronniers locaux.

3.3.2 La terre dans la construction contemporaine

Le banco, ou bloc de terre moulé (BTM), n'est quasiment pas utilisé dans l'architecture contemporaine.

Des tentatives de promotion et de revalorisation de cette technique semblent avoir été réalisées par la COB en milieu rural (sous le nom de géodynamique).

Citons cependant l'implantation d'une antenne de la voûte nubienne, qui promeut un concept constructif par l'utilisation d'un système standardisé de modules en voûte utilisant des blocs de banco. L'association a déjà encadré la réalisation de quelques chantiers, maisons d'habitation et petits équipements. Les chantiers sont le support de formations. Ils sont réalisés par des équipes de maçons déjà formées, originaires du Mali ou du Burkina Faso, qui forment des maçons locaux à la technique « voûte nubienne », de la production des blocs aux badigeons de finitions.



Ci-dessus : Village pilote, construction en BTS

L'utilisation de la terre sous forme de BTS (bloc de terre comprimé stabilisé) dans l'architecture contemporaine est plus répandue bien que le secteur, qui présente un fort potentiel économique, reste anecdotique au regard du poids des autres matériaux (béton/parpaing).

Le développement de l'utilisation du matériau est assez ancien, et de nombreux exemples de réalisations. (Réf.: présentation COB - Efficacité Energétique et Ville durable - *Portrait des connaissances sur l'utilisation de la terre stabilisée dans le secteur du bâtiment au Sénégal*, Septembre 2014)

Quelques sociétés ou briquetiers produisent des blocs de BTS, appelés parfois géo béton, en utilisant des terres latéritiques stabilisées avec du ciment (en général entre 6 à 8 %). La plupart fabrique un format de BTS standard de 29, 5x14x9, 5 cm. Ces matériaux sont plutôt de bonne facture et de bonne qualité.

« Malgré qu'on note une évolution croissante de la demande en terme de construction au Sénégal, la demande en construction BTC demeure faible » (Village Pilote, 2014).

Notre étude sur la production de BTC s'est portée sur la région de Dakar. Nous avons repéré peu de producteurs et maçons, mais ils sont cependant bien organisés et peuvent répondre à des demandes de chantier de taille moyenne. Ceux-ci sont majoritairement équipés de presses de type Terstaram (fabriquées par Appro-Techno).

Concernant cette technique, « la majorité des sénégalais pensent qu'une construction en terre est signe de pauvreté », alors qu'une construction en ciment est jugée « plus résistante et signe de richesse ». De plus « l'utilisation de la BTC n'est pas vulgarisée au plan national ; les sénégalais n'en connaissent pas son utilité dans la construction de bâtiment ». Il semblerait que ce type de matériaux est encore peu accepté par manque de confiance aux matériaux en terre crue. Selon l'étude de marché de Village Pilote (2014), une première analyse menée auprès de huit entreprises conclut que la BTC est peu utilisée par manque d'information et par manque de spécialistes (Village Pilote, 2014).



Ci-dessus : briqueterie de l'entreprise Elementerre. Gandigal. Crédits : CRAterre, 2014.

Les blocs sont employés pour un marché confidentiel de « connaisseurs », dans la réalisation de construction où le matériau est généralement utilisé pour ses qualités thermique, plastiques mais également économiques ; en effet il peut se révéler très concurrentiel face à une solution bloc ciment (bloc ciment - poteau béton vertical - enduits ciment 2 faces - peinture).

Le faible développement de cette technique est d'autant plus étonnant que le Sénégal dispose de normes nationales qui encadrent l'utilisation du matériau (Norme Sénégalaise (1999) NS 02-043, NS 02-044, NS 02-45).

Bibliographie de référence

ONU-Habitat *Profil du secteur du logement au Sénégal*, 2012, Nairobi, Kenya

COB – présentation à l'atelier régional « Efficacité Energétique et Ville durable » -étude : *Portrait des connaissances sur l'utilisation de la terre stabilisée dans le secteur du bâtiment au Sénégal*, Septembre 2014

Prof. Aboubaker Chedikh BEYE " *Rapport d'étape Mission d'identification et tests sur les produits d'isolation thermique importés au Sénégal*", juin 2014

Enda – BIT « Matériaux locaux et éco architecture au Sénégal, état de lieux et perspectives dans le cadre d'une transition verte » mars 2013

Dujarric, Patrik, « la maison sénégalaise », centre africain pour l'architecture, Dakar, 1986



Ci-dessus : envahissement du fleuve Sénégal par le typha, région de Saint-Louis. Crédits : CRAterre, 2014.

4 Identification des ressources locales pour l'élaboration de matériaux à base de typha et de terre

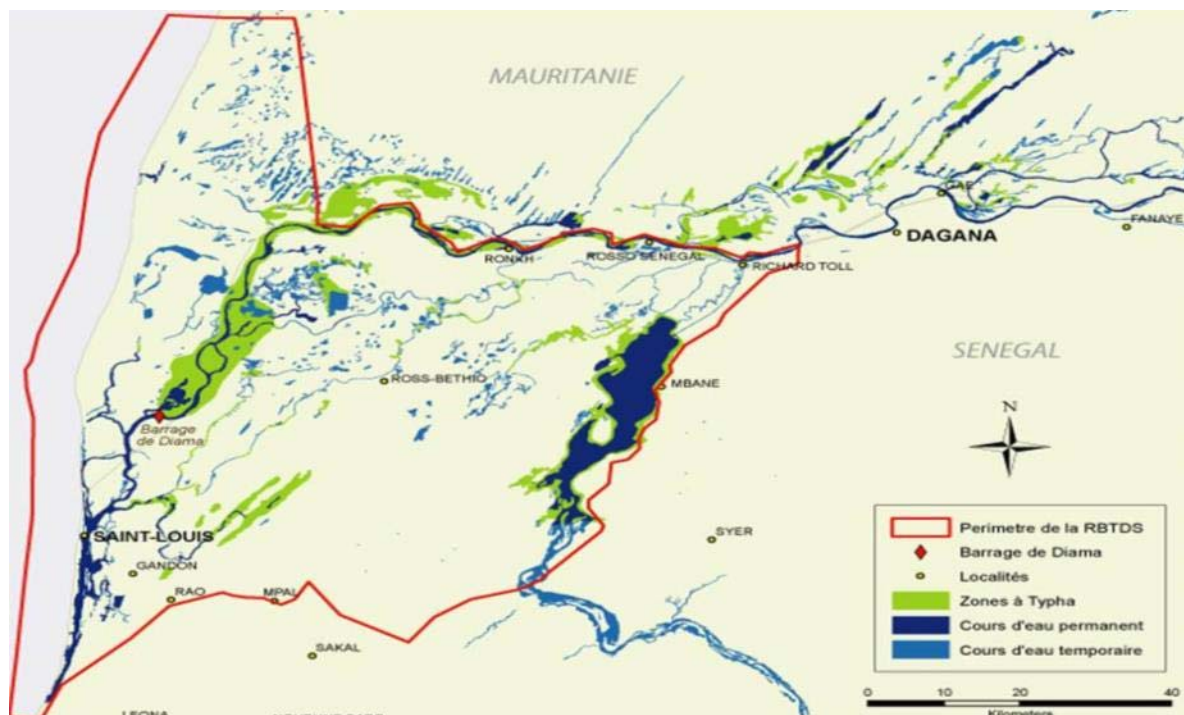
La liste des ressources locales précisées ci-dessous n'est pas exhaustive. Elle comporte principalement, les ressources identifiées qui pourraient être concernées par l'élaboration de produits isolants à base de terre et de typha.

4.1 Roseau typha

La ressource en roseau Typha est localisée majoritairement au Nord et à l'Est de Saint-Louis.

Depuis les années 2000 de nombreux rapports ont été faits sur cette ressource. Dernièrement, un rapport est paru sur la normalisation de la récolte, du séchage et du stockage du typha pour qu'il puisse être utilisé en tant que matériau de construction (PNEEB/Typha, 2014).

Malgré la mise au point d'engins de récolte mécanisés, aujourd'hui, le Typha est majoritairement exploité de manière artisanale. L'OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal), dans le cadre de sa lutte contre le Typha dans le delta et la basse vallée du fleuve Sénégal mène tous les ans des campagnes d'arrachage de Typha, notamment dans la zone du barrage de Diama. La quantité de roseaux arrachés pourrait servir à l'élaboration de matériaux de construction, sous réserve d'obtenir le Typha avec une qualité suffisante.



Ci-dessus : zones envahies par le Typha dans le Delta du fleuve Sénégal (Source : Dr Touré, 2014 ; PNEEB/Typha, 2014)

4.1.1 Capacité de la ressource

Le roseau Typha représente une surface de plus de 3 millions d'hectares pour une capacité de 520 000 tonnes de matières sèches disponible par an.

Récolte manuelle

Une personne peut couper 120 m² / jour dans les zones à forte densité, ce qui correspond à 1,89 à deux tonnes de biomasse verte.

Récolte mécanique

Un bateau faucardeur permet une récolte de dix tonnes par heure.

Prix

- Roseau Typha sec = 5000 CFA/tonne
- Natte feuille de Typha (2m x 3,5m) = 2800 XOF/natte

Conversion de la matière fraîche en matière sèche

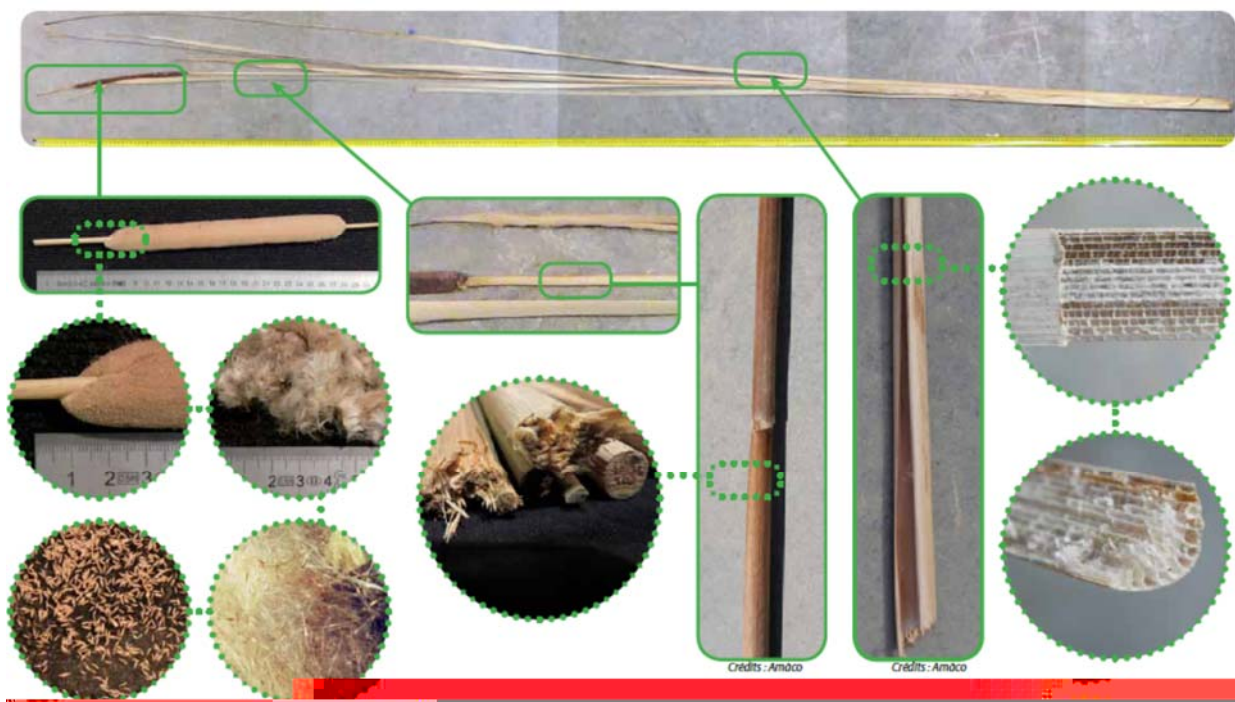
Lors du séchage, 120 tonnes de matière verte correspondent à 20 tonnes de matière sèche. Le taux de réduction se chiffre ainsi à 1/6^{ème} de la masse. Le séchage doit s'effectuer sur une période de sept à dix jours avec un taux d'humidité compris entre 12 et 14 %.

4.1.2 Composition générale de la ressource

Le typha est notamment composé :

- D'une tige rigide
- De feuilles présentant une structure interne alvéolaire spongieuse (aérenchyme) pour raidir et aérer les feuilles
- D'une fleur (présente lors de la floraison) composée de nombreuses « micro » fibres et de graines

Ces parties peuvent être exploitables pour la production de matériaux à base de terre et de typha.



Ci-dessus : structure générale du typha. Crédits : CRAterre et amàco, 2014.

4.1.3 Propriétés thermomécaniques

Concernant les feuilles, l'aérenchyme confère des propriétés d'isolation thermique très intéressantes. Elles possèdent ainsi une conductivité thermique très faible : $\lambda = 0,032 \text{ W/m.K}$ (Sow et al., 2008). En comparaison la laine de chanvre possède une conductivité de $\lambda = 0,060 \text{ W/m.K}$ et le liège expansé une conductivité de $\lambda = 0,049 \text{ W/m.K}$.

« Les morceaux de feuilles de typha résistent très bien à la pression dans le sens axial de la feuille (environ 3 kg/cm^2). Dans l'autre sens, ils sont élastiques et souples » (PNEEB/Typha, 2014).

4.1.4 Pistes d'équipements locaux pour le broyage du typha

Dans le cadre d'un développement de produits typha-terre, différents types d'équipements sont nécessaires. Si la plupart des équipements de récolte ou de fabrication pourront être réalisés sur place dans le cadre d'une production « manuelle » des produits (principalement gabarit, moules, etc.), des équipements spécifiques mécanisés ou semi-mécanisés, permettant d'obtenir différents types de broyages de la matière première, devront être achetés, importés ou adaptés de matériels agricole existant. Ces équipements sont indispensables pour obtenir une bonne qualité des matériaux à la production.

Exemple de machines « agricoles » pouvant servir de base à la réalisation de broyeur :

Moulins à mil

Les moulins à mil servent à réaliser la farine, le long de la route de nombreux moulins sont déjà installés. Ils permettent de réduire la pénibilité du travail des femmes des villages et leur libérer du temps pour se consacrer à d'autres activités.

Batteuse de riz

Sur le bord de la route entre Saint-Louis et Richard Toll, on trouve de nombreuses batteuses de riz pour traiter les récoltes faites dans la région. Ces machines servent à séparer la balle de riz, le riz et les végétaux. La balle de riz est utilisée en combustible pour les petits artisans

Ci-dessus : moulin à mil (source : association AMYSENEGAL, <http://amysenegal.e-monsite.com/album/le-moulin-a-mil/>)





Ci-dessus : envahissement par le typha, région de Saint-Louis. Crédits : CRAterre, 2014.

Mesures de prévention sanitaire pour le broyage du Typha

Des mesures de protection pourront aussi être envisagées pour les utilisateurs de machines pour broyer le Typha, au vu des quantités de poussières et de particules qui seront produites :

- soit en adaptant les machines
- soit en protégeant les utilisateurs avec des masques



Ci-dessus : Latérite provenant de la carrière de Sindia. Crédits : CRAterre, 2014

4.2 Terres au Sénégal

Le sol sénégalais est majoritairement latéritique (80% du territoire serait recouvert de latérite) ou sableux. On trouve parfois des poches d'argiles ou des zones où la terre est plus limoneuse. Les personnes interrogées font souvent la confusion entre terre limoneuse et argileuse. Du fait de l'utilisation du bloc-ciment, la majorité des personnes n'exploite plus les terres pour la construction. Certaines terres argileuses sont encore couramment utilisées pour la poterie.

Notons que les terres recherchées pour l'élaboration de matériaux isolants ou à inertie à base de terre et de typha, sont des terres avec de fortes propriétés cohésives, afin d'obtenir un liant de bonne qualité pour assembler les fibres de typha. Plus le liant est cohésif, moins il sera nécessaire d'en ajouter, moins le matériau final sera dense. Pour les matériaux isolants, nous cherchons à avoir des faibles densités, afin d'abaisser la valeur de la conductivité thermique, inversement proportionnelle à la résistance thermique.

Les différents prélèvements que nous avons effectués sont les suivants :



Prélèvement 1 : Richard Toll

Terre provenant du curage des canaux. Celle-ci a été récupérée sur la berge. Ce type de terre limoneuse est celui qui compose majoritairement les sols à proximité des cours d'eau et canaux. Traditionnellement c'est souvent ce type de terre qui est utilisé pour faire des adobes dans la zone de St Louis.

Analyse visuelle :

Terre fine, limoneuse, légèrement argileuse, pas de présence de gros grains.

La terre présente une bonne cohésion.



Prélèvement 2 : Village Mbakhane

Ces terres sont des poches d'argiles sableuses qui étaient exploitées dans les zones plus reculées pour faire des adobes.

Analyse visuelle :

Terre fine, sableuse, limoneuse, pas de présence de gros grains.

La terre présente peu de cohésion.



Prélèvement 3 : Parc de Djoudj

Terre extraite de travaux d'infrastructures d'irrigation. Il s'agit de poches situées à une profondeur de 3 à 5 m. Les argiles présentent une forte capacité d'absorption d'eau. Elle est utilisée pour étancher les nouveaux canaux d'irrigation.

Analyse visuelle :

Terre très argileuse, pas de présence de gros grains.

Terre présentant une forte cohésion. La ressource est disponible mais sa capacité d'exploitation est difficile à évaluer, en effet elle n'est pas clairement localisée et peut nécessiter des engins de terrassement pour être exploitée.



Prélèvement 4 : Latérite Sindia

Elle est utilisée pour la production des BTC.

Analyse visuelle :

Terre argileuse, sableuse, avec une forte induration.

La terre latéritique présente un bon comportement à la stabilisation, mais ne détient pas une forte cohésion.



Prélèvement 5 : terre de potier Gandigal

Terre argileuse utilisée pour faire de la poterie. Elle est prélevée à proximité de l'atelier de l'entreprise Elementerre. Nous n'avons pas d'information sur les modes d'extractions et les réserves disponibles.

Analyse visuelle :

Terre très argileuse, légèrement limoneuse. Elle ne présente pas de gros grains.

L'argile de potier peut présenter un vrai potentiel pour être amalgamée à de la fibre de Typha.

Elle présente une bonne cohésion.

Analyse d'échantillons

Certains échantillons (figure ci-dessous) ayant été prélevés lors de notre mission au Sénégal ont fait l'objet d'analyses au laboratoire CRAterre par Alba Rivero Olmos, Franz Volhard et Etienne Samin. Les résultats détaillés de ces analyses se trouvent en annexe.



Echantillon 1 : latérite de Sindia



Echantillon 2 : argile fournie par Elementerre



Echantillon 3 : morceau d'adobe de Richard Toll



Echantillon 4 : échantillon d'argile – très cohésive prélevée dans la région de Saint-Louis 2014

Ci-dessus : quatre échantillons de terre analysés au laboratoire CRAterre. Crédits : Alba Rivero Olmos, CRAterre, 2014.

Les résultats les plus intéressants se trouvent au niveau de l'argile de l'échantillon 2 et de l'échantillon 4, qui possèdent une très forte cohésion au test du huit (figure ci-dessous). Elles atteignent 500 g/cm² de résistance à la traction (valeur bien au-delà du seuil maximal de cohésion des argiles, d'après la classification de Franz Volhard dans Lehmbau Regeln, 2009).



Ci-dessus : test de cohésion : « test du huit » effectué sur les échantillons de terre prélevés au Sénégal. Crédits : Franz Volhard, 2014.

4.3 Ciments

Le marché du ciment au Sénégal est principalement partagé entre la SOCOCIM, les Ciments du Sahel et Dangote cement. Elles sont toutes les trois installées dans la région de Dakar et distribuent le ciment dans tout le pays. Le prix du ciment varie en fonction de l'éloignement de la capitale. Il reste relativement peu coûteux comparé aux autres pays de l'Afrique de l'Ouest.

4.4 Chaux et plâtre

Les chaux et plâtres utilisés dans la construction sont importés. Il existait autrefois des usines de chaux, qui par la suite ont été fermées suite à leur rachat par les compagnies cimentières.

Certains entrepreneurs dans l'élaboration de matériaux de construction sont toutefois intéressés pour produire de la chaux.

4.5 Agrégats : sables et graviers

4.5.1 Sable de dune et sable de plage

Le sable de plage massivement utilisé dans la construction pour la fabrication de bétons et de mortier, a fait l'objet de sévères restrictions étatiques, à cause de la dégradation du littoral induit par l'exploitation des carrières. De surcroît, le sel contenu dans le sable de plage provoque la corrosion des aciers à béton dans les ouvrages ou affecte les mortiers et les bétons qui se désagrègent plus facilement.

Le sable de dune, bien que moins apprécié que le sable de plage est aussi utilisé dans les bâtiments. On le trouve dans les régions de Dakar et de Thiès. Le prix du sable de plage ayant considérablement augmenté du fait des restrictions de l'Etat, le sable de dune constitue une alternative moins coûteuse. De plus, « *le sable de dune justifie, à l'épreuve des essais traditionnels, des caractéristiques de performance adéquates pour son utilisation comme sable à béton ou dans les mortiers. [...] il peut se substituer au sable de plage. [...] Le béton de sable de dune supporte bien les intempéries. En vieillissant, il devient plus résistant et ne peut être détérioré par l'eau. Autre avantage, la fabrication du béton de sable de dune ne nécessite ni matériel lourd, ni personnel hautement qualifié* ».

Cependant la surexploitation des deux types de sable sont ou pourraient être à court ou moyen terme la cause de dommages environnementaux (dégradation du littoral, destruction des massifs sableux) : des recherches vont ainsi porter « sur un matériau de substitution comme le sable de carrière ou sable de concassage » (source : ONU-Habitat).

4.5.2 Graviers

Des carrières de grès se trouvent dans les régions de Thiès et de Tambacounda : « 1 500 000 tonnes sont produites à Toglou et 3 000 000 de tonnes à Mbang, selon la Direction des mines et de la géologie [...]. La zone de Taïba dans la région de Thiès regorge d'importants gisements de silex » (ONU-Habitat).

4.6 Autres pistes de liants et d'adjuvants pour des produits typha-terre

4.6.1 Gomme arabique

« *La gomme arabique est une exsudation de sève solidifiée obtenue par la saignée du tronc et des rameaux d'Acacia senegal ou A. seyal [...]. Sa remarquable solubilité, associée à une faible viscosité dans l'eau, lui confère de précieuses propriétés émulsifiantes, stabilisantes, épaississantes et de fixation [...]. C'est un produit demandé tant dans les pays producteurs que sur le marché international* ». Elle est essentiellement produite dans 17 pays dont le Sénégal [...]. 60 pour cent seulement de la demande mondiale est actuellement satisfaite » (FAO, 2010).

Utilisation actuelle de la gomme arabique

Aujourd'hui la gomme arabique est surtout utilisée en Europe :

- Pour coller les étiquettes, enveloppes ou timbres
- Comme émulsifiant

En Afrique saharienne, on l'utilise comme :

- Friandise
- Agent de solidification et de brillance dans les textiles
- Soins pour le traitement de la peau
- Agent d'imperméabilité des toitures

Utilisation potentielle de la gomme arabique dans les produits à base de terre-typha

La gomme arabique pourrait être utilisée pour l'imperméabilisation des enduits terre-typha.

4.6.2 Rhizome de typha

Propriétés du rhizome

Le rhizome comporte de l'amidon et de la fibre. Pour le liant, c'est l'amidon qui nous intéresse. Il représente 30% du rhizome. Il « *peut être extrait par un procédé non-polluant et joue un rôle dans la fabrication [...] de colles pour la production de matériaux appelés paillis de typha (couche destinée à préserver l'humidité du sol [...]) et de pellets de charbon* » (PNEEB/typha, Capitalisation des résultats de recherches et expériences sur le typha, 2014).



Ci-dessus : neem

Utilisation potentielle du rhizome dans les produits à base de terre-typha

Ajouté aux mélanges terre-typha, l'amidon contenu dans le rhizome de typha pourrait potentiellement :

- augmenter la résistance mécanique de produits à base de terre et de typha,
- augmenter leur imperméabilité,
- augmenter la cohésion pour lier les fibres et donc diminuer la quantité d'argile à mettre. Cela pourrait permettre d'avoir des produits moins denses et donc plus isolants (moins un matériau est dense et plus sa résistance thermique augmente – ou plus sa conductivité thermique diminue-),
- faciliter le malaxage et l'étalement des mélanges terre-typha, pour la mise en œuvre. En effet, lorsqu'on ajoute des colles naturelles telles que la cellulose dans les enduits, cela facilite leur mise en œuvre.

D'après le rapport de *Capitalisation des résultats de recherches et expériences sur le typha* (PNEEB/typha, 2014), il est intéressant d'utiliser le rhizome pour débarrasser les voies d'eau et les canaux de l'invasion du typha : il faut le couper régulièrement, sinon celui-ci s'implante en profondeur.

4.6.3 Répulsif termites : neem

Le neem est un arbre présent dans tout le Sénégal, aussi bien en zones urbaines et rurales : « il est planté traditionnellement par les populations locales pour son ombre et pour fournir du bois de chauffage. Son développement a bénéficié d'un programme de plantation du Département des forêts sénégalais ». Sa fructification a lieu en mars/avril et en juillet/août. On estime à 50 kg, la moyenne de fruits pouvant être récoltée sur un arbre par an. Cet arbre pousse sur des sols bien drainés, sableux, ce qui est le cas dans de nombreuses zones du Sénégal.

Utilisation actuelle et propriétés du neem

Parmi ses nombreuses propriétés, les extraits de neem ont largement été étudiés pour leurs propriétés insecticides. Le tableau ci-dessous, montre que l'utilisation du neem en tant que pesticide se fait à travers la graine, l'huile et le tourteau. En Afrique le neem est surtout utilisé pour ses graines et ses feuilles.

Utilisation potentielle du neem dans les produits à base de terre-typha

Pour faire face à un éventuel problème de dégradation des matériaux à base de terre/typha par des termites, nous avons identifié le neem comme répulsif naturel issu d'une ressource locale. Cependant, la nécessité

d'un répulsif contre les termites au Sénégal, pour l'utilisation de produits à base de terre et de typha reste encore à vérifier.

Partie ou produit de l'arbre	Usages potentiels
Fruit	Production d'huile, nourriture (pulpe) pour l'homme et surtout pour certains oiseaux, médecine etc.
Graine	Production d'huile, matière première pour la production de pesticides naturels commerciaux, protection des plantes, protection des stocks de graines, médecine, etc.
Huile	Production de savons, matière première pour la production de pesticides naturels, cosmétique, protection des plantes et des stocks, médecine, soins animaliers, huiles de graissages pour moteurs, etc.
Tourteau	Phytopharmaceutique, matières premières pour la production de pesticides naturels, additifs pour le sol, engrais, alimentation et hygiène animale, etc.
Feuilles	Médecine, cosmétique, ombre, protections des plantes et stocks, soins animaliers, etc.
Bois	Bois de chauffage, production de charbon, matériau de construction, meuble, etc.
Ecorces	Hygiène dentaire, médecine, cosmétique, etc.
Racines	Médecine, etc.

Ci-dessus : utilisations potentielles des différentes parties de l'arbre de neem (Faye, 2010).

Bibliographie de référence

ONU-Habitat, *Profil du secteur du logement au Sénégal*, 2012, Nairobi, Kenya

PNEEB/Typha, Document de projet, Transfert de technologie : production de matériaux d'isolation thermique à base de Typha au Sénégal, 2014.

PNEEB/Typha, République du Sénégal, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés, *Capitalisation des résultats de recherches et expériences sur le typha*, 2014.

FAO, *Lignes directrices pour la gestion durable des forêts en zones arides d'Afrique subsaharienne*, 2010.

Mamadou Faye, Thèse : *Nouveau procédé de fractionnement de la graine de neem (azadirachta indica A.Juss.) sénégalais : production d'un bio-pesticide d'huile et de tourteau*, 2010.

D. SOW, S. GAYE, M. ADJ and D. AZILINON, *Valorization of Agricultural Wastes by their Integration in Construction Materials: Application to Rice Straw*, Proceeding of AMSE International Conference MS'09, Trivandrum, India, 1- 3 December 2009, pp 314 -347 - ISBN: 978-84-8384-050- 4, Legal Deposit: PM 993-2008

Etude de marché afin de proposer des solutions économiquement accessibles

5.1 Eléments pour l'estimation du coût de produits isolants à base de terre et de typha

Estimation du coût de produits terre-typha

Une brique de dimensions 30 x 20 x 10 cm est estimée à :

- **65 CFA (+/-10% de marge d'erreur)** si elle est produite et vendue dans la région de Saint-Louis
- **90 CFA (+/- 10% de marge d'erreur)** si elle est produite et vendue dans la région de Dakar

Ainsi produire les matériaux à base de Typha et de terre à Dakar coûterait 1,5 fois plus cher que de les produire et de les vendre à Saint-Louis. Cela s'explique bien évidemment par le coût du **transport du typha de Saint-Louis à Dakar**.

Notons qu'il sera intéressant d'étudier la possibilité de produire les matériaux à Saint-Louis et de les vendre à Dakar, en comparaison avec une vente et une production à Dakar (une brique prend moins de volume que le typha seul servant à produire une brique).

Données

Coût matières premières

- Tonne de Typha sec importé en camion de Saint-Louis à Dakar : 39 300 CFA
- Tonne de Typha vendu à Saint-Louis : 5000 CFA
- m³ d'argile de Sindia (proche Dakar) : 5625 CFA

Coût de la main d'œuvre

- on estime à 3000 CFA, le coût d'une journée de travail d'un manoeuvre
- on estime à 1000 briques la production de 5 ouvriers en un jour

La production de matériaux à base de terre et de typha doit prendre en compte les étapes suivantes :

- tri des feuilles et des tiges de typha
- broyage du typha
- pulvérisation de l'argile
- tamisage de l'argile
- préparation de la barbotine
- préparation du mélange terre-typha
- repos du mélange
- moulage
- séchage
- stockage

Coût d'amortissement des machines

- pour 1000 briques on estime environ à 10 000 CFA le coût d'amortissement des machines

Pourcentage de bénéfices

- estimé à 30%

5.2 Économie d'énergie et réduction des émissions de CO₂

L'utilisation de matériaux à base de fibres végétales présente un intérêt écologique majeur dans le cadre de solutions d'isolations pour la construction, à la fois en terme d'amélioration du confort intérieur pour les constructions mais aussi en terme d'économie d'énergie « d'usage » en diminuant les consommations pour les bâtiments équipés de climatisation.

Une analyse sur la réduction des émissions de CO₂ réalisée grâce à l'isolation de bâtiments climatisés via l'utilisation de matériaux isolants à base de typha a été effectuée et est détaillée dans le document de projet PNEEB/Typha en annexe 2.

A titre d'exemple, la réhabilitation d'un bâtiment administratif, utilisant 100 climatiseurs de type RAC, avec une consommation électrique de 0,7 kilowattheures chacun, ayant 1000 heures d'utilisation par an, avec des isolants à base de typha qui auraient un impact de 30% sur la consommation d'énergie, représenterait une réduction de **14,7 tonnes de CO₂ par an**, si l'on considère que selon le mix électrique sénégalais (soit 90% diesel, 10% hydroélectricité), un mégawattheure consommé correspond à 0,7 tonnes de CO₂ émis.

Le développement de ce type de matériaux, qui utilisent peu de liant hydraulique, donc ne nécessitant pas de cuisson, et des ressources disponibles localement, présente également un intérêt écologique en terme de réduction des consommations d'énergies et d'émission de CO₂ en phase de production, de mise en œuvre et de recyclage en fin de vie. Ceci est particulièrement intéressant dans le cas d'une utilisation en substitution de matériaux d'isolation importée.

C'est également le cas pour des solutions constructives qui, sans avoir recours à proprement parler à des systèmes d'isolation, utiliseraient des matériaux de substitution aux matériaux existants tout en améliorant leurs propriétés d'isolation thermique.

C'est pourquoi les pistes de développement de solutions utilisant des blocs de typha-terre en remplacement des agglomérés de béton de remplissage pour les murs, et des solutions de hourdis typha-terre en remplacement des hourdis en agglomérés de béton dans des solutions de planchers et toitures en poutrelles – hourdis - dalle de compressions, nous semblent très pertinentes.

Nous avons fait un comparatif de ces solutions basé sur une estimation sommaire des énergies consommées et des quantités de CO₂ émises pour chacune des solutions.

Nous nous plaçons dans le cas d'une production de matériaux située dans la région de Dakar. Seul l'impact de la production du matériau est évalué.

	par élément		par m ²		pour 1 logement 100 m ² de plancher / 120m ² de mur	
	Energie (MJ)	CO2 (kg eqCO2)	Energie (MJ)	CO2 (kg eqCO2)	Energie (MJ)	CO2 (kg eqCO2)
Mur de remplissage						
aggloméré de béton / parpaing "tapé" dimension H20 40x15x20 (h) cm	18,0	2,4	225,5	30,1	27 061	3 608
bloc typha-terre dimension 40 x 20 x 10 (h) cm	3,7	0,3	93,5	7,0	11 222	841
Gains (hors stockage CO2 pour fibre)					15 839	2 767
Plancher poutrelles/hourdis/dalle						
hourdis aggloméré de béton /industrie dimension H20 52x20x20	16,2	2,2	156,0	20,8	15 603	2 080
bloc typha-terre dimension H20 520x10x20	3,6	0,3	70,1	5,3	7 014	526
Gains (hors stockage CO2 pour fibre)					8 589	1 555
Gains Total (hors stockage CO2 pour fibre)					24 428	4 322
équivalent en Km parcourus pour véhicule type clio 5l/100km					14 370	34 929

L'énergie consommée et la quantité de CO₂ pour la production des produits terre-typha correspond uniquement au transport du typha de Saint-Louis à Dakar.

L'énergie consommée pour la production des produits en béton correspond uniquement à la fabrication du ciment.

La distance de transport des autres matières premières (sable, gravier ou terre), est considérée comme équivalente, les ressources étant globalement localisées dans la même zone.

5.3 Pistes de matériaux à développer

5.3.1 Critères fondamentaux

Compte tenu du contexte social, environnemental, culturel et économique local que nous avons pu analyser, pour s'assurer d'un maximum de pertinence des matériaux et systèmes constructifs qui seront développés, nous nous assurerons que les matériaux et systèmes constructifs retenus remplissent les critères fondamentaux suivants (détaillés par des sous-critères) sélectionnés et complétés à partir de l'outil SHERPA (GNSH – Global Network for Sustainable Housing, 2014). Ils sont accompagnés de leviers d'actions.

5.3.2 Dimension environnementale

Critères	Éléments contextuels et leviers d'action
EN3/ Produits adaptés à l'environnement local	Dakar : Fort ensoleillement, atmosphère humide pendant l'hivernage
EN2/ Limiter les émissions de CO₂ et la pollution	Analyse type « ACV - qualitative » avec les distances de transport, « l'énergie grise », captage de CO ₂ (utilisation d'un végétal), la consommation d'eau, la production de déchets

5.3.3 Dimension culturelle

Critères	Éléments contextuels et leviers d'action
CU1/Confort et bien-être a) Confort hygrothermique (tables de Mahonney) b) Acceptabilité socio-culturelle	a) Combinaison avec conception bioclimatique (protection solaire, ventilation naturelle, ombrage) et apport d'inertie et d'isolation. b) Aspect du matériau : finition travaillée. Confiance vis-à-vis de la tenue du matériau (résistance mécanique, résistance à l'humidité, etc.)
CU2/ Respect et valorisation du patrimoine culturel matériel et immatériel	Se baser sur les savoir-faire existant : Tressage de nattes de typha, toitures en chaume de typha, briques de terre comprimées, blocs de terre moulés (du même type que blocs de ciment), prendre en compte l'identité architecturale locale.

5.3.4 Dimension sociale

Critères	Éléments contextuels et leviers d'action
SO1/ Réponse à des besoins locaux identifiés (qui diffèrent selon les parties prenantes)	Pour les hôtels et bâtiments administratifs, limiter l'utilisation de climatiseurs en isolant et en promouvant une stratégie bioclimatique de conception des bâtiments (protections solaires, orientation, ventilation naturelle, végétation, etc.) Proposer des matériaux offrant une bonne résistance mécanique et peu d'entretien : tests techniques Certains hôtels souhaitent avoir des nattes de typha pour donner une apparence pittoresque Pour bâtiments résidentiels, principalement les maisons, permettre une évolutivité Permettre l'intégration des fluides (électricité, etc.)^[c2]
SO2/ Sécurité et santé des exploitants, producteurs, artisans, usagers.	<i>Exploitant</i> Equiper les récolteurs et récolteuses de typha (bottes, gants) contre les risques de bilhardioze Equiper les producteurs de masques pour le broyage du typha <i>Usagers</i> Limiter les risques de moisissures Résistance mécanique pour les éléments structurels, résistance aux termites, résistance au feu
SO3/ Reproductibilité	Formation de producteurs de matériaux, rédaction d'un guide des solutions constructives et de leur mise en œuvre Maintenance des machines et outils : utilisation de machines et d'outils disponibles ou adaptables et réparables localement pour la production et la mise en œuvre des produits terre-typha S'assurer de la disponibilité locale des savoir-faire techniques Se baser sur les savoir-faire existant Permettre une certaine facilité de mise en œuvre sur chantier

5.3.5 Dimension économique

Critères	Éléments contextuels et leviers d'action
EC1/ Accessibilité économique : coût du matériau accessible à la vente, matériau ne représentant pas un surcoût important, économie d'énergie en phase d'usage du bâtiment	Prix d'exploitation des matières premières (récolte typha, extraction terres, etc.) Proposer des produits demandant un temps raisonnable de production artisanale Transport (limiter le transport, prix de l'essence élevé) Limiter l'usage de matériaux importés Matériau de substitution ou de second-œuvre avec coût compétitif par rapport à l'existant Limiter le coût de l'investissement initial pour une unité de production (outils, machines nécessaires) Economies d'énergie réalisées dans le cas de bâtiments utilisant des climatiseurs
EC2/ Soutenir l'économie locale	Renforcement des chaînes de production locales de l'exploitation à la mise en œuvre. Utilisation de matériaux locaux.
EC3/ Viabilité et maintenance	Formation de producteurs de matériaux, rédaction d'un guide des solutions constructives et de leur mise en œuvre Maintenance des machines et outils : utilisation de machines et d'outils disponibles et réparables localement pour la production et la mise en œuvre des produits terre-typha S'assurer de la disponibilité locale des savoir-faire techniques Se baser sur les savoir-faire existant Permettre une certaine aisance de production et de mise en œuvre sur chantier (maniabilité des panneaux ou des blocs terre-typha)

Au vue de ces critères, nous pensons approprié de poursuivre le développement de matériaux d'isolation à base de typha-terre vers les pistes suivantes de mise en œuvre :

- En toiture, comme un élément de charpente, de couverture, de plancher ou de toit-terrasse
- En murs, comme un élément de maçonnerie pour la réalisation de murs de remplissage ou de cloisons
- En isolation, verticale, horizontale ou en rampant, comme un élément en panneau, en rouleau, ou en vrac
- En finition intérieure/extérieure comme un enduit, un élément de doublage de mur ou de faux plafond
- En solution composite, mixant les différentes solutions (préférentiellement la solution isolation légère avec les autres pistes).

5.3.6 Pistes types de produits

Nous suggérons trois familles de pistes de matériaux, afin de répondre aux critères précédents :

- Des matériaux à base de typha uniquement
- Des matériaux à base de typha et de terre
- Des matériaux typha-composites

Ces propositions pourront faire l'objet d'une évaluation plus approfondie avec les partenaires du projet à travers les critères proposées afin de dresser une liste des produits répondant le mieux aux critères.

5.3.6.1 Produits à base de typha seul

Nattes de roseaux Ce matériau est déjà produit par les femmes des villages à proximité de la zone du Typha, ces nattes pourraient être mieux valorisées dans la construction en tant qu'absorbeur thermique en sous toiture.	Nattes de roseau épaisses isolantes Réalisé avec les tiges de Typha les panneaux épais de roseaux (5 à 10 cm) pourraient être facilement produits par les femmes des villages. Ce matériau pourrait être utilisé en sous toiture pour absorber et isoler du rayonnement solaire, ou en doublage de mur. La protection de ce produit aux insectes reste à explorer.
Trame de roseau support d'enduit Des nattes plus espacées réalisées avec la tige du roseau pourraient être faites pour servir de support d'enduit. Les femmes des villages pourraient facilement proposer cette alternative. Cependant, les débouchés semblent peu importants.	Chaume de Typha Le chaume de Typha représente un réel potentiel pour l'utilisation de la ressource Typha. Il permet à la fois de traiter l'étanchéité seulement avec du roseau, et permet de protéger la toiture du rayonnement solaire. Son utilisation dépendra de la longévité de la toiture.
Tuiles de chaume de Typha Le chaume de Typha pourrait être envisagé comme des petits panneaux préfabriqués afin de remplacer des tôles ondulées (vérification de la faisabilité technique).	Panneaux en laine de Typha isolant À la manière des laines de bois le roseau typha peut produire des fibres fines afin de faire un panneau isolant. Plusieurs pistes sont à explorer pour la mise en œuvre : — Le rhizome pourrait être utilisé afin d'obtenir une colle naturelle (forte proportion d'amidon) — À la manière des panneaux de laine de bois, le Typha pourrait tout simplement être pressé à chaud. Des essais ont déjà été réalisés dans ce sens par l'entreprise Naporo.
Cardage Vérifier si le Typha vert peut être cardé pour obtention de filasses. Nous n'avons pas encore repéré d'usage spécifique de filasse.	Matériaux en vrac isolant Le typha peut être broyé et mis-en vrac pour isoler des combles ou un mur. Il faut cependant vérifier le traitement nécessaire, pour protéger la fibre des moisissures ainsi que des insectes et rongeurs.

5.3.6.2 Produits à base de typha et de terre

Blocs isolants Les blocs de Typha terre présentent un véritable potentiel en remplissage d'ossature béton ou en doublage de murs. Plusieurs points sont à développer : — Proportion de terre — Différentes tailles de fibres dans le mélange — Différentes dimensions de blocs pour répondre au remplissage ou doublage — Différents modes de production : moulé, compressé, extrudé, coulé	Hourdis Selon le développement des blocs de Typha terre, des hourdis de Typha terre pourraient être envisagés. Il faut cependant vérifier la faisabilité et la résistance du matériau. Les hourdis permettraient de pré-isoler les dalles de toiture-terrasse.
Plaques de faux plafond Les plaques de faux plafond actuelles sont des plaques importées et qui sont très onéreuses. Il est possible de proposer une alternative en matériaux locaux moins coûteuse soit en utilisant les mêmes modes de fixations et en s'adaptant aux dimensions de 60x 60cm soit en développant un système propre de faux plafond.	Plaques de faux plafonds isolantes Des plaques de faux plafond pourraient intégrer un isolant, afin de limiter les surchauffes dues à la toiture.
Plaques de doublage (terre + tige + toile de jute) Des plaques de doublage typha terre pourraient être développées sur la base des produits Claytech. Ces panneaux serviraient à doubler des murs ou construire des cloisons afin d'apporter de l'inertie à l'intérieur du bâtiment. Le produit Claytech est produit de manière industrielle des pistes sur une production plus artisanale sont à développer.	Enduits Terre / Typha Des enduits peuvent être développés à base de terre et Typha afin de répondre à plusieurs besoins : — Enduit de finition Actuellement, des enduits importés à base de plâtre sont utilisés pour les finitions sur les murs en bloc-ciment, le développement d'un matériau local qui permettrait d'obtenir une finition satisfaisante en intérieur pourrait être pertinent. — Enduit d'amortissement thermique Un enduit très fibreux qui pourrait s'appliquer sur une bonne épaisseur permettrait de faire de l'amortissement thermique sur les parois présentant une faible résistance (bloc-ciment)

Torchis de typha Un matériau torchis Typha pourrait être envisagé dans l'habitat : il permettrait de compléter les petites constructions utilisant des roseaux. La limite de ce matériau concerne la ressource en bois peu accessible au Sénégal.	
--	--

5.3.6.3 Matériaux typha-composites

Tôle et absorbant thermique De nombreuses constructions utilisent de la tôle en toiture. Ce type de couverture est très sensible au rayonnement solaire. Les revendeurs pensent importer des tôles pré-isolées avec des mousses expansées, ces produits ne seraient pas accessibles. Le développement d'une alternative en matériaux locaux serait judicieux. La faisabilité technique reste à vérifier.	Bloc-ciment et remplissage Typha Les alvéoles des blocs-ciments peuvent être remplies avec de la terre mélangée au Typha afin de potentiellement améliorer la résistance thermique. Faisabilité technique et rentabilité à vérifier.
Super adobe (Terre Typha) Mode constructif qui permet de construire, quelle que soit la qualité de la terre. La technique consiste à remplir de grands sacs et les damer pour qu'ils se stabilisent.	

Conclusion

L'analyse contextuelle que nous avons pu réaliser à partir d'éléments bibliographiques, de références théoriques puis enfin au vu de la mission réalisée entre le 27 septembre et le 9 octobre 2014 ont permis de vérifier la pertinence du projet.

En effet, en prenant en compte le contexte économique, social, environnemental et culturel, et grâce à des confirmations lors d'échanges qui ont eu lieu en réunion ou sur le terrain, nous avons pu confirmer un intérêt pour le développement de systèmes constructifs à base de terre-typha ou de typha seul en vue de répondre aux objectifs suivants :

- Amélioration du confort thermique,
- Diminution des consommations d'énergie liées à l'utilisation de la climatisation via des matériaux de substitution, performants énergétiquement.

En effet, au-delà d'un potentiel de réponse technique, il apparaît qu'une demande se dessine au Sénégal, même si pour l'instant il s'agit plus d'une demande de type « publique » (administrations, écoles), ou pour des réalisations à vocation économique (bureaux, hôtels, bâtiments à usage de conservation réfrigérée,...).

Sur les bases et à partir de critères qui nous paraissent objectifs, des pistes de matériaux et systèmes constructifs ont été proposées, avec une sélection plus resserrée sur laquelle un travail plus approfondi est en cours :

- typha seul, pour la réalisation de panneaux d'isolation (toiture, plafond, murs, etc.)
- blocs de différentes densités pour maçonnerie de mur et de cloison (remplissage principalement en substitution des agglomérés de béton);
- panneaux de doublage pour isolation des murs de 6 et 10 cm d'épaisseur ;
- panneaux léger pour doublage en plafond ou en faux plafond, différentes épaisseurs suivant système de pose
- hourdis
- enduits de corps et de finition
- mortiers et colles pour la pose et l'assemblage de ces différents produits

Ces matériaux mis au point, des échantillons seront produits pour présentation lors de la prochaine étape du projet : la restitution à un public large, prévue pour la deuxième moitié du mois de février 2015.

C'est donc sur la base des réactions et intérêts spécifiques qui pourront être recueillis à l'occasion de cette restitution, et sur de premiers essais qui seront réalisés tout de suite après, in situ, que des choix plus précis seront réalisés, d'une part pour les types de produits et d'autre part, sur la ou les dimensions qui apparaîtront les plus pertinentes aux maîtres d'ouvrage et aux professionnels sénégalais.

C'est sur l'ensemble de ces retours que seront basés les futures explorations, l'affinement des modes de production et de mise en œuvre, qui feront l'objet des programmes de formation, des réalisations pilotes (prototype en France, pavillon de démonstration au Sénégal) et enfin, de la diffusion large d'une information technique sur les résultats concrets du projets (matériaux, usages, performances, ...).

Annexe : liste des prix de matériaux

Les prix varient en fonction du transport à réaliser. Le prix de l'essence et des véhicules est très élevé par rapport au niveau de vie moyen. Ainsi dans la liste si dessous on différenciera les prix en fonction du lieu de vente. Cette liste est issue de nos entretiens ainsi que d'études de marché antérieurement menées par Village Pilote sur la filière BTC et la COB sur la construction en terre.

Taux de change : 1 EUR = 657,89 XOF

Gasoil = 792 XOF/L

Main d'œuvre dans la région de Dakar :

- Maçon chef d'équipe = 7000 à 8000 XOF/Jour
- Maçon = 4000 à 5000 XOF/Jour
- Manœuvre = 2500 à 3500 XOF/Jour

Matières premières région de Dakar :

- Sac de ciment = 3200 à 3500 XOF/50kg
- Gravier Basalte = 18000 XOF/m³
- Gravier calcaire = 11000 XOF/t
- Sable de dune = 3700 XOF/m³
- Latérites (village pilote) = 4 375 XOF/m³ avec 15 à 20 % de pertes
- Latérites (Elementerre) = 2 187 XOF/m³
- Argile (transport inclus pour acheminement Elementerre) = 5625 XOF/m³
- Eau = 2500 XOF/m³

Matériaux région de Dakar :

La production est de 22 briques de 15 cm par sac de ciment.

- Bloc-ciment 15 cm (tapé au sable de dune) = 250 XFA/U
- Bloc-ciment 15 cm (qualité Europe) = 500 XFA/U
- Bloc-ciment vibré produit en atelier = 1000 XFA/U
- Tôle ondulée de toiture (2m x 0,7m) = 3300/U
- Bac alu zinc (largeur 0,9m utile) = 3750/ml (12m max)
- Adobe traditionnelle (36 /m²) = 25 XOF/U

Matériaux importés à Dakar :

BATIMAT :

Prix moyen avec accessoire (hors pause) :

- Placoplatre BA 13 = 11000 XOF/m² + TVA 18 %
- Faux plafond 60x 60 = 14000 XOF/m² + TVA 18 %

Matériaux seuls :

Produit	Dimensions/ Poids	Prix unitaire (XOF)	TVA
Laine de verre ISOVER	50 x 1200 x 12500 mm	43024,58	18%
Plaque Placoplatre BA 13 NF	120 x 250 mm	10169,49	18%
Faux plafond dalles micros per- forés	60 x 60 mm	7627,14	18%
Faux plafond dalles pleines	60 x 60 mm	8610	18%

Faux plafond dalles métalliques	60 x 60 mm	19680	18%
Sac enduit de finition plâtre 35 min 2 s	25 kg	28750	18%
Carrelage sol grés haut de gamme		11000 à 20000/ m ²	
WC		50000 à 200000	
Robinetterie douche		50000 à 125000	
Porte d'entrée		300000 à 500000	

Caoutchouc et Plastique :

Matériaux seuls et matériaux + pose :

Produit	Dimensions/ Poids	Prix unitaire (XOF)
Onduline	L 2mx l0.95m	7850 la tôle
Dalles de faux plafond micro perforé	60 x 60 mm	15360 /m2 pour la référence FERIA en fourniture et pose (base Dakar)
Plaque de plâtre BA13	L 2.6mx l1.20m	10650 en fourniture et pose (base Dakar)
Laine de verre	L 13.5mx l1.2m	30795 par rouleau
FESCO board isolation thermique sous chape	L 1.2mx l 0.6	17565 /m2
Étanchéité toiture-terrasse accessible en bicouche	25 kg	14210 /m2 en fourniture et pose (base Dakar)
Étanchéité toiture-terrasse non accessible en monocouche		10995 /m2 en fourniture et pose (base Dakar)
Enduit intérieur base plâtre		7510 /m2 en fourniture et pose (base Dakar)

BTC :

Les prix donnés sont pour un même bloc simple de 14cm x 20cm x 9,5cm stabilisés à 8 % de ciment
On fait environ 300 blocs/1m³ de latérite (source : Etude de marché sur le BTC, Village Pilote 2014).

	Village Pilote	MY API Lodge	Elementerre	Mbaye Diagne Seck	Moyenne
Prix bloc BTC moyen (XOF)	225	220	200 à 280 En fonction de la quantité achetée	350	250
Prix au m ² de mur					8930

Typha :

- Camion de 10 tonnes d'une capacité de 10 tonnes de Typha sec venant de Saint-Louis à Dakar = 393 000 XOF soit 39 300 XOF/T
- Botte de 5kg de typha sec = environ 2000 XOF

Matériaux région de st Louis :

- Natte feuilles de Typha (2mx3, 5m) = 2800 XOF/natte
- Typha sec = 5000 XOF /t
- Sac de ciment = 6000XOF/50kg

Bibliographie de référence :

Etude de marché sur le BTC, Village Pilote, 2014, Sénégal.

Annexe : essais de caractérisation des échantillons de terre prélevés au Sénégal, effectués au laboratoire CRAterre

ESSAIS D'IDENTIFICATION DE LA MATIÈRE PREMIERE

Projet: PNEEB/TYPHA. Production de matériaux d'isolation thermique à base de Typha.

PROVENANCE : République de Sénégal

ÉCHANTILLONS : Deux échantillons de terre
Un échantillon d'adobe

Responsable de Projet : Thierry JOFFROY
Responsable de Laboratoire: Alba RIVERO OLMOS



Analyse de matériaux d'une maçonnerie en terre du fossé du Fort Saint Sébastien de Saint-Germain-en-Laye

Introduction

Par une série d'essais de laboratoire (d'ordre quantitatifs et qualitatifs) on obtient des résultats qui permettront de comprendre les caractéristiques spécifiques du sol et son comportement dans le mur, face aux conditions climatiques extrêmes, actions mécaniques, granulométrie, compacité, présence de matières organiques, présence d'éventuels stabilisants, sensibilité à l'eau, etc.

Échantillons reçus pour être analysés :

- Latérite de Chez Doudou Deme
- Argile de chez Doudou Deme
- Adobe de Richard Toll

Essais réalisés :

- 1- Analyses sensorielles
 - Toucher, Couleur, Odeur
 - Test de la pastille
 - Matières organiques
- 2- Analyses de laboratoire
 - Granulométrie
 - Sédimentométrie
 - Limites d'Atterberg
 - Bleu de méthylène
 - Rétraction linéaire



ANALYSES SENSORIELLES

ÉCHANTILLON :

Latérite de Chez Doudou Deme

Toucher

Au toucher cette terre est sèche et grenue ses grains sont rugueux, elle colle dans la main au contact de l'eau.

Couleur

Terre de couleur rouge vif.

Odeur

Au contact de l'eau, l'odeur est d'une terre propre.

Test de la pastille

Après séchage, la pastille est très facile à casser et friable ce qui est révélateur de la présence de sables et d'argiles non cohésif dans l'échantillon total. Pas de rétraction.

Matières organiques

Cet essai permet d'identifier la teneur en matières organiques d'un échantillon.

Dans le cas de notre échantillon, il n'y a pas présence de matières organiques.



ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :

Latérite de Chez Doudou Deme

Granulométrie Sédimentométrie

Un essai quantitatif qui permet de décrire la répartition des différentes classes granulométriques d'un sol.

f n°

Terre graveleuse

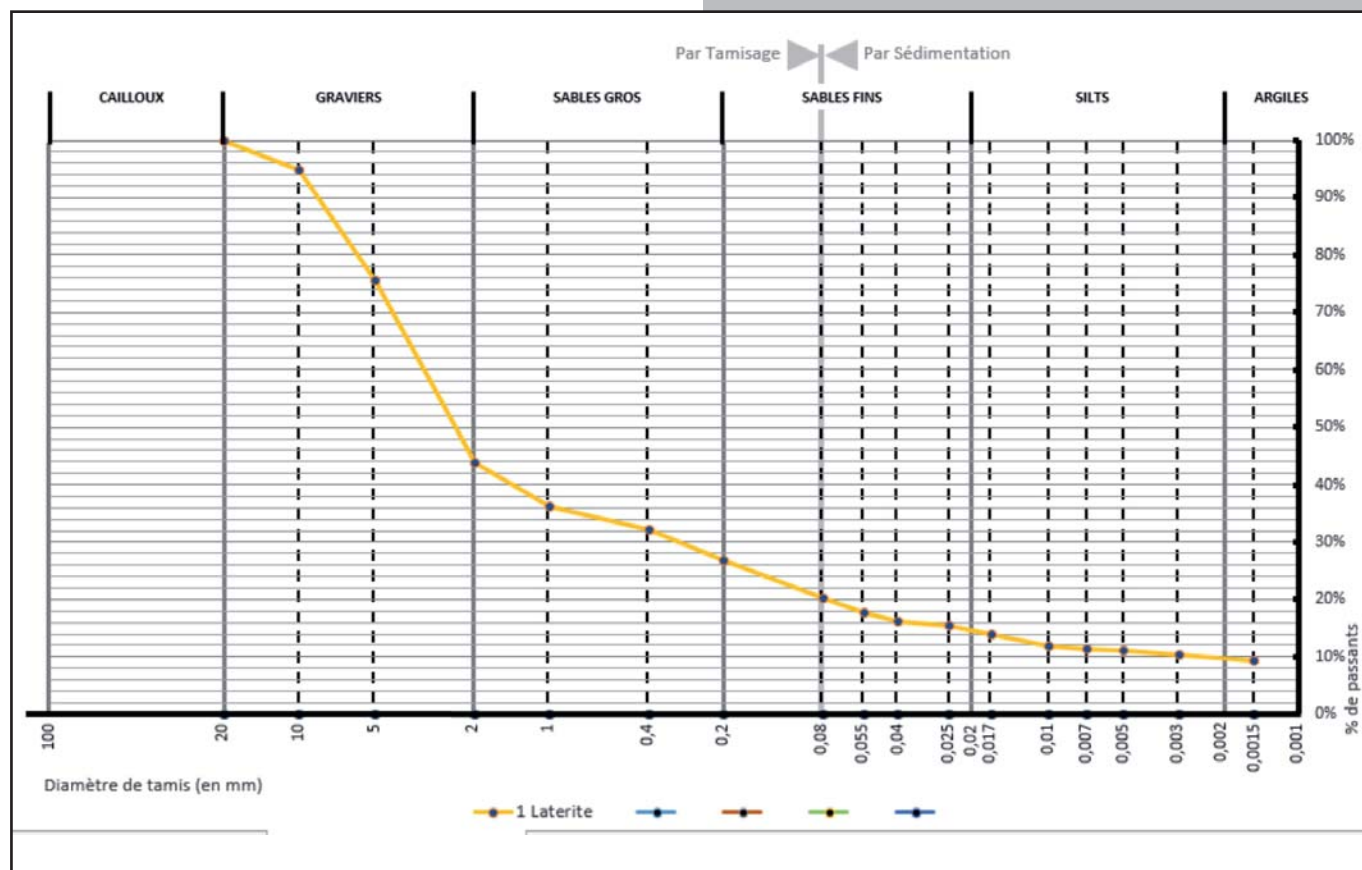
56 % graviers

29 % sables

5 % silts

10 % argiles

Passage de l'échantillon entre les tamis très facile.



ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :

Latérite de Chez Doudou Deme

Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance.

WL - limite de liquidité: Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.

Wp - limite de plasticité: Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

Ip - indice de plasticité: Différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol se trouve à l'état plastique,

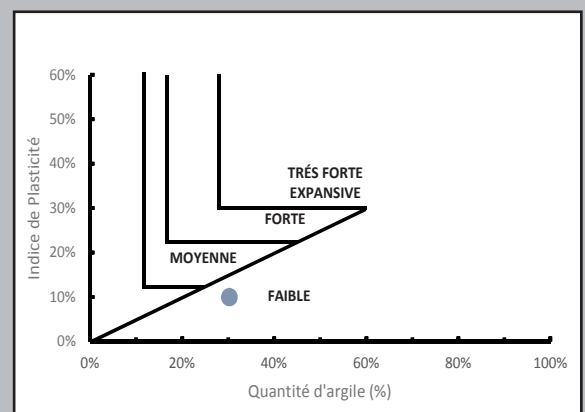
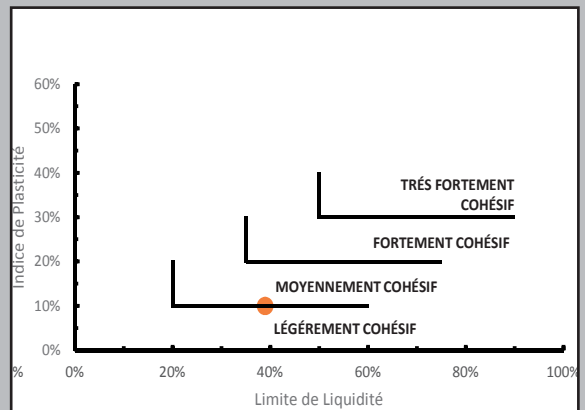
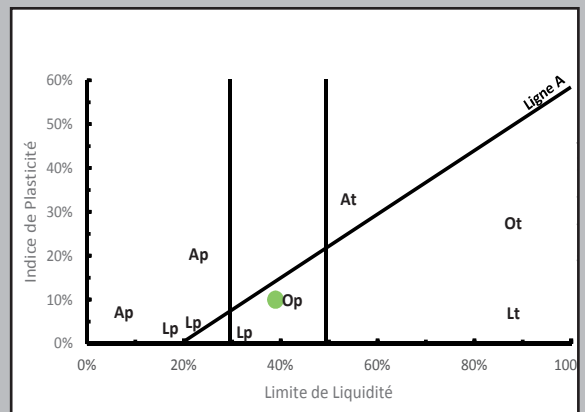
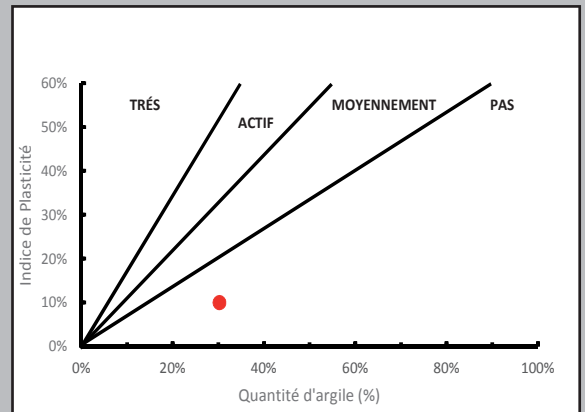
WL = 38.95 %

Wp = 28.98 %

IP = 9.97 % terre moyennement plastique.

Interprétations de résultats

- Légèrement cohésif
- Pas actif
- Faible expansivité
- Sol moyennement plastique

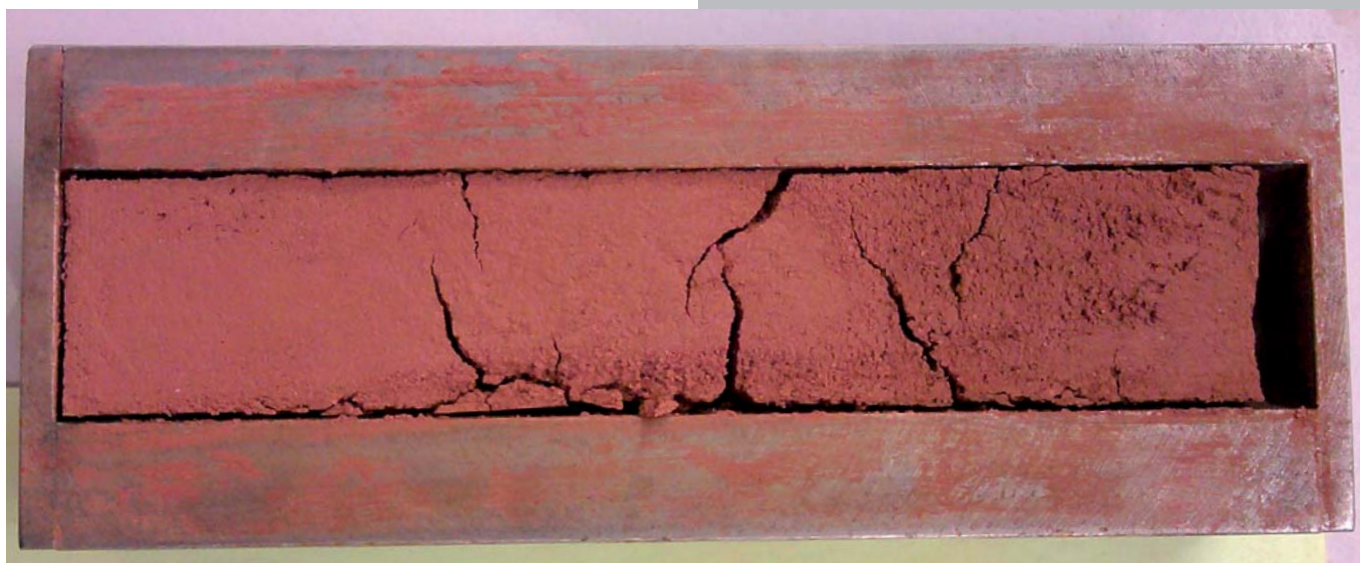


ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :
Latérite de Chez Doudou Deme

Rétraction linéaire

Retrait linéaire moyen, de l'ordre du 5%.



ANALYSES SENSORIELLES

ÉCHANTILLON :

Argile de chez Doudou Deme

Toucher

Au toucher ces échantillons de motte de terre sont très compacts et collants avec l'eau, les mottes grises sont très difficiles à désagréger avec les doigts. Au contact avec l'eau ces mottes augmentent de volume comme montre la photo à droite.

Couleur

Terre de couleur ocre claire avec quelques mottes de terre grise et certaines couches fines oranges.

Odeur

Au contact de l'eau l'odeur dégagée est d'une terre propre.

Test de la pastille

Après séchage la pastille est très difficile à casser, ce qui est révélateur de la présence d'argiles cohésives dans l'échantillon total. La rétraction est de l'ordre de 8%.

Matières organiques

Dans le cas de notre échantillon il n'y a pas présence de matières organiques.



ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :

Argile de chez Doudou Deme

Granulométrie Sédimentométrie

Un essai quantitatif qui permet de dé-
la répartition des différentes classes
granulométriques d'un sol.

f nir

Terre argileuse

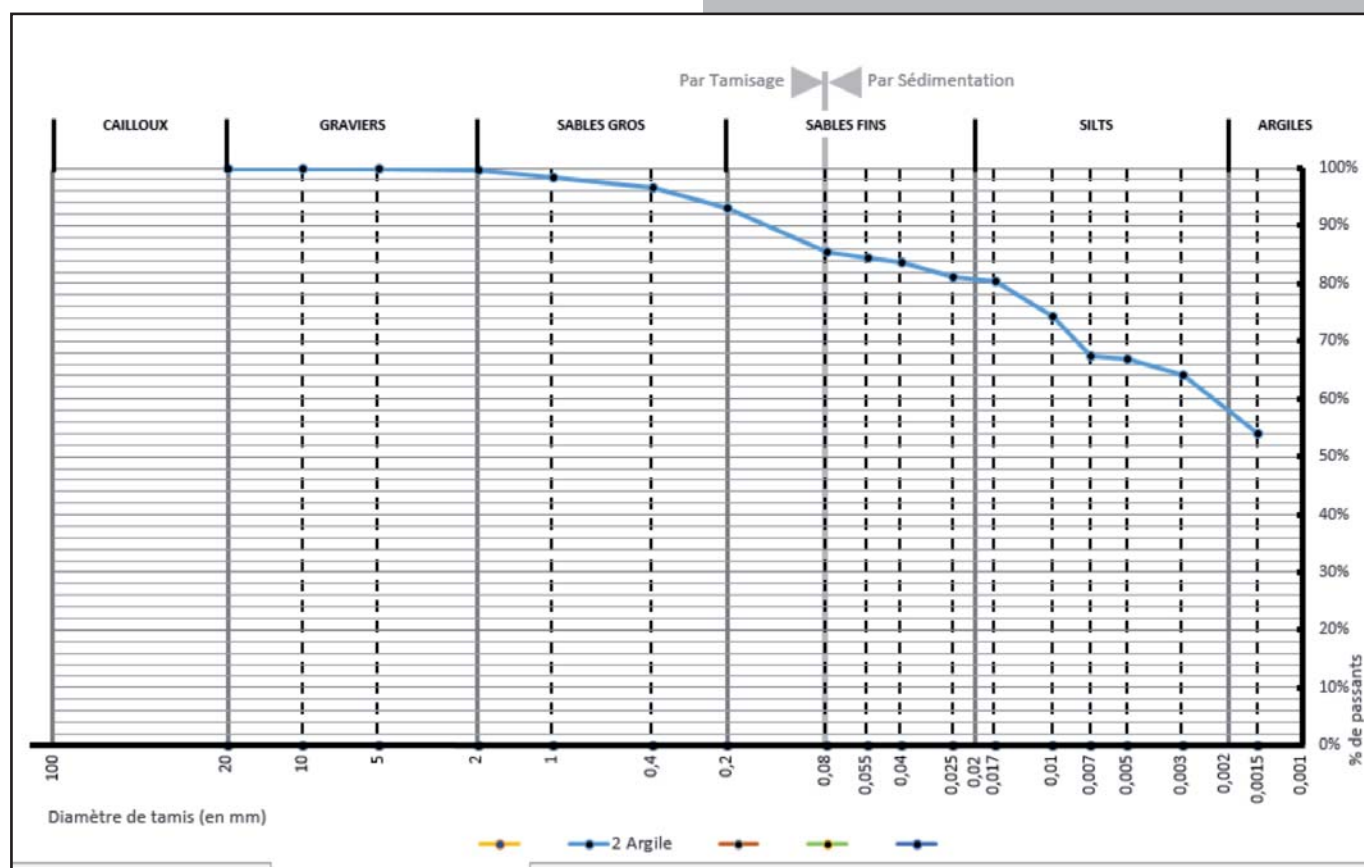
0 % graviers

19 % sables

23 % silts

58 % argiles

Passage de l'échantillon entre les tamis très
difficile.



ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :

Argile de chez Doudou Deme

Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance.

WL - limite de liquidité: Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.

Wp - limite de plasticité: Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

Ip - indice de plasticité: Différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol se trouve à l'état plastique,

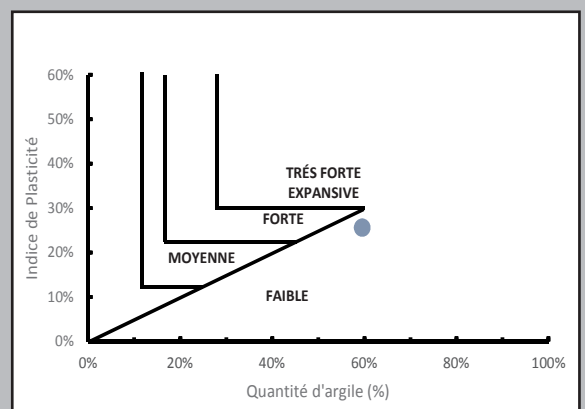
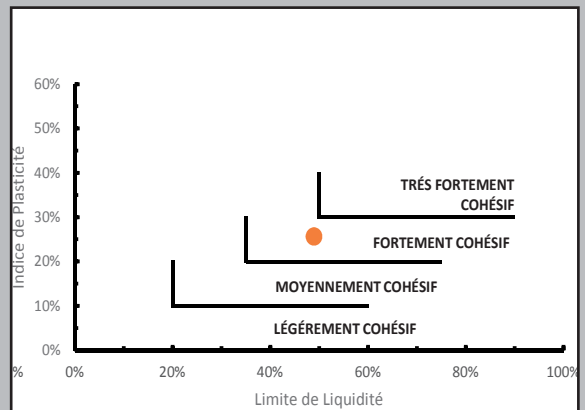
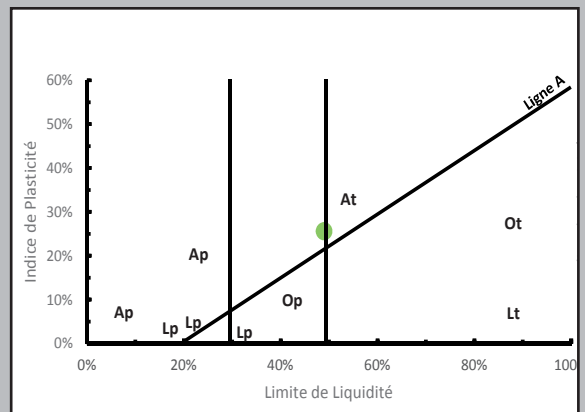
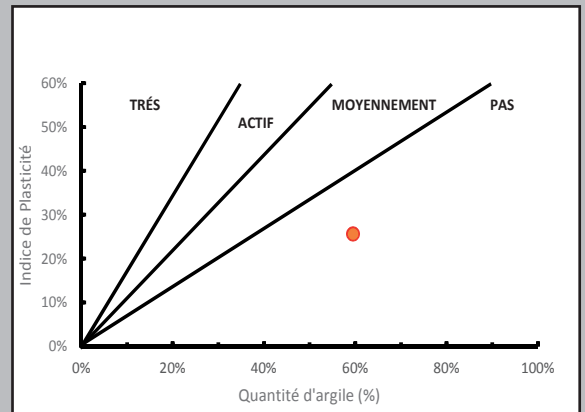
WL = 48.95 %

Wp = 23.31 %

IP = 25.64 % terre plastique.

Interprétations de résultats

- Fortement cohésif
- Pas actif
- Faible expansivité
- Sol plastique



ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :

Argile de chez Doudou Deme

Bleu de méthylène

Cet essai permet d'observer la quantité et l'activité des sols fins argileux qu'il contient. Cette activité étant en relation avec la surface spécifique des particules d'argile, l'essai consiste à mesurer la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par 100 g de ces particules.

L'échantillon analysé donne une valeur de surface spécifique totale de 148.4 m²/gr. Cette valeur ne rentre pas dans les valeurs indicatives connues de classifications des argiles. VBs = 8.37 apparition de la sensibilité à l'eau.

Ce sol est donc classé selon le synoptique GTR comme un sol de type :

- **A** Sols fins argileux

Rétraction linéaire

Retrait linéaire moyen, de l'ordre du **8%**.



ANALYSES SENSORIELLES

ÉCHANTILLON :

Adobe de Richard Toll

Toucher

Au toucher cette motte de terre est très compacte et difficile à désagréger.

Couleur

Terre de couleur marron.

Odeur

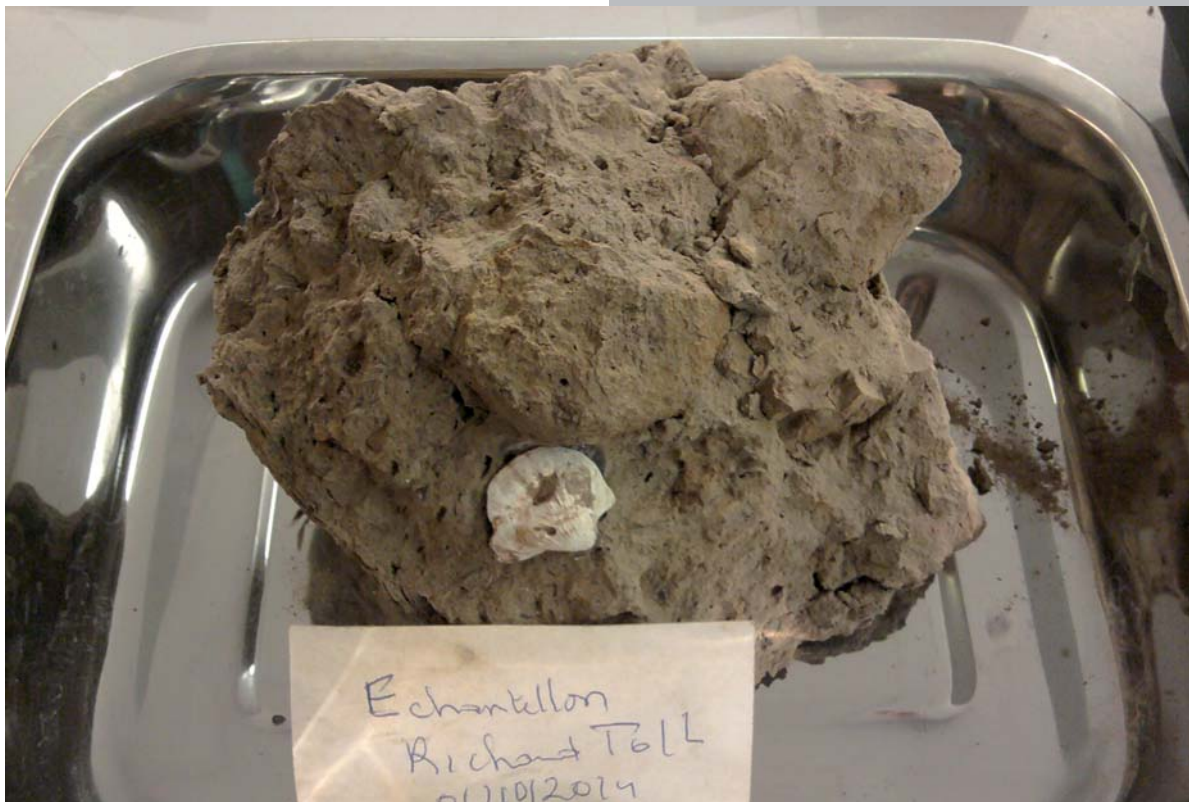
Au contact de l'eau l'odeur est d'une terre contenant du sel de mer.

Test de la pastille

Après séchage la pastille est très difficile à casser, ce qui est révélateur de la présence d'argiles cohésives dans l'échantillon total. La rétraction est de l'ordre de 1%.

Matières organiques

Dans le cas de notre échantillon il y a présence de matières organiques et coquillages de mer.



Echantillon
Richard Toll
01/10/2014

ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :
Adobe de Richard Toll

Granulométrie Sédimentométrie

Un essai quantitatif qui permet de déterminer la répartition des différentes classes granulométriques d'un sol.

Terre sableuse

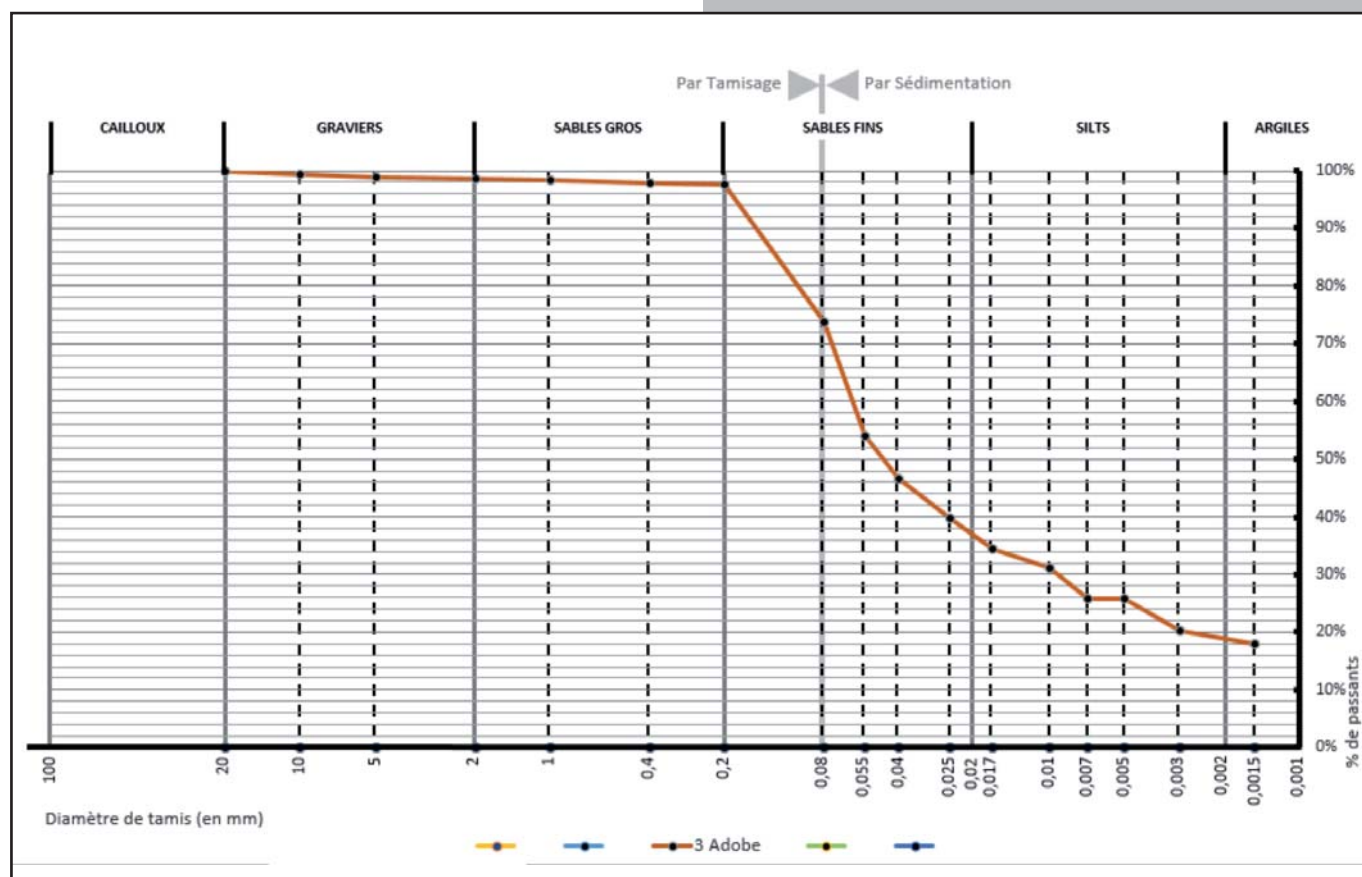
2 % graviers

61 % sables

18 % silts

19 % argiles

Le passage de l'échantillon entre les tamis est normal.



ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :
Adobe de Richard Toll

Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance.

WL - limite de liquidité: Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.

Wp - limite de plasticité: Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

Ip - indice de plasticité: Différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol se trouve à l'état plastique,

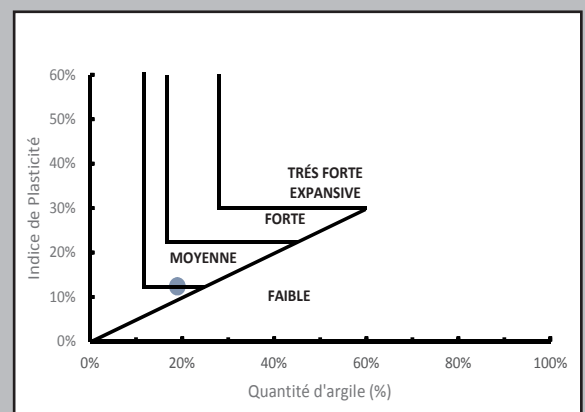
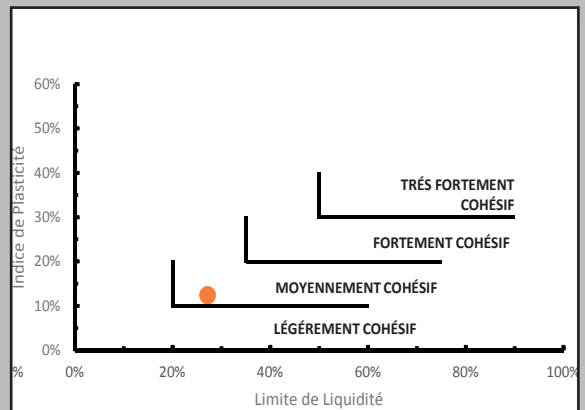
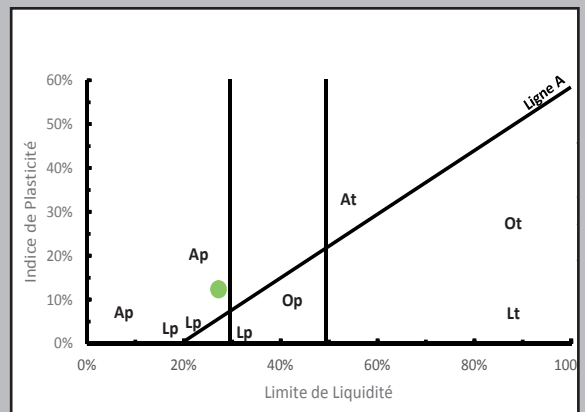
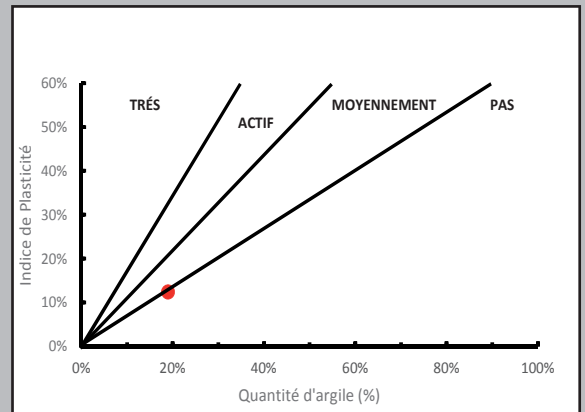
WL = 27.18 %

Wp = 14.78 %

IP = 12.41 % terre moyennement plastique.

Interprétations de résultats

- Moyennement cohésif
- Pas actif
- Pas expansif
- Sol moyennement plastique



ANALYSES DE LABORATOIRE

ÉCHANTILLON :
Adobe de Richard Toll

Rétraction linéaire

Retrait linéaire moyen, de l'ordre du 4%.



Operateur Alba Rivero

Date

Octobre 2014

