



HAL
open science

Mise au point d'un procédé de murs à joints verticaux secs et horizontaux évidés en agglomérés de sables continentaux/ciment : étude de la résistance à la stabilité

Cocou Luc Marius Chanhoun

► To cite this version:

Cocou Luc Marius Chanhoun. Mise au point d'un procédé de murs à joints verticaux secs et horizontaux évidés en agglomérés de sables continentaux/ciment : étude de la résistance à la stabilité. Architecture, aménagement de l'espace. 2008. dumas-00579861

HAL Id: dumas-00579861

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00579861v1>

Submitted on 17 May 2022

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

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

REPUBLIQUE DU BENIN

**CONSERVATOIRE NATIONAL
DES ARTS ET METIERS DE PARIS**
(ANTENNE DE COTONOU)

**MEMOIRE POUR LE DIPLOME D'INGENIEUR DE
CONCEPTION (MASTER) DU GENIE CIVIL**

**MISE AU POINT D'UN PROCEDE DE MURS A JOINTS
VERTICAUX SECS ET HORIZONTALS EVIDES EN
AGGLOMERES DE SABLES CONTINENTAUX/CIMENT :
ETUDE DE LA RESISTANCE A LA STABILITE**

Mémoire de recherche de C. Luc Marius CHANHOUN

SOUTENANCE LE 24 AVRIL 2008

Président du Jury : Francis GUILLEMARD

Professeur Titulaire de la Chaire de Travaux Publics et Bâtiments ;
CNAM Paris

Membres du Jury : 1- Victor GBAGUIDI

Coordonnateur Génie Civil CNAM Cotonou ;
Professeur Assistant à l'EPAC

2- Edmond ADJOVI

Ingénieur Ph.D en Génie Civil
Enseignant-chercheur à l'EPAC

3- Sylvain ADJAGBONI

Professionnel Indépendant

4-Eustache ALLODEHOU

Enseignant CNAM Cotonou

RESUME

Les besoins en construction de nouveaux logements conduisent souvent à l'extraction sauvage du sable sans égard ayant de lourdes conséquences écologiques. Aussi, lors de la construction des maisons, la durée des travaux influence considérablement non seulement les coûts mais également les nuisances générées par le chantier. Il est donc intéressant de projeter des ouvrages permettant une durée de construction aussi courte que possible.

Le procédé du mur à joints verticaux secs et horizontaux évidés en agglomérés de sables continentaux / ciment répond à ces besoins. Les agglomérés peuvent être préfabriqués en atelier avec des sables continentaux et assemblés dans les meilleurs délais sur le chantier.

Ainsi donc, basé sur des méthodes traditionnelles, le métier du maçon évolue progressivement sous la pression de nouvelles exigences normatives d'une part, et parce que de nouveaux systèmes constructifs s'imposent d'autre part. Le système de construction de mur à joints verticaux secs et horizontaux évidés en agglomérés de sables continentaux/ciment s'inscrit dans cette nouvelle génération de produits de construction dont la mise en œuvre est fondée sur la maçonnerie de blocs à emboîtement qui, nous le croyons, apportera une solution salubre aux questions de réduction de coût de gros œuvre et de la lutte contre l'érosion côtière. L'application du procédé nécessite la confection du mortier de ciment, la connaissance des propriétés physiques (% d'humus, % d'absorption, équivalence de sable, module de finesse), et la composition granulaire des sables continentaux des carrières recensées.

La technique de mise en œuvre des blocs est conforme aux mesures normatives spécifiées par le DTU 20.1.

L'assemblage des blocs à joints verticaux secs se différencie de la maçonnerie traditionnelle obtenue par hourdage des matériaux de même type. La réalisation des assises dont la planéité conditionne directement la qualité des murs, requiert un soin et une précision particulière.

MOTS CLES : Joint vertical sec, joint horizontal évidé, bloc de maçonnerie, emboîtement, résistance

KEYWORDS :dry vertical joint, hallowed out horizontal, block masonry, fighting, resistance

TABLE DES MATIERES	PAGES
RESUME	2
TABLE DES MATIERES	3
REMERCIEMENTS	6
1 INTRODUCTION	7
1.1 Contexte	7
1.2 Objectifs du travail	10
1.3 Démarches	11
2 LOCALISATION ET IDENTIFICATION DES SABLES CONTINENTAUX	
DU SUD BENIN	12
2.1 Quelques notions fondamentales sur les sables continentaux.....	12
2.1.1 Introduction.....	12
2.1.2 Définitions des sables continentaux.....	12
2.1.3 Techniques d'exploitation des sables continentaux.....	13
2.1.4 Identification des matériaux granulaires.....	14
2.1.5 Qualité des matériaux granulaires.....	14
2.1.5.1 Importance de la granulométrie.....	14
2.1.5.2 Classification des granulats.....	15
2.1.5.3 Caractéristiques physiques des granulats.....	15
2.2 Localisation des granulats du Sud Bénin.....	18
2.2.1 Cadre géographique des zones d'étude.....	18
2.2.2 Caractéristiques géomorphologiques et géologiques des zones d'étude.....	18
2.2.2.1 Unités géomorphologiques	18
2.2.2.2 Formations géologiques	18
2.2.2.3 Processus d'accumulation du sable	20
2.2.3 Gisements de sables exploitables dans la construction au Sud Bénin	21
2.2.3.1 Secteurs d'études	21
2.2.3.2 Travaux antérieurs	22
2.2.3.3 Travaux réalisés dans les différents secteurs	23
2.2.3.4 Difficultés rencontrées	29
2.2.4 Caractérisation des sables continentaux du Sud Bénin	29
2.2.4.1 Introduction	29

2.2.4.2 Description des essais	30
2.2.4.2.1 Analyse granulométrique par tamisage.....	30
2.2.4.2.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie.	35
2.2.4.2.3 Test d'humus.....	36
2.2.4.2.4 Equivalence de sable.....	37
2.2.4.2.5 Densité et Absorption.....	38
2.2.4.2.6 Densité Apparente.....	39
2.2.4.3 Résultats et commentaires.....	40
2.2.5 Propriétés essentielles du mélange Sable continental/Ciment	67
2.2.5.1 Définition du mortier.....	67
2.2.5.2 Composants du mortier.....	67
2.2.5.3 Essais sur les mortiers : Caractéristiques principales du mortier	69
2.2.5.3.1 Résistances mécaniques du mortier	70
2.2.5.3.2 Retrait et gonflement des mortiers	84
2.2.6 Amélioration de la granulométrie de sable fin (pour les agglomérés courants).....	88
2.2.7 Formulation de micro béton avec le sable grossier (pour les agglomérés coffrages).....	95
2.2.7.1 Facteurs influençant la résistance du micro-béton.	95
2.2.7.2 Formule de Feret.....	96
2.2.7.3 Formule de Bolomey.....	96
2.2.7.4 Formule de Dreux.....	97
2.2.7.4.1 Détermination des quantités de sable grossier et de sable fin.....	97
2.2.7.4.2 Formulation du micro béton	99

3 CONCEPTION ARCHITECTURALE DES MURS A JOINTS VERTICAUX SECS ET HORIZONTAUX EVIDES EN AGGLOMERES CREUX DE 15CM D'EPAISSEUR

3.1 Problématique.....	101
3.2 Généralités sur les maçonneries.....	101
3.2.1 Définitions.....	101
3.2.2 Historique de la maçonnerie	102
3.2.3 Différents types de maçonneries existantes	105
3.2.4 Fonctionnement, résistance et stabilité des maçonneries.....	106
3.2.5 Les murs.....	107
3.3 Mise au point d'un procédé de mur à joints verticaux secs et horizontaux évidés.....	108
3.3.1 Principe du mur et domaine d'emploi	108
3.3.2 Conception des parements et mise en œuvre des blocs spéciaux.....	109

3.4	Caractéristiques géométriques des agglomérés spéciaux.....	112
3.5	Schéma de pose des agglomérés spéciaux : Cas d'un bâtiment à trois pièces.....	112
4	ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE ET DE LA STABILITE DES MURS TRADITIONNELS ET A JOINTS VERTICAUX SECS	
4.1	Vocabulaire et Notation.....	114
4.1.1	Vocabulaire.....	114
4.1.2	Notation et Paramètres.....	114
4.2	Etude de la résistance des murs.....	115
4.2.1	Principes généraux.	115
4.2.2	Modalité de calcul des contraintes admissibles.....	116
4.2.3	Pression du vent sur les bâtiments.....	119
4.3	Stabilité des murs et des constructions.....	119
4.3.1	Les murs refends.....	119
4.3.2	Problème posé.....	121
4.4	Réalisation d'un prototype de bâtiment avec des agglomérés spéciaux	126
4.4.1	Conception des plans	126
4.4.2	Descente des charges	126
4.4.3	Vérification des contraintes dans les parois porteuses	127
5	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	129
	ANNEXES A et B (Pièces graphiques jointes).....	131
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	141
	CURRICULUM VITAE	143

REMMERCIEMENTS

Durant ce travail de mémoire d'ingénieur, de nombreuses personnes m'ont apporté un appui considérable par leurs remarques, leurs conseils ou encore leur soutien. Je tiens ici à les remercier.

Parmi ces personnes, je pense tout d'abord au Dr Edmond ADJOVI pour avoir su me guider dans ce travail, pour avoir encore et toujours posé les bonnes questions, pour ses conseils, son intérêt et sa grande disponibilité. Merci Professeur ! Mes remerciements vont également à Monsieur Syphrien LAADE du Laboratoire D'Essais et de Recherches en Génie Civil de l'Université d'Abomey Calavi pour les excellentes conditions de travail dans lesquelles il m'a permis d'évoluer au Laboratoire sous la conduite éclairée du Professeur Edmond ADJOVI de l'Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi.

Nos profonds et sincères remerciements vont à l'endroit de tout le corps enseignant du Conservatoire National des Arts et Métiers.

Nous témoignons notre gratitude à tout le personnel du Laboratoire d'Essais et de Recherches en Génie Civil (LERGC) qui nous ont aidé dans la réalisation de ce travail.

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

La fin du XX^e siècle marque un changement des priorités avec une prise de conscience des problèmes économiques, et écologiques liés respectivement à la baisse du pouvoir d'achat due à la dévaluation des monnaies locales, et à la dégradation de l'environnement causée par la gestion non durable des ressources naturelles. Le logement individuel en matériaux définitifs porteurs apparaît comme un besoin fondamental et un élément d'intégration dans la société africaine. Cependant, il demeure une question difficile pour le citoyen des pays africains, dont les revenus ne sont pas en phase avec l'accroissement du coût des matériaux de construction. Il s'agit du sable, ciment, fer à béton et du bois de coffrage. De plus, l'exploitation anarchique des carrières du sable marin (Ce qui est fréquent au Bénin par exemple), des bois de construction et l'inexistence de moyens de valorisations des déchets de bois de coffrage inutilisés créent des préjudices à l'environnement. La figure 1.1 montre les dégâts causés à l'environnement côtier du Bénin par l'exploitation des carrières de sable marin.



Figure 1.1 Avancée de la mer sur plus 100m de la côte, dans le quartier « Apkarka » à Cotonou.

La crise économique qui secoue les pays du tiers monde dont le Bénin, se fait sentir avec insistance ces dix dernières années à travers la flambée des prix des produits notamment ceux destinés à la construction des gros œuvres du bâtiment. Les statistiques révèlent entre 1994 et 2004, des accroissements importants de prix de 85% pour le sable marin ; 75% pour le

gravier ; 27,4% pour le ciment ; 80% pour l'acier et 10,30% pour les planches de coffrage, illustré par la figure 1.2.

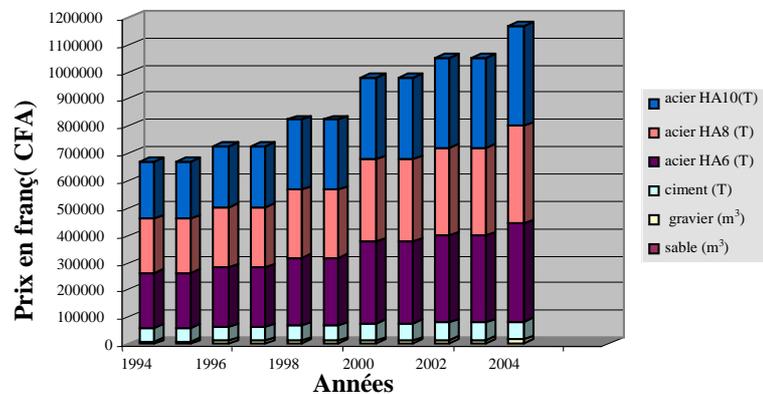


Figure 1.2 Variation du prix des matériaux de gros œuvre en 10 ans au Bénin

A tout cela s'ajoutent les malfaçons et la négligence occasionnant le gaspillage des matériaux, attitudes couramment observées sur la plupart des chantiers. Ce qui enfin de compte fait augmenter le coût total du gros œuvre et par conséquent de la construction.

Ce constat a favorisé dans les pays moins avancés la création de différents laboratoires de recherche, visant à la mise au point de nouveaux matériaux, ainsi qu'à leur promotion. Ces recherches pour la plupart portent sur des matériaux dits locaux, en occurrence la terre latéritique et le sable argileux.

Force est de reconnaître que l'insuffisance d'une main-d'œuvre adaptée au transfert de technologie de mise en œuvre des briques en terre cuite ou stabilisée fait que l'application des recherches les plus avancées, dont les résultats ont été publiés reste inaccessible aux populations à revenu moyen, favorisant de ce fait une pression croissante et continue sur les ressources de sable marin.

Malheureusement ce gisement apparemment inépuisable dans la perception des populations locales, se situe sur le littoral et le volume annuel de son prélèvement (tableau 1.1) accentue le phénomène d'érosion, déjà enclenché du fait des mauvaises options

d'aménagement du territoire d'une part, et de la mise en place de grandes infrastructures d'autre part. Mais alors quelles solutions faudrait-on envisager dans l'immédiat et qui pourraient répondre au concept de développement durable ?

LOCALITES	NOMBRE DE CAMIONS (PAR CAPACITE)		QUANTITE TOTALE PRELEVEE/JOUR
	6 m3	10 m3	m3
Sèmè-Kpodji (Ouémé)	55	147	1800
Djako-Cotonou (Atlantique)	47	134	1622
Akpakpa-Dodomé Cotonou(Atlantique)	7	16	202
Ouidah (Atlantique)	2	7	82
Grand-Popo (Mono)	-	4	40
Total	111	308	3746

SOURCE : OBRGM. 1993 (Office Béninois de Recherche Géologique et Minière)

Tableau 1.1 Quantités de sable prélevé par jour sur les plages du Sud Bénin en 1993

La dynamique de cette gangrène érosive ne sera inversée et permettre des investissements pour une mise en valeur idoine de notre littoral que si d'autres gisements de sable de construction sont mis en exploitation à court terme. C'est à cette fin qu'a été initié par l'Etat béninois le projet « Recherche de sites de sable hors du littoral » par l'OBRGM pour la mise à disposition des populations des villes du Sud Bénin du sable autre que marin pour les travaux de construction.

L'exécution de la première phase du projet en 1997 et 1998, et la deuxième phase en 2000 a permis de mettre en évidence de nombreux sites dans les environs des grands centres urbains tels que Cotonou, Abomey-Calavi, Ouidah et Porto-Novo où des réserves importantes ont été identifiées.

Il est donc question de recenser ces gisements potentiels de sable et d'orienter les études vers une meilleure connaissance des réserves. Les tests et analyses appropriés sur différents échantillons seront réalisés pour déterminer les conditions optimales de leurs utilisations dans les travaux de construction et de limiter les dégâts causés à l'environnement côtier du Bénin par l'exploitation des carrières de sable marin. Par ailleurs l'inexistence de moyens de valorisations des déchets de bois de coffrage crée aussi des préjudices à l'environnement immédiat avec son impact sur le coût de la construction. Dans cette mouvance, le logement individuel qui a le privilège de satisfaire l'un des besoins fondamentaux celui de l'habitat, mérite une solution urgente.

A priori, il pourrait être difficile de faire baisser le coût de la construction, quand on reste dans la gamme des matériaux traditionnels dont les prix montent de façon exponentielle (le béton armé, les agglomérés de ciment à base de sable marin, le bois de coffrage etc.). L'utilisation courante des maçonneries en agglomérés de mortier de ciment/sable marin comme éléments porteurs ne doit donc plus être le seul but de la construction en matériaux définitifs.

Il faudra concevoir un système de procéder de murs nouveaux en agglomérés de ciment avec les sables continentaux. Ce procédé de construction devra permettre la réduction du temps d'exécution, des dépenses et du gaspillage des matériaux et la limitation des impacts négatifs sur l'environnement

1.2 Objectifs du travail

Conformément au contexte ci-dessus, les objectifs généraux de ce travail se définissent comme suit :

- Contribuer à la valorisation des sables continentaux et fluviatiles des régions côtières du Bénin dans la perspective d'une suppression de l'utilisation de sable marin (Identification et caractérisation des matériaux granulaires prélevés et provenant des carrières recensées) ;

- Contribuer à la mise au point et à la réalisation d'un système de murs en maçonnerie d'agglomérés de ciment avec les sables continentaux.

Les objectifs spécifiques sont :

- Réduire le coût du gros œuvre des logements et autres bâtiments ;
- Limiter l'utilisation massive des bois de coffrage, les malfaçons lors du montage des murs (cela implique un impact positif sur l'environnement du chantier, c'est-à-dire il y aura moins de gravats et de déchets de bois de coffrage) ;
- Donner un effet décoratif au parement des murs en maçonnerie de ciment (ce qui donne la possibilité d'enduire ou non les faces des murs) ;
- Améliorer le confort thermique dans les locaux par la suppression au maximum des ponts thermiques des murs ;
- Faire une étude comparative de la résistance du mur à joints verticaux évidés et du mur traditionnel.

1.3 Démarches

Dans le cadre de ce travail, des séries d'essais ont été définis afin de répondre aux questions soulevées précédemment. Les résultats obtenus ainsi que les observations effectuées durant ces essais serviront, dans le cadre de ce travail, à :

- Identifier et caractériser les sables continentaux et fluviatiles du Sud Bénin ;
- Déterminer les valeurs caractéristiques de la résistance en compression à 28 jours d'âge des blocs (connaître l'ordre de grandeur de la résistance des matériaux)
- Faire une étude comparative de la résistance globale du mur en fonction du type de liaison.
- Réaliser un prototype de bâtiment avec les agglomérés spéciaux.

2 LOCALISATION ET IDENTIFICATION DES SABLES CONTINENTAUX DU SUD BENIN

2.1 Quelques notions fondamentales sur les sables continentaux

2.1.1 Introduction

En République du Bénin, le plein essor du secteur de la construction immobilière et des infrastructures génère un grand besoin de matériaux de construction tel que le sable.

Pour les régions de l'Atlantique, du Littoral et de l'Ouémé, les besoins sont satisfaits essentiellement avec du sable marin prélevé sur les plages de Sèmè et de Ouidah.

Cette cueillette dont le volume est estimé à plusieurs millions de tonnes par an entraîne de profondes perturbations dans le processus de sédimentation nécessaire à la stabilité de la ligne de notre côte, déjà fragilisée à cause de l'érosion générée par l'implantation de certaines infrastructures de digues portuaires et de barrages.

Pour réduire cette pression de prélèvement de sable marin, l'Etat encourage la recherche et l'exploitation des sables continentaux et fluviatiles.

2.1.2 Définition des sables continentaux

Les sables continentaux et fluviatiles sont des gisements de granulat hors plage utilisés dans les travaux de construction et rencontrés dans les étendues d'eau continentales (fleuves, lacs et lagunes) et certaines portions de la terre ferme. Leur dimension est comprise entre 0,063 et 2 mm.

Il s'agit de :

- Carrière de sable sur terre ferme directement exploitable ;
- Carrière de sable dans les zones marécageuses exploitable par dragage (sable lagunaire) ;
- Carrière de sable des plans d'eau (sable de rivière ou sable fluvio-lagunaire) exploitée de façon artisanale.

2.1.3 Techniques d'exploitation des sables continentaux

Il existe trois techniques d'exploitation : l'exploitation artisanale, l'exploitation semi-

artisanale et l'exploitation moderne.

* **Exploitation artisanale**

C'est à cette forme d'exploitation que s'adonnent les populations sur les plans d'eau. Cette technique se fait à la main depuis le prélèvement jusqu'au chargement des camions. Cette technique comprend quatre phases essentielles :

- Extraction du sable ;
- Transport à la berge ;
- Mis en tas ;
- Chargement.

* **Exploitation semi artisanale**

C'est la forme d'exploitation qu'on observe dans les carrières ouvertes sur le continent. Le sable prélevé à la pelle est directement chargé dans les véhicules engagés dans les tranchées.



Figure 2.1 : Photo d'un camion engagé dans la tranchée de la carrière de terre ferme de Ahuikodji pour un chargement manuel.

* **Exploitation moderne**

L'exploitation moderne du sable ou dragage industriel est une innovation au Bénin. Le

dragage industriel est une opération qui consiste à curer le fond d'un cours d'eau et à enlever le sable, le vase avec des machines spécialisées.

2.1.4 Identification des matériaux granulaires

Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiment et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Les granulats étant d'origines diverses : naturelle, alluvionnaire, calcaire, éruptive, voire artificielle ou provenant de sous-produits industriels, il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire.

Les essais d'identification suivants sont à réaliser sur les échantillons de sable :

- * L'analyse granulométrique ;
- * Le test d'humus ;
- * L'équivalence de sable ;
- * La densité et l'absorption ;
- * La densité apparente.

2.1.5 Qualité des matériaux granulaires

2.1.5.1 Importance de la granulométrie

Les propriétés physiques et mécaniques du béton dépendent de beaucoup de facteurs. Généralement on souhaite obtenir un béton résistant, étanche et durable. Pour atteindre cet objectif, il faut :

- que le béton à l'état frais soit facile à mettre en œuvre et à compacter (pour réduire la porosité).
- un maximum de granulats par unité de volume de béton (pour réduire la quantité de pâte liante nécessaire pour remplir les vides, tous les vides devant être remplis de pâte liante).
- un minimum de surface spécifique (pour réduire la quantité d'eau de gâchage et

obtenir un rapport C/E plus élevé).

Par ailleurs :

- La proportion de chaque dimension des grains doit être choisie de façon à remplir les vides laissés par les grains de dimensions supérieures.
- Il faut réduire la teneur en éléments fins au minimum requis pour obtenir une bonne maniabilité et une bonne capacité. Les courbes granulométriques apporteront quelques éléments de réponses à ces conditions.

2.1.5.2 Classification des granulats

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D.

Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné O/D.

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrées (Norme NFP 18-101) :

- * Les fines O/D avec $D \leq 0,08$ mm,
- * Les sables O/D avec $D \leq 6,3$ mm,
- * Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm
- * Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm,
- * Les greues d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm,

Pour les fines et les sables on peut écrire la classification suivante:

APPELATION		Dimension de la maille des tamis (mm)
Sable	Gros	1,25 à 5
	Moyens	0,31 à 1,25
	Fin	0,08 à 0,31
Fines, farines et fillers		Inférieur à 0,08

Tableau 2.1 : Classification des sables

2.1.5.3 Caractéristiques physiques des granulats

(a) La masse volumique absolue

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.

(b) La masse volumique réelle

La masse volumique réelle d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau déduction faite des vides entre particules.

(c) La masse volumique apparente

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté. Il faut donc préciser : masse volumique apparente à l'état compacté ou masse volumique apparente à l'état non compacté.

(d) Absorption

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte sont appelés absorption.

(e) Porosité et compacité

En général la porosité est le rapport du volume des vides au volume.

$$p = \frac{\text{volumedesvides}}{\text{volumetotal}}$$

La compacité est le rapport du volume des pleins au volume total.

$$c = \frac{\text{plein}}{\text{vide} + \text{plein}} \qquad p = \frac{\text{vide}}{\text{vide} + \text{plein}}$$

La porosité et la compacité sont liées par la relation : $p+c = 1$

(f) Teneur en eau

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = \frac{E}{P_s} = \frac{Ph - P_s}{P_s}$$

Où E = poids d'eau dans le matériau

P_s = poids du matériau sec

Ph = poids matériau humide

Les granulats utilisés pour la confection du béton contiennent généralement une certaine quantité d'eau variable selon les conditions météorologiques. L'eau de gâchage réellement utilisée est par conséquent égale à la quantité d'eau théorique moins l'eau contenue dans les granulats. Il faut par conséquent disposer de moyens pour mesurer combien il y a d'eau dans les granulats.

(g) Propreté

Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des adhérences entre les granulats et la pâte.

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par essai appelé "équivalent de sable piston ES" (norme NF P 18-598) qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage.

ES	Nature et qualité du sable
ES < 60	" sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, rejeter pour des bétons de qualité
$60 \leq ES < 70$	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
$70 \leq ES < 80$	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileux convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES > 80	" sable très propre" l'absence presque totale de fines argileux risque d'entraîner un défaut de plasticité béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Tableau 2.2 : Nature et qualité du sable au regard de son équivalence de sable.

2.2 Localisation des granulats du Sud Bénin

2.2.1 Cadre géographique des zones d'études

Les zones du Sud Bénin concernées par la présente étude sont situées dans le bassin sédimentaire côtier entre les parallèles 6°25' et 6°50' de latitude Nord et les méridiens 2°05' et 2°25' de longitude Est.

Le climat est de type subéquatorial avec deux saisons pluvieuses (une grande d'Avril à Juillet et une petite d'Octobre à Novembre) entrecoupées par deux saisons sèches. La végétation est une savane arbustive. Les populations s'adonnent principalement à l'agriculture et à la pêche.

2.2.2 Caractéristiques géomorphologiques et géologiques

2.2.2.1 Unités géomorphologiques

Les zones d'étude concernent le plateau d'Allada et la vallée de l'Ouémé.

Plateau d'Allada

Le plateau d'Allada fait partie d'un ensemble géographique appelé Plateaux du Sud. Il est situé au sud de la dépression de la Lama, entre les vallées du Couffo et de la rivière Sô.

Vallée Ouémé-Sô

Les principaux cours d'eau qui alimentent le Sud Bénin sont l'Ouémé, la rivière Sô, le Mono et le Couffo. Ils ont une direction Sub-méridienne (Nord-Sud) qui entaille de vastes vallées dont celles de Couffo et de l'Ouémé-Sô qui abritent respectivement les lacs Ahémé et Nokoué.

La plaine de Sô se trouve dans la vallée Ouémé-Sô, au nord du lac Nokoué et au pied du plateau d'Allada.

2.2.2.2 Formations géologiques

L'étude stratigraphique du bassin sédimentaire côtier dont fait partie le plateau d'Allada montre qu'il est composé du Sud au Nord du Quaternaire récent, du Continent terminal, de l'Eocène et du Crétacé supérieur (SLANSKY, 1962).

* Quaternaire récent

Encore appelé formations récentes, il occupe les vallées des cours d'eau et la bordure

littorale. Il est composé des dépôts margino-littoraux ou formations littorales et les dépôts fluviaux ou formations alluvionnaires. Il couvre le Continent terminal et par endroits l'Eocène.

- Les formations littorales : elles sont d'origine marines et comportent à la partie supérieure plusieurs mètres cube de sable de plage blancs à grains moyens. Les formations sous-jacentes montrent une alternance de niveaux sableux et de niveaux d'argiles vaseuses. Certains niveaux, par endroits sont très tourbeux.

- Les formations alluvionnaires : elles occupent les vallées des cours d'eaux et sont argilo sableuses, et peuvent atteindre plus de 100 m d'épaisseur d'après les sondages réalisés par (SLANSKY, 1962).

* Continent terminal

Les formations continentales post-écocènes recouvrent les plateaux du Sud Bénin. SLANSKY définit, dans le "Continental terminal", deux termes : le terme supérieur, dominé par un faciès grossier et le terme inférieur constitué du faciès fin.

* Eocène

Il occupe essentiellement la dépression de la Lama et une partie des vallées des divers fleuves où les limites avec les formations alluvionnaires sont extrêmement floues. L'éocène est constitué de formations détritiques avec des grésocalcaires. La montmorillonite constitue la moitié de la phase argileuse. Au sommet, on observe des calcaires à togocyaams seefriedi. A la base, il est formé de glauconieux, de phosphate et de marbre avec une dominance argileuse.

* Crétacé supérieur

Il comporte dans sa moitié inférieure une formation sableuse devenant plus argileuse vers le haut. Sans sa partie supérieure le faciès est marneux avec des intercalations sablonneuses ou grésocalcaires. Au Bénin, le crétacé supérieur occupe la partie nord de la dépression de la Lama et une partie des plateaux septentrionaux.

La mise en place des différentes roches est issue de l'influence du climat et la végétation.

2.2.2.3 Processus d'accumulation du sable

Le processus de mise en place de la rivière Sô importe de se replacer dans le contexte plus général de l'histoire de la mise en place du système lagunaire au Bénin et des éléments géomorphologiques qui l'encadrent, en rapport avec les variations paléo climatiques qui ont affecté l'Afrique.

Les plateaux de terre de barre qui entourent le système lagunaire au Bénin, sont formés au cours des phases de transgressions et régressions successives depuis la fin du secondaire (Crétacé) jusqu'au début du tertiaire (Eocène). Ces phases ont favorisé le dépôt des sédiments dans le bassin. Au quaternaire ancien (Pilocène), des sédiments continentaux provenant du Continental Terminal recouvrent l'ensemble du bassin. C'est à cette époque qu'apparaissent des formations dites Terre de barre, qui se sont élaborées dans des conditions tropicales, mais sous un climat beaucoup plus humide (GUILCHER, 1959).

Au niveau de la vallée de l'Ouémé, au nord du lac Nokoué, l'origine des sables en bordure des plateaux comme dans le cas de la plaine d'inondation de la Sô, est comparable à celle des cordons littoraux. En effet, lors du maximum transgressif Holocène, la basse vallée de l'Ouémé-Sô était transformée en un bras de mer formant une "ria". Lors du retrait qui a suivi, les matériaux issus des plateaux avoisinants se sont déposés en bordure de ceux-ci. Cela prouve que le Delta de la Sô-Ouémé n'est qu'un héritage issu de la régression.

Pour ce qui concerne le sable de la rivière Sô, l'accumulation se fait par ensablement qui n'est rien d'autre que le phénomène par lequel les milieux aquatiques se combent par apport naturel de roches meubles (sable). Cet ensablement se fait soit :

- par transfert de sédiments côtiers (sables galets) grâce à l'agitation de la mer ;
- par apport des alluvions des courants d'eau des fleuves Ouémé et de la rivière par l'intermédiaire des affluents / défluent. Cet apport des alluvions étant issu de l'érosion des roches mères depuis la partie septentrionale ou amont du fleuve Ouémé et de ses bassins

versants.

2.2.3 Gisement de sables exploitables dans la construction au Sud Bénin

Le littoral béninois est soumis à une intense érosion côtière depuis la frontière avec la République du Togo (Hilacondji) jusqu'à celle avec la République Fédérale du Nigeria (Kraké).

L'érosion s'est intensifiée à partir des années 70 avec la construction des ports de Lomé, de Cotonou, du barrage hydroélectrique de Nangbéto sur le fleuve Mono et les prélèvements de sable qu'on y effectue pour les travaux de construction. Les études réalisées par le cabinet d'expertise NEDECO en 1981 ont montré que l'avancée de la mer sur le continent est actuellement de l'ordre de 15 mètres par an.

L'objectif du présent travail est de freiner, voire arrêter les prélèvements de sable marin par la mise à disposition des populations des villes du Sud Bénin du sable autre que marin pour les travaux de construction.

2.2.3.1 Secteurs d'étude

Les secteurs d'étude sont situés sur la terre ferme (Plateau d'Allada), dans les zones marécageuses de la plaine alluviale de la rivière Sô , du fleuve Ouémé et sur les plans d'eau (rivière Sô, fleuve Ouémé, lac Nokoué et la lagune de Porto-novo).

Sur le plateau d'Allada, les secteurs d'études correspondent à des paléovallées situées en avant des zones marécageuses qui communiquent avec le système lagunaire côtier. Il s'agit des localités :

- ❖ DJEGOHOUÉ à ASSOGBENOUDAHO (Arrondissement de Savi, Commune Urbaine de Ouidah) ;
- ❖ AHOSSOU-TODO à Tori-Gbovié (Commune de Tori-Bossito) ;

- ❖ BIEKE-ZINKANME à KPANSOUI (Arrondissement de Ouèdo, Commune de Tori-Bossito) ;
- ❖ OUEGA-TOKPA à ATADJE (Commune Urbaine d'Abomey-calavi).

Dans les zones marécageuses séparant les anciens Cordons Littoraux, il s'agit particulièrement des localités de l'arrondissement de Godomey situées entre Dèkougbe et Adounko en passant par hédomey et Djèkpota.

Sur la plaine alluviale de la rivière Sô et du fleuve Ouémé, c'est la bordure de la rivière Sô, allant d'Agamandin (Abomey-calavi) à Ahozonoudé-Vossa (Commune de Zè) et comprenant les localités d'Akassato, de Zinvié et de Sô-Ava.

Sur les plans d'eau, il s'agit des bancs de sable identifiés dans le lac Nokoué, la lagune de Porto-novo, le fleuve Ouémé et la rivière Sô.

2.2.3.2 Travaux antérieurs

Les recherches de sites d'accumulation de sable ont eu lieu dans un passé récent, notamment après la fermeture de la carrière de sable marin de Jacot et le redéploiement des exploitants sur les carrières de sable marin de Sèmè.

a) Sur le littoral

Sur le littoral, à l'ouest de la carrière de Jacot, plusieurs zones d'engraisement de sable ont été faites dont la dernière est celle allant de Gbodjè à Adounko et passant par Amahoun, Djèkpota.

b) Dèkougbe et Akassato

Des recherches ont été également faites par l'OBRGM pour le compte de la Société Dragon SA dans la zone marécageuse de Dèkougbe-Hédomey et dans la plaine alluviale de la rivière Sô à Akassato. Des sondages et des essais de dragage ont montré qu'il existe de très bon sable jusqu'à onze (11) mètres de profondeur. Les projets d'exploitation du sable par dragage de la Société Dragon SA à Dèkougbe-Hédomey et à Akassato ont été bloqués tour à tour par les populations riveraines des sites à cause semble t-il des considérations géotechniques.

c) Continent et les plans d'eau

L'ensablement du chenal de Cotonou compris entre l'ancien pont de Cotonou et l'embouchure a été étudié en 1994 et des secteurs ont été ciblés pour être dragués.

d) Essais de dragage

Les essais de dragage de la Société Dragon SA à Dèkounbé et Akassato se sont soldés par des échecs. Le dragage effectué par la Société DRIFT a permis de désensabler les portions du chenal comprises entre l'ancien pont et l'embouchure du lac Nokoué et entre le nouveau pont et le début du chenal.

D'autres essais de dragage ont été tentés par le groupe des sages de Porto-novo à Djassin. Dans l'ensemble, ces dragages ont été soldés par des échecs suite aux soulèvements des riverains soit pour des raisons de survie (exploitants artisanaux) ou pour des raisons apparemment non fondées (évocation des problèmes géotechniques).

2.2.3.3 Travaux réalisés dans les différents secteurs

Les travaux ont pour but d'apprécier techniquement la qualité des sables en place dans les différents gisements.

Sur la terre ferme, les travaux ont consisté :

- à l'identification des zones d'ensablement
- à l'implantation des puits de contrôle et de sondage
- au prélèvement des différents échantillons.

Sur les plans d'eau, à l'aide d'une barque motorisée les zones d'accumulation de sable ont été vérifiées et des échantillons sont prélevés par plongées.

Les positions de tous les points d'observations et de prélèvements d'échantillons aussi bien sur la terre ferme que sur les plans d'eau ont été prises au GPS.

Sur la terre ferme

Au cours des travaux, six (6) secteurs d'accumulation de sable sont identifiés et prospectés. Ces secteurs sont :

- Tori-Gbovié / Ahossoutodo ;
- Savi / Djègo – Tokpa / Assogbénoudaho ;
- Ouédo / Bièkè – Zinkanmè –Kpansoui ;
- Atadjè / ouéga – Tokpa ;
- Dèkougbé – Hêdomey – Djèkpota – Adouko et
- Ahuikodji / Ouidah.

La situation des sondages se présente comme suit :

Secteur 1 : Sondage APR 1 (Tori-Gbovié)

Position : N 06° 29'. 422'' Profondeur : 1,20m

E 02° 18'. 704''

0,00 - 0,25 m : Terre végétale

0,25 - 0,60 m : Sable faiblement argileux de couleur grisâtre.

0,60 - 1,10 m: Sable faiblement argileux de couleur blanchâtre

1,10 - 1,66 m: Sable faiblement argileux, gris blanchâtre

Secteur 2 : Sondage APR 2 (DJEGOHOUE)

Position : N 06° 29'. 341'' Profondeur : 0,95m

E 02° 18'. 175''

0,00 - 0,20 m: Terre végétale

0,20 - 0,60 m : Sable fin de couleur brunâtre

0,60 - 0,90 m: Sable fin brunâtre avec des poches de sable blanc

0,90 - 1,45 m: Sable argileux de couleur noire.

Secteur 3 : Sondage APR 3 (BIEKE)

Position : N 06 °28'.016'' Profondeur : 1,70m

E 02° 15'. 260''

0,00 - 0,20 m : Terre végétale

0,20 - 0,60 m : Argile sableuse

0,60 - 0,80 m : Sable très argileux de couleur gris noirâtre à grains fins

0,80 - 1,75 m : Sable blanc à grains moyens

Secteur 4 : Sondage APR 4 (OUEGA-TOKPA)

Position : N 06°29'.806"

Profondeur : 1,50 m

E 02°18'.630"

0,00 - 0,20 m : terre végétale

0,20 - 0,60 m : Argile plastique, gris noire

0,60 - 0,95 m : Sable faiblement argileux, gris brun à grains fins à moyens

0,95 - 1,40 m : Sable argileux, gris brun à grains fins à moyens

1,40 - 2,10 m : Sable faiblement argileux, blanchâtre à grains fins à moyens avec venue d'eau à 2,10 m.

Secteur 5 : Sondage APR5 (Hêdomey/ Dragon SA)

Position N 06°22'.266"

Profondeur : 1,40 m

E 02°18'.787"

0,00 - 0,20 m : Terre végétale sablo-argileux

0,20 - 0,80 m : Sable gris brun à grains fins à moyens

0,80 - 10 m : Sable blanc à grains fins à moyens coquillier

Secteur 6 : Sondage SIN (Sinfèfènou / Ahuikodji)

Position N06°21'.943"

Profondeur : 1,00 m

E 02°16'.936"

0,00 - 0,20 m: Terre végétale sablo argileuse

0,20 - 0,80 m: Sable gris brun à grains fins à moyens

0,80 - 1,40 m: Sable blanc à grains fins à moyens

Secteur 7 : Sondage MAC (Machin/Ahuikodji)

Position N06°21'.873"

Profondeur : 1,00 m

E 02°17'.736"

0,00 - 0,20 m: Terre végétale sablo argileuse

0,20 - 0,80 m: Sable gris brun à grains fins à moyens

0,80 - 1,40 m : Sable blanc à grains fins à moyens

Sur la plaine alluviale et sur les plans d'eau

La recherche de zones d'ensablement à Sô-Ava et ses environs et sur les plans d'eau du Sud-Est du Bénin a permis d'identifier plusieurs secteurs d'accumulation de sable qui sont :

- Le secteur de la plaine alluviale ;
- Le secteur de la rivière Sô ;
- Le secteur du lac Nokoué ;
- Le secteur de la lagune de Porto-Novo ;
- Le secteur du fleuve Ouémé.

Secteur de la plaine alluviale

Cette plaine s'étend de la latitude d'Abomey-Calavi au sud jusqu'à celle d'Akpomê et Ahozonoudé Vossa au Nord. Elle couvre environ une superficie de 370 km².

Les zones d'ensablement ont été identifiées dans les localités dont la plus importante est celle de Akassato, Sô-Ava où le sable affleure pratiquement et où l'épaisseur dépasse dix (10) mètres (sondage antérieur de Dragon SA).

Secteur de la rivière Sô

Le secteur s'étend du village Akpomê au nord jusqu'à l'embouchure sur le lac Nokoué au Sud. Le sable a été mis en évidence à Sô-Ava.

Secteur du Lac Nokoué

Les travaux de recherche des bancs de sable (étude de dépôt des sédiments) ont révélés d'importants dépôts de sable dans l'arrondissement de Aholouyemi qui regroupe les localités de Kétonou, Goho, Dénou, Agonsa...

Secteur de la lagune de Porto-Novo

Il s'agit du sable de Djassin qui est en général à grain grossiers.

Secteur du fleuve Ouémé

La description géologique des formations des secteurs de la plaine alluviale et des plans d'eau se présente comme suit :

SECTEUR	N° ECHANTILLON	COORDONNEES DU POINT D'OBSERVATION	LOCALITE	DESCRIPTIO N	PROFONDE UR
Plaine Alluviale	ASA1	N 06°29'.975" E 002°22'.332"	Akassato (DRAGON)	Sable à grains fins à moyens de couleur blanche	5,20- 7,00 m
	ASA2	N 06°30'.107" E 002°22'.597"	Akassato	Sable hétérogène à grains fins à moyens dont la couleur Varie du blanc au jaune	3,00 - 4,50 m
	ASA3	N 06°30'.296 E 002°22'.574"	Akassato	Sable à grains fins de couleur gris blanchâtre	5,50 - 6,50 m
	ASA4	N 06°30'.302" E 002°22'.321"	Akassato	Sable à grains fins à passées jaunes de couleur grise	6,50 - 8,50 m
Rivière Sô	ASA5	N 06°30'.067" E 002°23'.961"	Sô-Ava (Nouvel Hôpital)	Sable à grains moyens de couleur gris brun	2,00 - 4,00 m
Lac Nokoué	AHO1	N 06°26'.497" E 002°34'.137"	Goho	Sable à grains fins à moyens de couleur grise	5,00 - 7,75 m
	AHO2	N 06°26'.591" E 002°34'.395"	Goho	Sable à grains fins à moyens de couleur grise	4,50 - 8,30 m
	AHO3	N 06°26'.417"	Denou	Sable à	1,80 - 4,50 m

		E 002°32'.984"		grains fins à moyens de couleur grise	
	AHO4	N 06°26'.043" E 002°32'.376"	Denou	Sable à grains fins à moyens de couleur grise	3,50 - 6,50 m
	AHO5	N 06°27'.442" E 002°27'.771"	Denou	Sable gris à grains fins à moyen	0,75 - 1,60 m
	AHO6	N 06°26'.560" E 002°34'.983"	Agonsa	Sable gris à grains fins à moyen	6,00- 8,00 m
	AHO7	N 06°25'.296" E 002°32'.544"	Agonsa	Sable gris à grains fins à moyen	3,50- 6,50 m
	AHO8	N 06°24'.852" E 002°32'.550"	Ketonou	Sable à grains très fins et coquilliers	8,00 - 11,50 m
Lagune de Porto-Novo	DJA1	N 06°28'.529" E 002°35'.536"	Djassin	Sable coquillier	> 2 m
Fleuve Ouémé	KES1	N 06°34'.746" E 002°31'.009"	Kessounou	Sable à grains moyens de couleur brun	Profond

Tableau 2.3 : Description géologique des formations des secteurs de la plaine alluviale et des plans d'eau.

2.2.3.4 Difficultés rencontrées

Les difficultés rencontrées sur le terrain sont principalement de deux ordres. Les unes sont liées à la période d'exécution des travaux, tandis que les autres sont dues au manque d'équipements appropriés. La période choisie (Août-Septembre) correspond en effet à la petite saison des pluies qui n'est pas favorable pour certains travaux de prospection. Lors du fonçage des puits sur la plaine alluviale, dans les zones marécageuses et même en certains endroits sur la terre ferme, le niveau piézométrique est vite atteint entraînant ainsi l'éboulement des puits.

L'arrivée des eaux pluviales du Nord a entraîné la montée des eaux des plans d'eau avec comme conséquence l'invasion de la rivière Sô et du fleuve Ouémé; ce qui a rendu la navigation très difficile.

Enfin, le manque d'équipements appropriés (sondeuse Drague suceuse) n'a pas permis de cerner tous les paramètres nécessaires à une évaluation fiable des réserves sur les plans d'eau.

Figure 2.2 : Carte de positionnement des carrières potentielles de sable au Sud Bénin (en annexe)

2.2.4 Caractérisation des sables continentaux du Sud Bénin

2.2.4.1 Introduction

Pour de nombreux travaux de construction et pour l'exécution de nombreux essais, il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques des matériaux utilisés, caractéristiques qui représentent les dimensions, la forme, la masse volumique, la porosité et la teneur en impureté de l'échantillon qui a été prélevé.

Le but de ces essais est donc d'étudier la composition granulaire du sable, sa densité, son degré de propreté, tous les facteurs qui influent sur la formulation du micro béton et le dosage du mortier.

L'analyse granulométrique est la première des recherches sur les matériaux de construction. Elle caractérise les granulats en déterminant la grosseur de grains qui les constituent et les pourcentages des grains de chaque grosseur.

L'analyse granulométrique s'obtient par deux opérations :

- le tamisage pour les particules de diamètre supérieur ou égal à 0,1mm,
- la sédimentométrie pour les particules de diamètre inférieur à 0,1mm.

Ces essais permettent d'apprécier notamment si seul les sables continentaux permettent d'atteindre nos objectifs dans la construction, ou faut il l'utiliser en combinaison avec d'autres

sables pour atteindre des performances mécaniques acceptables.

2.2.4.2 Description des essais

2.2.4.2.1 Analyse granulométrique par tamisage

a- Principe de la méthode et définitions

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis ou de passoire un matériau à plusieurs catégories de grains décroissants.

La granulométrie est donc une science qui s'occupe de la détermination des grains alors que la granularité est la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

b- Matériels utilisés

-Série de tamis normalisés

Ce sont les tamis normalisés, dans lesquels l'organe de séparation est constitué d'une toile métallique ou d'une toile perforée définissant des trous carrés de côté C.

Les passoires sont caractérisées par des ouvertures circulaires de diamètre D.

- Etuve avec thermostat ;
- Balance ;
- Bac, brosse, récipients et accessoires courants de laboratoire.

c- Dimensions normales

IL s'agit de la longueur du côté C du carré pour les tamis et le diamètre D des passoires.

Les valeurs de ces dimensions sont les termes d'une progression géométrique dont la raison est $\sqrt[10]{10}$ soit environ 1,259 : c'est la série R10 des « nombres normaux » (nombres de Renard).

La plus petite valeur est de $80\mu m$; au dessous, les dimensions correspondent aux fines auxquelles l'analyse granulométrique ne s'applique pas.

La plus grande valeur est 80mm ; au-dessus les dimensions correspondent aux moellons.

Ces dimensions nominales sont les suivantes, en millimètres :

0,080 0,100 0,125 0,160 0,200 0,250 0,315 0,400 0,500 0,630
 0,800 1,00 1,250 1,600 2,000 2,500 3,150 4,000 5,000 6,300
 8,000 10,00 12,50 16,00 20,00 25,00 31,50 40,00 50,00 63,00
 80,00.

On remarque que :

- Les nombres de 10 en 10 sont composés des mêmes chiffres car

$$\left(\sqrt[10]{10}\right)^{10} = 10$$

- Les nombres doublent de 3 en 3 car $\left(10\sqrt[10]{10}\right)^3 \approx 2$

Pour passer d'un tamis de dimension C à une passoire équivalente de diamètre D, l'expérience a montré que : $D = 1,25 C$ soit $D = \left(10\sqrt[10]{10}\right)C$.

Le module m d'un tamis ou d'une passoire est le nombre entier le plus voisin du nombre représentant dix fois le logarithme décimal du trou exprimé en micro.

$$m = 10(\log D) \quad \text{pour passoire}$$

$$m = 10(\log C) + 1 \quad \text{pour tamis}$$

Les dimensions ci-dessus des tamis peuvent être repérées par des numéros d'ordres : une suite continue des nombres entiers, allant de 20 pour le tamis de 0,080 mm à 50 pour le tamis de 80mm, en passant par 38 (celui de 5mm). Pour les passoires, ces numéros d'ordres sont décalés d'une unité par rapport à ceux des tamis.

d- **Mode opératoire**

- Dimensions utilisées

Pour les petits granulats, jusqu'à 5 mm, on n'utilisera que les tamis de numéro d'ordre allant de 3 en 3. A partir de 5 mm, tous les tamis seront utilisés.

- Préparation de l'échantillon

Le prélèvement d'échantillon se fait en deux temps :

*Prélever à la carrière une quantité de matériaux nettement plus grande que celle de l'essai.

*Au laboratoire, prélever la quantité qui correspond à l'essai à faire.

Chacun de ces deux échantillonnages doit donner un prélèvement aussi représentatif que possible de l'ensemble.

Deux procédés de base assez satisfaisants :

*par quartage

* à l'aide d'échantillonneuses

Il faut sécher particulièrement un échantillon trop mouillé. Mais une température trop élevée pourrait modifier la nature physique ou chimique du corps étudié ; donc il faut étuver à 105°C pendant 24 heures.

Un échantillon trop sec conduirait à une perte d'éléments fins : il faut l'humecter. Il faut aussi briser les éventuelles mottes ou simili cailloux.

La masse M_0 de l'échantillon à essayer doit vérifier :

$$200 D_{\max} (g) \leq M_0 \leq 600 D_{\max} (g)$$

- Processus

Le but est de déterminer le pourcentage de « tamisat » à travers chacun des tamis ; pour cela on pèsera le « refus » sur chacun d'eux.

Pour ce fait, on emboîte les tamis utilisés les uns sur les autres, les dimensions croissant de bas en haut. Dessous : récipient à fond plein (pour recueillir les éléments fins). Dessus : Couvercle (pour éviter la dispersion des poussières).



FIGURE 2.3 : Photo de la série de tamis normalisés ayant servi pour essais de laboratoire

On verse le granulat sur le tamis supérieur, on met le couvercle et on imprime à l'ensemble une série de secousses. On commencera ainsi de répartir ce granulat sur les différents tamis. Mais cette répartition ne sera pas complète et il faudra reprendre chaque tamis séparément.

- Courbe granulométrique

On calcule les pourcentages de tamisats cumulés de chaque tamis par rapport à la masse M_0 . Les résultats sont ensuite traduits par une courbe pour laquelle on place en abscisse les dimensions de tamis et en ordonnées les pourcentages cumulés de tamisats : c'est la courbe d'analyse granulométrique.

A l'issue des essais on détermine d'autres données caractéristiques de chaque matériau telle que :

- Le module de finesse
- Le coefficient de courbure
- Le coefficient d'uniformité.

Le module de finesse est défini par :

$$M_f = \frac{1}{100} \sum_{i=23}^{50} R_i$$

Où R_i = refus cumulés exprimés en pourcentage sur les tamis de module 23,26, 29

50.

Ce module a été imaginé par l'ingénieur américain ABRAMS, et revu par divers chercheurs et Praticiens. IL s'agit d'un nombre sensiblement égale à celui qui mesure la surface comprise entre la courbe granulométrique et la parallèle d'ordonnée 100 à l'axe des abscisses. Il apparaît ainsi nettement que le module de finesse sera d'autant plus petit que le granulat sera plus riche en éléments fins. Les valeurs extrêmes sont :

- Zéro pour un filler passant entièrement à travers le tamis de 0,160 mm,
- Dix pour un moellon ne passant pas du tout à 80 mm.

Le module de finesse est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables.

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8 ; au dessous le sable a une majorité d'éléments fins et très fins ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au dessus le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

Ainsi : $2,2 < M_f < 2,8$ convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limité.

$1,8 < M_f < 2,2$ est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

$2,8 < M_f < 3,2$ correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistances élevées mais on aura, en général, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

Le coefficient de courbure est défini par :

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Il nous renseigne sur l'allure de la courbe granulométrique.

Le coefficient d'uniformité est défini par :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Si $C_u < 5$, la granulométrie est dite uniforme.

Si $5 < C_u < 15$, la granulométrie est dite moyennement uniforme.

Si $C_u > 15$, elle est dite étendue.

NB : D_x est le diamètre du tamis au travers duquel passe x% de matériaux.

2.2.4.2.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie.

a- La loi de STOCKES

Pour des échantillons de sable contenant que des éléments de diamètre inférieur à 80 microns, il devient très difficile de faire passer les grains à travers des tamis parce que ces derniers s'agglomèrent compte tenu de leur finesse. On utilise alors la sédimentométrie. On les met dans un milieu dispersant par une méthode densitométrique basée sur la loi de STOCKES Navier concernant la vitesse de décantation dans l'eau de particules à solution dispersante.

Soient : - V la vitesse de chute des particules en cm / s

- D le diamètre de grains en mm
- γ_s le poids spécifique des grains du sol en g / cm³
- γ_w le poids spécifique de l'eau en g / cm³
- g l'accélération de la pesanteur en cm / s²
- μ la viscosité dynamique de l'eau en poise fonction de la température.

La loi de STOCKES Navier permet d'écrire :

$$V = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)gD^2}{1,800\mu}$$

Cette loi appliquée à une suspension dans une éprouvette permet de calculer le diamètre D des particules qui passe à un instant donné t et à un niveau donné de l'éprouvette d'essai.

Un densitomètre plongé dans l'éprouvette d'essai mesure à une profondeur déterminée et à l'instant t après le début de la décantation, la densité variable d de la suspension. Si la

densité au temps d'origine de la suspension est do le rapport d / d_0 donne le pourcentage d'éléments inférieurs à D contenu dans la suspension.

b- Calcul des diamètres

Ce calcul s'effectue en utilisant la loi de STOCKES qui donne la vitesse de chute des particules sphériques dans un liquide. Celles-ci sont soumises à la force de pesanteur verticale et descendante et à la poussé d'Archimède, verticale et ascendante.

La vitesse de chute s'exprime par :

$$V = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)}{1,800\mu} gD^2 = h/t \Rightarrow D = \sqrt{\frac{1,800\mu h}{(\gamma_s - \gamma_w)gt}}$$

La hauteur h est valable dans le temps puisque la concentration en particules à ce niveau diminue. Les abaques permettent de déterminer le diamètre équivalent des grains et des pourcentages des particules inférieur à D à l'instant t . Les lectures sont faites généralement à 30s, 1min, 5min, 10min, 20min, 40min, 80min, 4h et 24 h.

2.2.4.2.3 Test d'humus

Le but de cet essai est de détecter dans le sol, la présence d'impuretés (matières organiques) éléments nuisibles à la bonne tenue des ouvrages qui seront réalisés à partir de ces sols.

a- Appareillage

- Une balance de précision ;
- Des bouteilles de verres graduées d'une capacité minimale de 350 ml et munies de bouchons étanches ;
- Des flacons de solutions d'hydroxyde de sodium (NaOH) dosée à 3%.

b- Processus expérimental

- Introduire dans une bouteille graduée contenant 200 ml de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) dosée à 3 %, 50g de terre séchée à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.
- Agiter vigoureusement et soigneusement le mélange puis laisser reposer pendant 24

heures.

- Analyser grâce au Helling Tester le liquide surnageant dont une coloration rose indique la présence d'humus.



Figure 2.4 : Photo des liquides surnageants

2.2.4.2.4- EQUIVALENCE DE SABLE (NF P 18 – 598)

Il s'agit d'un essai imaginé en 1950 aux USA par HVEEM et permettant de déceler la présence d'éléments fins dans un sable, et d'en caractériser l'importance par une valeur numérique. Les sables contiennent bien souvent une certaine proposition de poussière qui influe sur les propriétés essentiellement physiques et mécaniques des mélanges (résistance du béton, adhérence entre éléments).

En effet, il faut plus d'eau pour mouiller des éléments fins que de gros éléments. Or on sait que, toutes choses égales par ailleurs la résistance mécanique d'un béton, σ , varient dans le même sens que le rapport C/E des quantités de ciment et d'eau. Donc, un sable contenant beaucoup d'éléments fins conduira à une faible valeur C/E, et à une faible valeur de σ (béton de moindre résistance). L'eau de gâchage ainsi mise en plus s'évaporerait au cours du durcissement : d'où des vides et un béton poreux. Il y aura aussi un retrait plus important, et risque de fissures. Les éléments fins et l'eau formeront une boue qui gênera l'adhérence du liant.

L'Equivalence de sable nous renseigne sur la proportion de sable vrai contenu dans un échantillon, l'essai est effectué à l'aide d'une solution lavante et conformément aux règles de la norme NF P 18 – 598. Il s'agit de :

- Disposer d'une éprouvette jaugé de deux cercles repères ;
- Remplir l'éprouvette jusqu'au premier cercle de jauge (10cm) d'une solution lavante qui fait flocculer les éléments fins et en régularise la sédimentation ;
- Verser 125g de sable dans cette solution et laisser pendant 10minuite ;
- Boucher l'éprouvette, agiter d'un mouvement rectiligne, horizontal, sinusoïdal d'amplitude 20cm, 90 allers et retours en 30 secondes ;
- Compléter le volume du mélange avec la solution lavante jusqu'au second cercle de jauge ;
- Laisser reposer pendant 20 minutes et prendre la hauteur du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette à l'aide du réglet millimétré ;
- Descendre ensuite le piston, le bloquer dès qu'il repose sur le sédiment et mesurer les hauteurs h1 et h2 ;
- L'équivalent de sable est donné par : $ES (\%) = 100h2/h1$.

2.2.4.2.5 DENSITE ET ABSORPTION (NF P 18 - 555)

Cet essai a pour but de nous renseigner sur la densité relative brute, la densité du granulat saturé sec en surface (sss), la densité sèche ou poids spécifique, le pourcentage d'absorption.

a- Appareillage

- Un panier dont l'ouverture des mailles va de 2,5 à 3,15mm et capable de contenir jusqu'à 10l ;

- Une balance de 15,5 kg de portée ;
- Un bac rempli d'eau pour l'immersion complète du panier ;
- Des plateaux, récipients et accessoires courants de laboratoire ;
- Des pycnomètres et béchers.

b- Processus expérimental

L'essai s'est successivement réalisé sur les différents échantillons prélevés.

- On prélève un échantillon de sable que l'on fait séjourner par immersion dans l'eau pendant 24 heures.
- On l'étale ensuite à l'air libre dans un plateau et on laisse évaporer l'eau jusqu'à ce que le sable ne puisse former une boule sous l'effet de la cohésion.

Enfin, on pèse successivement :

- Le pycnomètre vide ;
- Le pycnomètre + échantillon ;
- Le pycnomètre + échantillon et rempli d'eau ;
- Le pycnomètre rempli d'eau ;
- Le bécher à vide ;
- Le bécher + échantillon sec (étuvé à 105°C).

De ces données, on déduit les caractéristiques recherchées.

2.2.4.2.6 DENSITE APPARENTE

Cet essai a pour but de déterminer le poids par unité de volume d'un matériau qui n'a pas subi de tassement.

a- Appareillage

- Un container de forme cylindrique
- Une balance
- Une plaque de verre
- Une règle à araser
- Une pissette à eau.

b- Mode opératoire

- Peser successivement
- Le container vide,
- La plaque de verre,
- Le container, l'échantillon à ras bord et la plaque de verre ensemble,
- Le container plein d'eau et de la plaque de verre ensemble.

Déduire de ces données la densité apparence qui est le rapport de la masse du matériau non tassé au volume du container

2.2.4.3 Résultats et Commentaires

Les résultats et commentaires sur les divers essais réalisés se présentent comme suit :

ANALYSE GRANULOMETRIQUE					
Provenance du sable :	AKASSATO SO-AVA	Echantillon :	Sondage ASA1		
Masse sec (g) =	2000	Date :	Profondeur 5,20 m - 7,00 m		
			Août 2007		
Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
40	8	0	0	0,00	100,00
38	5	2	2	0,10	99,90
35	2,5	100	102	5,10	94,90
32	1,25	410	512	25,60	74,40
29	0,63	880	1392	69,60	30,40
26	0,315	475	1867	93,35	6,65
23	0,16	115	1982	99,10	0,90
20	0,08	15	1997	99,85	0,15

Tableau 2.4 : Composition granulométrique du sable de AKASATO SOAVA1

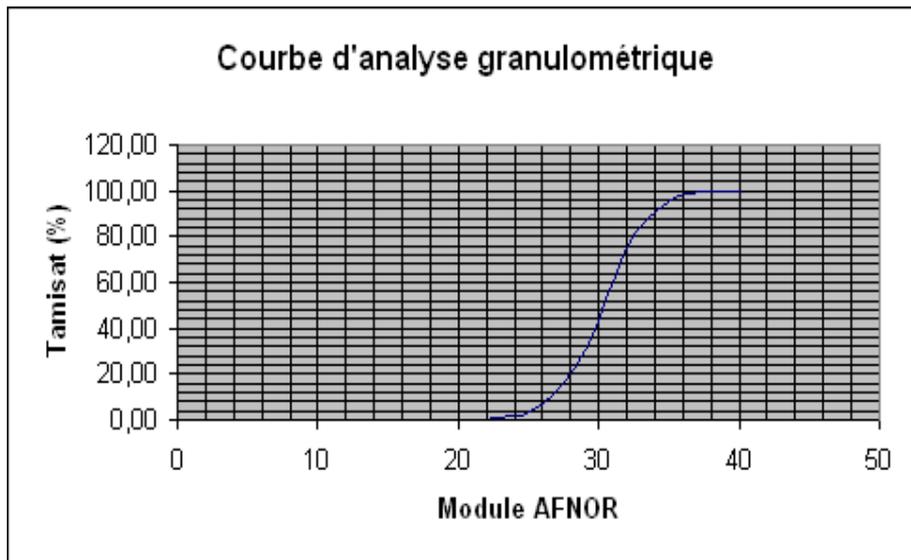


Figure 2.5 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de AKASATO SOAVA1

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 2,9285

Equivalence de Sable : ES = 66%

Densité apparente : $d_a = 1,42$

Densité sèche : $d_s = 2,576$

Absorption : Abs = 0,70%

COMMENTAIRES

$2,8 < MF < 3,2$ et $60\% < ES < 70\%$

Il s'agit d'un sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons classiques et mortiers si on ne craint pas le retrait. Il correspond à des sables grossiers à utiliser pour la recherche de résistance élevée mais on aura moins d'ouvrabilité et des risques de ségrégation.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : **AKASSATO SO-AVA** Echantillon : **Sondage ASA2**
 Profondeur 3,00 m - 4,50 m
 Masse sec (g) = **2000** Date : **Août 2007**

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
40	8	0	0	0,00	100,00
38	5	2	2	0,10	99,90
35	2,5	5	7	0,35	99,65
32	1,25	25	32	1,60	98,40
29	0,63	195	227	11,35	88,65
26	0,315	1515	1742	87,10	12,90
23	0,16	220	1962	98,10	1,90
20	0,08	20	1982	99,10	0,90

Tableau 2.5 : Composition granulométrique du sable de AKASATO SOAVA2

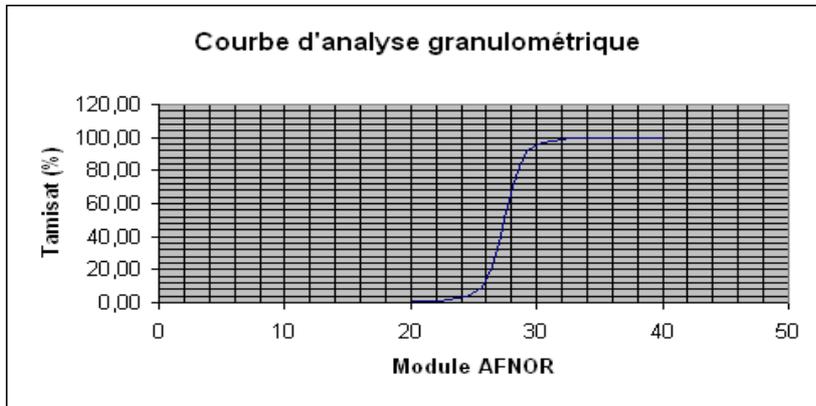


Figure 2.6 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de AKASATO SOAVA 2

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,9860

Equivalence de Sable : ES = 70%

Densité apparente : $d_a = 1,33$

Densité sèche : $d_s = 2,521$

Absorption : Abs = 0,88%

COMMENTAIRES

1,8 MF < 2,2 et 70% < ES < 80%

Il s'agit d'un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité. A utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

COMMENTAIRES

2,8 < MF < 3,2 et ES > 80%

Il s'agit d'un sable très propre. L'absence presque total de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau. Ce sable peut être utilisé pour la recherche de résistances élevées mais on aura moins d'ouvrabilité et des risques de ségrégation.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : **AKASSATO SOAVA** Echantillon : **Sondage ASA4**
 Profondeur **6,50 m - 8,50 m**

Masse sec (g) = **2500** Date : **Août 2007**

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
41	10	0	0	0,00	100,00
40	8	3	3	0,12	99,88
38	5	25	28	1,12	98,88
35	2,5	210	238	9,52	90,48
32	1,25	590	828	33,12	66,88
29	0,63	745	1573	62,92	37,08
26	0,315	725	2298	91,92	8,08
23	0,16	180	2478	99,12	0,88
20	0,08	10	2488	99,52	0,48

Tableau 2.7 : Composition granulométrique du sable de AKASATO SOAVA4

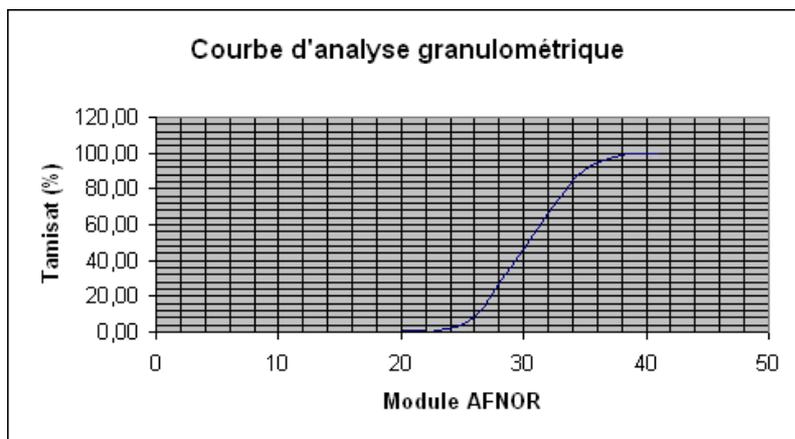


Figure 2.8 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de AKASATO SOAVA4

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 2,9772
 Equivalence de Sable : ES = 86%
 Densité apparente : $d_a = 1,53$
 Densité sèche : $d_s = 2,583$
 Absorption : Abs = 0,81%

COMMENTAIRES

$2,8 < MF < 3,2$ et $ES > 80\%$

Il s'agit d'un sable très propre. L'absence presque total de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau. Ce sable peut être utilisé pour la recherche de résistances élevées mais on aura moins d'ouvrabilité et des risques de ségrégation.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : **AKASSATO SOAVA** Echantillon : **Sondage ASA5**
 Profondeur **2,00m -4,00m**
 Masse sec (g) = **1500** Date : **Août 2007**

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
38	5	0	0	0,00	100,00
35	2,5	10	10	0,67	99,33
32	1,25	95	105	7,00	93,00
29	0,63	425	530	35,33	64,67
26	0,315	530	1060	70,67	29,33
23	0,16	275	1335	89,00	11,00
20	0,08	80	1415	94,33	5,67

Tableau 2.8 : Composition granulométrique du sable de AKASATO SOAVA5

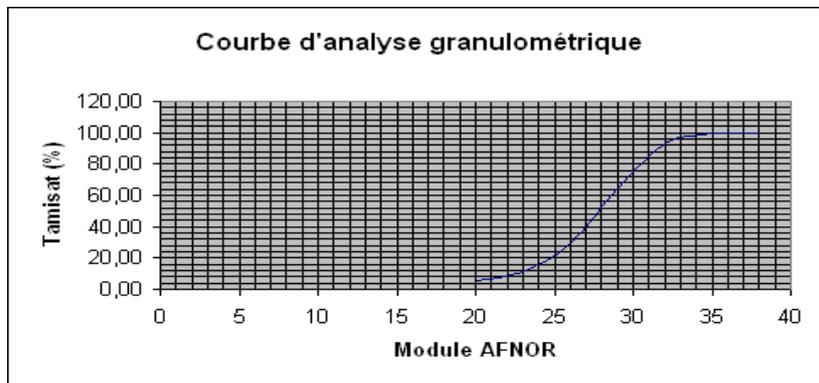


Figure 2.9 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de AKASATO SOAVA5

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse	: MF = 2,9700
Equivalence de Sable	: ES = 70%
Densité apparente	: $d_a = 1,42$
Densité sèche	: $d_s = 2,506$
Absorption	: Abs = 3,26%

COMMENTAIRES

$2,8 < MF < 3,2$ et $70\% < ES < 80\%$

Il s'agit d'un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité. Ce sable peut être utilisé pour la recherche de résistance élevée mais on aura moins d'ouvrabilité et des risques de ségrégation.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable :	GOHO	Echantillon :	Sondage AHO1		
Masse sec (g) =	1500	Date :	Profondeur 5,00 m - 7,75 m		
			Août 2007		
Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
38	5	0	0	0,00	100,00
35	2,5	1	1	0,07	99,93
32	1,25	35	36	2,40	97,60
29	0,63	219	255	17,00	83,00
26	0,315	674	929	61,93	38,07
23	0,16	500	1429	95,27	4,73
20	0,08	54	1483	98,87	1,13

Tableau 2.9 : Composition granulométrique du sable de GOHO1

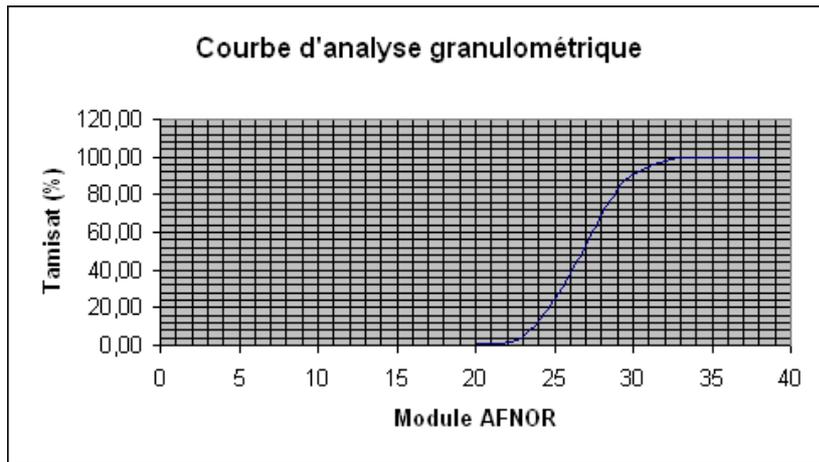


Figure 2.10 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de GOHO1

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,7667
 Equivalence de Sable : ES = 77,54%
 Densité apparente : $d_a = 1,49$
 Densité sèche : $d_s = 2,536$
 Absorption : Abs = 0,43%

COMMENTAIRES

MF < 1,80 et 70% < ES < 80%

Il s'agit d'un sable propre et fin, nécessitant une légère amélioration pour les bétons classiques et mortiers. Il contient un faible pourcentage de fines argileuses.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du
sable :

GOHO

Echantillon :

**Sondage AHO2
Profondeur 4,50 m - 8,30 m**

Masse sec (g) =

2050

Date :

Août 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
40	8	0	0	0,00	100,00
38	5	1	1	0,05	99,95
35	2,5	20	21	1,02	98,98
32	1,25	430	451	22,00	78,00
29	0,63	700	1151	56,15	43,85
26	0,315	650	1801	87,85	12,15
23	0,16	237	2038	99,41	0,59
20	0,08	8	2046	99,80	0,20

Tableau 2.10 : Composition granulométrique du sable de GOHO2

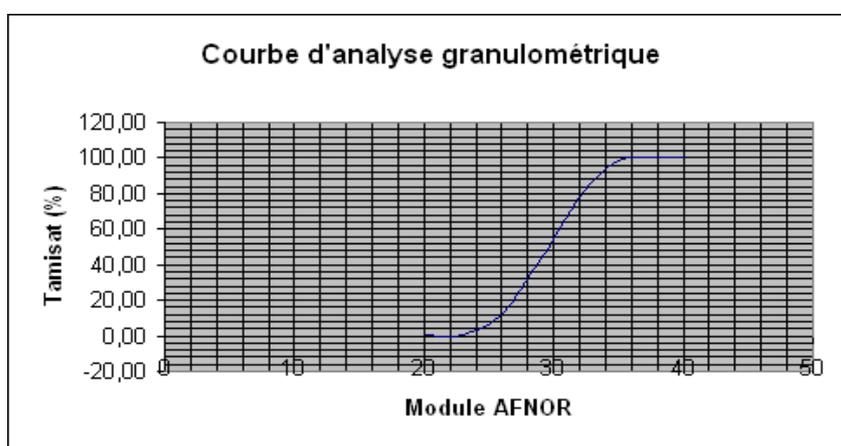


Figure 2.11 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de GOHO2

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 2,6648

Equivalence de Sable : ES = 96,71%

Densité apparente : $d_a = 1,46$

Densité sèche : $d_s = 2,699$

Absorption : Abs = 0,52%

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,7680
Equivalence de Sable : ES = 88,10%
Densité apparente : $d_a = 1,39$
Densité sèche : $d_s = 2,607$
Absorption : Abs = 0,61%

COMMENTAIRES

MF < 1,80 et ES > 80%

Il s'agit d'un sable fin, nécessitant une légère amélioration pour les bétons classiques et mortiers. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : Masse sec (g) =	DENOU 2550	Echantillon :		Sondage AHO4 Profondeur 3,5 m - 6,50 m Août 2007	
Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
42	12,5	0	0	0,00	100,00
41	10	4	4	0,16	99,84
40	8	15	19	0,75	99,25
38	5	40	59	2,31	97,69
35	2,5	240	299	11,73	88,27
32	1,25	732	1031	40,43	59,57
29	0,63	600	1631	63,96	36,04
26	0,315	353	1984	77,80	22,20
23	0,16	480	2464	96,63	3,37
20	0,08	80	2544	99,76	0,24

Tableau 2.12 : Composition granulométrique du sable de DENOU2

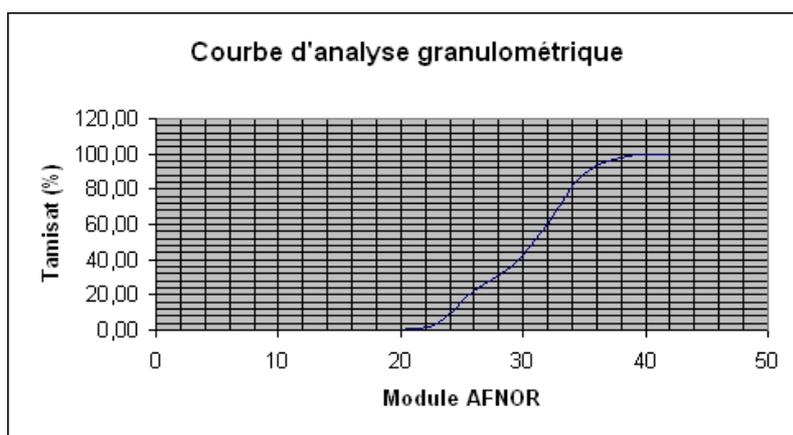


Figure 2.13 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de DENOU2

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 2,9302

Equivalence de Sable : ES = 96,61%

Densité apparente : $d_a = 1,51$

Densité sèche : $d_s = 2,613$

Absorption : Abs = 0,64%

COMMENTAIRES

$2,8 < MF < 3,2$ et $ES \geq 80\%$

Il s'agit d'un sable très propre. L'absence presque total de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau. Ce sable peut être utilisé pour la recherche de résistances élevées mais on aura moins d'ouvrabilité et des risques de ségrégation.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : **DENOU** Echantillon : **Sondage AHO5**
 Masse sec (g) = **2550** Date : **Août 2007**
 Profondeur **0,75 m - 1,60 m**

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
42	12,5	0	0	0,00	100,00
41	10	7	7	0,27	99,73
40	8	2	9	0,35	99,65
38	5	2	11	0,43	99,57
35	2,5	5	16	0,63	99,37
32	1,25	25	41	1,61	98,39
29	0,63	130	171	6,71	93,29
26	0,315	1491	1662	65,18	34,82
23	0,16	598	2260	88,63	11,37
20	0,08	270	2530	99,22	0,78

Tableau 2.14 : Composition granulométrique du sable de DENOU3

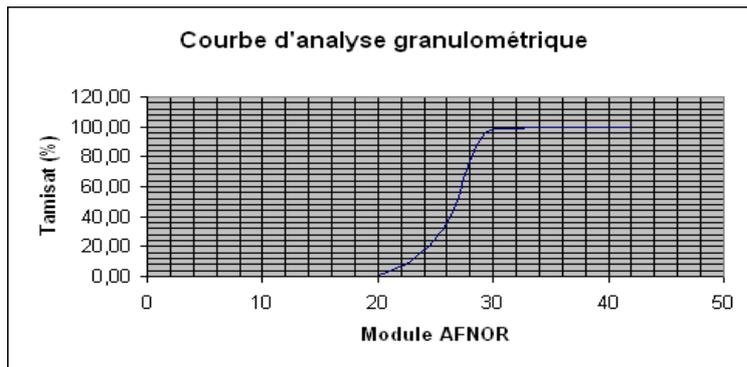


Figure 2.15 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de DENOU3

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,6346
 Equivalence de Sable : ES = 91,97%
 Densité apparente : $d_a = 1,48$
 Densité sèche : $d_s = 2,603$
 Absorption : Abs = 0,45%

COMMENTAIRES

MF < 1,80 et ES > 80%

L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable :	AGONSA	Echantillon :	Sondage AHO6		
Masse sec (g) =	1500	Date :	Profondeur 6,00 m - 8,00 m		
			Août 2007		
Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
38	5	0	0	0,00	100,00
35	2,5	1	1	0,07	99,93
32	1,25	33	34	2,27	97,73
29	0,63	397	431	28,73	71,27
26	0,315	703	1134	75,60	24,40
23	0,16	328	1462	97,47	2,53
20	0,08	32	1494	99,60	0,40

Tableau 2.15 : Composition granulométrique du sable de AGONSA1

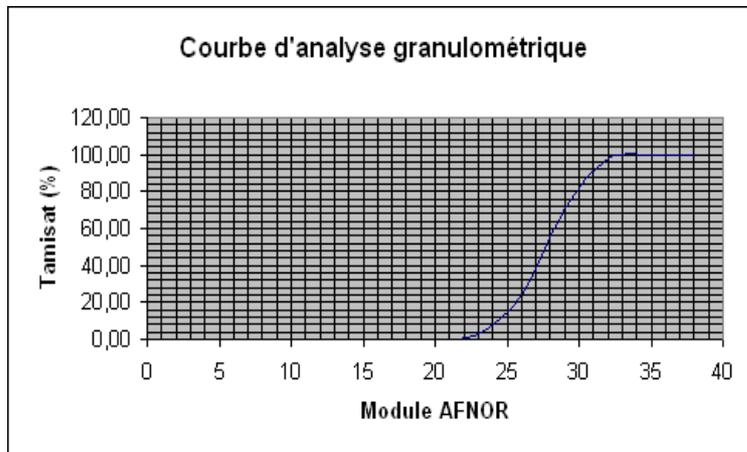


Figure 2.16 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de AGONSA1

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 2,0414

Equivalence de Sable : ES = 83,47%

Densité apparente : $d_a = 1,38$

Densité sèche : $d_s = 2,576$

Absorption : Abs = 0,56%

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 2,4820

Equivalence de Sable : ES = 78%

Densité apparente : $d_a = 1,51$

Densité sèche : $d_s = 2,534$

Absorption : Abs = 0,91%

COMMENTAIRES

$2,2 < MF < 2,8$ et $70\% < ES < 80\%$

Il s'agit d'un bon sable pour les bétons classiques et mortiers. En effet le sable est propre et contient un faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité. Le module de finesse est l'idéal.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du
sable :

KETONOU

Echantillon :

Sondage AHO8

Profondeur 8,00 m -11,50 m

Masse sec (g) =

2500

Date :

Août 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
40	8	0	0	0,00	100,00
38	5	1	1	0,04	99,96
35	2,5	1	2	0,08	99,92
32	1,25	3	5	0,20	99,80
29	0,63	14	19	0,76	99,24
26	0,315	224	243	9,72	90,28
23	0,16	1930	2173	86,92	13,08
20	0,08	290	2463	98,52	1,48

Tableau 2.17 : Composition granulométrique du sable de KETONOU

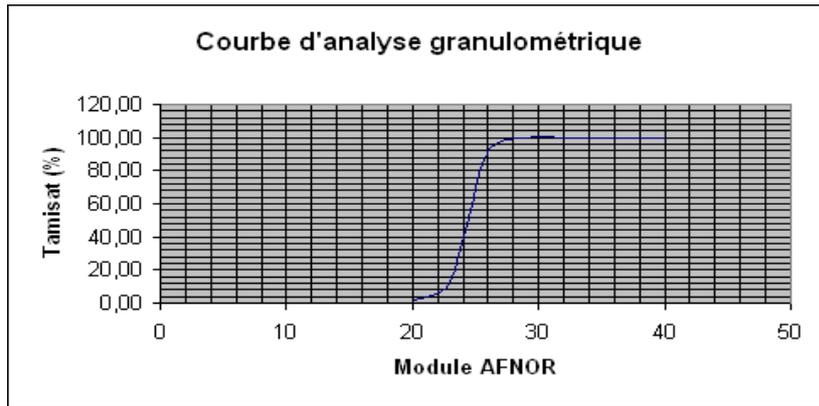


Figure 2.18 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de KETONOU

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 0,9772

Equivalence de Sable : ES = 50,42%

Densité apparente : $d_a = 1,53$

Densité sèche : $d_s = 2,564$

Absorption : Abs = 1,10%

COMMENTAIRES

MF < 2,2 et ES < 65%

Il s'agit d'un sable fin, mauvais pour les bétons classiques et mortiers à cause du risque de retrait ou de gonflement mais acceptable comme matériau routier ou remblai.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : DJASSIN

Echantillon :

Sondage DJA1
Profondeur 3,50 m

Masse sec (g) = 1240

Date : Août 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
38	5	0	0	0,00	100,00
35	2,5	663	663	53,47	46,53
32	1,25	424	1087	87,66	12,34
29	0,63	90	1177	94,92	5,08
26	0,315	44	1221	98,47	1,53
23	0,16	11	1232	99,35	0,65
20	0,08	3	1235	99,60	0,40

Tableau 2.18 : Composition granulométrique du sable de DJASSIN

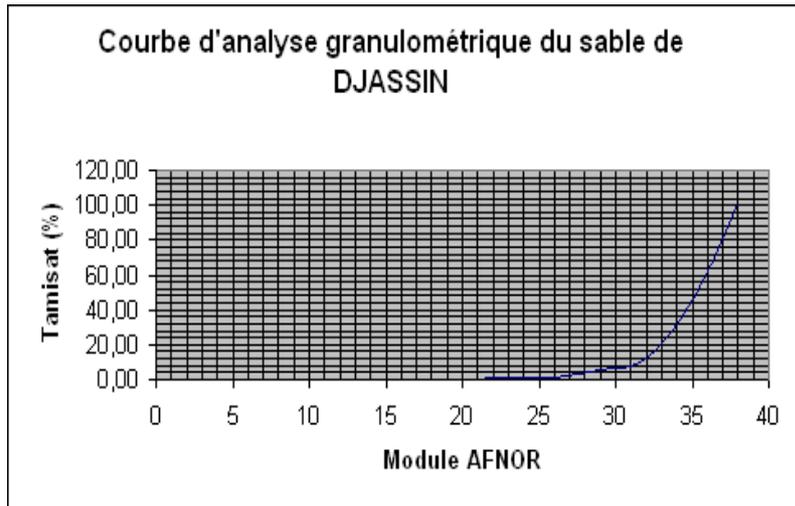


Figure 2.19: Courbe d'analyse granulométrique du sable de DJASSIN

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 4,3387

Equivalence de Sable : ES = 60%

Densité apparente : $d_a = 1,64$

Densité sèche : $d_s = 2,590$

Absorption : Abs = 0,49%

COMMENTAIRES

$MF > 3,2$ et $60 \leq ES < 70$

Il s'agit d'un sable grossier, légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : **KESSOUNOU** Echantillon : **Sondage KES**
 Masse sec (g) = **3000** Date : **Août 2007** Profondeur > 4,00 m

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
42	12,5	0	0	0,00	100,00
41	10	2	2	0,07	99,93
40	8	2	4	0,13	99,87
38	5	20	24	0,80	99,20
35	2,5	195	219	7,30	92,70
32	1,25	905	1124	37,47	62,53
29	0,63	1435	2559	85,30	14,70
26	0,315	385	2944	98,13	1,87
23	0,16	45	2989	99,63	0,37
20	0,08	4	2993	99,77	0,23

Tableau 2.19 : Composition granulométrique du sable de KESSOUNOU

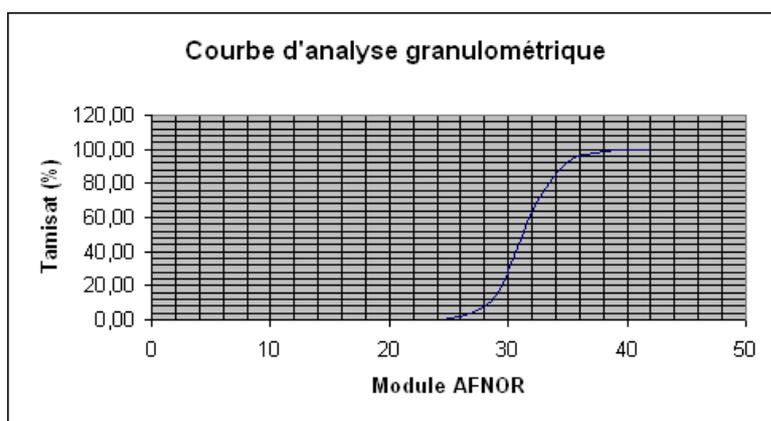


Figure 2.20 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de KESSOUNOU

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 3,2883

Equivalence de Sable : ES = 55,82%

Densité apparente : $d_a = 1,54$

Densité sèche : $d_s = 2,642$

Absorption : Abs = 0,34%

COMMENTAIRES

MF > 3,2 et ES < 60%

Il s'agit d'un sable grossier, et argileux. Risque de retrait ou de gonflement. A rejeter pour des bétons de qualité.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : TORI-GBOVIE Echantillon : Sondage APR1
 Profondeur 1,20 m
 Masse sec (g) = 2000 Date : Août 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
35	2,5	0	0	0,00	100,00
32	1,25	90	90	4,50	95,50
29	0,63	370	460	23,00	77,00
26	0,315	760	1220	61,00	39,00
23	0,16	500	1720	86,00	14,00
20	0,08	220	1940	97,00	3,00

Tableau 2.20 : Composition granulométrique du sable de TORI-GBOVIE

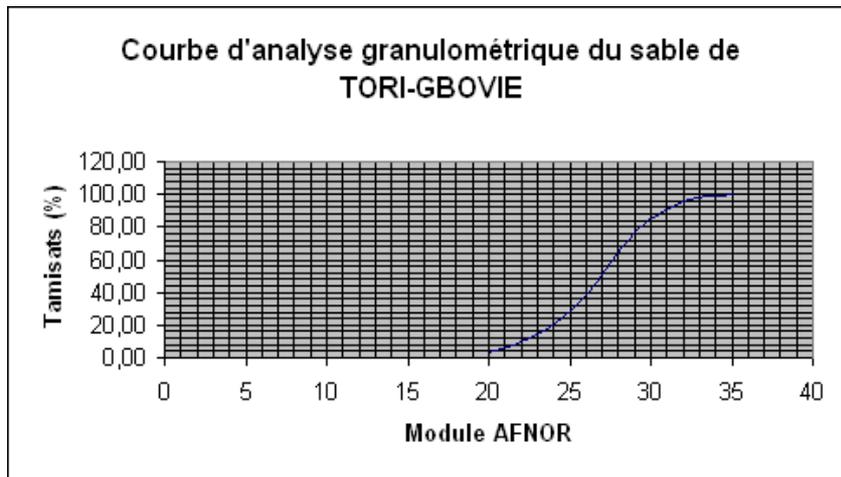


Figure 2.21 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de TORI-GBOVIE

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,745

Equivalence de Sable : ES = 58%

Densité apparente : $d_a = 1,50$

Densité sèche : $d_s = 2,600$

Absorption : Abs = 0,14%

COMMENTAIRES

1,8 < MF < 2,2 et ES < 60%

Les valeurs d'équivalence de sable et de module de finesse sont faibles. Ce sable ne peut pas servir dans les bétons ou mortiers d'ouvrages importants car il est argileux et le risque de retrait est grand.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable :	DJEGOHOUE	Echantillon :	Sondage APR2 Profondeur 0,95 m
Masse sec (g) =	2000	Date :	Août 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
35	2,5	0	0	0,00	100,00
32	1,25	60	60	3,00	97,00
29	0,63	360	420	21,00	79,00
26	0,315	850	1270	63,50	36,50
23	0,16	490	1760	88,00	12,00
20	0,08	160	1920	96,00	4,00

Tableau 2.21 : Composition granulométrique du sable de DJEGOHOUE

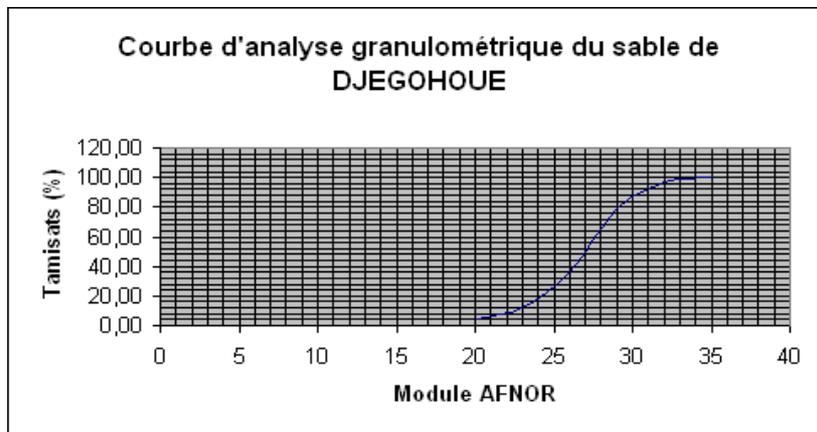


Figure 2.22 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de DJEGOHOUE

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,755

Equivalence de Sable : ES = 72%

Densité apparente : $d_a = 1,38$

Densité sèche : $d_s = 2,584$

Absorption : Abs = 0,18%

COMMENTAIRES

$1,8 < MF < 2,2$ et $70 \leq ES < 80$

Il s'agit d'un sable fin, nécessitant une légère amélioration pour les bétons classiques et mortiers.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance
du sable :

BIEKE

Echantillon :

**Sondage APR3
Profondeur 1,70 m**

Masse sec (g) =

2000

Date :

Août 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
35	2,5	0	0	0,00	100,00
32	1,25	80	80	4,00	96,00
29	0,63	20	100	5,00	95,00
26	0,315	1230	1330	66,50	33,50
23	0,16	450	1780	89,00	11,00
20	0,08	150	1930	96,50	3,50

Tableau 2.22 : Composition granulométrique du sable de BIEKE

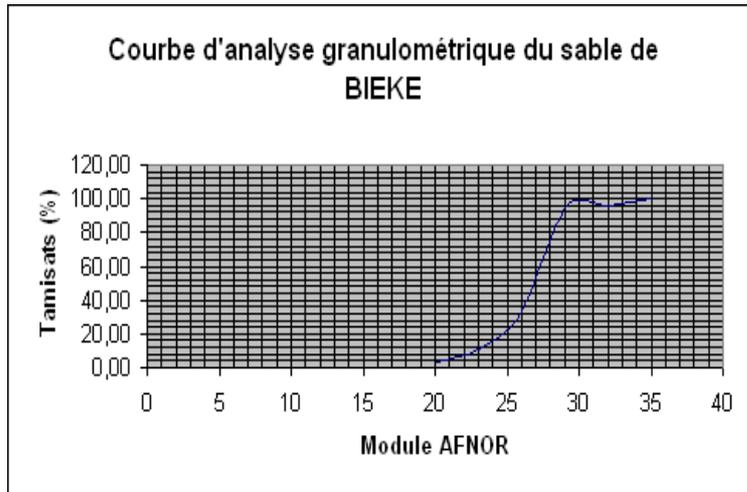


Figure 2.23 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de BIEKE

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,645

Equivalence de Sable : ES = 67%

Densité apparente : $d_a = 1,42$

Densité sèche : $d_s = 2,584$

Absorption : Abs = 0,24%

COMMENTAIRES

1,8 < MF < 2,2 et 60 % < ES < 70%

Les valeurs d'équivalence de sable et de module de finesse sont faibles. Ce sable ne peut pas servir dans les bétons ou mortiers d'ouvrages importants. Sable argileux retrait à craindre.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance
du sable :

OUEGA-TOKPA

Echantillon :

Sondage APR4
Profondeur 1,50m

Masse sec (g) =

2000

Date :

Août 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
35	2,5	0	0	0,00	100,00
32	1,25	190	190	9,50	90,50
29	0,63	680	870	43,50	56,50
26	0,315	800	1670	83,50	16,50
23	0,16	270	1940	97,00	3,00
20	0,08	50	1990	99,50	0,50

Tableau 2.23 : Composition granulométrique du sable de OUEGA-TOKPA

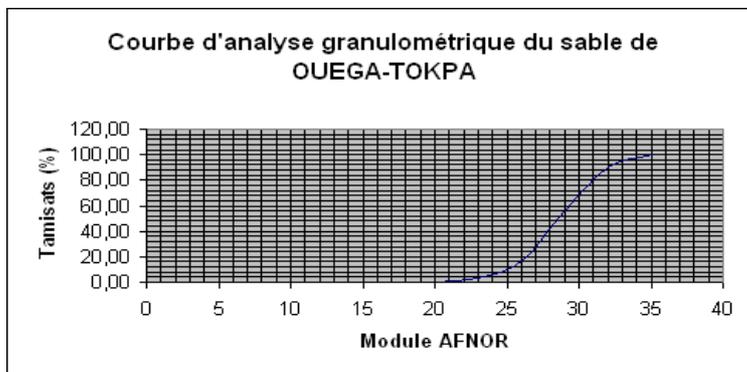


Figure 2.24 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de OUEGA-TOKPA

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 2,335

Equivalence de Sable : ES = 19%

Densité apparente : $d_a = 1,51$

Densité sèche : $d_s = 2,623$

Absorption : Abs = 0,18%

COMMENTAIRES

2,8 < MF < 3,2 et ES < 60%

La valeur d'équivalence de sable est très faible. Ce sable ne peut pas servir dans les bétons ou mortiers d'ouvrages importants car il est argileux et le risque de retrait ou de gonflement existe.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance du sable : **HEDOMEY** Echantillon : **Sondage APR5**
 Profondeur 1,40 m
 Masse sec (g) = **1000** Date : **Août 2007**

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
35	2,5	0	0	0,00	100,00
32	1,25	10	10	1,00	99,00
29	0,63	180	190	19,00	81,00
26	0,315	520	710	71,00	29,00
23	0,16	225	935	93,50	6,50
20	0,08	40	975	97,50	2,50

Tableau 2.24 : Composition granulométrique du sable de HEDOMEY

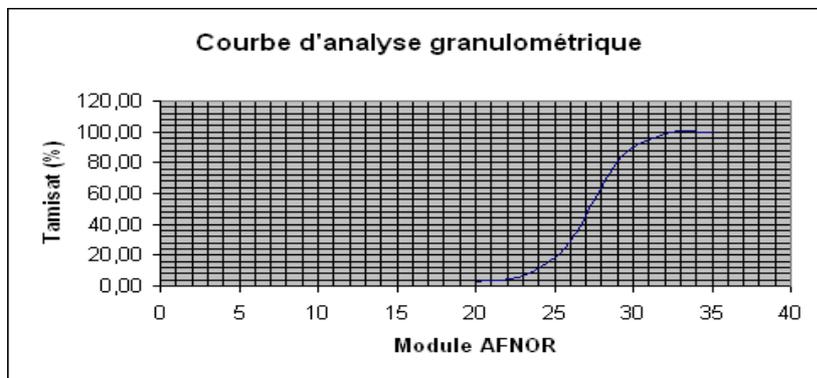


Figure 2.25 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de HEDOMEY
CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,845

Equivalence de Sable : ES = 80%

Densité apparente : $d_a = 1,49$

Densité sèche : $d_s = 2,600$

Absorption : Abs = 0,17%

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse : MF = 1,603
Equivalence de Sable : ES = 84,20%
Densité apparente : $d_a = 1,52$
Densité sèche : $d_s = 2,195$
Absorption : Abs = 3,38%

COMMENTAIRES

MF < 1,8 et ES ≥ 80%

Il s'agit d'un sable très propre et fin. Sa propreté peut avoir des inconvénients sur la plasticité du béton. Ce sable nécessite donc une amélioration pour les bétons classiques et mortiers.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance
du sable :

AHUIKODJI-MACHIN Echantillon :

Sondage MAC
Profondeur 2,00 m - 3,50 m

Masse sec (g) = 2000

Date :
Août
2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
40	8	0	0	0,00	100,00
38	5	5	5	0,25	99,75
35	2,5	80	85	4,25	95,75
32	1,25	246	331	16,55	83,45
29	0,63	564	895	44,75	55,25
26	0,315	776	1671	83,55	16,45
23	0,16	308	1979	98,95	1,05
20	0,08	17	1996	99,80	0,20

Tableau 2.26 : Composition granulométrique du sable de MACHIN

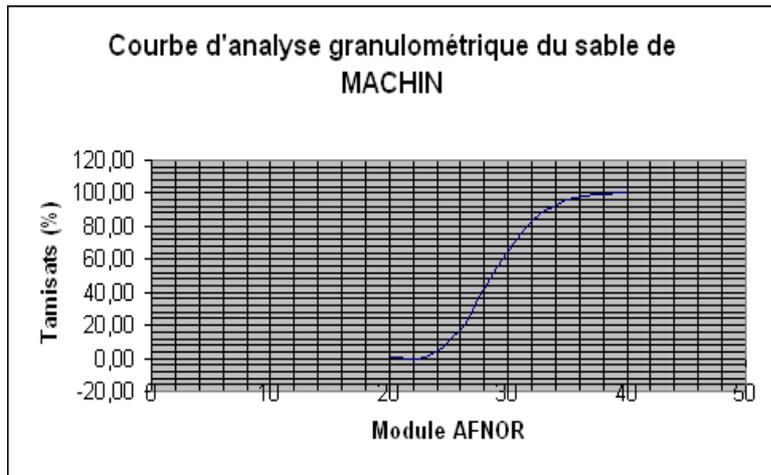


Figure 2.27 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de MACHIN

CARACTERISTIQUES

Module de Finesse	: MF = 2,483
Equivalence de Sable	: ES = 94,85%
Densité apparente	: $d_a = 1,51$
Densité sèche	: $d_s = 2,410$
Absorption	: Abs = 2,78%

COMMENTAIRES

$$2,2 < MF < 2,8 \quad \text{et} \quad ES \geq 80\%$$

Il s'agit d'un bon sable pour les bétons classiques et mortiers. C'est un sable très propre qui convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

CONCLUSION

Au regard de la disparité des résultats et observations sur les mêmes sites, il est recommandé lors de l'exploitation des carrières de procéder à des prélèvements périodiques en vue de contrôler et de vérifier les propriétés et aptitudes décelées.

2.2.5 Propriétés essentielles du mélange Sable continental / Ciment

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (brique, éléments préfabriqués, etc....) au moyen d'un mortier de ciment qui a pour but de :

- solidariser les éléments entre eux,
- assurer la stabilité de l'ouvrage,
- combler les interstices entre les blocs de construction.

2.2.5.1 Définition du mortier

On appelle mortiers les matériaux obtenus en gâchant dans un malaxeur des proportions convenables de ciment, d'eau et de granulats. C'est la dimension D du plus gros granulats qui détermine l'appellation : mortier pour $D \leq 4\text{mm}$, bétons pour $D > 4\text{mm}$.

Les différents granulats forment le squelette granulaire du mortier ou du béton. Le ciment et l'eau forme la pâte liante.

2.2.5.2 Composants du mortier

Un mortier est composé de sable, de fines particules, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre au besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques comme les adjuvants peuvent être envisagés.

a- Le Sable

Le sable, est une roche sédimentaire meuble constituée de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise généralement entre 0,063 et 2mm.

La teneur en fines d'un sable est définie par le passant à 0,063. Les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau, ce qui entraîne une chute de résistance.

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Les

dosages se feront en poids plutôt qu'en volume afin d'éviter les erreurs de dosage par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

b- Les fines particules

Une qualité essentielle du mortier est sa compacité qui dépend :

- la granulométrie du mélange ;
- la teneur en eau du mélange.

L'optimisation de la compacité, en relation avec la granulométrie, obéit à certaines règles.

Le principe est simple : les éléments les plus fins se logent dans les vides des éléments les plus gros.

Les éléments les plus gros du sable créent des macro vides que l'on peut remplir par des fines. Et ces fines sont du ciment, puisque la quantité nécessaire de ciment pour assurer la résistance coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir la bonne résistance. Cette concordance entre besoin en fines et dosage en ciment se traduit par la règle :

$$C = \frac{550}{\sqrt[5]{D}} \quad \text{ou} \quad C = \frac{700}{\sqrt[5]{D}}$$

C= dosage minimum et maximum en ciment en fonction du diamètre D du granulat employé.

Par exemple pour $D_{\max} = 4\text{mm}$ on a $415\text{kg/m}^3 < \mathbf{C} < 530\text{kg/m}^3$;

$D_{\max} = 2\text{mm}$ on a $480\text{kg/m}^3 < \mathbf{C} < 610\text{kg/m}^3$;

$D_{\max} = 1\text{mm}$ on a $550\text{kg/m}^3 < \mathbf{C} < 700\text{kg/m}^3$.

On constate que plus le sable est fin plus le dosage en ciment devient très élevé pour avoir une bonne compacité.

c- Les Ciments

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un mortier est conforme à la norme NF P 15-301. Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation.

d- L'eau

L'eau utilisée pour la confection du mortier est conforme à la norme NF P 18-303. L'eau efficace est essentiellement l'eau de gâchage.

e- L'Adjuvants

On utilise dans le mortier les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels pour exploiter les mêmes propriétés.

La spécificité du mortier privilégie toutefois l'usage de plastifiants ou de super plastifiants : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins.

2.2.5.3 Essais sur les mortiers: Les caractéristiques principales du mortier (EN 196-1)

Les caractéristiques principales des mortiers sont :

- Ouvrabilité
- Résistances mécaniques
- Retrait et gonflement

Pour pouvoir évaluer les caractéristiques des mortiers on prend souvent comme référence le mortier 1/3 composé en poids de : une partie de ciment et 3 parties de sable normalisés et 0,50 partie d'eau.

Ainsi, les proportions de sable, de ciment et d'eau du mortier normal ont été respectées pour composer les différents mortiers à tester :

Masse de Sable Prendre une certaines quantités S

Masse de Ciment : Prendre une quantité $C = \frac{S}{3}$

Masse d'Eau : Prendre une quantité $E = \frac{C}{2}$

Le rapport E/C d'un tel mortier est donc 0,50.

Avant d'être utilisé pour les différents essais de résistances, ce mortier est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme (EN. 196-1) résumées dans le tableau ci-après:

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment		Introduction du sable		Raclage conforme de la cuve		
Durée			30 s	30 s	30 s	15 s	1 min 15 s	60 s
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente		Vitesse rapide	Arrêt		Vitesse rapide

Tableau 2.27 : Différentes phases du malaxage sable continental – ciment – eau.

2.2.5.3.1 Résistances mécaniques des mortiers : Mesure des résistances à la compression et à la traction (EN 196-1).

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier. Dans un tel mortier la seule variable est la granulométrie du sable, toutes choses étant égales par ailleurs.

L'équipement nécessaire est énuméré ci-dessous :

- Un malaxeur,
- Des moules permettant de réaliser 3 éprouvettes cubiques de 5cm de côté pour la compression et des éprouvettes en forme (8) de section centrale 2,50cm x 2,50 cm pour la traction (Fig 2.28),
- Un équipement de chocs permettant d'appliquer 25 chocs par couche aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15mm,

- Une machine d'essais de résistance à la compression (Fig 2.29),
- Une machine d'essais de résistance à la traction (Fig 2.30).



Figure 2.28 : Photo des moules <forme cubiques de 5cm de côté> et<Forme 8> permettant de réaliser 3 éprouvettes.



Figure 2.29 : Photo de la machine d'essais de résistance à la compression sur éprouvettes de mortier <Forme cubique>



Figure 2.30 : Photo de la machine d'essais de résistance à la traction sur éprouvettes de mortier <Forme 8>

Les essais d'écrasements ont lieu à 7 jours, 14 jours, 21 jours et 28 jours.

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous :

Type de blocs et Références éprouvettes	Module de finesse du sable étudié	Dosage en ciment Kg/m ³	Section pressée (cm ²)	Charge de rupture (N)	Contrainte de rupture (M Pa)	Contrainte moyenne de rupture (M Pa)
Sable de GOHO AHO1	1,7667	300	25	18 000	7,20	8,26
				20 000	8,00	
				24 000	9,60	
Sable de GOHO AHO2	2,6648	300	25	34 000	13,60	14,66
				38 000	15,20	
				38 000	15,20	
Sable de DENOU AHO3	1,768	300	25	26 000	10,40	9,06
				22 000	8,80	
				20 000	8,00	
Sable de DENOU AHO4	2,9302	300	25	12 000	4,80	8,00
				24 000	9,60	
				24 000	9,60	
Sable de DENOU AHO5	1,6346	300	25	16 000	6,40	6,93
				18 000	7,20	
				18 000	7,20	
Sable de AGONSA AHO6	2,0414	300	25	26 000	10,40	14,66
				46 000	18,40	
				38 000	15,20	
Sable de KETONOU AHO8	0,9772	300	25	10 000	4,00	4,00
				10 000	4,00	
				10 000	4,00	
Sable de AKASSATO SOAVA ASA3	2,8772	300	25	24 000	9,60	9,06
				20 000	8,00	
				24 000	9,60	
Sable de AHUIKODJI	1,845	300	25	40 000	16,00	17,33
				38 000	15,20	
				52 000	20,80	

Tableau 2.28: Résistance à la compression à 7 jours d'âge de mortier de sables Continentaux

Type de blocs et Références éprouvettes	Module de finesse du sable étudié	Dosage en ciment Kg/m ³	Section pressée (cm ²)	Charge de rupture (N)	Contrainte de rupture (M Pa)	Contrainte moyenne de rupture (M Pa)
Sable de GOHO AHO1	1,7667	300	6,25	1360	2,18	2,59
				1560	2,50	
				1940	3,10	
Sable de GOHO AHO2	2,6648	300	6,25	1820	2,91	2,99
				1800	2,88	
				2000	3,20	
Sable de DENOU AHO3	1,768	300	6,25	1190	1,90	2,01
				1370	2,19	
				1220	1,95	
Sable de DENOU AHO4	2,9302	300	6,25	1360	2,18	2,17
				1480	2,37	
				1230	1,97	
Sable de DENOU AHO5	1,6346	300	6,25	1370	2,19	2,05
				1270	2,03	
				1210	1,94	
Sable de AGONSA AHO6	2,0414	300	6,25	1610	2,58	2,48
				1450	2,32	
				1590	2,54	
Sable de KETONOU AHO8	0,9772	300	6,25	460	0,74	0,76
				520	0,83	
				450	0,72	
Sable de KASSATO SOAVA ASA3	2,8772	300	6,25	2020	3,23	2,75
				1740	2,78	
				1400	2,24	
Sable de AHUIKODJI	1,845	300	6,25	1620	2,59	3,00
				2020	3,23	
				2000	3,20	

Tableau 2.29 : Résistance à la traction à 7 jours d'âge de mortier de sables Continentaux

Type de blocs et Références éprouvettes	Module de finesse du sable étudié	Dosage en ciment Kg/m ³	Section pressée (cm ²)	Charge de rupture (N)	Contrainte de rupture (M Pa)	Contrainte moyenne de rupture (M Pa)
Sable de GOHO AHO1	1,7667	300	25	17 000	6,80	10,25
				29 750	11,90	
				30 125	12,02	
Sable de GOHO AHO2	2,6648	300	25	58 000	23,20	15,87
				25 000	10,00	
				21 000	14,41	
Sable de DENOU AHO3	1,768	300	25	32 125	12,85	13,24
				35 450	14,18	
				31 725	12,69	
Sable de DENOU AHO4	2,9302	300	25	29 500	11,80	11,70
				31 250	12,50	
				27 000	10,80	
Sable de DENOU AHO5	1,6346	300	25	12 000	4,80	7,10
				21 500	8,60	
				19 750	7,90	
Sable de AGONSA AHO6	2,0414	300	25	34 500	13,80	16,40
				43 000	17,20	
				45 500	18,20	
Sable de KETONOU AHO8	0,9772	300	25	10 000	4,00	4,00
				10 000	4,00	
				23 875	9,55	
Sable de AKASSATO SOAVA ASA3	2,8772	300	25	36 000	14,40	15,60
				54 000	21,60	
				27 000	10,80	
Sable de AHUIKODJI	1,845	300	25	67 000	26,80	25,73
				63 000	25,20	
				63 000	25,20	

Tableau 2.30 : Résistance à la compression à 14 jours d'âge de mortier de sables Continentaux

Type de blocs et Références éprouvettes	Module de finesse du sable étudié	Dosage en ciment Kg/m ³	Section pressée (cm ²)	Charge de rupture (N)	Contrainte de rupture (M Pa)	Contrainte moyenne de rupture (M Pa)
Sable de GOHO AHO1	1,7667	300	6,25	1620	2,59	2,70
				1540	2,92	
				1620	2,59	
Sable de GOHO AHO2	2,6648	300	6,25	1660	2,66	3,21
				2220	3,55	
				2140	3,42	
Sable de DENO AHO3	1,768	300	6,25	1940	3,10	2,59
				1560	2,50	
				1360	2,18	
Sable de DENO AHO4	2,9302	300	6,25	1960	3,14	2,55
				1460	2,34	
				1360	2,18	
Sable de DENO AHO5	1,6346	300	6,25	1020	1,63	2,06
				1310	2,10	
				1530	2,45	
Sable de AGONSA AHO6	2,0414	300	6,25	2060	3,30	2,72
				1450	2,32	
				1590	2,54	
Sable de KETONOU AHO8	0,9772	300	6,25	620	0,99	0,99
				640	1,02	
				600	0,96	
Sable de KASSATO SOAVA ASA3	2,8772	300	6,25	1620	2,59	2,78
				1960	3,14	
				1630	2,61	
Sable de AHUIKODJI	1,845	300	6,25	2150	3,44	3,21
				2240	3,58	
				1640	2,62	

Tableau 2.31: Résistance à la traction à 14 jours d'âge de mortier de sables Continentaux

Type de blocs et Références éprouvettes	Module de finesse du sable étudié	Dosage en ciment Kg/m ³	Section pressée (cm ²)	Charge de rupture (N)	Contrainte de rupture (M Pa)	Contrainte moyenne de rupture (M Pa)
Sable de GOHO AHO1	1,7667	300	25	27 950	11,18	12,06
				32 875	13,15	
				29 625	11,85	
Sable de GOHO AHO2	2,6648	300	25	46 250	18,50	18,67
				43 000	17,20	
				50 775	20,31	
Sable de DENO AHO3	1,768	300	25	35 750	14,30	15,65
				38 625	15,45	
				43 000	17,20	
Sable de DENO AHO4	2,9302	300	25	28 750	11,50	13,82
				35 500	14,20	
				39 400	15,76	
Sable de DENO AHO5	1,6346	300	25	18 750	7,50	8,35
				16 250	6,50	
				27 625	11,05	
Sable de AGONSA AHO6	2,0414	300	25	55 000	22,00	19,29
				52 500	21,00	
				37 175	14,87	
Sable de KETONOU AHO8	0,9772	300	25	17 500	7,00	6,90
				17 500	7,00	
				16 750	6,70	
Sable de AKASSATO SOAVA ASA3	2,8772	300	25	35 000	14,00	15,65
				47 375	18,95	
				35 000	14,00	
Sable de AHUIKODJI	1,845	300	25	67 500	27,00	29,94
				75 000	30,00	
				82 125	32,85	

Tableau 2.32: Résistance à la compression à 21 jours d'âge de mortier de sables Continentaux

Type de blocs et Références éprouvettes	Module de finesse du sable étudié	Dosage en ciment Kg/m ³	Section pressée (cm ²)	Charge de rupture (N)	Contrainte de rupture (M Pa)	Contrainte moyenne de rupture (M Pa)
Sable de GOHO AHO1	1,7667	300	6,25	1190	1.90	2,84
				2260	3.62	
				1880	3.00	
Sable de GOHO AHO2	2,6648	300	6,25	1880	3.00	3,43
				1880	3.00	
				2680	4.29	
Sable de DENO AHO3	1,768	300	6,25	1880	3.00	2,75
				1880	3.00	
				1410	2.25	
Sable de DENO AHO4	2,9302	300	6,25	1250	2.00	2,72
				1980	3.16	
				1880	3.00	
Sable de DENO AHO5	1,6346	300	6,25	1440	2.30	2,10
				1250	2.00	
				1250	2.00	
Sable de AGONSA AHO6	2,0414	300	6,25	2280	3.64	2,88
				1250	2.00	
				1880	3.00	
Sable de KETONOU AHO8	0,9772	300	6,25	630	1.00	1,02
				630	1.00	
				660	1.06	
Sable de KASSATO SOAVA ASA3	2,8772	300	6,25	1560	2.50	2,89
				1560	2.50	
				2290	3.67	
Sable de AHUIKODJI	1,845	300	6,25	2500	4.00	3,30
				1880	3.00	
				1810	2.90	

Tableau 2.33: Résistance à la traction à 21 jours d'âge de mortier de sables Continentaux

Type de blocs et Références éprouvettes	Module de finesse du sable étudié	Dosage en ciment Kg/m ³	Section pressée (cm ²)	Charge de rupture (N)	Contrainte de rupture (M Pa)	Contrainte moyenne de rupture (M Pa)
Sable de GOHO AHO1	1,7667	300	25	35300	14.12	13,26
				25625	10.25	
				38525	15.41	
Sable de GOHO AHO2	2,6648	300	25	48750	19.50	20,56
				50000	20.00	
				55450	22.18	
Sable de DENO AHO3	1,768	300	25	42500	17.00	17,21
				42500	17.00	
				44075	17.63	
Sable de DENO AHO4	2,9302	300	25	35000	14.00	15,20
				37500	15.00	
				41500	16.60	
Sable de DENO AHO5	1,6346	300	25	25000	10.00	9,18
				18850	7.54	
				25000	10.00	
Sable de AGONSA AHO6	2,0414	300	25	55000	22.00	20,25
				57500	23.00	
				39375	15.75	
Sable de KETONOU AHO8	0,9772	300	25	22500	9.00	7,60
				12000	4.80	
				22500	9.00	
Sable de AKASSATO SOAVA ASA3	2,8772	300	25	50000	20.00	17,21
				26575	10.63	
				52500	21.00	
Sable de AHUIKODJI	1,845	300	25	75000	30.00	30,01
				75075	30.03	
				75000	30.00	

Tableau 2.34 : Résistance à la compression à 28 jours d'âge de mortier de sables Continentaux

Type de blocs et Références éprouvettes	Module de finesse du sable étudié	Dosage en ciment Kg/m ³	Section pressée (cm ²)	Charge de rupture (N)	Contrainte de rupture (M Pa)	Contrainte moyenne de rupture (M Pa)
Sable de GOHO AHO1	1,7667	300	6,25	1880	3.00	2,87
				1880	3.00	
				1630	2.61	
Sable de GOHO AHO2	2,6648	300	6,25	1880	3.00	3,50
				2810	4.50	
				1880	3.00	
Sable de DENOUE AHO3	1,768	300	6,25	2180	3.49	2,83
				1560	2.50	
				1560	2.50	
Sable de DENOUE AHO4	2,9302	300	6,25	1750	2.80	2,80
				1750	2.80	
				1750	2.80	
Sable de DENOUE AHO5	1,6346	300	6,25	1250	2.00	2,16
				1250	2.00	
				1550	2.48	
Sable de AGONSA AHO6	2,0414	300	6,25	1560	2.50	3,05
				1880	3.00	
				2280	3.65	
Sable de KETONOU AHO8	0,9772	300	6,25	630	1.00	1,05
				630	1.00	
				720	1.15	
Sable de KASSATO SOAVA ASA3	2,8772	300	6,25	1560	2.50	2,94
				2390	3.82	
				1560	2.50	
Sable de AHUIKODJI	1,845	300	6,25	2490	3.99	3,33
				1880	3.00	
				1880	3.00	

Tableau 2.35 : Résistance à la traction à 28 jours d'âge de mortier de sables Continentaux

Les dosages des différents mortiers de sable/ciment sont obtenus de la façon suivante :

Soient m_c , la masse de ciment introduite dans le malaxeur, m_e , la masse d'eau, m_s , la masse de sable et φ_c , φ_e , φ_s leurs masse volumiques respectives.

Le volume occupé par ces matériaux est :

$$v = (m_c / \varphi_c) + (m_e / \varphi_e) + (m_s / \varphi_s)$$

Si le mortier ne renfermait pas d'air occlus, sa masse volumique serait :

$$\varphi = (m_c + m_e + m_s) / v$$

Les dosages C, E et S en ciment, eau et sable par unité de volume de mortier en place ainsi que le volume qu'y occupent ces matériaux ont pour expression :

$$C = m_c / v ; E = m_e / v ; S = m_s / v$$

$$V_c = C / \varphi_c ; V_e = E / \varphi_e ; V_s = S / \varphi_s$$

Par exemple pour le sable de GOHO (échantillon AHO1) on a :

- Densité apparente du sable de GOHO: $d_s = 1,49$; $m_s = 1350g$
- Densité apparente du ciment : $d_c = 1,25$; $m_c = 450g$
- Densité apparente de l'eau : $d_e = 1$; $m_e = 225g$
- $E/C=0,50$

Ainsi on a : $V = 1491 \text{ cm}^3$

$$\text{Et: } C = 300 \text{ Kg} / \text{m}^3 ; E = 150 \text{ Kg} / \text{m}^3 ; S = 905 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Et correspondent en volume pour 1 m^3 de mortier à :

$$V_c = 240 \text{ L} ; V_e = 150 \text{ L} ; V_s = 610 \text{ L}$$

Les différents résultats obtenus à l'issu des écrasements successifs sont visualisés par les courbes ci-après :

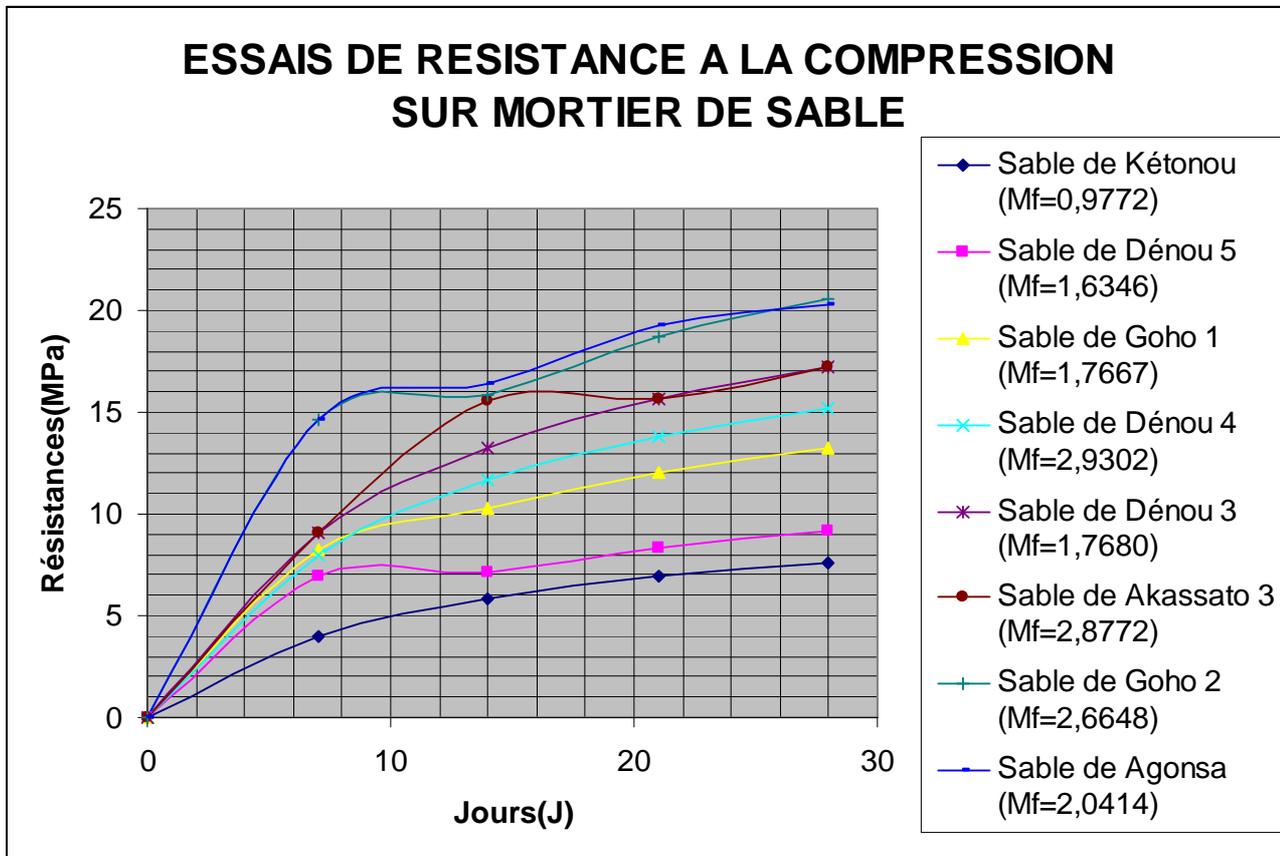


Figure 2.31: Variation de la résistance à la compression des mortiers de sables continentaux

COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS :

Les valeurs de la résistance à la compression sont comprises entre 6MPa et 20 MPa.

Les résistances des mortiers (comme dans le cas du béton) dépendent de très nombreux facteurs à savoir :

- La nature et dosage en ciment ;
- Le rapport C/E
- La granulométrie et nature du sable ;
- L'énergie de malaxage et mise en œuvre ;
- La protection les tous premiers jours ;

La seule variable étant la granulométrie et la nature du sable, il a été constaté que les résistances à la compression des mortiers progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours). Exception faite de certaines disparités plus le module de finesse du sable est élevé (sable grossier) plus la résistance à la compression est élevée.

Ainsi la résistance à la compression augmente sensiblement pour des valeurs plus élevées du module de finesse du sable. Pour des raisons d'ouvrabilité, il convient de limiter la valeur du module de finesse qui limiterait à son tour les risques de ségrégation du mortier.

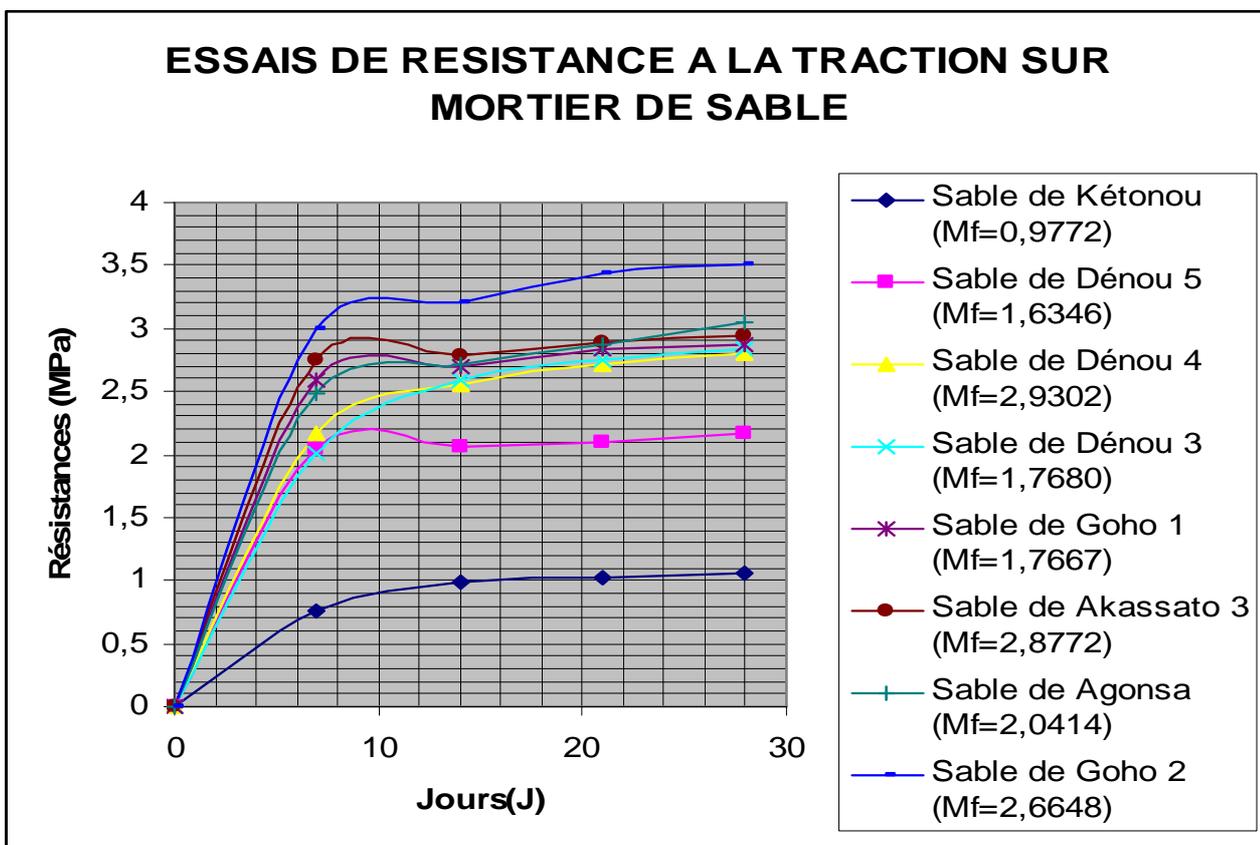


Figure 2 .32: Variation de la résistance à la traction des mortiers de sables continentaux

COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS

Les valeurs de la résistance à la traction sont comprises entre 1 MPa et 3,5 MPa. Soit environ 10 fois plus faible que les valeurs obtenues à la compression. De plus la résistance à la traction progresse à peu près comme logarithme du temps et croît avec le module de finesse du sable. Les sables grossiers résistent mieux à la traction que les sables fins.

2.2.5.3.2 Retraits et gonflements des mortiers : Mesure des retraits volumiques (Norme NF 15-433)

Il s'agit d'évaluer le retrait ou le gonflement volumique, que provoque le ciment sur des éprouvettes de mortiers étudiées.

Pour ce fait, on compare à différents temps t , la variation de volume d'une éprouvette 5 x 5 x 5, par rapport à son volume à un temps t_0 pris pour origine.

Soit $V(t_0)$ le volume de l'éprouvette au temps t_0 choisi pour origine et qui est prise au moment du démoulage, soit 24 heures après la confection des éprouvettes. La variation de volume au temps t sera :

$$\Delta V(t) = V(t) - V(t_0) = dV(t) - dV(t_0)$$

La variation relative de volume a pour expression :

$$\varepsilon(t) = \Delta V(t) / V$$

Sur chaque côté de l'éprouvette les mesures sont prises avec la pierre à Coulis au milieu et aux extrémités et la moyenne est prise en compte dans les calculs.

$\varepsilon(t)$ est obtenu en faisant la moyenne sur les trois éprouvettes issues du même moule ayant $E/C = 0,50$ et qui ont été conservés dans l'air pour étudier le retrait enregistré.

Dans ces conditions $\varepsilon(t)$ est négatif et on parle alors de retrait de l'éprouvette.

Lorsque les éprouvettes sont conservés dans l'eau, $\varepsilon(t)$ peut être positif : il y a alors gonflement .

La situation se présente comme suit :

Type de Mortier	DIMENSIONS EPROUVETTE 1				DIMENSIONS EPROUVETTE 2				DIMENSIONS EPROUVETTE 3			
	C1	C2	C3	Moy 1	C1	C2	C3	Moy 2	C1	C2	C3	Moy 3
AHO 1	4,99	4,98	4,98	4,98	5	4,99	5	5,00	5	5	5	5,00
AHO2	4,99	5	5	5,00	5	5	4,99	5,00	4,99	4,98	4,99	4,99
AHO3	5	5	5	5,00	5	5	5	5,00	4,98	4,98	4,99	4,98
AHO4	5	4,99	5	5,00	4,98	4,99	4,99	4,99	5	5	4,99	5,00
AHO5	5	5	5	5,00	4,99	5	5	5,00	4,9	5	5	4,97
AHO6	5	4,99	5	5,00	5	5	4,98	4,99	4,98	5	5	5,00
AHO8	4,96	4,95	4,95	4,95	5	5	4,99	5,00	5	4,99	5	5,00
ASA3	5	5	5	5,00	5	4,97	4,99	4,99	5	5	4,99	5,00
AHU1	5	5	5	5,00	5	5	5	5,00	4,98	5	4,98	4,99

TABLEAU 2.36 : Mesure sur les échantillons à 7 jours d'âge de mortier de sables conservé dans l'air.

REFERENCES EPROUVETTES	RETRAIT VOLUMIQUE $\Delta V/V$ (‰)			
	EPROUVETTE 1	EPROUVETTE 2	EPROUVETTE 3	MOYENNE DES 3 EPROUVETTES
AHO 1	- 11,95	0	0	-3,98
AHO 2	0	0	-5,98	-2
AHO 3	0	0	-11,95	-3,98
AHO 4	0	-4,98	0	-2
AHO 5	0	0	-17,89	-5,96
AHO 6	0	- 5,98	0	-2
AHO 8	- 29,70	0	0	-9,90
ASA 3	0	- 5,98	0	-2
AHU 1	0	0	- 5,98	-2

TABLEAU 2.37: Valeurs du retrait (en ‰) de chaque échantillon à 7 jours d'âge

Les mêmes mesures ont été faites sur les mêmes échantillons de blocs de mortier à 14 jours d'âge, à 21 jours d'âge et à 28 jours d'âge.

Les résultats se présentent comme suit :

Périodes de mesures	Retraits Volumiques Calculés $\Delta V/V$ (‰)								
	Echantillon AHO8	Echantillon AHO5	Echantillon AHO1	Echantillon AHO3	Echantillon AHU	Echantillon AHO6	Echantillon AHO2	Echantillon ASA3	Echantillon AHO4
7j	9,9	5,96	3,98	3,98	2	2	2	2	2
14j	12,87	7,75	5,45	5,18	2,74	2,7	2,56	2,54	2,5
21j	14,85	8,9	6,3	5,95	3,2	3,2	3	2,85	2,8
28j	15,44	9,53	6,7	6,32	3,37	3,5	3,2	2,99	2,88

TABLEAU 2.38 : Valeurs du retrait (en ‰) de chaque échantillon à 7 jours d'âge à 14 jours d'âge à 21 jours d'âge et à 28 jours d'âge

Ces résultats ont permis de tracer les différentes courbes représentatives du retrait volumique en fonction du temps.

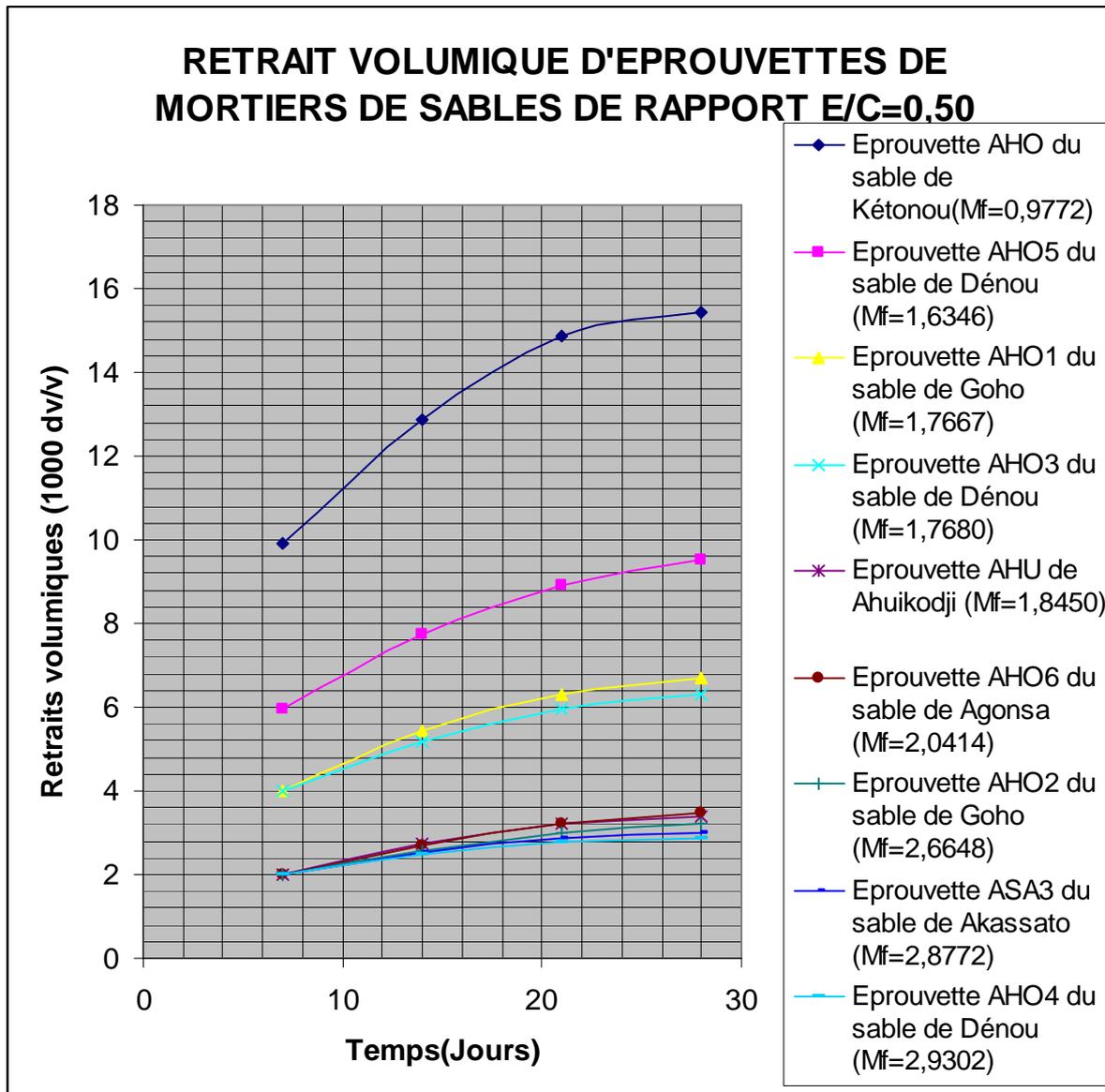


Figure 2.33 : Variation du retrait volumique des éprouvettes des mortiers de sables continentaux

COMMENTAIRE SUR LES RESULTATS

La mesure du retrait sur le mortier n'a pas été fait conformément aux normes. On peut accéder aux déformations de retrait sur des éprouvettes en mortier à l'aide d'extensomètre.

Dans le cas d'espèce, les retraits se mesurent sur des cubes 5x5x5 cm de mortier 1/3 après démoulage dans une enceinte d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 7 et 28 jours. Le retrait est de l'ordre de 2 à 10‰ les premiers jours puis augmente pour atteindre 3 à 15 ‰

Le retrait mesuré sur les mortiers est plus élevé que celui mesuré sur le béton classique pour deux raisons principales :

- Le volume de pâte dans un béton est généralement beaucoup plus faible que dans un mortier : de l'ordre de 30% pour un béton contre plus de 40% pour le mortier. Or c'est la pâte qui se rétracte et non le squelette granulaire qui, au contraire s'oppose au retrait.
- D'autre part, par définition, les dimensions des granulats d'un béton sont plus importantes que celles du sable utilisé dans un mortier. Or ce sont les plus gros grains du granulat qui sont déterminants dans la limitation du retrait. Plus le granulat est gros et mieux il limite les effets du retrait.

Pour limiter le retrait, il conviendra donc de limiter le volume de pâte et d'utiliser les granulats les plus gros possibles compatibles avec le coffrage.

2.2.6 Amélioration de la granulométrie de sable fin

Les carrières de sable de SINFEFENOU et de MACHIN ont été ciblées pour la réalisation pratique des murs à joints verticaux secs et horizontaux évidés en agglomérés de sable/ciment.

Il s'agit donc d'améliorer le module de finesse très faible du sable de SINFEFENOU par le sable de MACHIN tous situés dans les régions de AHUIKODJI et d'apprécier l'incidence sur la résistance du mortier à base du mélange effectué.

Les formules de combinaison expérimentale du sable de SINFEFENOU et du sable de MACHIN, sont basées sur un volume de sable à humidité naturelle et de ciment de 1440 litres pour un mètre cube de mortier. Pour un dosage de X (Kg/m³), le volume apparent du ciment est donné par : $V=X/d_a$ avec d_a la densité apparente du ciment. Ici $d_a=1,25$.

Le volume apparent granulat est donné par $V_{\text{granulat}}=1440-V$.

Les études d'identification des sables de SINFEFENOU et de MACHIN donnent les résultats ci-après :

Sable de SINFEFENOU

- Module de finesse : $M_f = 1,603$
- Densité apparente : $d_a = 1,521$

Sable de MACHIN

- Module de finesse : $M_f = 2,483$
- Densité apparente : $d_a = 1,507$

Avec $E/C=0,80$ et un dosage en ciment de 250Kg/m^3 les différentes compositions sont résumées dans les tableaux suivants :

Combinaisons sable de SINFEFENOU et sable de MACHIN à AHUIKODJI.

- 6 Volumes de sable de SINFEFENOU soit un pourcentage de 100%
- 0 Volume de sable de Machin soit un pourcentage de 00%
- Module de finesse : 1,603

Provenance du sable : AHUIKODJI-SINFEFENOU
Masse sec (g) = 2000
Echantillon : Sondage SIN Profondeur 2,00m - 3,50m
Date : Septembre 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
38	5	0	0	0,00	100,00
35	2,5	7	7	0,35	99,65
32	1,25	52	59	2,95	97,05
29	0,63	238	297	14,85	85,15
26	0,315	770	1067	53,35	46,65
23	0,16	709	1776	88,80	11,20
20	0,08	219	1995	99,75	0,25

Tableau 2.39 : Composition granulométrique du mélange 100% Sable de SINFEFENOU et 00% Sable de MACHIN

COMPOSITION DU MORTIER

Pour obtenir 1m3 de mortier, il faut					En proportion dosage de chantier				
Ciment Kg/m3	Ciment (L)	Eau (L)	Sable <SIN> (L)	Sable <MAC> (L)	Ratio $\frac{\langle \text{SIN} \rangle}{C}$	Ratio $\frac{\langle \text{SIN} \rangle}{\langle \text{MAC} \rangle}$	Ciment	Sable MACHIN	Sable SINFEFENOU
250	200	160	1240	0	6	-	1	0	6

Tableau 2.40 : Composition du mortier du mélange 100% Sable de SINFEFENOU et 00% Sable de MACHIN

- 4 Volumes de sable de SINFEFENOU soit un pourcentage de 66,67%
- 2 Volumes de sable de Machin soit un pourcentage de 33,33%
- Module de finesse : 1,896

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

AHUIKODJI

Provenance du sable : (SINFEFENOU et MACHIN)

Echantillon n : MELANGE 2SIN-1MAC
Septembre

Masse sec (g) = 2000

Date : 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
40	8	0	0	0,00	100,00
38	5	2	2	0,10	99,90
35	2,5	31	33	1,65	98,35
32	1,25	117	150	7,50	92,50
29	0,63	346	496	24,80	75,20
26	0,315	772	1268	63,40	36,60
23	0,16	575	1843	92,15	7,85
20	0,08	152	1995	99,75	0,25

Tableau 2.41 : Composition granulométrique du mélange 66,67% Sable de SINFEFENOU et 33,33% Sable de MACHIN

COMPOSITION DU MORTIER

Pour obtenir 1m3 de mortier, il faut					En proportion dosage de chantier				
Ciment Kg/m3	Ciment (L)	Eau (L)	Sable <SIN> (L)	Sable <MAC> (L)	Ratio $\frac{\langle \text{SIN} \rangle}{\text{C}}$	Ratio $\frac{\langle \text{SIN} \rangle}{\langle \text{MAC} \rangle}$	Ciment	Sable MACHIN	Sable SINFEFENOU
250	200	160	827	413	4	2	1	2	4

Tableau 2.42 : Composition du mortier du mélange 66,67% Sable de SINFEFENOU et 33,33% Sable de MACHIN

- 2 Volumes de sable de SINFEFENOU soit 33,33%
- 4 Volumes de sable de Machin soit 66,67%
- Module de finesse : 2,189

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

AHUIKODJI
 Provenance (SINFEFENOU et MACHIN)
 Masse sec (g) = 2000
 Echantillon MELANGE : 1SIN-2MAC
 Date : Septembre 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
40	8	0	0	0,00	100,00
38	5	3	3	0,15	99,85
35	2,5	56	59	2,95	97,05
32	1,25	181	240	12,00	88,00
29	0,63	455	695	34,75	65,25
26	0,315	774	1469	73,45	26,55
23	0,16	442	1911	95,55	4,45
20	0,08	84	1995	99,75	0,25

Tableau 2.43 : Composition granulométrique du mélange 33,33% Sable de SINFEFENOU et 66,67% Sable de MACHIN

COMPOSITION DU MORTIER

Pour obtenir 1m3 de mortier, il faut					En proportion dosage de chantier				
Ciment Kg/m3	Ciment (L)	Eau (L)	Sable <SIN> (L)	Sable <MAC> (L)	Ratio $\frac{\langle \text{SIN} \rangle}{C}$	Ratio $\frac{\langle \text{SIN} \rangle}{\langle \text{MAC} \rangle}$	Ciment	Sable MACHIN	Sable SINFEFENOU
250	200	160	413	827	2	0,5	1	4	2

Tableau 2.44 : Composition du mortier du mélange 33,33% Sable de SINFEFENOU et 66,67% Sable de MACHIN

- 0 Volume de sable de SINFEFENOU soit 0%
- 6 Volumes de sable de MACHIN soit 100%
- Module de finesse : 2,483

Provenance
 du sable : AHUIKODJI-MACHIN
 Masse sec
 (g) = 2000

Echantillon :
 Date :

Sondage MAC
 Profondeur
 2,00m - 3,50m
 Septembre
 2007

Module AFNOR	Ouverture des tamis	Refus Partiel	Refus cumulé	% Refus cumulé	% cumulé des passants
40	8	0	0	0,00	100,00
38	5	5	5	0,25	99,75
35	2,5	80	85	4,25	95,75
32	1,25	246	331	16,55	83,45
29	0,63	564	895	44,75	55,25
26	0,315	776	1671	83,55	16,45
23	0,16	308	1979	98,95	1,05
20	0,08	17	1996	99,80	0,20

Tableau 2.45 : Composition granulométrique du mélange 00% Sable de SINFEFENOU et 100% Sable de MACHIN

COMPOSITION DU MORTIER

Pour obtenir 1m3 de mortier, il faut					En proportion dosage de chantier				
Ciment Kg/m3	Ciment (L)	Eau (L)	Sable <SIN> (L)	Sable <MAC> (L)	Ratio $\frac{\leq \text{SIN}}{\text{C}}$	Ratio $\frac{\leq \text{SIN}}{\text{MAC}}$	Ciment	Sable MACHIN	Sable SINFEFENOU
250	200	160	0	1240	0	0	1	6	0

Tableau 2.46 : Composition du mortier du mélange 00% Sable de SINFEFENOU et 100% Sable de MACHIN

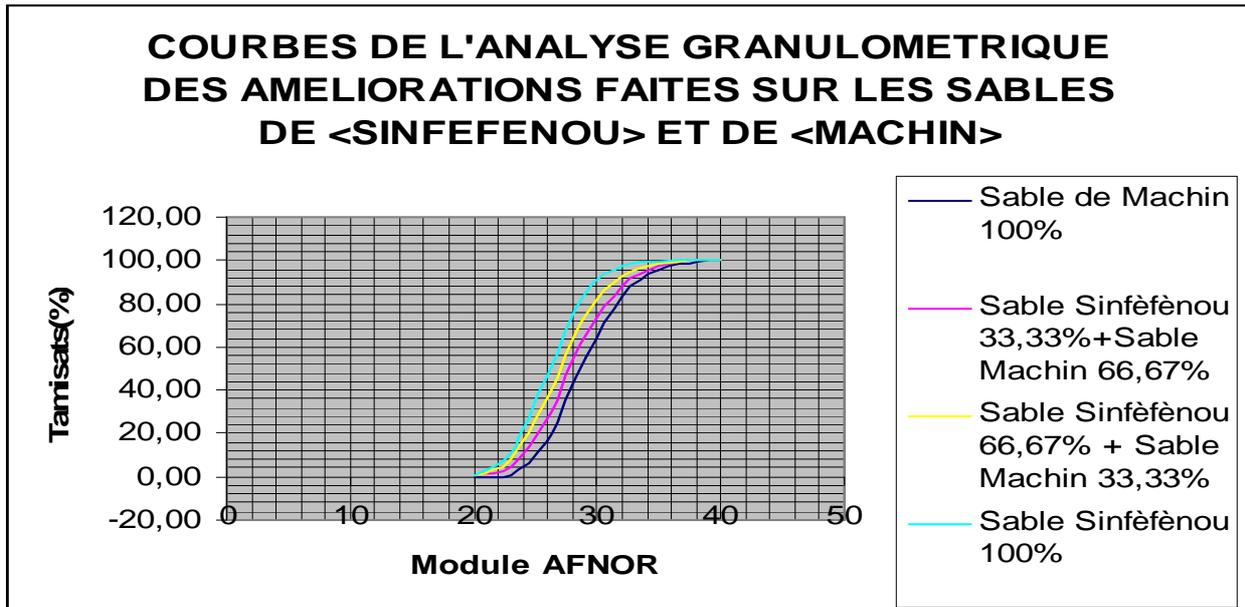


Figure 2 .34: Amélioration de la granulométrie du sable fin de SINFEFENOU par le sable grossier de MACHIN

Le paramètre visé est le module de finesse et son incidence sur la résistance du mortier des différentes compositions de granulats (résistance en compression des agglomérés courants aussi bien dans le sens horizontal σ_h que vertical σ_v)

La résistance des agglomérés est donnée par :

$$R = \frac{C}{10S_b} \frac{S_q}{S_n};$$

Où

R = Contrainte de rupture

S_b = Section brute

C = Charge de rupture

S_q = Section d'appui

S_n = Section nette

Les essais ont été réalisés sur trois agglomérés de chaque type. Les valeurs moyennes ont été calculées. La situation se présente comme suit :

Matériaux	Module de finesse	Dosage Kg/m ³	Résistance moyenne (MPa)	
			σ_v	σ_h
Sable de SINFEFENOU	1,603	250	1,889	0,906
Mélange 66,67% SINFEFENOU +33,37% MACHIN	1,896	250	2,625	1,272
Mélange 33,33% SINFEFENOU + 66,67% MACHIN	2,189	250	2,113	1,131
Sable de MACHIN	2,483	250	1,533	0,533

Tableau 2.47: Amélioration de la granulométrie de sable et résistance des agglomérés

Conclusion

A mesure qu'on augmente la proportion de sable grossier, la courbe du mélange se rapproche de celle de ce dernier. Ce qui fait accroître le module de finesse de même que la résistance des agglomérés issu du mélange Sable / Ciment.

2.2.7 Formulation du micro béton pour les agglomérés coffrages

2.2.7.1 Facteurs influençant la résistance du micro béton.

Cette résistance dépend d'une multitude de facteurs, en particulier de la qualité du liant, de la nature et de la dureté du sable. Toutefois, le liant et le sable étant donnés et en laissant provisoirement de côté le soin apporté à la mise en œuvre, la résistance dépend :

- du dosage du liant,
- de la qualité d'eau de gâchage,
- de la composition granulométrique du sable.

De nombreuses recherches ont permis de traduire en formule les influences des facteurs ci-dessus. Parmi ces formules, nous citons en exemple deux à savoir les formules de FERET et de BOLOMEY.

2.2.7.2 Formule de Feret

En 1866, FERET a établi la formule suivante :

$$R_c = K \left[\frac{c}{1-s} \right]^2$$

R_c : résistance à la compression en bar

C : volume absolu des grains de ciment contenu dans l'unité de volume des mortiers

S : volume absolu des grains de sable contenu dans l'unité du volume des mortiers

Si nous désignons par e le volume d'eau de gâchage et par v le volume des vides pouvant encore rester dans le mortier après gâchage, on a évidemment la relation :

$$c+s+e+v = 1$$

Or, pour les mortiers courants v est voisin de 0, par conséquent la relation ci-dessus se simplifie et s'écrit :

$$1-s = c+e$$

D'où on tire en portant dans l'équation initiale.

$$R_c = K \left[\frac{1}{1 + \frac{e}{c}} \right]^2$$

2.2.7.3 Formule de Bolomey

En 1925, BOLOMEY établit expérimentalement la formule suivante :

$$R = K \left(\frac{C}{E+v} - 0,50 \right)$$

R : résistance à la compression du mortier,

K : coefficient numérique qui dépend de la qualité du liant et de l'âge du mortier

E : volume d'eau en L

V : volume des vides en L

Si, comme précédemment pour la formule de FERET, nous considérons qu'il y a peu ou pas de vide, le formule ci-dessus se simplifie et s'écrit :

$$R = K \left(\frac{C}{E} - 0,50 \right)$$

Cette formule n'est valable qu'à partir d'un dosage en eau minimum ; si non la résistance décroît avec la diminution de la qualité d'eau : il n'y a pas assez d'eau pour mouiller les grains de ciment et assurer la prise.

Force est de constater que ces deux formules sont concordances et nous pouvons en conclure qu'à condition d'avoir un dosage en eau minimum, la résistance d'un mortier croît avec le rapport $\frac{C}{E}$.

Cela signifie que, si l'on veut augmenter la résistance d'un mortier, on doit soit augmenter le dosage en ciment de celui-ci, soit diminuer la quantité d'eau de gâchage, ou encore faire les deux.

En posant $K = G.\sigma'_c$ et $R = \sigma'_{28}$, La formule de BOLOMEY devient :

$$\sigma'_{28} = G.\sigma'_c \left(\frac{C}{E} - 0,50 \right)$$

Cette dernière est appelée formule de DREUX applicable au béton.

2.2.7.4 Formule de Dreux

A l'instar de la méthode de formulation de BOLOMEY, la méthode C.E.S (Centre d'Essais et des Structures) encore appelée méthode de Dreux, est une méthode qui utilise une courbe de référence. Elle permet d'aboutir rapidement et simplement à une composition approchée.

2.2.7.4.1 Détermination des quantités de sable grossier et de sable fin.

Ces quantités sont obtenues graphiquement c'est-à-dire à partir des courbes granulométriques des matériaux ainsi qu'à partir d'une autre courbe appelée courbe de référence dont les trois points caractéristiques ont pour coordonnées :

A (20,0) ; B (M,Y) ; C (35,100)

Avec

20 = module du tamis d'ouverture 0,08 mm

38 = module du tamis d'ouverture 5 mm

Les valeurs 0 et 100 correspondent respectivement aux pourcentages de passants aux tamis 0,08 et 5mm

M1 = module du tamis d'ouverture $\frac{D_{max}}{2}$ où Dmax est le diamètre maximale des granulats.

Y = pourcentage de passants correspondant à $\frac{D_{max}}{2}$ défini par :

$$Y = 50 - \sqrt{D_{max}} + K + K_s$$

K est un terme correcteur qui dépend de la vibration, du dosage en ciment, des granulats.

Les valeurs de K sont présentées dans le tableau suivant :

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Forme des granulats							
Dosage en ciment	400 + fluides	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4

Tableau 2.48 : Valeurs du terme correcteur K

Ks est un terme qui tient compte du module de finesse du sable.

$$K_s = 6 M_f - 15 \quad (M_f = \text{Module de finesse du sable})$$

- Détermination graphique de la composition granulair

Etant donnée que les trois courbes sont sur un même graphique, on trace la ligne de partage en joignant le point d'ordonnée 95% de la courbe du sable fin à celui de la courbe du sable grossier d'ordonnée 5%. Le point d'intersection entre les segments formés par ces deux points et le segment [A,B] de la courbe de référence, détermine les pourcentages granulaires (non compris le ciment), par rapport à leur volume absolu.

En effet, en projetant ce point d'intersection sur l'axe des ordonnées (axe des passants en %), on obtient deux zones dont celle inférieure correspond au pourcentage de sable fin et l'autre à celui du sable grossier.

De toutes les méthodes de formulation de béton ci-dessus citées celle que nous avons retenue pour nos travaux est la méthode de DREUX.

2.2.7.4.2 Formulation du micro béton (sable de SINFEFENOU - grain de riz de Djassin)

- Calcul des coordonnées des points de la courbe de référence A,B,C

A (20 ;0) B (M1 ,Y) C (35,100)

$$Y = 50 - \sqrt{D_{\max}} + K + K_s \quad D_{\max} = 5\text{mm}$$

Vibration normale, granulats roulés avec un dosage de 300(Kg/m³), donc K= +2

$$K_s = 6M_f - 15$$

$$K_s = 6 \times 1,603 - 15 = - 5,382$$

$$Y = 50 - \sqrt{5} + 2 - 5,382 = 44,38\%$$

$$\frac{D_{\max}}{2} = 2,5\text{mm} \Rightarrow M1 = 35$$

Composition du micro béton en sable de SINFEFENOU et en sable de DJASSIN

Pour obtenir 1m ³ de béton, il faut				En proportion dosage de chantier				
Ciment (Kg/m ³)	Ciment (L)	SG (L)	SF(L)	Ratio SG/C	Ratio SF/C	Ciment	Sable de SINFEFENOU	Sable de DJASSIN
300	240	852	348	3	2	1	2	3

Tableau 2.49 : Composition du micro béton en sable de SINFEFENOU et en sable de DJASSIN

Mélange sable de SINFEFENOU sable de DJASSIN

Module AFNOR	Diamètre des tamis (mm)	% Passant sable de SINFEFENOU	% Passant sable de DJASSIN	% Passant de la combinaison
38	8	100	100,00	100,00
35	5	100	100,00	62,04
32	2,5	99,65	46,53	37,66
29	1,25	97,05	12,34	31,75
26	0,630	85,15	5,08	25,78
23	0,315	46,65	1,53	13,99
20	0,160	11,20	0,65	3,54
	0,080	0,25	0,40	0,07

Tableau 2.50 : Composition granulométrique du mélange sable de SINFEFENOU sable de DJASSIN.

z

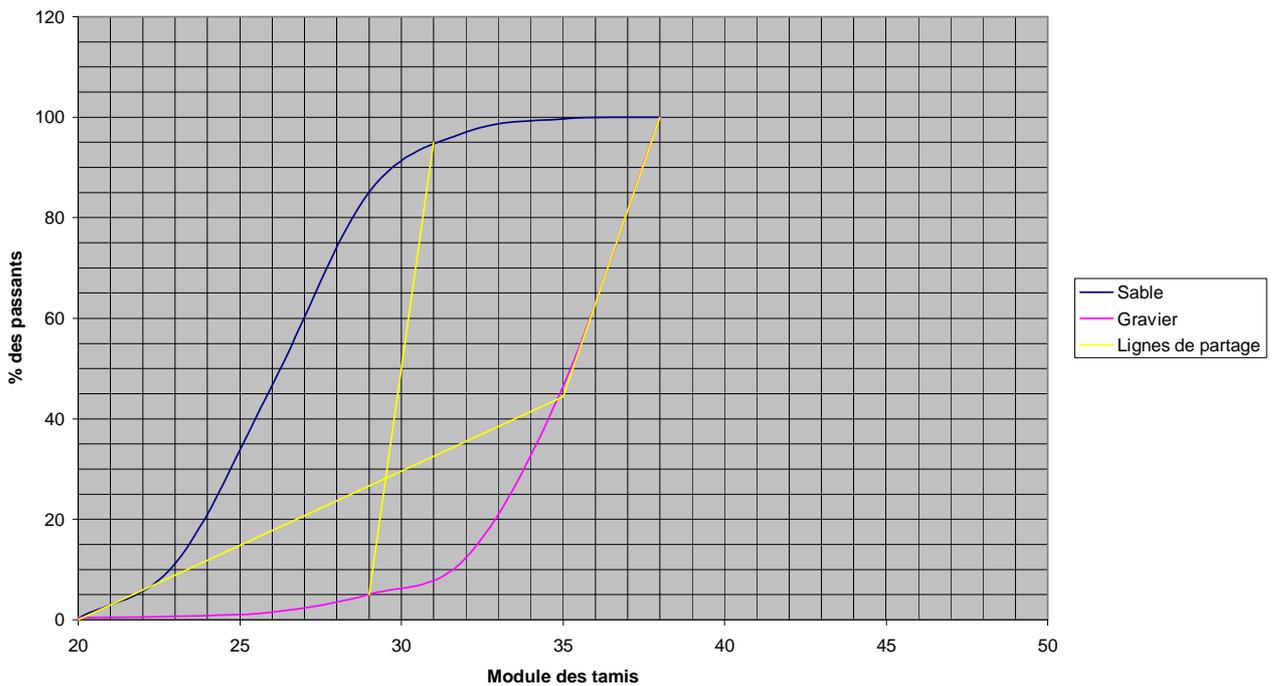


Figure 2.35: Formulation du micro béton avec le sable fin de SINFEFENOU et le sable grossier de DJASSIN

3 CONCEPTION ARCHITECTURALE DES MURS A JOINTS VERTICAUX SECS ET HORIZONTAUX EVIDES EN AGGLOMERES CREUX DE 15cm D'EPAISSEUR

3.1 Problématique

Il est important de souligner que le non-respect des règles de l'art observé généralement lors du montage des murs en agglomérés traditionnels engendre des pertes de temps considérables, de matériaux, du gaspillage du mortier et du béton et des apparitions des fissures à moyen et à long terme. Les insuffisances du procédé traditionnel ont pour conséquence le rattrapage de la planéité des parements, des faces du béton, des chaînages par les opérations de ragréage et de gobétage.

L'objectif du présent travail est de rechercher une nouvelle technique de montage permettant à la fois :

- d'améliorer les conditions de travail, et de productivité,
- de limiter les pertes et le gaspillage des matériaux,
- et de parfaire la vue architecturale des parements des murs du procédé traditionnel.

Avant toute construction une étude judicieuse doit être élaborée à travers les différents plans, conçus par l'architecte, qui devraient servir de miroir aux hommes du terrain.

Ainsi, il n'est pas conseiller de mettre en chantier une maçonnerie des blocs en agglomérés à joints verticaux secs, sans avoir étudié au préalable, sur plans, le calepinage, les dispositions particulières de certains blocs.

L'effet esthétique du parement est donné par le type d'appareillage adopté.

3.2 Généralités sur les maçonneries

3.2.1 Définitions

Il y a lieu de remarquer tout d'abord, que le mot « maçonnerie » s'applique aussi bien à l'art de construire qu'à la construction elle-même.

Au sens de la construction ; on peut dire que la construction en maçonnerie résulte de la juxtaposition de matériaux solides : pierres, briques ou agglomérés, liés ou non entre eux, et

formant un ensemble stable, de forme et de dimensions déterminées.

Dans une construction, l'ensemble des matériaux d'un ouvrage doit se comporter comme s'il constituait un seul bloc, c'est-à-dire que ses éléments doivent être en équilibre stable sous l'action des différentes forces qui les sollicitent.

La maçonnerie se compose avant tout d'éléments solides massifs. Ces éléments sont d'origine naturelle ou artificielle.

-Les éléments d'origine naturelle comprennent les roches que l'on trouve dans le sol et que l'on utilise soit telles quelles, soit après leur avoir fait subir des traitements mécaniques qui ne modifient pas leur constitution

-Les éléments d'origine artificielle résultent d'une transformation plus ou moins poussée d'éléments naturels, ou de combinaison de plusieurs de ces éléments.

Qu'ils soient d'origine naturelle ou artificielle, les éléments solides peuvent être juxtaposés et se maintenir en équilibre sans intervention d'aucune matière de liaison. Dans ses conditions, on obtient la maçonnerie à sec.

Toutefois, le plus souvent, on fait intervenir un agglutinant. Son rôle n'est pas seulement d'agréger ensemble les éléments solides qui forment les éléments essentiels d'une maçonnerie ; l'agglutinant sert aussi à remplir les vides que ces éléments laissent entre eux et par conséquent à rendre les maçonneries étanches à l'eau et à l'air. Cette fonction est absolument indispensable lorsqu'il s'agit de réaliser par exemple les parois d'un réservoir ou même d'une habitation.

3.2.2 Historique de la maçonnerie

Dans sa forme la plus primitive la maçonnerie est aussi ancienne que l'homme. On peut rattacher ses origines à la fois à l'époque de l'homme des cavernes lorsque, dans un but défensif, celui-ci amoncelait des pierres à l'entrée de son abri et, à celle de la pierre polie quand s'élevèrent dolmens, menhirs et cromlechs en pierres brutes et que l'homme s'initiait au modelage grossier des poteries dont l'aboutissement pratique devait être la fabrication de la

brique.

Il faut arriver, toutefois, aux 2^{ème} et 1^{er} millénaire avant notre ère, c'est à dire, au seuil des grandes civilisations orientales, pour voir utiliser rationnellement des matériaux comme la pierre, la brique, le pisé à des fins constructives.

Les Egyptiens élèvent les premiers des édifices imposants en pierre tels leurs temples et les pyramides dont les blocs énormes sont hissés à des hauteurs surprenantes.

En des temps sensiblement aussi lointain, des peuples installés dans les îles et sur les rives de la mer Egée réalisent également des constructions importantes dont le plus frappant exemple qui nous reste est l'ensemble des rampants de Mycènes construis en blocs de pierre tellement volumineux qu'ils ont été dénommés murs cyclopéens.

Nous pouvons encore citer d'autres exemples fameux du génie constructeur de l'homme de ces époques, tels le temple de Salomon en Palestine et ses murs en pierre. La Tour de Babel, en brique près de Babylone au III^{ème} siècle avant Jésus-Christ. « la muraille de Chine », ouvrage gigantesque de 8m de haut, 5m large à la base protégeant tout un empire contre l'invasion. Cette muraille était constituée par un soubassement en granit, des parements en briques et un remplissage intérieur en terre et gravier.

Aux environs de l'an 500 (avant Jésus-Christ), l'art de construire atteint avec les grecs un degré de perfection qui s'intensifie rapidement pour parvenir à une expression de pureté de la forme jamais dépassée : majestueuse simplicité, équilibre harmonie des formes et des proportion, beauté de la matière alliée à une technique simple et rationnelle sont les principales caractéristiques des œuvres de cette civilisation. Les grands monuments sont en blocs de marbre parfaitement taillé. La colonne et le linteau en pierre constituent les éléments principaux.

Les périodes qui succèdent seront orientées d'abord vers le décor et l'ornement ensuite à un retour au souci des proportions classiques (XVII^e –XVIII^e siècle) sans marquer de progrès

notables du point de vue constructif. Il faudra arriver au XIX^e siècle pour enregistrer des techniques nouvelles.

On comprend alors que, l'habitat reste pour l'homme, un fait propre à chaque société, à chaque culture et à chaque civilisation évoluant par rapport à lui-même et par rapport à d'autres contextes socioculturels. Ce sont là des justifications qui pourraient expliquer les différences entre les constructions authentiquement asiatiques, les constructions authentiquement européennes et celles authentiquement africaines et singulièrement béninoises.

En effet, le système constructif béninois a évolué depuis la paille dans nos villages, jusqu'aux constructions en agglomérés de mortier de ciment ou de béton dans nos villes actuelles.

Au cours de cette progression, l'emploi de la terre de barre occupe une place de choix et persiste d'ailleurs jusqu'à nos jours. La maniabilité de la terre de barre a permis aux techniciens artisanaux de réaliser diverses formes de logements ; (constructions à angles droits dans le sud et des formes plutôt arrondies dans le Nord). Les toits ont évolué de la simple paille à la tôle galvanisée. Les élévations en terre de barre sont mises en œuvre par pétrissage du mélange (terre, eau). Puis la pose de longues assises qu'on laisse sécher suffisamment avant la pose de l'assise suivante. Cette technique, bien qu'ayant servi à abriter nos populations pendant de longues années, présente cependant de nombreuses insuffisances dont notamment :

- Le temps de réalisation trop long ;
- La non maîtrise du dosage en eau qui occasionne de grandes fissures dans de tels murs ;
- Aussi, par un souci d'esthétique, ces murs suffisamment rugueux entre temps, ont-ils commencé à recevoir une pose d'enduit en mortier de ciment (c'est le cas des palais au Bénin).

Seulement, avec l'évolution des sciences et des techniques opérées surtout par les

occidentaux, les pays du tiers monde dont nous faisons encore malheureusement parti, se doivent de procéder à juste titre à des réformes sur le plan technique afin d'être capable de participer au processus d'intégration de l'Afrique aux grandes révolutions technologiques.

A cet effet, il est impérieux qu'au XXI^{ème} siècle, le métier du maçon connaisse une remarquable évolution qui soit de nature à optimiser son rendement.

3.2.3 Différents types de maçonneries existantes

Au vu de la définition, une maçonnerie est constituée d'éléments résistants ajustés par frottement ou liés par un liant (mortier, plâtre, ciment...).

La spécificité de la maçonnerie réside dans la nature et le type des éléments résistants, la technologie de mise en œuvre et la présentation des jonctions.

Au regard de la nature des pierres assemblées, on distingue plusieurs types de maçonnerie dont fondamentalement :

- Les maçonneries de moellons ;
- Les maçonneries de pierres de taille ;
- Les maçonneries de briques ;
- Les maçonneries d'agglomérés ;
- Les maçonneries banchées ;
- Les maçonneries composites ;
- Les maçonneries de béton.

Chacun de ces types de maçonnerie a ses caractéristiques propres. Ce pendant, l'enchevêtrement des pierres, produit quel que soit la nature des éléments, un effet décoratif appelé appareillage.

Considérant l'appareillage, on peut regrouper les différents types de maçonneries en deux grandes familles :

- La maçonnerie sans assises horizontales ;

-La maçonnerie avec assises horizontales.

La première catégorie (la maçonnerie sans assises horizontales), est largement développée dans la mise en œuvre des moellons, des pierres de taille...

La seconde catégorie (la maçonnerie avec assises horizontales) est notamment caractérisée par des jonctions verticales et horizontales. De façon plus précise, la jonction, lorsqu'elle est verticale est appelée joint et lit lorsqu'elle est horizontale.

L'appareillage avec assises horizontales a beaucoup évolué avec l'apparition des pierres artificielles (brique, agglomérés...) en raison de la recherche sans cesse croissante d'effet décoratif.

Ainsi, distingue-t-on des appareillages de type français, anglais ou hollandais, picard, flamand, qui s'accompagnent de nouvelles terminologies.

Au Bénin, le type de maçonnerie le plus utilisé est « la maçonnerie en liaison ». C'est le genre de maçonnerie dans laquelle les joints tombent au milieu de l'élément (brique, aggloméré) de l'assise immédiatement inférieure.

Telle que constituée, une maçonnerie tient donc ses caractéristiques des propriétés de chaque matériau, des éléments assemblés, du type de maçonnerie et d'un effet d'ensemble qui tient compte de la géométrie de l'assemblage. Les maçonneries sont essentiellement utilisées dans la construction des murs, des voûtes des coupoles et des dômes.

3.2.4 Fonctionnement, résistance et stabilité des maçonneries

Une maçonnerie est un ouvrage hétérogène (blocs et mortier de joints) dans lequel les joints sont généralement des surfaces de moindres résistance à l'égard des tractions (tendance à la désolidarisation) et des cisaillement (tendance au glissement).

Il faut donc s'efforcer de disposer les joints de façon :

-Si les efforts qui les traversent sont des compressions, ils ne soient pas accompagnés de cisaillement ;

-Si lesdits efforts peuvent être des tractions ou des cisaillements, ils soient en partie supportés par des blocs.

Dans la pratique, les joints d'assise sont généralement horizontaux, ce qui est logique puisque les charges qu'ils transmettent (poids propre de la maçonnerie, poids des planchers et de la toiture) sont verticales. Les blocs sont en outre assis parallèlement à leur lit ou face de compression.

Remarquons que dans le sens horizontal, des tractions peuvent se développer au sein de la maçonnerie, sous les effets du retrait, des variations de température, des tassements de fondation, ou du vent. Certaines tractions dues à des mouvements d'ensemble de la construction sont partiellement absorbées par les chaînages qui doivent être suffisamment ferrillés, et encadrer le bâtiment à chaque étage (généralement au niveau des planchers) sans discontinuité ni décrochement.

Pour assurer à la maçonnerie une résistance quasi-uniforme à ces efforts, on réalise un certain enchevêtrement des blocs en s'interdisant de constituer sur la même verticale deux joints montants successifs, mais en les croisant au contraire d'au moins le $\frac{1}{4}$, le $\frac{1}{2}$. C'est donc un appareillage à joints croisés.

3.2.5 Les murs

Ce sont des éléments de section droite oblongue dont les caractéristiques dépendent essentiellement de leurs fonctions et de leur destination.

Sous l'appellation de parois verticales sont décrits les types de murs situés en façade ou à l'intérieur des constructions, qu'ils soient porteurs ou portés.

On distingue parmi les murs qui constituent un bâtiment :

- les murs de sous - sol (soubassement, murs de cave)
- Les murs en élévation (murs de bâtiment, de soutènement, de clôture, de réservoir).

Quelle que soit leur situation, ils jouent différents rôles, dont :

- Le rôle mécanique : la résistance et la stabilité ;
- la protection : l'étanchéité et la sécurité ;
- l'isolation : le confort intérieur ;
- la décoration : l'effet décoratif, la beauté.

Pour ce qui concerne le rôle mécanique, les murs ont à supporter des charges verticales et/ou des poussées latérales. Au nombre des murs supportant des charges verticales, nous pouvons citer les murs de façade, de refend et pignons. Quant aux supportant les poussées latérales, nous avons les murs de clôture, de réservoir, de barrage, de soutènement. Il existe d'autres types de murs supportant à la fois des charges verticales et des poussées latérales. Ce sont les murs de cave et les différents murs de sous-sol des bâtiments.

Par ailleurs, on distingue des types de murs ne supportant autre charge que leur propre poids : les murs de remplissage. Ils sont généralement exécutés dans les structures à ossature indépendante.

Ainsi, sous la rubrique (rôle mécanique), on classe les murs en deux catégories : les murs porteurs et les murs non porteurs.

3.3 Mise au point d'un procédé de mur à joints verticaux secs et horizontaux évidés

3.3.1 Principe du mur et domaines d'emploi

Le procédé de mur de blocs spéciaux dont il est question est un type de maçonnerie obtenue par agencement d'agglomérés qui s'emboîtent les uns dans les autres, assise par assise. Sur les assises de rang impair sont disposés des agglomérés de 40cm de long, en longueur courante de mur, et sur celles de rang pair, des agglomérés de 20cm de long. Ainsi disposé, le système offre un appareillage de type français. Les blocs se tiennent par un système d'emboîtements, ce qui supprime le mortier de jointoiement vertical.

Les assises quant à elles sont reliées les unes aux autres par un lit de pose régulier et évidé en mortier de ciment de 2cm d'épaisseur mis en œuvre par gabarit. Les évidements

auxquels se superposent les creux des agglomérés communiquent entre eux par des saignées, ce qui améliore les performances thermiques du mur, du fait de la canalisation qui existe entre les différentes poches d'air. Ce procédé supprime le bois de coffrage grâce aux blocs spéciaux conçus pour le moulage du béton des raidisseurs verticaux et horizontaux.

Il convient de noter que l'ensemble des blocs est destiné à la construction des murs entièrement calepinés où les casses ne sont pas permises. Ainsi, tout projet de construction avec des blocs à emboîtements doit prendre préalablement en compte les caractéristiques géométriques des agglomérés avant l'établissement des plans d'architecture.

Le procédé ainsi présenté est destiné à être utilisé dans la réalisation de mur porteur ou non, dans tous les types de constructions courantes telles que les maisons individuelles, les bâtiments de logement collectif, les bâtiments à usage commercial, industriel ou agricole, les camps de réfugiés, les bureaux et les magasins de chantier.

Enfin, nous voudrions rappeler que le système de construction à joints verticaux secs et horizontaux évidés est conforme aux normes NF P13 301 à 14 306 et aux dispositions du DTU 20.1. La rigueur dimensionnelle des blocs spéciaux qui ne dépasse jamais la tolérance de la norme NF (+/- 1mm sur chacune des trois dimensions), autorise une pose à joints verticaux secs.

3.3.2- Conception des parements et mise en œuvre des blocs spéciaux

Il s'agit d'améliorer le procédé de mur en agglomérés de mortier de ciment/sable marin actuellement observé (figure 3.1), au cours de l'exécution du gros œuvre des logements entre autres.

Le procédé amélioré aboutira à un système de maçonnerie en agglomérés spéciaux de mortier de ciment/sable continental assemblés par des joints verticaux secs et des joints horizontaux évidés (figure 3.2).

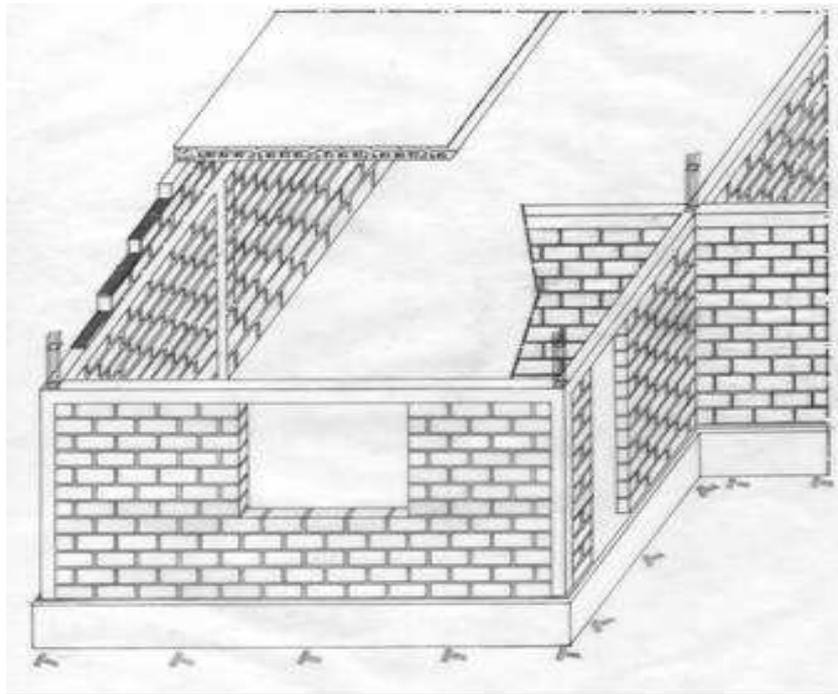


Figure 3.1 Procédé de murs traditionnels en agglomérés creux de 15 cm d'épaisseur

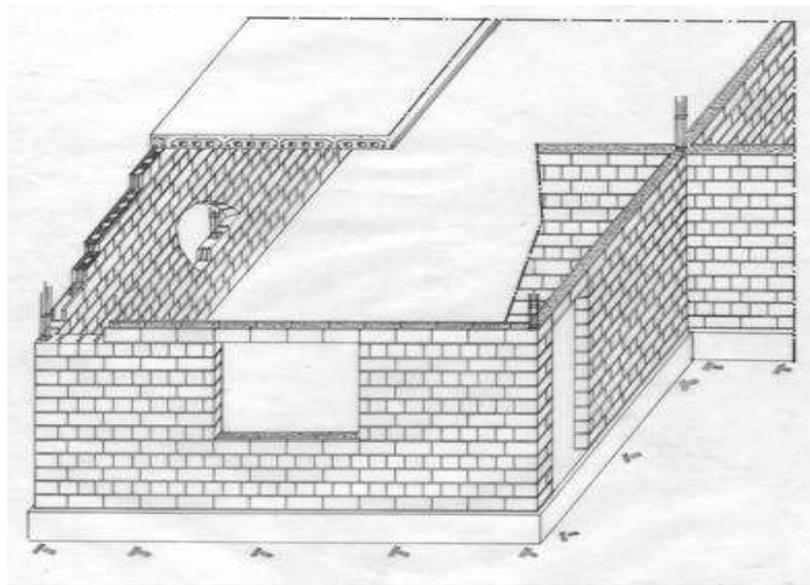


Figure 3.2 Procédé de murs à joints verticaux secs et horizontaux évidés en agglomérés creux de 15 cm d'épaisseur

Les évidements dans la couche de pose sont justifiés par la présence des creux au sein des agglomérés. Cela permet de rompre les ponts thermiques du système joint horizontal -

agglomérés creux, ce qui crée une canalisation d'air de manière à améliorer la performance thermique du mur. Les joints à emboîtement mâle/femelle permettent un assemblage totalement sec. En effet, le parement d'un panneau de mur en élévation de 2.40 m de haut par exemple est formé par cinq systèmes de deux assises distinctes juxtaposées les unes sur les autres par des joints horizontaux évidés de 20 mm d'épaisseur. Ces deux assises distinctes sont constituées d'agglomérés courants d'agglomérés coffrage de chaînages verticaux. Elles sont chapeautées à une hauteur de 2.20 m par une assise composée d'agglomérés coffrage de chaînage horizontal. Les agglomérés coffrage de forme L, U, U-ébrasé et courante sont destinés respectivement à l'intégration des chaînages d'angle des murs en L/ T ou croisés, des chaînages filants, des raccordements des chaînages verticaux et horizontaux à l'angle sortant, des chaînages verticaux intermédiaires. Les figures 3.3 (a, b, c, d, e) montrent l'appareillage et les différents types de liaisons et chaînages des murs.

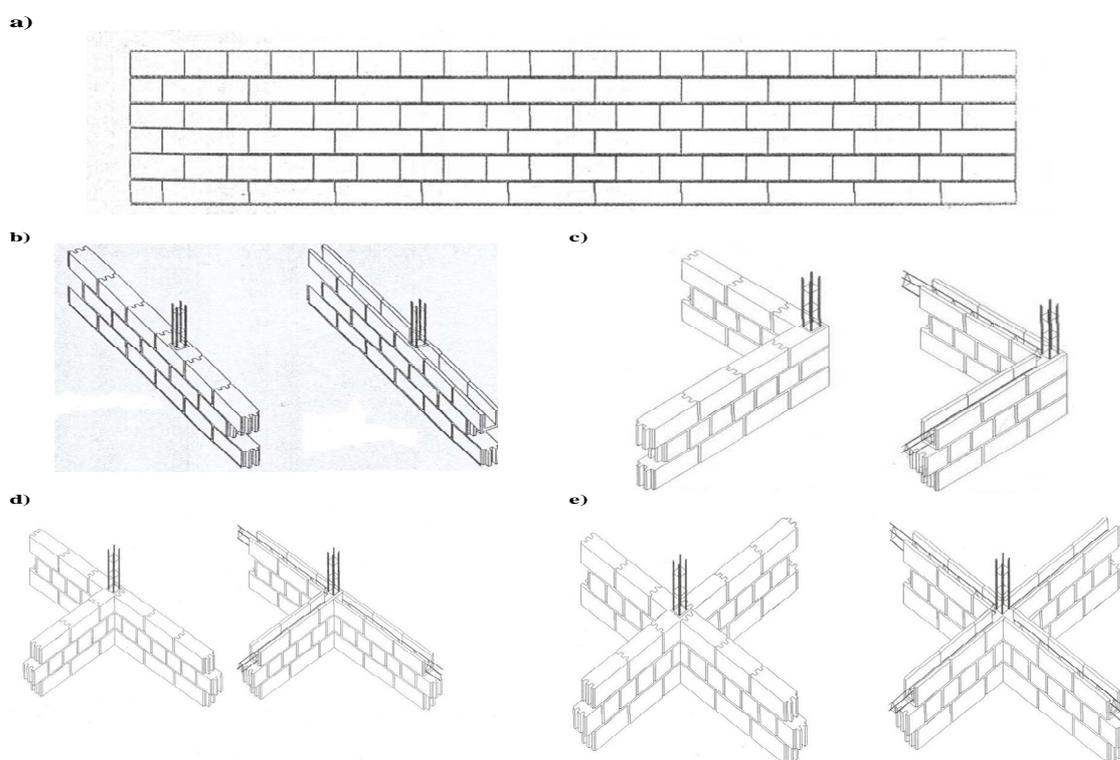


Figure 3.3 Appareillage de parements et liaison du mur

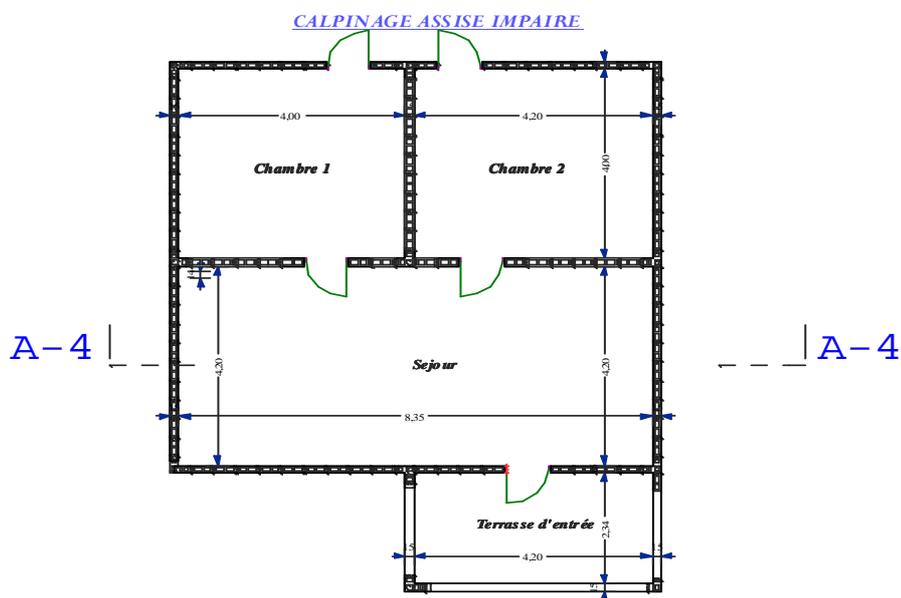
3.4 Caractéristiques géométriques des agglomérés spéciaux

On distingue plusieurs types d'agglomérés spéciaux selon leur fonctionnement. On a :

- Aggloméré courant de 40 (assise impaire)
- Aggloméré courant de 20 (assise paire)
- Aggloméré pilier d'angle pour assise impaire
- Aggloméré pilier d'angle pour assise paire
- Aggloméré tableau de 40 (assise impaire)
- Aggloméré tableau de 20 (assise paire)
- Aggloméré tableau de 10 (assise paire)
- Aggloméré coffrage en U.

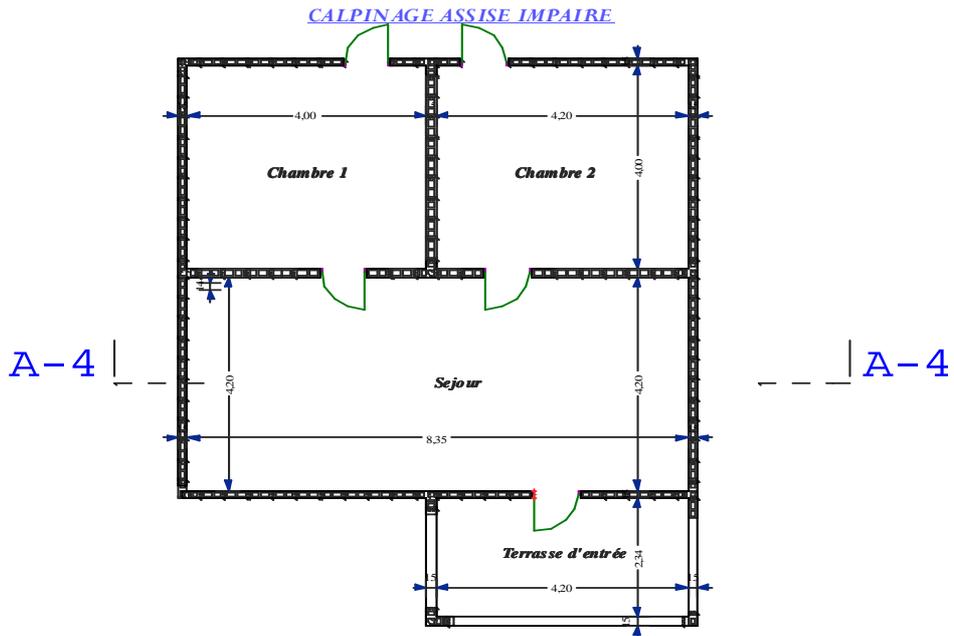
Les caractéristiques géométriques des agglomérés figurent dans les tableaux N° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 13 de l'annexe A

3.5 Schéma de pose des agglomérés spéciaux : Cas d'un bâtiment à trois pièces



ECH: 1/75

Figure 3.4 Calpinage de l'assise impaire du prototype



ECH: 1/75

Figure 3.5 Calpinage de l'assise paire du prototype

4 ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE ET DE LA STABILITE DES MURS TRADITIONNELS ET A JOINTS VERTICAUX

4.1 Vocabulaire et Notation

4.1.1 Vocabulaire

- * **Action** : Une action ou charge est toute cause capable de créer un état de contrainte dans une construction. On distingue des **charges permanentes** et des **charges d'exploitation**.
- * **Contrainte** : Force interne à laquelle est soumise l'unité de surface d'un élément auquel est appliqué un système de forces extérieures.
- * **Contrainte admissible** : Valeur conventionnelle maximum fixé par un règlement.
- * **Contrainte de rupture** : Valeur de contrainte atteinte lors de la rupture d'un élément.
- * **Sollicitation** : L'effet des actions dans une construction est appelé sollicitation (Effort normal-Moment fléchissant-Effort tranchant...).
- * **Etat limite** : Etat de sollicitation tel qu'au-delà de cet état les conditions d'utilisation de l'ouvrage ne sont plus satisfaites. On distingue l'Etat Limite Ultime (**ELU**) et l'Etat limite de Service (**ELS**).
- * **Montants**: Raidisseurs verticaux en béton armé.
- * **Traverses** : Raidisseurs horizontaux en béton armé.
- * **Remplissage** : Maçonnerie.
- * **Refend (mur de)** : Mur séparatif intérieur d'un bâtiment, servant à réduire les portées de poutres ou solives, et à adosser les conduits de fumée, et , éventuellement, à contreventer.
- * **Bielle** : Pièce placée dans les combles, au droit des pannes, servant à soulager les arbalétriers.
- * **Contreventement** : Elément de construction destiné à protéger celle-ci contre les déformations dues à des efforts horizontaux (action du vent).

4.1.2 Notation et Paramètres

- G** : Charge permanente ;
- Q** : Charge d'exploitation ;
- Nu** : Effort normal à l'ELU ;
- Nser** : Effort normal à l'ELS ;
- P** : Contrainte ultime aux pieds de l'ouvrage ;
- em** : Epaisseur du mur en mètre ;
- C** : Contrainte admissible dans les parois porteuses ;

R : Résistance à l'écrasement du matériau ;
N : Coefficient global de réduction ;
L : Elancement du mur ;
Im : Longueur du mur ;
hm : Hauteur du mur ;
 σ_m : Contrainte moyenne de compression dans le remplissage ;
N : Résultante générale des actions verticales appliquées sur la traverse ;
Sr : Section horizontale du remplissage ;
Er : Module d'élasticité du remplissage en maçonnerie ;
Sb : Section des montants ;
Eb : Module d'élasticité des montants ;
 γ : Inclinaison du chargement par rapport à la verticale (inclinaison de la bielle par rapport à la verticale) ;
 σ_γ : Résistance des agglomérés dans la direction principale de chargement (anisotropie des agglos) ;
 σ_h : Résistance expérimentale du mur dans le sens horizontal ;
 σ_v : Résistance expérimentale du mur dans le sens vertical ;
Fth : Résistance du mur dans la direction de chargement ;
lb : Longueur de l'aggloméré ;
hb : Hauteur de l'aggloméré ;
lc : Paramètre de calage ;
r : Paramètre de calage ;
PA : Résultante des charges verticales localisées sur la traverse ;
V : Effort tranchant repris par la traverse ;
 α : Inclinaison de la bielle par rapport à l'horizontal ;
C' : Contrainte Admissible de compression sous l'action des charges horizontale et verticales.

4.2 Etude de la résistance des murs

4.2.1 Principes généraux

La bonne tenue des ouvrages requiert certaines exigences dont la stabilité mécanique c'est-à-dire le non écrasement, le non renversement, le non glissement et le non tassement sous l'effet des sollicitations.

La maçonnerie étant caractérisée par l'assemblage de matériaux naturels et artificiels dont la résistance à la traction est en générale très faible par rapport à la résistance en compression, l'étude se fera conformément à un principe fondamental.

➤ Enoncé du principe

La résistance à la traction est négligée. Les maçonneries ne doivent pratiquement subir que des compressions.

➤ Connaissance des matériaux

Une structure ou une partie de la structure cesse de remplir sa fonction porteuse lorsqu'un état limite est atteint c'est-à-dire :

- Etat limite de résistance ultime : c'est la capacité de résistance maximale des sections critiques ;
- Etat limite de disponibilité technique : c'est l'ensemble des conditions d'utilisation ne provoquant pas la rupture des matériaux, mais limitant les déformations, en particulier les flèches, la fissuration des ouvrages ...

Pour réduire la probabilité qu'un état limite de résistance soit atteinte, il se fait usage dans le calcul des contraintes admissibles d'un certain coefficient. Ce coefficient dit de sécurité appliqué doit être compatible avec le souci d'utilisation maximale de la matière et la sécurité des personnes. Ces valeurs sont fixées par le DTU 20.1 et varient de 5 à 11 selon le cas.

4.2.2 Modalités de calcul des contraintes admissibles

➤ Evaluation des efforts sollicitant une paroi en maçonnerie

Les efforts pris en compte sont les suivants :

- Les forces verticales : charges permanentes (G) ; charges d'exploitations (Q) ;
- Les forces horizontales : action du vent sur les façades, poussée des terres.

- L'effort normal (N_u) agissant dans une section de mur s'obtient par une descente de charges classiques et l'établissement de la combinaison aux états limites ultimes (E.L.U) dans les cas courants, si l'effort du vent n'est pas pris en compte.

$$N_u = 1,35G + 1,50Q$$

➤ Description du procédé de descente des charges

Le principe de calcul des charges et surcharges est le suivant :

- On fait le choix d'un tronçon de mur de 1 m de long sollicité à la fois par les charges et surcharges les plus défavorables ;
- On affecte les surcharges d'exploitation du coefficient 1,50 et les charges permanentes du coefficient 1,35 ;
- Le vide des ouvertures est négligé s'il ne dépasse pas 25% de la surface du mur de refend ou de façade.

On descend alors les charges et surcharges suivant la bande de 1m de mur jusqu'au pied de ce dernier. On établit la combinaison

$$N_u = 1,35 G + 1,50 Q.$$

Puis on calcule la contrainte ultime subit au pied de l'ouvrage par le rapport

$$p = \frac{N_u}{100 \times e m}$$

Avec e = l'épaisseur du mur en mètre.

Cette contrainte doit être inférieure à la contrainte admissible dans les parois porteuses sous l'effet des charges verticales.

➤ Contrainte admissible dans les parois porteuse

Au regard des normes NFP 13-301 à 14-306 et du D.T.U.20.1, fixant les conditions d'éligibilité des matériaux classiques, la contrainte admissible dans les parois porteuses est donnée par :

$$C = \frac{R}{N}$$

C = Contrainte admissible.

R = Résistance à l'écrasement du matériau.

N = Coefficient global de réduction.

Les valeurs de N sont fixées par les DTU 20.1 et se résument pour les murs d'élanement (L) inférieur à 15, dans le tableau ci-dessous.

Matériaux classiques (suivant norme NF.P13 – 301 à 14-306)	Coefficient global N	
	Chargement centré	Chargement excentré
- Briques creuses en terre cuite avec joints pleins	7	10
- Briques pleines ou perforées	7	9
- Blocs pleins ou creux en béton de granulats courants	6	8
- Blocs pleins ou creux en granulat légers	6	8
- Pierre de taille	6	8
- Blocs de béton cellulaire	8	10
	8	10

Tableau 4.1 : Valeurs de coefficient global de sécurité N pour un élanement < 15

Source : Travaux de construction, technologique du bâtiment Gros œuvre Ed FOURCHER (H. Renaud)

Pour les murs d'élanement compris entre 15 et 20, le D.T.U. recommande une majoration de N et de la façon suivante en guise d'exemple.

Elancement	Coefficient de sécurité
16	Nx 1,07
17	Nx 1,13
18	Nx 1,20
19	Nx 1,27
20	Nx 1,33

Tableau 4.2 : Valeurs de coefficient global de sécurité N pour un élanement > 15

Source : Travaux de construction, technologique du bâtiment Gros œuvre Ed FOURCHER (H. Renaud)

L'élanement ici est défini par le rapport $L = \frac{h}{e}$ où h représente la hauteur d'étage et e l'épaisseur de la paroi porteuse.

4.2.3 Pressions du vent sur les bâtiments

Le vent est une des grandes forces de la nature dont il faut tenir compte lorsqu'on établit des plans de maisons. Les charges appliquées par des vents violents sont facilement évaluées même si la méthode à laquelle on a recours pour les déterminer est assez complexe. Certains effets dus à des vents modérés sont négligés cependant, car très souvent il n'y a pas de lien évident entre le vent et le comportement d'un bâtiment.

Les pressions du vent exercées sur un bâtiment dépendent de la vitesse du vent ainsi que de l'interaction entre l'écoulement de l'air et le bâtiment. Etant donné que le vent est de l'air en mouvement les pressions qu'il peut exercer sont mises en corrélation avec son énergie cinétique. Si l'énergie cinétique complète est transformée en pression, l'augmentation qui en résulte est donnée par la formule :

La vitesse du vent devant être utilisée lorsque l'on calcule la pression dont il faut tenir compte dans les plans dépend de l'élément particulier du bâtiment que l'on conçoit. Sa valeur varie selon les emplacements géographiques. On analyse les relevés météorologiques de la vitesse du vent pour avoir une indication du maximum le plus probable qui sera atteint ou dépassé en moyenne une fois au cours d'une période de temps comparable à celle de la vie d'un bâtiment. Au Bénin la vitesse moyenne à prendre en compte est de **30m/s**.

4.3 Stabilité des murs et des constructions

4.3.1 Les murs de refend

Il s'agit des murs de refend porteurs longitudinaux et/ou transversaux de bâtiment réalisés en maçonnerie de blocs pleins ou creux avec ouvrages associés en béton armé (raidisseurs verticaux, chaînages horizontaux).

D'une part, ils servent à supporter les charges verticales permanentes et d'exploitation. D'autres part, ils assurent le « contreventement » sous l'effet des efforts horizontaux en provenance :

- des actions du vent sur les façades et les toitures des bâtiments ;
- des charges dissymétriques agissant sur la structure porteuse ;
- de la dissymétrie de la structure elle-même.

Les éléments constitutifs des refends porteurs sont :

- la Maçonnerie des blocs hourdés au mortier ou « remplissages » ;
- Raidisseurs verticaux : potelets béton armé moulé dans les blocs spéciaux considérés comme des « montants » ;
- Raidisseurs horizontaux : chaînages incorporés ou non dans l'épaisseur du plancher ou du mur, considérés comme des « traverses » ;

Sous l'effet des actions verticales, les montants et les traverses jouent le rôle de raidisseurs de section réduite, donc de raideur faible. Ils sont suffisamment déformables pour que les charges soient directement transmises au remplissage en maçonnerie porteuse.

En ce qui concerne les actions horizontales, l'ensemble (montants, traverses, remplissage) est assimilé à un système triangulé formé par :

- des montants et des traverses ;
- des diagonales comprimées, exclusivement par la maçonnerie de remplissage ; la résistance à la traction de la maçonnerie n'est pas prise en compte. (figure 4.1).

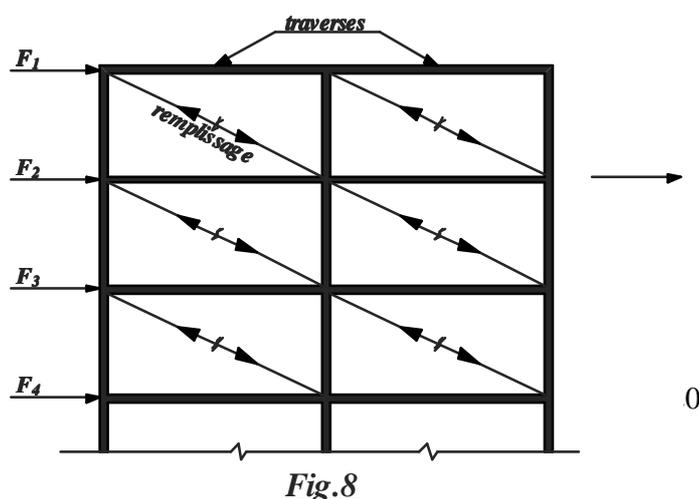


Figure 4.1 : Remplissage en maçonnerie comprimé

4.3.2 Problème posé

Il consiste à définir la diagonale comprimée ou « bielle de contreventement » pour vérifier la contrainte de compression dans la section de la bielle de contreventement en maçonnerie porteuse. La bielle peut être visualisée par un tracé approché :

- On trace la diagonale de nœud à nœud ;
 - On admet une diffusion comme représentée sur la figure 4.2 ;
 - On choisit la section de faible hauteur le long de la diagonale pour évaluer la contrainte de compression exercée.
- Effet des charges verticales seules dans les remplissages
- Hypothèses
 - Les chaînages horizontaux sont considérés comme flexibles ayant une faible raideur dans le plan vertical ;
 - Les charges verticales sont directement transmises au panneau inférieur sans "effet de voûte".
 - Evaluation de la contrainte moyenne de compression

$$\sigma_m = \frac{N}{sh} = \frac{N}{\left[Sb \cdot \frac{Eb}{Er} + Sr \right]}$$

Notations

N- résultante générale des actions verticales appliquées sur la traverse

Sb- section des montants

Em- module d'élasticité des montants

Sr- section horizontale du remplissage en maçonnerie

Er – Module d'élasticité du remplissage en maçonnerie

σ_m - contrainte moyenne de compression dans le remplissage

Par approximation, on a :

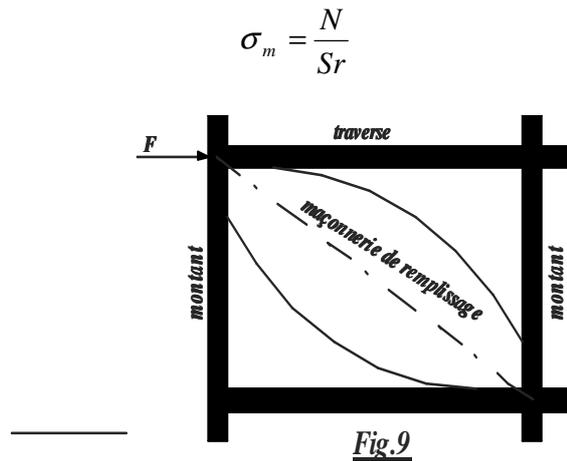


Figure 4.2 : Bielle comprimée

➤ **Effet des actions horizontales seules**

• **Hypothèses**

- Les actions horizontales (vent par exemple) sont équilibrées par une bielle comprimée d'axe AB ;
- Les points A et B sont situés aux intersections (nœuds) des lignes moyennes des montants et traverses ;
- Les actions résultantes sont appliquées aux nœuds, par exemple la poussée horizontale du vent supposée uniforme par mètre carré de façade, se reporte au niveau des nœuds précédemment définis.

• **Tracé de la bielle (figure 4.2)**

- Au nœud A, on porte :

$$a.t_1 = 3t \quad \text{et} \quad a.m_1 = 3m$$

- Au nœud B, on porte de même :

$$b.t_2 = 3t \quad \text{et} \quad b.m_2 = 3m$$

• **Effort de compression oblique exercé dans la diagonale d'un système triangulé**

$$C = \frac{F}{\cos \alpha} \quad \text{qui admet deux composantes } C_1 \text{ et } C_2$$

$$\text{On a } C = C_1 + C_2$$

$$C_1 = C \frac{a.t_1}{(a.t_1 + a.m_1)} \quad \text{et} \quad C_2 = C \frac{a.m_1}{(a.t_1 + a.m_1)}$$

- **Contrainte moyenne de compression due à l'effort C dans la bielle de maçonnerie**

$$\sigma_{bc} = \frac{C}{b.e} \quad \text{Avec } e = \text{épaisseur du mur et } b = h_1 h_2$$

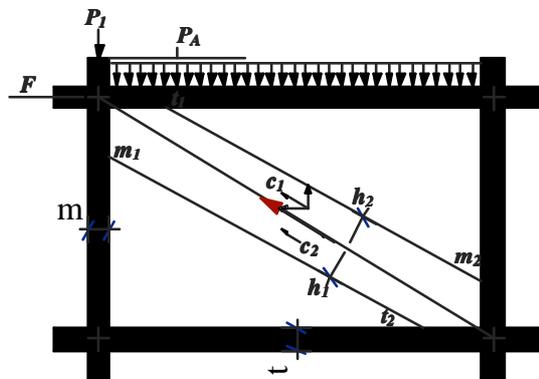


Figure 4.3 : Schéma de calcul

Comme nous pouvons le constater, dans un mur de contreventement, les agglomérés sont soumis à un chargement incliné par rapport aux axes principaux d'inertie des blocs ; il est alors nécessaire d'évaluer la résistance des agglomérés dans la direction principale de chargement pour tenir compte de l'anisotropie de ceux-ci. Nous proposons à l'instar des chercheurs de l'Institut de l'Information Scientifique et Technique du Centre National de la Recherche Scientifique de France d'estimer cette résistance à partir d'une interpolation elliptique présentée comme suit :

$$\sigma_h(\gamma) = \left[\frac{(\sigma_h \cdot \sigma_v)^2}{(\sigma_h \cdot \cos \gamma)^2 + (\sigma_v \cdot \sin \gamma)^2} \right]^{1/2}$$

Dans cette expression, γ est l'inclinaison du chargement par rapport à la verticale, σ_h et σ_v les résistances mesurées expérimentalement dans les directions verticale et horizontale.

On peut alors évaluer la résistance du mur dans la direction de chargement par la formule ci-dessous

$$F_{th} = e_m l_b \left[\frac{l_b}{l_c} \right]^r \cdot \sigma_b(\gamma) \cdot \sin \gamma$$

Cette résistance est proportionnelle à l'épaisseur du mur (e_m), à la longueur de l'aggloméré (l_b), et au rapport $\left[\frac{l_b}{l_e} \right]^r$ où les paramètres (l_r) et (r) prennent en compte la présence ou l'absence de joint verticaux. Le rapport $\left[\frac{l_b}{l_e} \right]^r$ a été introduit afin de rendre compte de la forte corrélation qui existe entre la largeur de la bielle et celle de l'aggloméré.

Comme nous l'avons signalé, il convient d'intégrer l'anisotropie des agglomérés dans l'expression de la résistance du mur. Cela a été fait par le biais du terme ($\sigma_b(\gamma)$) qui considère la résistance des agglomérés dans la direction principale de la bielle. Ce terme est une combinaison elliptique des résistances horizontale (σ_h) et verticale (σ_v) des agglomérés en fonction de l'angle d'inclinaison de la bielle (γ) comme nous l'avons dit plus haut.

Enfin, l'angle d'inclinaison de la bielle fait correspondre la direction de la bielle avec la diagonale du mur si les joints verticaux sont remplis ; sans dépasser 60°, sinon, la direction considérée est celle de la diagonale du demi-bloc :

$$\left. \begin{array}{l} \arctan(l_m/h_m) \\ 60^\circ \end{array} \right\} \text{dans le cas d'un mur à joints verticaux remplis}$$

$$\left. \begin{array}{l} \arctan(l_m/h_m) \\ \arctan(l_b/2h_b) \\ 60^\circ \end{array} \right\} \text{dans le cas d'un à joints verticaux secs}$$

(l_m) et (h_m) représentent respectivement la longueur et la hauteur du mur et (h_b) la hauteur du bloc.

	Mur à joints verticaux remplis	Mur à joints verticaux secs
l_c	0,247	0,384
r	0,545	0,876

Tableau 4.3 : valeur des paramètres de calage

- Résistance aux charges horizontales des murs à joints verticaux secs rapportée à celle des murs en procédé traditionnel

Désignons par F_{th} , la résistance aux charges horizontales des murs à joints verticaux secs et par F_{th2} , celle des murs en procédé traditionnel.

$$\text{On a : } \frac{F_{th1}}{F_{th2}} \times 100 = \frac{(l_b)^{r1-r2} \times (l_{c2})^{r2}}{(l_{c1})^{r1}} \times 100 = \frac{(0,40)^{0,876-0,545} \times (0,247)^{0,545}}{(0,384)^{0,876}} \times 100 = 80\%$$

- **Armatures de la traverse AB**

Elles doivent équilibrer :

- L'effort normal correspondant à la composante horizontale de C_1
- L'effort tranchant correspondant à :

$$V = C \sin \alpha - P_A$$

- Le moment de flexion introduit par la composante verticale de C_1 appliquée au milieu de a.t₁ (on peut déduire de cette composante la charge P_A directement appliquée sur a.t₁).

Le DTU 20.1 fixe dans les dispositions constructives les sections minimales d'armature.

Les chaînages horizontaux sont justifiés au niveau de chaque étage et nécessitent une armature minimale. La composante verticale de C_2 doit être inférieure à l'effort de compression exercé sur le montant.

- **Effet résultant des actions verticales et horizontales**

On applique le principe de superposition des efforts des forces pour obtenir les contraintes principales dans le remplissage. Elles doivent être inférieures aux contraintes admises en tenant compte du coefficient global de réduction appliqué au matériau. De façon

plus précise, sous l'action des charges verticales et du vent perpendiculaire à la façade, la contrainte de compression ne doit pas dépasser $C' = 9/8$ de la contrainte admissible. Pour éviter les risques de flambement, on observe la règle :

Hauteur du remplissage $\leq 15x$ épaisseur du mur.

4.4 Réalisation d'un prototype de bâtiment avec des agglomérés spéciaux

4.4.1 Conception des plans (Voir plans figure 3.4 et 3.5)

4.4.2 Descente des charges

Hypothèses

Plancher en corps creux de 15+5

Charge surfacique permanente $G = 5,50 \text{ KN/m}^2$

Charge d'exploitation $Q = 2,5 \text{ KN/ m}^2$

Le poids volumique des murs en agglomérés creux : 14 KN/ m^3

Le poids volumique des murs en agglomérés plein : 20 KN/ m^3

Le poids volumique du béton armé : 25 KN/ m^3

Vitesse moyenne du vent à la station Cotonou Aéroport à 10m d'altitude par rapport au sol : 30m/s

Tableau de calcul

Descentes des charges sur un mur de refend ($l = 1,00\text{m}$)

Niveau	Eléments : calcul de poids en KN ($1,35G + 1,50Q$)	Poids cumulé (KN)
N1	Terrasse : $1,35 [(4+0,15) \times 1,00 \times 5,5] + 1,50 [(4+0,15) \times 1,00] = 37,04$	37,04
N2	Venant de N1.....37,04 Mur de refend du 1 ^{ième} étage : $1,35(3 \times 1 \times 2,1) = 8,51$	45,55
N3	Venant de N245,55 Plancher haut du 1 ^{er} étage :46,37 Terrasse : $1,35 [(4+0,15) \times 1,00 \times 5,5] + 1,50 [(4+0,15) \times 2,5] = 46,37$	91,92
N4	Venant de N3.....91,92 Mur de refend du 1 ^{er} étage8,51	100,43

Tableau 4.4 : Résultat de la descente des charges

La charge en sous face du bloc le plus chargé est $P = 100,43 \text{ KN} = 0,10 \text{ MN}$

La section pressée est $S_b = 0,15 \times 1,00 \text{ m}^2$; donc la pression est :

$$p = \frac{0,10}{0,15} = 0,67 \text{ Mpa}$$

4.4.3 Vérification des contraintes dans les parois porteuses

Au vu des résultats des essais mécaniques, nous retenons en exemple, le mélange 33,33% Sable de SINFEFENOU et 66,67% Sable de MACHIN pour les calculs.

➤ *Sous l'effet des charges verticales seules*

$$C = \frac{R}{N} = \frac{\sigma_v}{N} = \frac{2,113}{3} = 0,704 \text{ Mpa}$$

La contrainte admissible des agglomérés du mélange 33,33% Sable de SINFEFENOU et 66,67% Sable de MACHIN à 28 jours d'âge est supérieure e à 0,67 MPa, contrainte exercée au pied d'un mur de bâtiment de type R+1 en structure mur porteur avec toiture terrasse sera non accessible. Les agglomérés peuvent servir dans une telle construction.

➤ *Sous l'effet des charges horizontales seules*

- Calcul de σ_b et de F_{th}

$$\sigma_b(\gamma) = \left[\frac{(\sigma_h \cdot \sigma_v)^{1/2}}{(\sigma_h \cdot \cos \gamma)^2 + (\sigma_v \cdot \sin \gamma)^2} \right]^{1/2}$$

$$\sigma_b(\gamma) = \left[\frac{(1,131 \times 2,113)^2}{(1,131 \cdot \cos 45^\circ)^2 + (2,113 \cdot \sin 45^\circ)^2} \right]^{1/2} = 1,41 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_b = 1,41 \text{ Mpa}$$

$$F_{th} = e_m I_b \left[\frac{l_b}{l_c} \right]^r \cdot \sigma_b(\gamma) \cdot \sin \gamma$$

$$F_{th} = 0,15 \times 0,40 \times \left[\frac{0,40}{0,384} \right]^{0,876} \times 1,41 \cdot \sin 45^\circ = 0,061999392 \text{ MN} = 61999,39 \text{ N}$$

$$F_{th} = 61999,39 \text{ N}$$

Calcul de la sollicitation

- Surface de façade reprise par le refend : $l = 4,15\text{m} \times 2,10 = 8,72\text{m}^2$
- Charge surfacique due au vent : $Q_v(KN/m^2) = \frac{V^2(m/s)}{1630} = \frac{30^2}{1630} = 0,55KN/m^2$
- Charge ponctuelle reprise par le refend $F = 0,55 \times 8,72 = 4,80\text{KN}$ soit $F = 4800\text{N}$.
- Charge inclinée reprise par la bielle : $C = \frac{F}{\cos 45^\circ} = 6788,23\text{N}$

Cette charge est inférieure à $F_{th} = 61999,39\text{N}$ Ok

➤ *Sous l'effet des charges horizontales et verticales.*

Contrainte moyenne de compression due à l'effort C :

$$\sigma_{bc} = \frac{C}{b.e} = \frac{6788,23}{\sqrt{(0,6)^2 + (0,45)^2} \times 0,15} = 60340\text{Pa} = 0,06\text{MPa}$$

Avec $b = \sqrt{(at^2_1 + am^2_1)}$

La contrainte sous l'effet des charges verticales et horizontales :

$$\sigma = 0,67 + 0,06 = 0,73\text{MPa}$$

$$C' = \frac{9}{8} \times 0,704 = 0,792\text{MPa}$$

σ est inférieure à C' . OK

Au vu de ces différentes vérifications, nous pouvons, affirmer que le procédé de mur à joints verticaux secs et horizontaux évidés peut être adopté dans la construction des bâtiments de type R+1 en structure mur porteur avec les agglomérés sus visés.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Dans beaucoup de pays le sable est extrait directement des plages ou bien des carrières jouxtant les plages. Les conséquences sont souvent graves, disparition des plages dans certains endroits, défiguration des paysages. De plus les mesures légales sont souvent inopérantes car les gains potentiels sont tellement importants qu'il est facile de corrompre les officiels chargés de les appliquer.

La nécessité de promouvoir des normes en matière d'habitat en privilégiant la voie de la persuasion économique justifie la thématique du sujet.

Le système de construction de mur à joints verticaux secs et horizontaux évidés en agglomérés de sables continentaux/ciment s'inscrit dans une nouvelle génération de produits de construction dont la mise en œuvre est fondée sur la maçonnerie de blocs à emboîtement qui, nous le croyons, apportera une solution salubre aux questions de réduction de coût de gros œuvre.

La technique de mise en œuvre des blocs est conforme aux mesures normatives spécifiées par le DTU 20.1.

L'assemblage des blocs à joints verticaux secs se différencie de la maçonnerie traditionnelle obtenue par hourdage des matériaux de même type. La réalisation des assises dont la planéité conditionne directement la qualité des murs, requiert un soin et une précision particulière.

La rigueur de la technique fait aboutir à :

- La réduction des délais d'exécution
- La réduction des coûts de revient des ouvrages
- Le respect d'un aspect architectural régulier.

L'on comprend alors que, pour régler le secteur des matériaux de construction, la coercition, prise isolément, peut se présenter comme des moyens peu efficaces. Le levier le plus sûr et le plus prometteur, pour contribuer à changer des habitudes acquises pendant des

génération, doit être économique et passe par l'utilisation massive des sables continentaux de qualité dans les constructions.

Il faut donc, pour protéger l'environnement côtier, démontrer aux consommateurs, de la manière la plus pédagogique que possible, que tel choix de matériaux et non tel autre va directement dans le sens de la réduction de leurs dépenses. Il faut s'évertuer à casser la demande de certains types de matériaux de construction en encourageant l'offre en matériaux respectueux de l'environnement et présentant des rapports qualité/prix absolument imbattables.

Au cours de nos travaux, les analyses ont permis de constater que les sables continentaux du Sud Bénin présentent autant que le sable marin, de bonnes caractéristiques physiques pour son utilisation en maçonnerie. Toutefois il faut noter qu'ils sont généralement d'une texture plus fine et présente des matières organiques, tous deux, des paramètres qui auront un effet négatif sur la résistance des agglomérés.

L'objectif principal étant de trouver aussi des matériaux de qualité pour remplacer le sable marin, nous avons prospecté des possibilités d'amélioration de la texture des sables fins. Ceci a permis d'avoir de meilleures résistances au niveau des blocs de mortier.

Par ailleurs, nous sommes parvenus à mettre en exergue le principe de fonctionnement des murs pour prouver que les murs à joint verticaux secs et horizontaux évidés pourront assurer les fonctions essentielles qui leur sont dévolues notamment la résistance et la stabilité mécanique.

N'ayant nullement l'intention d'avoir effectué un travail parfait, nous suggérons et nous protégeons un dispositif d'essai de mur en grandeurs réelles afin de mesurer de façon plus précise l'influence des emboîtements sur la maçonnerie.

ANNEXES A

1 - Aggloméré courant de 40 (assise impaire)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		3,5
	Longueur		40
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		2572,8
	% volume		21,53
	section		192
Section de l'aggloméré	brute		597,52
	nette		405,52
	% snet		67,86
Canal coffrage	épaisseur		-
	section		-
Section des emboîtements	mâles	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			9377,6

Tableau 3.1: Caractéristiques géométriques du bloc courant de 40 (assise impaire)

2 - Aggloméré tableau de 40 (assise impaire)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		3,5
	Longueur		40
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		2572,8
	% volume		21,53
	section		192
Section de l'aggloméré	brute		597,52
	nette		405,52
	% snet		67,86
Canal coffrage	épaisseur		-
	section		-
Section des emboîtements	mâles	Grande base	-
		Petite base	-
		Hauteur	-
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			9027,6

Tableau 3.2 : Caractéristique géométriques l'aggloméré tableau de 40 (assise impaire)

3 - Aggloméré courant de 20 (assise paire)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		3,5
	Longueur		20
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		1018,4
	% volume		17,11
	section		76
Section de l'agglo	brute		297,52
	nette		221,52
	% snet		74,45
Canal coffrage	épaisseur		-
	section		-
Section des emboîtements	mâles	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			4932

Tableau 3.3 Caractéristique géométriques du bloc courant de 20 (assise paire)

4. Aggloméré tableau de 10

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		-
	Longueur		10
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		0
	% volume		0
	section		0
Section de l'agglo	brute		130,02
	nette		130,02
	% snet		100
Canal coffrage	épaisseur		-
	section		-
Section des emboîtements	mâles	Grande base	-
		Petite base	-
		Hauteur	-
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			2600,4

Tableau 3.4 : Caractéristique géométriques de l'aggloméré tableau de 10

5. Aggloméré pilier en L (assise impaire, mur en L)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		3,5
	Longueur		35/35
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		3888
	% volume		23,63
	section		160
Section de l'agflo	brute		822,52
	nette		543,52
	% snet		66,08
Canal coffrage	épaisseur		2
	section		119
Section des emboîtements	mâle s	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelle es	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			10182,4

Tableau 3.5 : Caractéristique géométriques du bloc en L (assise impaire)

6. Aggloméré pilier en L (assise impaire, mur en T)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		3,5
	Longueur		35/35
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		3888
	% volume		23,14
	section		160
Section de l'agflo	brute		840,02
	nette		561,02
	% snet		66,79
Canal coffrage	épaisseur		2
	section		119
Section des emboîtements	mâle s	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelle es	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			10532,4

Tableau 3.6 : Caractéristique géométriques du bloc en L (assise impaire)

7. Aggloméré pilier en L (assise impaire, mur croisé)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		3,5
	Longueur		35/35
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		3888
	% volume		22,67
	section		160
Section de l'agflo	brute		857,52
	nette		578,52
	% snet		67,46
Canal coffrage	épaisseur		2
	section		119
Section des emboîtements	mâles	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			10882,4

Tableau 3.7 : Caractéristique géométriques du bloc en L (assise impaire)

8. Aggloméré pilier en L (assise paire, mur en L)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		-
	Longueur		25/25
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		0
	% volume		0
	section		0
Section de l'agflo	brute		522,25
	nette		403,52
	% snet		77,23
Canal coffrage	épaisseur		2
	section		119
Section des emboîtements	mâles	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			8070,4

Tableau 3.8: Caractéristique géométriques du bloc en L (assise paire)

9. Aggloméré pilier en L (assise paire, mur en T)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		-
	Longueur		25/25
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		0
	% volume		0
	section		0
Section de l'agflo	brute		540,02
	nette		421,02
	% snet		77,96
Canal coffrage	épaisseur		2
	section		119
Section des emboîtements	mâles	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			8420,4

Tableau 3.9 : Caractéristique géométriques du bloc en L (assise paire)

10. Aggloméré pilier en L (assise paire, mur croisé)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		-
	Longueur		25/25
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		0
	% volume		0
	section		0
Section de l'agflo	brute		557,52
	nette		438,52
	% snet		78,66
Canal coffrage	épaisseur		2
	section		119
Section des emboîtements	mâles	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			8770,4

Tableau 3.10 : Caractéristique géométriques du bloc en L (assise paire)

11. Aggloméré coffrage de raidisseur de 40 (assise impaire)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		-
	Longueur		40
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		0
	% volume		0
	section		0
Section de l'agflo	brute		597,52
	nette		478,52
	% snet		80,08
Canal coffrage	épaisseur		2
	section		119
Section des emboîtements	mâles	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			9570,4

Tableau 3.11 : Caractéristiques géométriques de l'aggloméré coffrage chaînage vertical de 40

12. Aggloméré coffrage de raidisseur de 20 (assise paire)

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		-
	Longueur		20
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		0
	% volume		0
	section		0
Section de l'agflo	brute		297,52
	nette		178,52
	% snet		60,00
Canal coffrage	épaisseur		2
	section		119
Section des emboîtements	mâles	Grande base	3
		Petite base	2
		Hauteur	3,5
	femelles	Grande base	3,2
		Petite base	2,2
		Hauteur	3,7
Volume de mortier (cm³)			3570,4

Tableau 3.12 : Caractéristiques géométriques de l'aggloméré coffrage vertical de 20

13. Aggloméré coffrage de chaînage horizontal de 40

Dimensions courantes (cm)	épaisseur		3
	Longueur		40
	largeur		15
	hauteur		20
Creux Cm³, cm²	volume		0
	% volume		0
	section		0
Section de l'agflo	brute		300
	nette		152,5
	% snet		50,83
Canal coffrage	épaisseur		3
	section		147,5
Section des emboîtements	mâles	Grande base	-
		Petite base	-
		Hauteur	-
	femelles	Grande base	-
		Petite base	-
		Hauteur	-
Volume de mortier (cm³)			6100

Tableau 3.13 : Caractéristiques géométriques de l'aggloméré coffrage chaînage horizontal de 40

ANNEXES B : FICHES TYPES D'ESSAIS DE LABORATOIRE

14. Essai d'équivalence de sable : Fiche d'essai

Date :24 Août 2007

Provenance du sable
:KETONOU

Opérateur :

Echantillon N° : AHO8

	Résultats Prise N° 1	Résultats Prise N° 2
Hauteur h_1	160	180
Hauteur h'_2 (à vue)	90	91
Hauteur h_2 (sous piston)	84	87
ESV sur chaque prise $(h'_2/h_1) \times 100$ en (%)	56,25	50,56
ESV sur l'échantillon en (%)	53,40	
EV sur chaque prise $h_2/h_1 \times 100$ en (%)	52,50	48,33
EV sur l'échantillon en (%)	50,42	

15. Essai Densité Apparente : Fiche d'essai

Date :07 Août 2007
SO

Provenance du sable:AKASSATO

Opérateur :

Echantillon N° ASA2

	Résultats
Masse container à vide	
Masse container + plaque de verre (P1)	5090
Masse container + Echantillon + Plaque de verre (P2)	8850
Masse container + eau + plaque de verre (P3)	7910
CALCULS	
Poids net de l'échantillon $P = (P2 - P1)$ en g	3760
Volume du container $V = (P3 - P1)$ en cm ³	2820
Densité apparente $D_a = P/V$	1,33

16. Essai Densité et Absorption : Fiche d'essai

Date : 18 Août 2007

Provenance du sable
: AGONSSA

Opérateur :

Echantillon N° : AHO7

	Résultat Prise N°1 (Echant.)	Résultat Prise N°2 (Echant.)
Poids du pycnomètre	72,751	72,649
Poids du pycnomètre + Echantillon sss	100,484	98,657
Poids du pycnomètre + Echantillon sss + eau	131,795	129,937
Poids du pycnomètre + eau	114,659	114,348
Poids du bécher	58,674	55,504
Poids du bécher + échantillon sec	86,278	81,167
CALCULS		
Poids échantillon sss (B)	27,733	26,008
Poids d'eau ajouté (W)	31,311	31,28
Poids échantillon sec (A)	27,604	25,663
Volume du pycnomètre (V)	41,908	41,699
Volume échantillon sss (V - W)	10,597	10,419
Densité sèche : (A)/(V-W)	2,60	2,46
Moyenne densité sèche	2,534	
Absorption ((B - A) / (A)) x 100 en (%)	0,47	1,34
Moyenne Absorption en (%)	0,91	

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R. Dupain, R. Lanchon, J.-C. Saint-Arroman Granulats, Sols, Ciments et Bétons : *La caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire*, Editions Casteilla, Paris, 2000.
- [2] H. RENAUD, Travaux de construction, Technologie de construction du bâtiment, Editions FOUCHER, Paris, 1996.
- [3] Baud G., *la construction de bâtiment : Maçonnerie et Béton armé*, Dunod, Paris, Lausanne, 1976.
- [4] Renaud H., *Constructeur Bâtiment : Technologie*, Tome 2, Les Editions Eyrolles, Paris, 2002.
- [5] Renaud H. *Constructeur Bâtiment : Technologie*, Tome 2, Les Editions Eyrolles, Paris, 2001.
- [6] Noverraz M. *La Technologie du Bâtiment : Le gros œuvre*, Tome 1, Editions Eyrolles, Paris, 1979.
- [7] Vuillerme B., Richard H., *Chantiers de bâtiment : Préparation et suivi*, Editions Nathan, Paris, 1995.
- [8] Creusé M., *Construction des bâtiments : Gros œuvre*, Delagrave, Paris, 1997.
- [9] DTU (Document techniques unifiés) n°20.1, Règles de calcul et dispositions constructives minimales, septembre 1985.
- [10] JI. Cruz Diaz, A Sellier, B. Capra, P. Delmotte, P.Rivillon, A. Merbaki « Etude des murs de contreventement en maçonnerie d'éléments de terre cuite à joints verticaux secs », Cahiers du CSTB livraison 407, n°3199, mars 2000.
- [11] JI. Cruz Diaz, A Sellier, B. Capra, P. Delmotte, P.Rivillon, A. Merbaki « Modélisation simplifiée du comportement à rupture des murs, Revue Française de Génie Civil », Volume 5 n°5/2001, Edition Hermès.

[12] JI. Cruz Diaz, A Sellier, B. Capra, P. Delmotte, P.Rivillon, A. Merbaki « Murs de contreventement en maçonnerie de terre cuite : approche expérimentale et modélisation du comportement à la rupture » Cahiers du CSTB, livraison 416, n°3310, janvier février 2001.

[13] JI. Cruz Diaz, A Sellier, B. Capra, P. Delmotte, A. Merbaki « Fiabilité des murs de contreventement en maçonnerie. Calibration des coefficients partiels d'un modèle simplifié » Revue Française de Génie Civil, Fiabilité des ouvrages de Génie Civil, Conception et maintenance volume 6 n°3/2002, Editions Hermès.

[14] Prat M. et al., Calcul des ouvrages généraux de construction, Editions Hermès, Paris, 1997.

[15] L. Mbumbia, Promouvoir l'habitat par les matériaux locaux de construction au Cameroun. Louvain-La-Neuve. Université Catholique de Louvain 1997.

[16] Tokpon V. Bernard, Construction en matériaux locaux : Le graveleux latéritique dans l'habitation. Amélioration au ciment ; cas de la latérite de la commune de Zoumé .Université du Bénin CPU 1997.

[17] Houéto Carine, Etude des résistances limites du béton de nodules latéritiques à la traction et à la compression et de l'utilisation du sable latéritique dans la fabrication des agglos et entrevous (Cas des graves latéritiques de Dogbo-Tozoumé) . Université du Bénin CPU.

CURRICULUM VITÆ

I. ETAT CIVIL

Nom : CHANHOUN
Prénoms : Cocou Luc Marius
Date et lieu de naissance : 18 novembre 1975 à Ouèssè (BENIN)
Profession : Ingénieur des Travaux Option Génie Civil
Situation matrimoniale : Marié et père de quatre (04) enfants

II. FORMATIONS

2005 : Diplôme d'Etudes Techniques Supérieures du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris antenne de COTONOU).

1997 : Diplôme d'Ingénieur des Travaux en Génie Civil. Université Nationale du Bénin : Collège Polytechnique Universitaire (CPU) d'Abomey-Calavi.

III. STAGES ET EXPERIENCE PROFESSIONNELLES

1997 – 2008 : Agent Permanent de l'Etat Béninois en service à la Direction des Infrastructures des Equipements et de la Maintenance (DIEM) du Ministère de la Santé.

1998 – 2008 : Auditeur au Centre d'Enseignement de Cotonou du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris.

IV. LANGUES PARLEES

Langues Nationales : Fon : Maîtrise Parfaite

Langues étrangères : Français : Maîtrise parfaite de l'écrit et du parlé

Anglais : Bonne maîtrise de l'écrit et du parlé

Figure 2.2 Carte de positionnement des carrières potentielles de sable au Sud Bénin

REPUBLIQUE DU BENIN
SUD DU BENIN : CARRIERES DE SABLE

