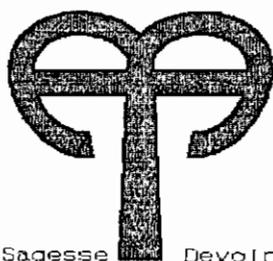


REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL



Sagesse Devoir

Ge. 0178

PROJET DE FIN D'ETUDES
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

TITRE : OPTIMISATION DES FORMULATIONS DES BETONS DE SABLE

AUTEUR : Khady NDIAYE
DIRECTEUR INTERNE : Massamba DIENE
CO-DIRECTEUR : El Hadji M. THIAM
DIRECTEUR EXTERNE : Serigne L. THIOUNE
DATE : Juillet 1993

Notre ennemi dans l'étude, c'est la suffisance;
quiconque veut réellement apprendre doit commencer
par s'en débarrasser.

"s'instruire sans jamais s'estimer satisfait" et
"enseigner sans jamais se lasser"
telle doit être notre attitude. ...

Le Président Mao Tsé Toung

DEDICACES

A feu ma grand-mère

Adama SAGNA,

Ceci est le fruit de son affection

A mon beau-père

Aminou GNABODE,

pour les efforts consentis à notre réussite

A ma mère

Awa Camara,

A mes frères et soeurs,

A tous ceux qui me sont chers,

A tous ceux qui luttent pour

le Respect de la Dignité Humaine.

(R.D.H).

M^{lle} Khady NDIAYE

TABLE DES MATIERES

Matières	Pages
Table des matières.....	i
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures.....	v
Liste des annexes.....	vi
Liste des abréviations.....	vii
Remerciements.....	ix
Sommaire.....	x
INTRODUCTION.....	1
Chapitre I : LA TECHNIQUE DU BETON SABLE.....	4
Première partie: Historique des bétons de sable.....	4
Deuxième partie : Présentation.....	8
1.1- Définition	8
1.2- Les composants du béton de sable.....	8
1.3- Formulation des bétons de sable.....	13
1.4- Intérêt des bétons de sable.....	13
1.4.1- Propriétés spécifiques des bétons de sable..	13
1.4.2- Abondance de la matière première.....	14
1.4.3- Domaine d'emploi.....	15
1.5- Limites des bétons de sable.....	16
1.5.1- Raisons économiques.....	16
1.5.2- Raisons techniques.....	17
Chapitre II : IMPORTANCE DU PROJET.....	18
2.1- Données générales sur les granulats.....	18
2.1.1- Localisation.....	18

2.1.2-	Problèmes liés à l'exploitation des carrières.....	20
2.1.3-	Evolution de l'offre et de la demande.....	21
2.1.4-	Variation des prix des granulats.....	23
2.2-	Nécessité de prévoir des matériaux de substitution.....	26
2.3-	La solution du béton de sable.....	26
2.3.1-	Pour le Sénégal en général.....	26
2.3.2-	Pour la Commune de Dakar.....	28
2.4-	Définition du projet.....	32
2.4.1-	Cahier de charge.....	32
2.4.2-	Méthodes et moyens.....	32
Chapitre III :	ETUDES EXPERIMENTALES.....	34
3.1-	Détermination des caractéristiques des constituants.....	34
3.1.1-	Essais d'identification des sols.....	34
3.1.2-	Densités et autres paramètres.....	37
3.1.2.1-	Densités.....	37
3.1.2.2-	Masse volumique en vrac.....	38
3.1.2.3-	Teneur en eau.....	39
3.1.2.4-	Absorption.....	39
3.1.2.5-	Humidité.....	40
3.1.3-	Utilisation des résultats.....	40
3.2-	Réalisation des éprouvettes.....	42
3.2.1-	Matériels utilisés.....	42
3.2.2-	Formulation.....	43
3.2.3-	Essais de contrôle.....	45

3.2.3.1-	Essai d'affaissement.....	45
3.2.3.2-	Masse volumique du béton.....	46
3.2.3.3-	Cure des éprouvettes.....	48
3.2.3.4-	Résistance à la compression.....	49
Chapitre IV :	ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS.....	51
4.1-	Effet du ciment.....	51
4.2-	Effet des adjuvants utilisés.....	52
4.3-	Effet des fines	55
4.4-	Effet des rapports C/S et E/C sur la résistance...59	
4.4.1-	Effet du rapport C/S.....	59
4.4.2-	Effet du rapport E/C	62
4.5-	Effet de la coloration à l'oxyde.....	64
4.6-	Effet du mûrissement du béton de sable.....	66
Chapitre V :	PROPOSITION DE SOLUTIONS.....	68
5.1-	Etude économique.....	68
5.2-	Variantes de formulations proposées.....	70
5.3-	Exécution des mélanges.....	73
5.3.1-	Choix des matériaux	73
5.3.2-	Gâchages polychromes.....	73
5.3.3-	Utilisation de la bétonnière.....	74
5.4-	Mode de mise en oeuvre.....	75
5.4.1-	Dallages.....	75
5.4.2-	Contrôle de fissuration.....	76
Chapitre VI :	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	79
	Bibliographie.....	81
	Annexes	83

LISTE DES TABLEAUX

2.1- Répartition de la production nationale de granulats pour le quinquennat 1986-1991.....	21
2.2- Estimation de la demande nationale en granulats pour le quinquennat 1992-1997.....	23
2.3- Variation des prix des matériaux de carrières.....	25
2.4.1- Inventaire des infrastructures réalisées au béton de sable par la Commune de Dakar.....	29
2.4.2- Suite (de l'inventaire).....	30
2.4.3- Fin.....	31
3.1- Caractéristiques des constituants.....	41
4.1- Effet du dosage en Sikalatex.....	53
4.2- Effet de la nature de l'adjuvant.....	54
4.3- Effet de l'augmentation de calcaire 0/4.....	55
4.4- Effet du dosage en fine pour un rapport E/C constant.....	57
4.5- Effet de la finesse du calcaire.....	58
4.6- Effet du dosage en sable et eau.....	60
4.7- Dosages polychromes.....	65
4.8- Effet du mûrissement.....	67
5.1- Prix unitaires des matériaux.....	69
5.2- Solutions proposées et variantes.....	71
5.3- Exemples de dosages en bétons classique	69
5.4- Comparaison de dosages en bétons classiques et bétons de sable.....	72

LISTE DES FIGURES

2.1- Régions de production des granulats concassés.....	19
2.2- Evolution de la production en granulats	
Quinquennat 1986/1991.....	22
2.3- Estimation de la demande en granulats	
Quinquennat 1992/1997.....	24
3.1- Courbes granulométriques des sols utilisés.....	36
4.1- Effet du dosage en fines pour un rapport E/C constant...	56
4.2.1- Effet de C/S sur la résistance (à 7 jours).....	61
4.2.2- Effet de C/S sur la résistance (à 28 jours).....	61
4.3.1- Effet de E/C sur la résistance (à 7 jours).....	63
4.3.2- Effet de E/C sur la résistance (à 28 jours).....	63
4.4- Effet du pourcentage d'oxyde sur la résistance.....	64
5.1- Les parties du dallage.....	76
5.2- Joints d'isolement.....	78
5.3- Joints transversaux en panneau	78
5.4- Joints transversaux en chevron	78

LISTE DES ANNEXES

A- Résultats des tamisages.....	83
A.1- Analyses granulométriques.....	83
A.2- Estimation des modules de finesse.....	83
B- Présentation des résultats des gâchées.....	84
B.1.1- Gâchées effectuées avec le Sikalatex.....	84
B.1.2- Suite et fin.....	85
B.2.1- Gâchées effectuées avec le Sikament FF86.....	86
C- Détermination du coût des matières premières du mètre cube de béton de sable.....	87
C.1- Avec le Sikalatex.....	87
C.2- Avec le Sikament FF86.....	88
D- Masses volumiques du béton de sable pour $R_{c28} > 12$ MPa....	89
E- Prospectus des adjuvants.....	90
E.1- Le Sikalatex et ses utilisations	90
E.2- Le Sikament FF86.....	94
E.3- Plastifiants utilisables.....	95
F- Les domaines d'action de l'association SABLOCRETE.....	96
G- Rappels sur le béton classique.....	108

LISTE DES ABREVIATIONS

A	: Adjuvants
abs	: Absorption des sols (%)
A _{ff}	: Affaissement (mm)
C	: Dosage en ciment (Kg/m ³)
d/D	: Fraction granulométrique du sols
d _{app}	: Densité apparente du sol
d _{sss}	: Densité (brute) à l'état saturé superficiellement sec
E	: Dosage en eau (Kg/m ³ = l/m ³)
F	: Dosage en fines de calcaire (Kg/m ³)
G	: Dosage en granulats dans les bétons classiques (Kg/m ³)
h	: Humidité des sols (%)
MV _b	: Masse volumique du béton (Kg/m ³)
MV _{bd}	: Masse volumique du béton durci (Kg/m ³)
MV _{bf}	: Masse volumique du béton frais (Kg/m ³)
MV _{vrac}	: Masse volumique en vrac des sols (Kg/m ³)
P _{max}	: Charge maximale supportée par l'éprouvette en compression (KN)
R _{c7} , R _{c28}	: Résistances en compression à 7 et 28 jours (MPa)
Se	: Section de l'éprouvette (mm ²)
w	: Teneur en eau (%)

- AGETIP : Agence d'Exécution des Travaux d'Intérêt Public
contre le Sous-emploi
- CEREEQ : Centre Expérimental de Recherche et d'Etudes pour
l'Equipement du Sénégal
- EPT : Ecole Polytechnique de Thiès
- IST : Institut des Sciences de la Terre
- SCIF : La Sénégalaise Commerciale d'Industrie et de
Fournitures
- CETE : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement du Sud-
Ouest;
Laboratoire de Recherche des Ponts et Chaussées de
Bordeaux, 472, Avenue du Maréchal de Lattre de
Tassigny
Bordeaux- CHAUDERAN, B.P 91-33165 SAINT-MEDAR-EN-
JALLES CEDEX;
Tél: 56.70.63.27 - Télécopie: 56.70.67.33.
- SABLOCRETE : Association pour la Promotion et le Développement
des Bétons de Sable en France;
Rue Rolland GARROS- B.P 285, 33697 MERIGNAC CEDEX
Tél: 56.55.81.80 - Télécopie (Fax): 56.55.81.99

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements à :

M. Massamba DIENE,

M. EL M. Hadj THIAM

M. Serigne LEYE THIOUNE

respectivement directeur, co-directeur et directeur externe de ce projet, pour leur disponibilité à notre égard.

Nous témoignons aussi toute notre gratitude à l'initiateur de ce projet, M. Mamadou DIOP, Maire de Dakar.

Nous exprimons également notre profonde reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidée dans l'acquisition de matériaux ou d'informations utiles. Nous citons M^{me} Adama DIENE de la S.C.I.F, M. GAZY de la carrière de Bargny, M. A. DIA Directeur de l'I.S.T, M^{lle} C. MARMOTTAN secrétaire de l'association SABLOCRETE en FRANCE, M. J.J CHAUVIN du laboratoire du C.E.T.E en FRANCE.

Une mention spéciale sera accordée à M^{me} Anna DIENE, épouse de notre directeur de projet, pour sa compréhension, sa simplicité et ses accueils chaleureux.

Enfin, nous remercions très franchement tous ceux qui nous ont aidée à dactylographier ce texte, plus particulièrement M^{me} Rose Faye NDIONE, secrétaire à l'E.P.T.

SOMMAIRE

Dans cette étude, nous tenons à apporter notre contribution à la détermination des méthodes de formulation des bétons de sable.

Avant d'aborder l'étude expérimentale, il a été jugé nécessaire de faire des rappels sur les bétons classiques (cf annexe G) et de nous appesantir sur la présentation de la technique du béton de sable. En effet, même si elle date de la première guerre mondiale (ce que nous apprend l'Histoire), ce n'est qu'en 1990 que cette technique a été introduite au Sénégal.

Ensuite, partant de la problématique des principaux granulats utilisés dans la construction au Sénégal, les possibilités que le béton de sable pourrait apporter comme matériau de substitution témoignent de l'importance du présent projet.

Les études expérimentales effectuées ont été expliquées d'une manière claire et détaillée dans le but de rendre notre travail accessible aux utilisateurs peu qualifiés.

Suite à l'analyse des résultats obtenus, des solutions ont été proposées.

Enfin, nous avons émis des recommandations quant à la tenue du matériau et à la poursuite de la présente étude.

INTRODUCTION

Il est paradoxal qu'au moment où l'Afrique a le plus besoin de développer son habitat, les coûts des ressources les plus utilisées soient exorbitants.

De plus, ces ressources dites "nobles", car sélectionnées pour leurs hautes performances, ne sont pas sans causer de sérieux problèmes environnementaux.

Par ailleurs, elles ont longtemps concurrencé les ressources classées "non performantes"; ces dernières étant limitées dans leur utilisation par les normes et règlements de construction en vigueur dans le génie civil.

Cependant, afin de prévoir l'épuisement imminent de ces ressources et/ou générer des économies substantielles de construction, il est plus que jamais nécessaire et pressant de valoriser ces ressources par l'application de nouvelles technologies, notamment celle du géobéton, du béton de sable etc...

Le béton de sable est un matériau antérieur au béton classique. C'est un béton sans granulats, très maniable et esthétique, réalisable dans des domaines spécifiques comme la stabilisation de trottoirs, l'aménagement d'aires de loisirs, de dallage pour parking etc...

Des pays comme l'actuelle Communauté des Etats Indépendants (C.E.I), la France, l'Algérie ou le Maroc consacrent une bonne partie de la recherche dans ce domaine.

Ainsi pour l'essor de cette technique au Sénégal, les autorités politiques et les instituts de recherche ont un rôle déterminant à jouer.

C'est dans ce cadre que le Maire de la Commune de Dakar, intéressé par la promotion de ce matériau, nous a proposé un sujet de projet de fin d'études ayant pour thème:

"OPTIMISATION DES FORMULATIONS DES BETONS DE SABLE"

Pour mener à bien notre travail, nous devons nous "défaire" de certaines méthodes spécifiques aux bétons classiques, notamment les méthodes de Valette, Faury(1942) et de Dreux-Gorisse(1979).

D'une étude expérimentale rigoureuse et représentative par son nombre d'essais réalisés devront ressortir des formulations adéquates des bétons de sable.

Dans une telle étude, l'apport d'ajouts tels que les fines de calcaires et les adjuvants appelés à jouer un rôle clé dans l'atteinte des résistances usuelles, pourra être apprécié, voire quantifié.

Nous abordons ce rapport par la présentation de la technique du béton de sable. Ensuite, nous illustrons l'apport dont elle peut faire objet dans notre pays. Après les études expérimentales, suivent l'analyse des résultats obtenus et la proposition de solutions. Enfin, viennent les conclusions et recommandations.

Chapitre I LA TECHNIQUE DU BETON DE SABLE

Première partie : Historique du béton de sable

Le béton de sable est une technique connue de très longtemps en Union Soviétique, l'actuelle Communauté des Etats Indépendants (C.E.I). Il semble qu'elle (la technique) soit parvenue dans ce pays par la Belgique et l'Allemagne.

Notons les ouvrages suivants :

- le port de Kaliningrad en Prusse-Orientale réalisé au début du siècle;
- le pont Chernavskif coulé sur place à Varonej (500 km environ de Moscou) et édifié avant la révolution bolchevique.

En 1918, le Comte Nicolas de Rochefort publie (en russe) à Pétrograd (actuelle Leningrad), aux éditions Rickler, un ouvrage de génie civil où il décrit la technique du béton de sable; de Rochefort donne des détails d'une surprenante fraîcheur technique: il signale dans son ouvrage que, si l'on broie en même temps du clinker et du sable dans un rapport de un pour un, on obtient un produit qui, mélangé au sable naturel dans un rapport de un pour trois, conduit aux mêmes résistances qu'un mélange 1/3 de clinker broyé seul et de sable, c'est-à-dire que l'on double les performances du ciment! Le Comte de Rochefort a poussé l'expérience sur les compositions de broyage clinker/sable encore plus faible : 1/8 pour obtenir des résistances étonnantes.

Quelques décennies plus tard, le béton de sable apparaît en France grâce au professeur académicien Rebinder. Il avait lu l'ouvrage du Comte de Rochefort et repris ces idées dans ses propres recherches. En 1971, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (L.C.P.C) est contacté pour la première fois pour des études sur cette technique.

Vers 1920, la technique du béton de sable reste en "veilleuse" autant en URSS qu'en Europe Occidentale. Elle sera de nouveau d'actualité au cours de la deuxième guerre mondiale: à la guerre éclair de juin 1941 suit une guerre de position (1942-1943): l'armée allemande conforte ses positions et construit des pistes d'aviation, dont certaines en béton de sable. A la fin du conflit, les soviétiques examinent ces pistes: certaines sont très dégradées, d'autres le sont moins; ils en tirent des conclusions et les mettent à profit en construisant des aérodromes en béton de sable: en particulier l'aérodrome militaire de Pevek (en Sibérie) et celui d'Arkhangelsk.

On peut dire que la pratique de béton de sable s'est étendue à tous les domaines du génie civil et est en progression constante depuis la fin de la guerre. Il est difficile d'évaluer la production actuelle, mais elle dépasse vraisemblablement le million de mètres cubes par an dans les emplois identifiés des différents secteurs pris en compte dans le projet national français SABLOCRETE (cf annexe F).

Quand à l'apparition de la technique du béton de sable au Sénégal, nous pouvons noter la chronologie suivante:

- Décembre 90 : réalisation en régie de 12.500 m² de voiries à l'intérieur de certains camps militaires;
- 17 Juin 1991 : exposé du Lt Colonel Papa Mbareck DIOP dans le but de convaincre les décideurs pour la vulgarisation de la technique;
- 3 Juillet 1991 : ouverture du chantier de la Rue 15 Médina (Ngaraaf);
- 2 Août 1991 : achèvement des travaux
- 6 Septembre 1991 : réunion d'évaluation
- 14 Février 1992 : causerie-vidéo animée par le Lt Colonel Papa MBareck DIOP à l'Ecole Polytechnique de Thiès
- Octobre 1992 : projets de fin d'études sur les bétons de sable à la proposition de la Commune de Dakar et de la Mission d'Etudes et d'Aménagement du Canal du Cayor.
- à Juillet 1993

Ces projets dirigés par le professeur M. Massamba
DIENE ont pour titres respectifs:

"OPTIMISATION DES FORMULATIONS DES BETONS DE SABLE"

Etudiante: Khady NDIAYE, sénégalaise.

et

"ETUDE DU REVETEMENT DES CANAUX A CIEL OUVERT PAR
DU BETON DE SABLE : APPLICATION CANAL DU CAYOR."

Etudiant: Eusébio ADEWOLE, togolais.

Deuxième partie : Présentation

1.1 Définition du béton de sable

Le béton de sable est un béton formé par mélange de sable, de ciment, d'addition(s) et d'eau. Des ajouts (adjuvants, fibres...) peuvent également être incorporés au mélange. Il est donc principalement constitué de sable.

Son dosage en ciment est du même ordre que celui des bétons classiques soit entre 250 à 400 kg/m³. Cette similitude lui vaut, entre autre, le terme de "béton". Il se distingue du mortier par, notamment, son dosage en ciment, celui d'un mortier étant de 400 à 700 kg/m³, et par son domaine d'utilisation.

1.2 Les composants des bétons de sable

- Le sable :

Les sables utilisables sont ceux conformes aux spécifications des bétons classiques, mais des sables considérés non performants peuvent également être employés. D'ailleurs, des programmes nationaux de recherche (SABLOCRETE en France, par exemple) s'efforcent de promouvoir l'utilisation de tous les types de sables.

Les sables sont de quatre origines :

- les sables alluvionnaires propres: ils s'épuiseront à terme;
- les sables marins: leur exploitation est peu développée;
- les sables géologiques anciens: généralement mal gradués et pollués, ils sont appelés à remplacer les sables alluvionnaires fluviaux. Le sable de dunes (sable éolien) pourrait être classé dans cette catégorie de sable;
- les sables de concassage et de broyage de roches massives: les fines de calcaire par exemple.

- Le ciment :

Le comblement des vides importants contenus dans le sable et l'obtention d'une compacité maximale nécessitent une forte proportion d'éléments fins: ciment et fillers d'ajout assurent ce rôle dans le béton de sable, et le rendement ainsi utilisable en pleine masse en limitant les inconvénients liés aux forts dosages en ciment: coût élevé, retrait, fissuration, etc... Le ciment est nécessaire à l'obtention d'une résistance suffisante pour l'usage envisagée alors que les fines (fillers) sont nécessaires à l'obtention d'une bonne compacité.

- L'addition :

Par définition, le béton de sable contient une (ou plusieurs) addition(s).

Il s'agit essentiellement de fillers- calcaires, siliceux, de laitier - de cendres volantes, mais aussi d'autres fines (argile calcinée, ultra-fines...).

Les additions proviennent directement du sable (cas des sables fillérisés) et/ou d'apport. Elle comblent en partie les vides du sable: elles augmentent donc sa compacité naturelle et créent une granulométrie aussi continue que possible. Mais elle participent également à l'amélioration de l'enchevêtrement cristallin et de la cohésion du mélange. Elles permettent ainsi d'augmenter les performances sans augmenter le dosage en ciment évitant ainsi les risques de retrait et d'excès de rigidité provoqués par un surdosage en ciment. Leur efficacité est, en ce domaine, fonction de leur nature minéralogique, de leur finesse et de leurs activités hydrauliques ou pouzzolaniques.

Les associations de recherche visent à optimiser le rapport efficacité/coût. Or, en l'absence d'un marché constitué et structuré, on ne peut aujourd'hui se prononcer clairement sur les coûts futurs de cet "intrant".

Pour l'exemple du Sénégal, avant l'année 1991, les fines étaient très peu utilisées: les exploitants des carrières étaient alors obligés de les offrir pour diminuer les coûts de stockage.

Mais à partir de 1991, les fines commencent à être valorisées; le mètre cube passant de 500 F CFA en 1991 à 1000 F CFA en 1993.

- **L'eau :**

Les bétons de sable nécessitent une qualité d'eau de mouillage importante en raison de la proportion élevée en éléments fins qui génèrent une surface spécifique importante: le rapport eau/ciment (E/C) est supérieur à celui des bétons de gravillons et pour le réduire on a recours à des adjuvants plastifiants et on sélectionne les fillers nécessitant la plus faible quantité d'eau de mouillage. Le rapport E/C est généralement compris entre 0.6 et 0.7.

- **Les ajouts :**

- Les adjuvants: il s'agit de produits chimiques utilisés à faible dose, de la même façon et dans le même but que pour les bétons classiques à savoir l'amélioration des performances. Dans la technique du béton de sable sont principalement utilisés des plastifiants permettant de réduire le dosage en eau et, de ce fait, d'augmenter la résistance et la compacité et de diminuer les risques de retrait excessif; les adjuvants améliorent aussi la maniabilité c'est-à-dire la facilité de mise en oeuvre du béton.

- les fibres: (polypropylène, acier, fonte amorphe...): elles peuvent constituer un renfort de structure, en particulier au jeune âge du béton. Leur rôle dépend de leur nature, leur dosage et leur longueur.

Elles confortent la tenue du matériau. Elles influent notamment sur la vitesse et l'importance du retrait libre.

- les gravillons: il est possible de "raidir" (augmenter le module d'élasticité) la formulation d'un béton de sable en y ajoutant des gravillons, dans un rapport gravillon/sable restant inférieur à 1: il s'agit alors d'un béton de sable chargé. Le rapport gravillons/sable est situé entre 1.4 et 1.7 pour le béton classique.

L'ajout de gravillons permet d'augmenter la compacité et à même dosage en ciment la nature de sable se trouve enrichie en ciment.

Les ajouts peuvent être employés soit seuls soit en association; la synergie ainsi créée permet d'augmenter davantage les performances. Cependant, il faudra prendre en compte l'aspect économique et la plus-value que représentent ces ajouts excessifs. L'aspect économique n'est cependant pas limité au coût matière: dans la mesure où le béton de sable peut répondre à un problème mal résolu par le béton classique, un coût équivalent et même une plus value sont envisageables.

En d'autres termes, pour des utilisations plus adaptables au béton de sable, même si le coût est plus élevé que celui du béton classique, le béton de sable est préféré.

1.3 Formulation du béton de sable

Dans un béton de sable, il convient de distinguer le ciment, nécessaire à l'obtention d'une résistance suffisante pour l'usage envisagé, et les fines d'ajout, nécessaires à l'obtention d'une bonne compacité.

Partant d'un sable donné et d'un dosage en ciment fixé a priori, l'essentiel de l'étude consistera à définir la quantité d'addition pour obtenir compacité et résistance optimales: ce dosage va dépendre de la nature et de la granularité respectives du sable et des fines d'ajout.

1.4 Intérêt des bétons de sable

1.4.1 Propriétés spécifiques des bétons de sable

Si la résistance est un critère de performance plus facilement assuré par le béton traditionnel, il existe certains critères pour lesquels le béton de sable se révèle plus performant:

. maniabilité: mise en oeuvre facilitée, énergies de mise en oeuvre et de serrage réduites, pompabilité améliorée;

. cohésion et absence de ségrégation: meilleure résistance aux chocs, bétonnage aisé en site aquatique, coulage en place des pieux et micro-pieux facilité, etc...;

. petite granularité: ^{0) à 6 mm} facilite les travaux d'injection et le bétonnage de pièces à forte densité de ferrailage et/ou à coffrages complexes. Cette propriété est appréciée en travaux de rénovation, d'autant plus que le béton de sable est plus léger que le béton classique;

. bel aspect de surface: le souci esthétique et la qualité du "fini" étant de plus en plus pris en compte dans les constructions, les effets architecturaux et la qualité des parements que le béton de sable permet d'obtenir tendent à devenir des critères déterminants.

1.4.2 Abondance de la matière première

Les sables sont des matériaux très abondants; on les trouve dans de nombreux pays en quantité quasi inépuisable.

Par ailleurs, les alluvions extraits sont souvent plus riches en sables qu'en gravillons; enfin, un certain nombre de grandes carrières ont des excédents de sable de concassage, la consommation en gravillons étant supérieure à celle sable produit.

Dans ces conditions, l'usage du béton de sable en remplacement du béton traditionnel sans faire appel à ses propriétés spécifiques peut conduire à des économies.

1.4.3 Domaine d'emploi

Le domaine d'emploi actuel du béton de sable est sensiblement équivalent à celui du béton traditionnel. D'ailleurs, l'usage du béton de sable est plus ancien et s'il a été délaissé, c'est qu'il a été possible d'obtenir à moindres frais des résistances élevées avec des granulats de plus gros diamètres. en définitive:

- ou bien, dans l'usage envisagé, le béton de sable apporte un "plus" technique par rapport au béton classique, et même à coût équivalent il est plus intéressant; dans cette éventualité le coût du sable n'est pas obligatoirement une donnée plus importante qu'elle ne l'est d'ordinaire;

- ou bien, si l'usage envisagé n'exige pas de propriétés particulières, le béton de sable utilisé en remplacement du béton classique peut conduire à des économies là où les sables sont abondants; cette éventualité exige un sable bon marché.

Toutefois, le béton de sable ne peut prétendre au remplacement systématique du béton traditionnel. En effet, d'un point de vue économique, la nécessité des ajouts pour obtenir un même niveau de résistance est susceptible de générer des

surcoûts: l'usage concerné et le contexte local en matière d'exploitation de granulats et de disponibilité en sable et filler sont déterminants.

En outre, aux questions qui se posent encore sur le retrait, le fluage et la durabilité des bétons de sable, les actions menées dans le cadre de programmes de recherche devraient apporter des réponses pertinentes et utiles.

Enfin, dans le cadre du projet national SABLOCRETE, en France, beaucoup de réalisations pilotes ont été faites dans les domaines des routes (dalles de chaussées rigides, bordures-caniveaux), du bâtiment (dallage parpaings, poutres en béton précontraint) et des ouvrages d'art (pieu foré à la tarière creuse, pieu foré sous bentonite). (cf annexe F). En outre, nous notons des réalisations quasi centenaires en Union Soviétique (Pont de Chernavskif, l'aérodrome militaire de Pevek...).

1.5 Limites des bétons de sable

Dans l'état actuel des connaissances, les bétons de sable ne peuvent pas prétendre au remplacement systématique des bétons classiques. Ceci pour des raisons économiques ou techniques.

1.5.1 Raisons économiques

Avec le béton de sable, nous pouvons atteindre le niveau de résistance des bétons classiques en multipliant le nombre des ajouts ou en augmentant le dosage en ciment.

Par contre, l'incidence sur le coût est importante et dans la mesure où le béton de sable n'apporte pas un "plus" dans l'usage envisagé, il est préférable de recourir à l'utilisation du béton classique.

Tout sera fonction, évidemment, du contexte local en matière de granulats et de l'usage concerné.

1.5.2 Raisons techniques

Des "zones d'ombre" existent encore sur la connaissance des caractéristiques et du comportement des bétons de sable:

- s'ils ont le même niveau de retrait que les bétons classiques, leur module d'élasticité est, par contre, inférieur de 20 à 30 %;

- par ailleurs le peu d'éléments disponibles sur leur comportement au fluage les exclut dans l'immédiat des éléments de structure fortement sollicités ou précontraints;

- même s'il existe des réalisations plus que centenaires (aqueduc de la Vanne sur une section de 40 km à Paris, phare de Port-Saïd en Egypte, mur de retenue qui domine la place du Trocadéro à Paris...), les données sur la durabilité sont peu nombreuses;

- il n'existe encore pas de normes universelles sur les bétons de sable.

Chapitre II

IMPORTANCE DU PROJET2.1 Données générales sur les granulats2.1.1 Localisations

Les granulats utilisés dans l'industrie du bâtiment et des travaux publics au Sénégal proviennent en majeure partie du concassage de roches basaltiques, des calcaires, des grés et de l'extraction des sables et des graveleux latéritiques (roches, meubles).

Sur la figure 2.1, nous pouvons noter les localisations suivantes:

- les basaltes affleurent à Dakar, Diack, Sène-Sérère et Keur Mamour. Cependant, depuis le décret n° 72.662 du 24 Mai 1972 portant interdiction d'exploiter les basaltes de la Presqu'île du Cap-Vert, toutes les exploitations de basaltes sont concentrées à Diack à 30 km de Thiès.

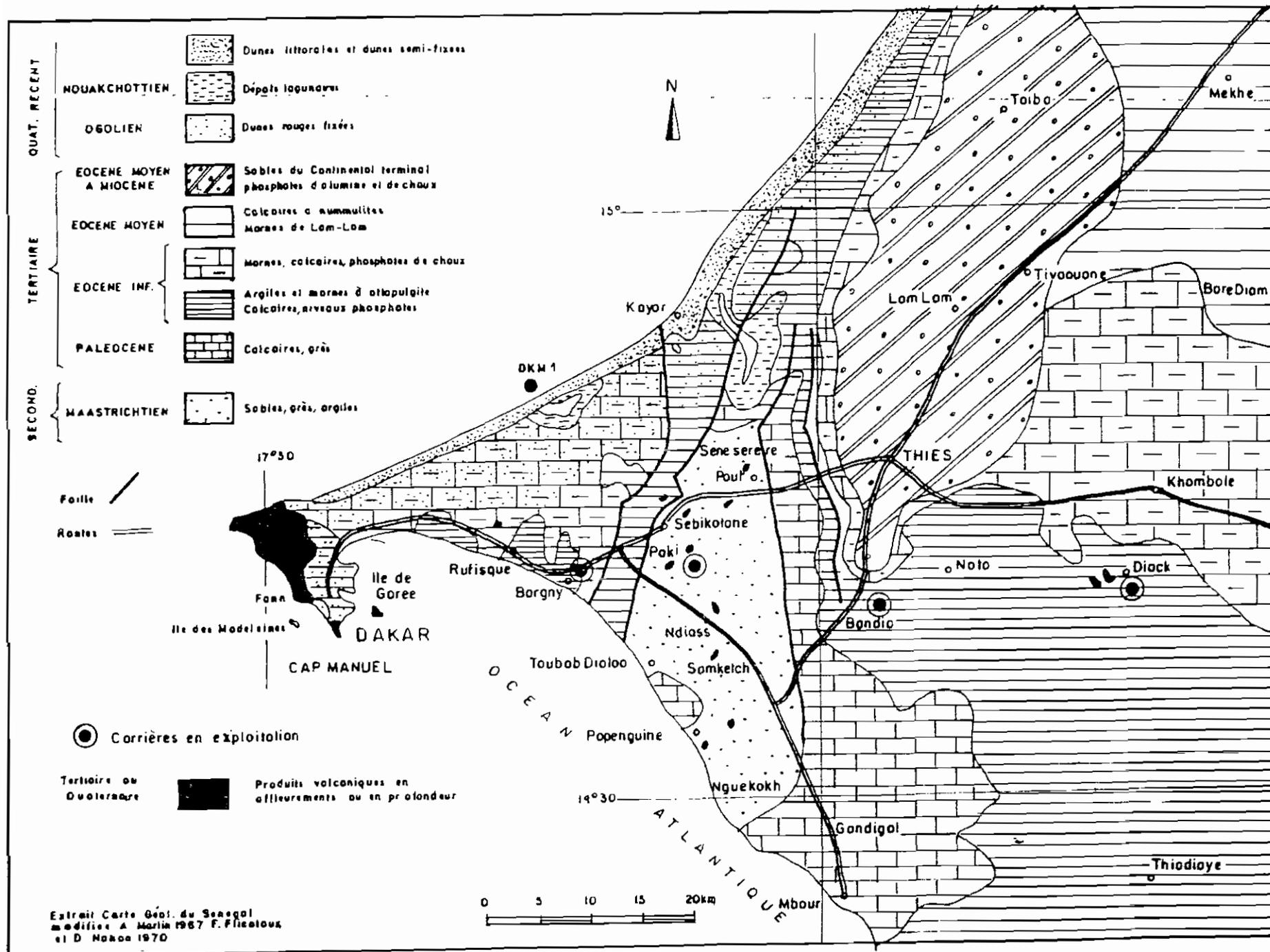
La moitié du gisement de Diack a déjà été exploitée;

- les calcaires sont exploitées à Bargny: DESPLAIS, COURTOIS, E.T.P.E, KOCHMAN et LAYOUSS;

- le grés est exploité sur le site de Paki-Toglou à Ndiass. Les réserves de ce site sont estimés à 3.450.000 Tonnes;

- les sablières et les carrières de graveleux latéritiques sont en général des carrières publiques réparties sur toute l'étendue du territoire national.

Figure 2.1: Régions de production des granulats concassés.



Nous pouvons noter les sables suivants:

* les dunes vives blanches sur le littoral (bas plage):
l'exploitation est interdite à Dakar et ses environs à cause de l'avancée de la mer (problèmes à Rufisque et Cambérène).

La seule carrière exploitable est celle de Malika;

* les dunes jaunes au Lac Rose;

* les dunes éoliennes communément appelées sables de dune: elles sont de couleur rouge et se localisent à Fas Boye, Mboro et Thiès. Suivant l'érosion, nous obtenons des fractions plus ou moins grossières d'une localisation à une autre;

* les dunes anciennes à Thiès.

2.1.2 Problèmes liés à l'exploitation des carrières

L'exploitation des carrières pose plusieurs problèmes dont:

- les conflits autour de la délimitation des parcelles, surtout à Diack;
- le manque de pièces de rechange des matériels utilisés; les commandes faites à l'étranger influent ainsi sur la productivité;
- les extractions clandestines: elles accentuent l'érosion côtière, surtout dans la zone des Niayes;
- les problèmes d'environnement : bruits et vibrations dûs à l'abattage à l'explosif, pollutions de l'air et/ou de l'eau, trafic de camions etc...

2.1.3 Evolution de l'offre et de la demande

Selon la Direction de l'Energie, des Mines et de la Géologie (D.E.M.G) (référence ...), la production nationale de granulats exprimée en m^3 par habitant a été multipliée par 3, passant de $7.3 \cdot 10^{-3} m^3/habitant$ en 1986 à $22.1 \cdot 10^{-3} m^3/habitant$ en 1991. Les données consignées dans le tableau 2.1 ci-après, et la figure 2.2 permettent de l'illustrer.

Années	1986	1987	1988	1989	1990	1991	TOTAL	%
Granulats								
Grès	2834	4115	4182	5417	23792	10167	50507	8.9
Calcaires	15934	18502	21248	24834	34626	39276	154420	27.1
Basaltes	3270	8466	12219	12445	13659	15844	65903	11.6
Sables	19030	26898	31972	40510	61200	80753	260363	45.8
Graveleux latéritiques	4362	4733	3700	4000	7680	13209	37684	6.6
TOTAL	45430	62714	73321	87206	140957	159249	568877	100
%	8.0	11.0	12.9	15.3	24.8	28.0	100	

Tableau 2.1 : Répartition de la production nationale de granulats (en m^3) pour le quinquennat 1986-1991.

Source : Direction de l'Energie, des Mines et de la Géologie (D.E.M.G) [Référence n°6]

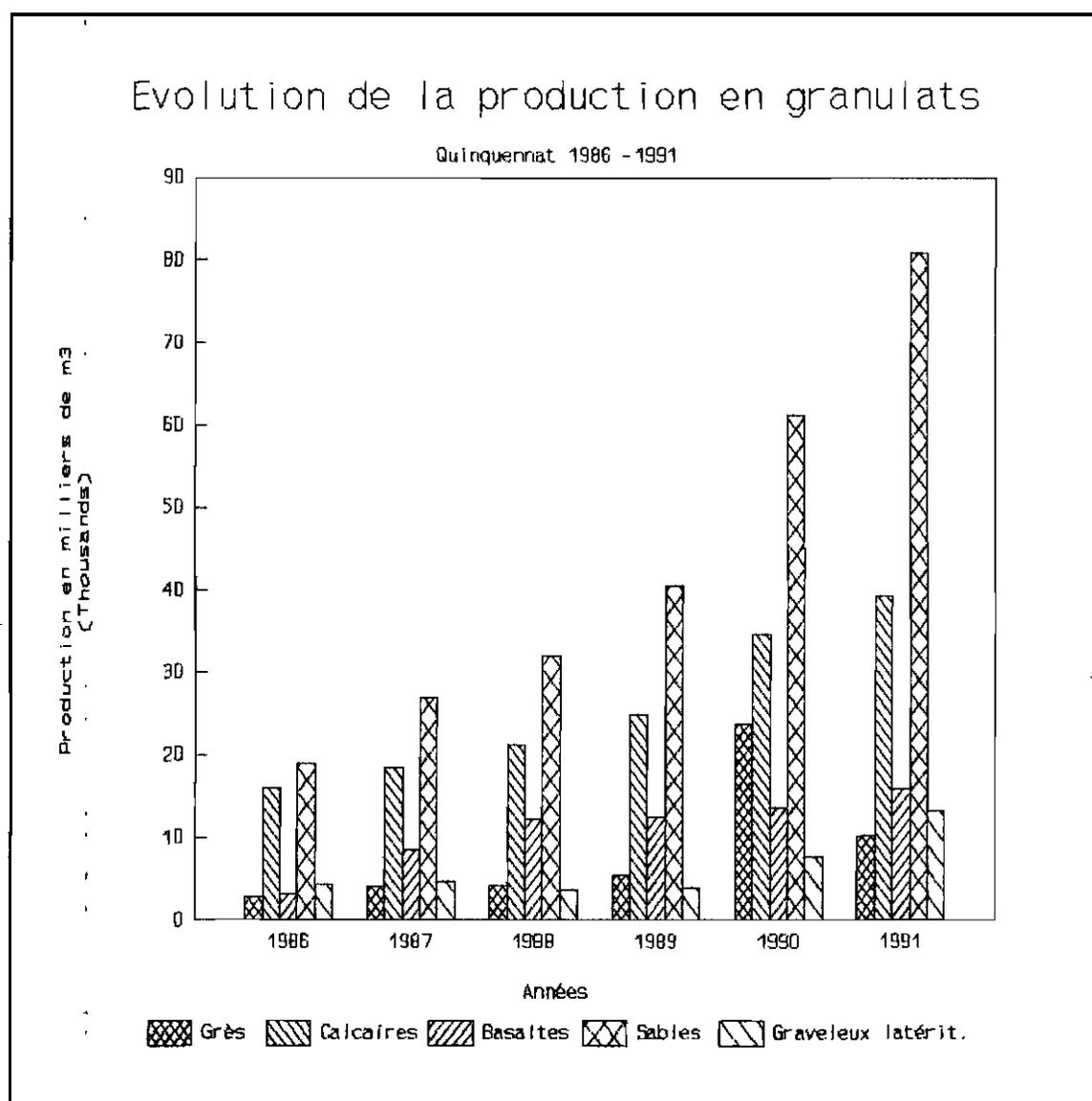


Figure 2.2 Evolution de la production en granulats quinquennat 1986-1991

Cette production devrait augmenter encore dans les années à venir, avec la mise en oeuvre du Programme d'Ajustement Sectoriel des Transports (P.A.S.T) et la réalisation des grands projets comme ceux du Canal du Cayor et celui de la MIFERSO.

Le tableau 2.2 et l'histogramme (figure 2.3) donnent une estimation de la demande nationale en granulats pour la période 1992-1997 pour quelques secteurs d'activités.

Années	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Nature de la demande						
Construction routière	32200	35500	46000	68100	98800	128950
Entretien Routier	37400	48200	59350	98200	128800	158910
Régie des Chemins Fer	40500	49700	76000	105900	150900	160000
Entretien Régie	32600	38600	56600	99200	112600	152400
Canal du Cayor	32000	32000	32000	32000	32000	32000
Bâtiment	59175	63900	94450	95450	130950	207100
TOTAL	234875	269900	339050	498850	654050	839360

Tableau 2.2 : Estimation de la demande nationale en granulats (m³) pour le quinquennat 1992-1997.

L'on perçoit dès lors qu'avec les granulats concassés, les réserves disponibles ne suffiraient pas pour satisfaire la demande.

2.1.4 Variation des Prix des granulats

Pour l'essentiel, les granulats sont des pondéreux et leur valeur pour l'utilisateur est directement fonction des coûts de transport.

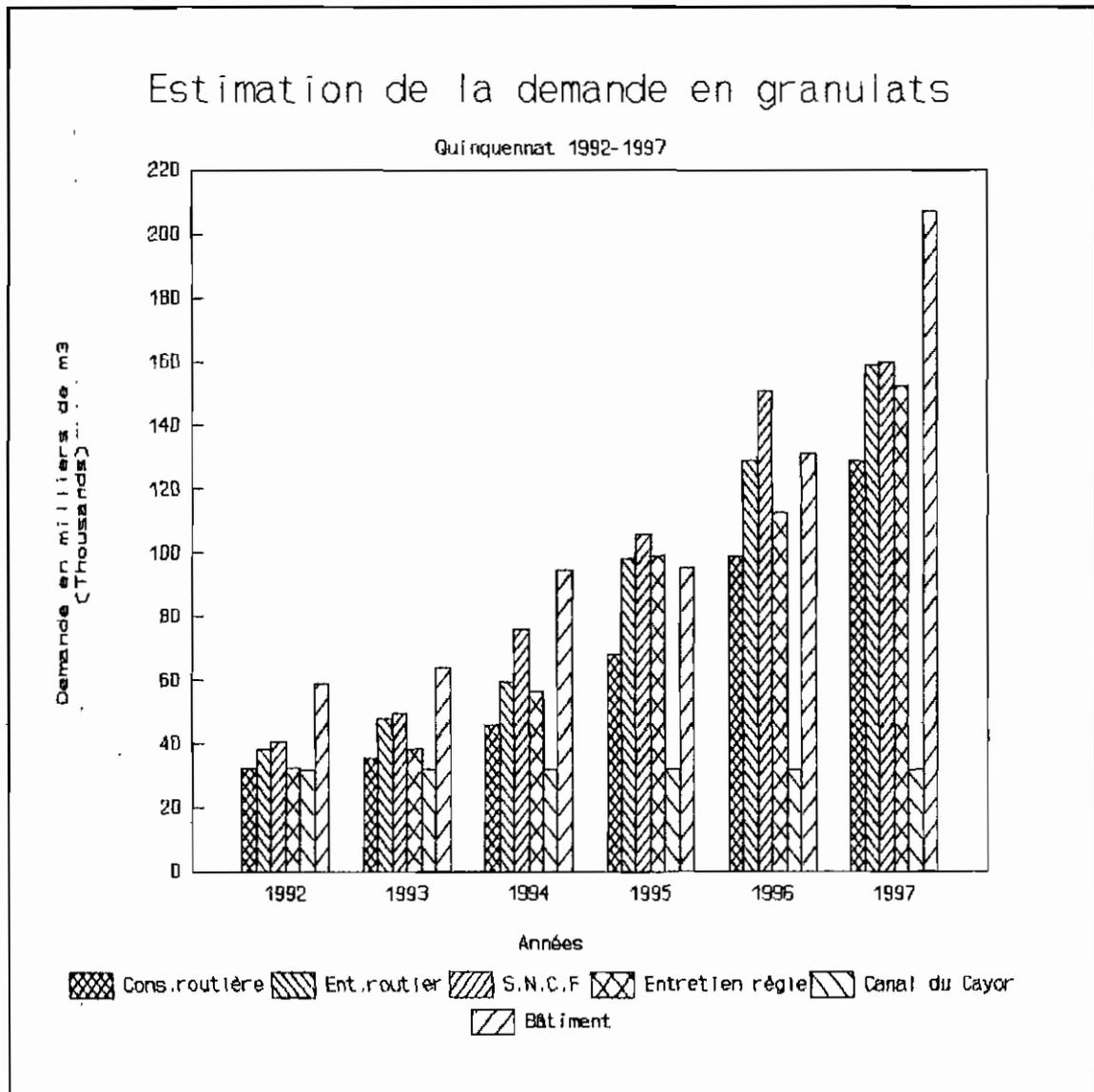


Figure 2.3: Estimation de la demande en granulats pour quelques secteurs d'activités quinquennat 1992-1997

On admet que le coût d'un parcours de 30 km est équivalent au prix des matériaux départ carrière.

Le coût élevé des granulats concassés est lié au fait que les carrières de roches massives nécessitent des investissements importants.

Le bulletin n° 0.4187 de la Commission d'Officialisation des Prix (B.C.O.P.) donne les prix moyens de granulats concassés (cf tableau 2.3).

En réalité, le prix moyen d'un mètre cube de granulats de calcaires ou de grès est de 4.500 F CFA et de 7000 F CFA pour le mètre cube de basaltes; tandis que les mètres cubes de sable et de graveleux latéritique ne valent respectivement que 100 F CFA et 200 F CFA.

Désignation	Unité	Prix (H.T en F CFA)
Grès 8-16, départ Paki-Toglou	Tonne	4.400
Grès 16-25, départ Paki-Toglou	Tonne	4.400
Basaltes 8-16, départ DIACK	Tonne	5.792
Basaltes 16-25, départ Diack	Tonne	4.951
Calcaires 8-16, départ Bargny	m ³	3.950

Tableau 2.3 : Variation des prix des matériaux de carrières

2.2 Nécessité de prévoir des ressources de substitution

De l'étude précédente sur les granulats, il découle, qu'avec l'épuisement progressif des gisements de roches massives, par exploitation ou gel du fait de diverses contraintes (environnementales par exemple), que l'on doit dresser un inventaire des réserves qui devrait aider à une exploitation plus rationnelle. De plus, il importe, à cause des coûts élevés des granulats et de la forte demande pour les années à venir, de mener des études sur les matériaux de substitution, remplacer les matériaux traditionnels qui viendraient à s'épuiser, ou encore remplacer les matériaux lorsque les distances de transport augmentent ou enfin pour diminuer les coûts de construction. Ces matériaux de substitution donnerait naissance à de nouvelles technologies comme le béton de sable par exemple.

2.3 La solution du béton de sable

2.3.1 Pour le Sénégal en général

Les matériaux utilisés dans le béton classique sont en majorité le sable de mer et les matériaux de concassage. Or comme nous venons de le constater dans les sections précédentes, leurs cherté et épuisement à court terme sont notoires.

L'utilisation des bétons de sable, vu les possibilités qu'elle offre, mérite une promotion locale.

En effet, les bétons de sables permettent la valorisation des nombreuses ressources locales dites "non performantes " (sable de dunes, fines de calcaires, silice...). Ils peuvent rendre leur utilisation adéquate pour des fonctions définies correspondant à des exigences techniques limitées dans leur résistance, leur déformation et leur durabilité. Ces matériaux naturels peu onéreux se trouvent en abondance dans notre pays.

Les bétons de sable permettent aussi la promotion de nouvelles technologies d'emplois, de traitements, de mise en oeuvre, de conceptions innovantes qui pourraient en faire des matériaux appropriés à nombre de fonctions. Ceci se traduirait par l'augmentation de la valeur ajoutée locale par la créations d'emplois par :

- les Communes du Sénégal aux Groupements d'Intérêt Economique (G.I.E), main d'oeuvre peu qualifiée adaptable aux bétons de sable;
- l'AGETIP
- les entreprises locales.

Enfin, les bétons de sable grâce aux fortes économies qu'ils sont supposés induire, offrent la possibilité de faire plus de réalisations pour un même budget.

2.3.2 Pour la Commune de Dakar

Les tableaux 2.4.1, 2.4.2 et 2.4.3, montrent l'impact du bétons de sable dans les besoins en réalisations d'intérêt public (potentiel de travaux) de la Commune de Dakar. Celle-ci, dans le cadre de son exercice budgétaire, dégage des financements d'opérations pilotes dans les domaines suivants:

- aménagement de trottoirs (près de 1000 m²): cette stabilisation embellit les quartiers et diminue les charges récurrentes de curage des égouts;
- aménagement de places publiques;
- aménagement d'aires de loisirs;
- aménagement de parkings;
- aménagement de marchés;
- entretien des routes: bouchage de trous (point à temps).

Depuis 1991, plus de 5000 m² de surfaces ont été recouvertes de bétons de sable dans les réalisations de la Commune de Dakar. Des perspectives sont à envisager quant à l'utilisation des bétons de sable pour la réalisation de bordures-caniveaux et les éléments préfabriqués (parpaings).

Tableau : 2.4.1

Inventaire des infrastructures réalisées au béton de sable par la Commune de Dakar

Typès	Lieux	Dimensions	Dosage en ciment Kg/m ³	Interdis-tance des joints m	Etat de surface	Exécutant du marché	Observations
Stabili-sation de trottoirs Août 91	Médina Rue 15 Quartier NGaraaf Trottoirs opposés à la rue 16 bis Trottoirs sis à l'in-tersection des rues 15 et 16 côté 16 bis Trottoirs menant vers toilettes publiques	Panneaux de 3.70m * 3.10m sur 8 cm à 10 cm d'épais-seur soit un total de 1300 m ²	(côté rue 16)		Stries réalisées au balai	Jeunes du G.I.E "NGaraaf Orga-nisation" encadrés d'un conducteur de travaux de la Commune de Dakar et du Lt Colonel Papa MBareck DIOP	Il existe certains problèmes d'assai-nissement attribuables à la Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal (SONEES)
			350	4 ; 3.5	Bonne tenue mais prolèmes de fissura-tion		
			300	3.25 ; 3			
			250	3			
			200	3.10			
Point à temps avec décapage sur 20 cm Août 91	Chaussée rue 15 quartier NGaraaf Médina	120 m ²	350	-	Problèmes d'adhé-rence entre l'anclen et le nouveau revête-ment aux jonctions.		Tentative de colorer le béton de sable avec l'oxyde noir à certains endroits

Tableau 2.4.2
Inventaire des infrastructures réalisées au béton de sable par
la Commune de Dakar (suite)

Types	lieux	Dimensions	Dosage en ciment Kg/m ³	Interdis-tance des joints m	Etat de surface	Exécutant du marché	Observations
Dallage des allées	Marché de Colobane		350	2.50 et 2.80	Bel aspect avec stries faites au balai	Entreprise	A l'entrée différence d'aspect entre le revêtement en béton de sable (BS) et celui en béton classique (BC) BS: bel aspect de surface BC: aspect non uniforme avec résurgence (dénuelement) des granulats.
Terrain de Basket Novembre 92	Lycée Lamine GUEYE	15m * 34m soit 510 m ²	350	(PVC) 2.40	Légère coloration à l'oxyde rouge	Entreprise	* Une première couche de 5 cm d'épaisseur a été faite à la bétonnière mais les joints étaient trop éloignés les uns des autres. * Une deuxième couche de 5 cm d'épaisseur malaxée à la main avec des joints plus rapprochés.
Terrain de Volley	CES Lamine GUEYE	13m * 23m soit 299 m ²	350	(PVC) 2.82		Entreprise	Problèmes de surfacage dus à une mauvaise mise en oeuvre.
Terrain de Basket	Lycée Malick SY	1056 m ²	350			Entreprise	

Tableau 2.4.3

Inventaire des infrastructures réalisées au béton de sable par la Commune de Dakar (fin)

Types	lieux	Dimensions	Dosage en ciment Kg/m ³	Interdistance des joints m	Etat de surface	Exécutant du marché	Observations
Aménagement de jardin bordures de trottoirs et allées.	Centre de santé municipal de Ouakam		350	3.30 et 3		Entreprise	Ici comme dans les précédentes réalisations, nous constatons que les zones de faiblesse ne passent pas par les joints. Ces derniers sont de plus en plus rapprochés afin de leur faire jouer davantage leur rôle.
Parking	Centre de santé Philippe Maguilène SENGHOR	10m * 50m soit 500 m ² sur 10cm d'épaisseur	350	3 à 2.80	Teintes de coloris sur la croix rouge	Entreprise	Surface en plein temps exposée au soleil

N.B: * La Commune de Dakar envisage la réalisation d'une canalisation en béton de sable à Soubédioune pour assurer le drainage. Cet itinéraire sert aussi de parcours sportif.

* Le dosage à l'oxyde se fait ainsi:

Oxyde de Chine (grains difficiles à trouver localement): un petit pot de Nescafé pour un fût de 200 l.

Oxyde de Belgique (facilement disponible) : trois petits pots de Nescafé pour un fût de 200 l

2.4 Définition du projet

2.4.1 Cahier de charge

La demande de la Commune de Dakar comporte les rubriques suivantes:

- * déterminer des formulations optimales (coût/qualité) pour les revêtements de trottoirs, les terrains de jeux et places publiques pour un béton de sable réalisé avec le sable de dune;
- * déterminer les quantitatifs optimaux en terme de nombre de brouettes, seaux, sacs de ciment... pour une utilisation adaptable aux réalités des chantiers;
- * déterminer les modes de mise en oeuvre : gâchages monochromes, polychromes, pose des joints..

2.4.2 Méthodes et moyens

Il n'existe jusqu'à date, pas de méthode de formulation des bétons de sable par le calcul. Le programme national de recherche SABLOCRETE (en France) consulté à cet effet, nous l'a confirmé.

Nous nous proposons dès lors, un programme expérimental assez représentatif en nombre afin de pouvoir en sortir une ou des formulation(s). De plus, des enquêtes nous ont éclairée sur l'évaluation économique et la disponibilité des matériaux.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons procédé par:

- l'étude de l'effet des fillers sur la cohésion du mélange: pour ce faire, nous réalisons des gâchées en faisant varier la quantité de fines. L'étude du rapport qualité/coût en fonction du dosage nous indique l'optimum à ne pas dépasser;
- l'étude de l'action de l'adjuvant;
à la place du Plastocrête, devenu introuvable sur le marché sénégalais, nous avons utilisé dans notre étude expérimentale, les adjuvants disponibles, notamment le Sikament FF86 comme plastifiant et le Sikalatex comme imperméabilisant.

Chapitre III

ETUDES EXPERIMENTALES3.1 Détermination des caractéristiques des constituants

Le choix des différents matériaux entrant dans la constitution du béton, influe directement sur ses principales propriétés, sa résistance, son coût de fabrication et de mise en place. D'où la pertinence de cette détermination de caractéristiques.

3.1.1 Essais d'identification des sols

La granulométrie et la grosseur maximale des granulats influencent les quantités de ciment et d'eau nécessaires aux formulations des bétons, la maniabilité (facilité de mise en oeuvre), le coût, la porosité (plus les grains sont fins plus le sol est poreux), le retrait et la durabilité du béton.

Il est donc important de connaître la grosseur des particules et leur distribution relative : c'est le procédé par l'analyse granulométrique.

La distribution en pourcentage des particules dont le diamètre est inférieur à une dimension donnée est représentée par une courbe granulométrique cumulative. Les diamètres équivalents des grains sont portés en abscisse sur une échelle logarithmique alors que les pourcentages en masse de particules qui passent le

tamis sont portés en ordonnée sur une échelle arithmétique. Les tamis standards utilisés lors de nos travaux répondent à la norme américaine American Society for Testing Materials (A.S.T.M).

D'après les résultats de l'analyse granulométrique (cf figure 3.1 et annexe A), le sable de dune est un sable fin (0.85 mm à 0.075 mm) alors que le calcaire est un sable grossier (5 mm à 0.075 mm) avec un très faible pourcentage de passant tamis n° 200 (0.075 mm).

Aussi avons-nous poussé l'analyse jusqu'à la sédimentométrie. Mais malheureusement nos résultats n'étaient pas exploitables, la vitesse de chute des particules étant très grande. Dès les premières secondes tout le sol se déposait au fond du récipient. Ceci se comprend d'autant plus que le pourcentage de passant des tamis n°200 (0.075 mm) et 40 (0.425 mm) sont faibles pour les deux sols.

Si nous définissons les diamètres nominaux d et D suivants:

d : diamètre de la plus grande ouverture ayant des passants inférieurs à 10%;

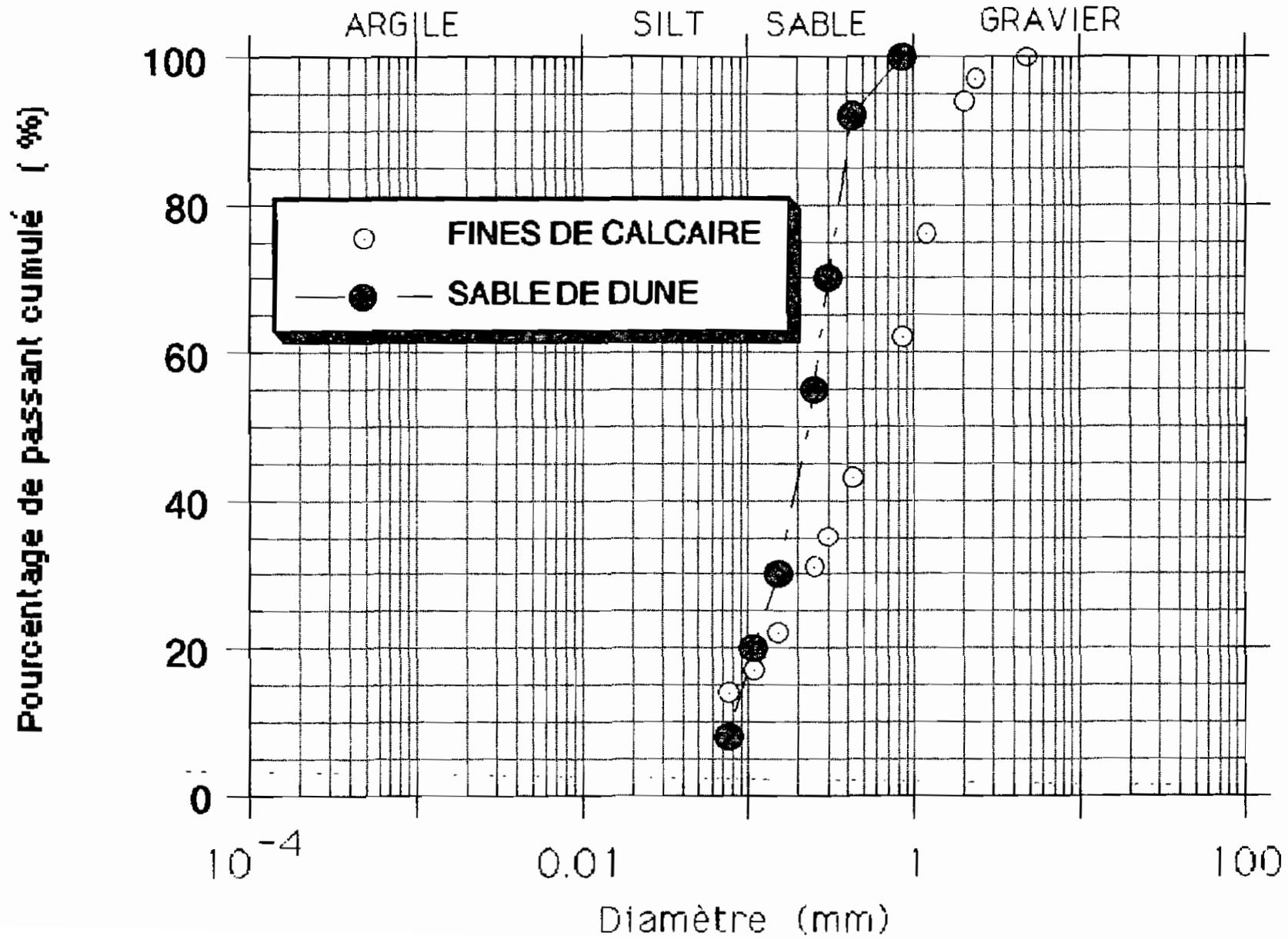
D : diamètre du tamis de plus petite ouverture ayant des passants supérieurs à 90%;

nous obtenons pour:

- le sable de dune : $d/D = 0/1$
- les fines de calcaires : $d/D = 0/4$

Dès lors ces dernières ne jouent plus le rôle de fines car étant constituées d'une fraction grossière.

COURBES GRANULOMETRIQUES



Enfin par le procédé du tamisage nous avons évalué le module de finesse (MF) des deux sols (cf annexe A). Le module de finesse permet une appréciation de la dimension moyenne des particules. Il illustre relativement la quantité d'eau nécessaire à une bonne mise en place des matières, à un dosage en ciment déterminé.

Les résultats trouvés sont:

- * sable de dune : MF = 0.77
- * fine de calcaire : MF = 0.79

Ces valeurs s'écartent de celles généralement considérées (1.4) pour le sable. Pour faire l'essai, nous avons pris en compte la somme des pourcentages cumulatifs retenus sur les tamis d'ouverture 4.75, 2.36, 1.18, 0.60, 0.30 et 0.15 mm divisée par 100.

La norme Française recommande les tamis d'ouverture 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16 mm et pour les bétons classiques, un module de finesse compris entre 2.3 et 3.2.

3.1.2 Densité et autres paramètres (voir tableau au n°3.1)

3.1.2.1) - Densités (d_{sss}, d_{app})

La densité d'un matériau est égale au rapport entre la masse d'un certain volume de ce matériau et la masse du même volume d'eau. Il existe plusieurs types de densités selon l'état dans lequel on considère le matériau.

Soit:

A = masse de l'échantillon séché à l'étuve, mesurée dans l'air

B = masse du pycnomètre rempli d'eau jusqu'à la marque d'étalonnage

C = masse du pycnomètre rempli de l'échantillon et d'eau jusqu'à la marque d'étalonnage

S = masse de l'échantillon à l'état saturé, superficiellement sec (SSS). A cet état, tous les pores des agrégats sont remplis d'eau et leur surface ne retient pas d'eau.

les densités considérées se définissent comme ci-après:

densité relative brute (d_{SSS})

$$d_{SSS} = \frac{S}{B+S-C}$$

C'est la densité généralement utilisée dans les calculs du béton.

densité relative apparente (d_{app})

$$d_{app} = \frac{A}{B+A-C}$$

3.1.2.2) Masse volumique en vrac (MV_{vrac})

Afin de pouvoir déterminer les quantitatifs en terme de brouettes, seaux et autres, nous avons évalué la densité des matériaux en vrac.

En effet, dans les chantiers, les matériaux seront utilisés tels que livrés.

La masse volumique en vrac (MV_{vrac}) d'un granulat est la masse de matériau contenu dans un récipient de volume l'unité. Le contenant est donc occupé à la fois par des granulats et par de l'air.

$$MV_{\text{vrac}} = \frac{\text{Masse du récipient rempli de l'échantillon}}{\text{volume du récipient}}$$

3.1.2.3) Teneur en eau (w%)

$$w(\%) = \frac{\text{Masse humide} - \text{Masse sèche}}{\text{Masse sèche}} \cdot 100$$

Elle dépend du matériau et des conditions atmosphériques.

3.1.2.4) Absorption (abs%)

D'après les symboles définies dans la section 3.1.2.1, nous obtenons l'absorptivité (abs%) par:

$$abs(\%) = \frac{S-A}{A} \cdot 100$$

L'absorption ne dépend que du matériau et non pas des conditions atmosphériques; c'est une valeur pratiquement constante pour un sable ou une pierre donnée.

3.1.2.5) humidité (h%)

L'humidité (h%) d'un granulat est égale à la différence entre la teneur en eau et son absorption.

$$h(\%) = w(\%) - abs(\%)$$

Etant donné que l'eau absorbée par le sable et les fines de calcaire n'agira pas comme lubrifiant pour donner de la plasticité au béton frais et que cette eau absorbée ne participera pas à l'hydratation du ciment, dans tous les mélanges on ne tient compte que de l'humidité des granulats et non de leur teneur en eau.

Les résultats sont consignés dans le tableau 3.1.

3.1.3 Utilisation des résultats

Une contrainte incontournable, venant de la Commune de Dakar, est l'utilisation du sable de dune. Pour des raisons économiques (les 8 m³ coûtent 8.000 F CFA comparés à 18.000 F CFA pour le sable de mer) et de disponibilité, ce sable est préféré.

De plus, nous ne pouvons procéder à des tamisages successifs afin d'avoir un module de finesse adéquat pour le béton. En effet, les réalités des chantiers ne le permettent pas. Nous sommes donc obligés d'utiliser le sable et les fines tels quels. Concernant les fines, nous avons fait des tentatives avec le passant du tamis numéro 200 afin d'illustrer l'effet de leur

Tableau 3.1

Caractéristiques des constituants

Matériaux	Origine	Couleur	Rapport d/D	w %	abs %	h %	d_{555}	d_{app}	MV_{vrac} Kg/m ³	Observations
Fines de calcaire	Carrière de Rufisque Bargny	Blanche	0/4	0.84	8.89	- 8.05	2.28	2.57	1310	% passant tamis n° 200 égale 14%.
Sable de dune	Carrière de Keur Seib NDOYE de Thiès	Jaunâtre	0/1	0.27	0.47	- 0.2	2.59	2.60	1300	% passant tamis n° 200 égale 8%.
Ciment CPA 325	SOCOCIM	Verte					3.15		1140	
Sikalatex	Quincaillerie	Blanche neige						1.05		
Sikament FF86	Bernabé	Brun-gris						1.23		
Oxyde de fer	Quincaillerie	Rouge								

finesse sur les résultats de compression.

Afin de pouvoir contrôler la quantité d'eau de gâchage et calculer les corrections à apporter aux quantitatifs des mélanges, on doit déterminer la teneur en eau ($w\%$), l'absorptivité ($abs\%$) et l'humidité ($h\%$) des granulats.

La teneur en eau ($w\%$) permet de corriger la quantité de matériau et d'eau à mettre. Par exemple, pour utiliser x kg de sable il faudrait peser $x (1 + 0.27 \%)$ kg de sable pour être sûr d'avoir x kg de sable. En effet les $0.27 \% x$ représente le poids de l'eau contenue dans x kg de sable.

Pour ce même sable le pourcentage d'absorption ($abs\%$) étant de 0.47% , l'humidité ($h\%$) est de $0.27 - 0.47$ soit -0.20% . Ceci veut dire qu'à la quantité d'eau fixée par le rapport eau/ciment il faudra ajouter 0.20% de x kg d'eau pour pallier le manque d'humidité du sable, cette eau ne participant pas au processus d'hydratation.

3.2 Réalisation des éprouvettes

3.2.1 Matériels utilisés

Nous avons essayé de nous mettre le plus possible dans les conditions de chantiers habituels. Etant donné que ce sont les conditions de travail les plus fréquentes, le problème de conformité ne se poserait pas.

Les matériaux suivants ont été utilisés :

- pelle
- truelle
- écope
- balance de précision 0.1 kg
- seaux
- brouette (nous y avons réalisé les mélanges dans le souci d'éviter les trop grandes pertes)
- pilon (pour chasser les vides du béton frais)
- cône d'Abraham (d=10 cm ; D=20 cm ; H=30 cm)
- récipient pour poids volumique du béton frais (poids = 3.35 kg ; diamètre et hauteur = 21 cm)
- moules cylindriques (d = 7cm , H = 14 cm)
- bassines pour mûrissement des éprouvettes
- presse hydraulique à béton (type Tonius Olsen) pour déterminer les résistances à la compression.

3.2.2 Formulation

D'après la bibliographie étudiée, la méthode de formulation des bétons de sable est la suivante : partant d'un sable donné (origine et granulométrie) et d'un dosage en ciment fixé a priori, l'essentiel de l'étude est de déterminer la quantité de fine à ajouter pour obtenir la résistance escomptée.

Dans un premier temps, nous avons élaboré un plan de travail où nous fixions successivement un des paramètres, faisant varier les autres de telle sorte que l'on puisse avoir la quantité optimale de chaque paramètre. Cependant, dès le début de l'expérimentation nous nous sommes rendus compte de la non conformité de notre plan de travail avec les caractéristiques des bétons de sable, en l'occurrence la maniabilité, l'absence de ségrégation et le faible coût. En effet, soit nos mélanges étaient raides, soit ils étaient dosés plus en fines qu'en sable (plus de 1000 kg/m^3). Ces faits sont dûs au type de fine dont nous disposons; elles ne sont pas aussi fines qu'elles devraient l'être. Elles sont même plus grossières que le sable de dune. Nous n'avons pas le choix puisque c'était la plus petite faction disponible (0/4) à la carrière.

La cause du fort dosage en fine est la méthode de formulation utilisée qui est celle des volumes: connaissant la densité à l'état saturé superficiellement sec (d_{SSS}) des différents constituants, nous déduisons d'un mètre cube de béton, les volumes de ciment, sable et eau. Nous avons donc constaté que cette méthode ne s'adapte pas aux bétons de sable, pour les raisons évoquées ci-dessus (difficultés de mise en oeuvre, béton non économique...).

Dans un second temps, la démarche utilisée consiste à partir des formulations déjà utilisées par la Commune de Dakar et de faire varier les dosages des différents paramètres.

Les dosages en ciment vont de 250 à 450 avec des rapports eau/ciment et ciment/sable allant respectivement de 0.6 à 0.8 et de 0.2 à 0.4. Nous précisons que seuls les rapports E/C et C/S peuvent être fixés d'avance. En effet, les dosages en fines et ciment ne sont connus qu'après avoir obtenu la masse volumiques. La méthode de calcul des dosages pour un mètre cube est donnée à la section 3.2.3.2.

Lors des mélanges nous avons utilisé comme:

- adjuvants: le Sikalatex, le Sikament FF86
mélangés à l'eau;
- eau de gâchage: l'eau de robinet. Elle convient parfaitement; toute autre eau qui devra être utilisée doit faire l'objet d'analyses afin de s'assurer qu'elle ne contient pas des éléments nuisibles aux bétons comme les sulfates.

3.2.3 Essais de contrôle

Nous avons effectué les essais cités ci-dessus.

3.2.3.1 Essais d'affaissement (Slump Test)

Pour décrire le béton frais, nous parlerons de maniabilité (facilité ou difficulté de mise en oeuvre) de plasticité (facilité ou difficulté de moulage) et de consistance.

La consistance se rapporte au degré de mouillage du béton depuis son état le plus sec jusqu'à son état le plus humide. Plus le mélange contient d'eau, plus l'affaissement est grand.

L'affaissement donne une idée de la maniabilité et ne devrait pas être utilisé pour comparer des mélanges qui ont des compositions très différentes.

L'affaissement d'un béton doit être fonction de ses conditions de mise en place; pour les bétons mis en place à la main, les affaissement sont plus élevés.

Pour un béton classique utilisé dans les pavages l'affaissement se situe entre 40 et 70 pour une mise en oeuvre à la main (réf. n°2).

Le nombre de coups de pilonnage recommandés pour le béton classique, est de 25. En voulant nous y conformer dans les premiers mélanges (réalisés avec le Sikalatex), nous constatons des nids d'abeilles au décoffrage. Il faut signaler que ces mélanges étaient maigres puisque le rapport ciment/sable (C/S) était petit, soit 0.2 à 0.3.

Le nombre de coups de pilonnage a été finalement révisé et maintenu à 30 afin d'éviter la présence de vides et de minimiser les risques de ressuage. L'aspect des éprouvettes au décoffrage s'améliora dès lors.

3.2.3.2 Masse volumique du béton (MV_b)

La masse volumique du béton varie en fonction de la densité relative des granulats, des quantités d'air et du contenu en eau et ciment.

Le béton classique sans armatures a une masse volumique de 2.200 kg/m^3 .

La masse de béton durci est égale à la masse du béton frais moins la masse de l'eau qui peut s'évaporer.

Pour remplir le récipient de volume et de masse connus, nous pilonnons au même nombre de coups que pour l'essai d'affaissement (c'est-à-dire 30). Après pesée, la masse volumique du béton frais (MV_{bf}) est facilement déterminée par:

$$MV_{bf} = \frac{\text{(Masse du récipient + béton)} - \text{(Masse du récipient)}}{\text{Volume du récipient (72.710}^{-4}\text{m}^3\text{)}}$$

La masse volumique du béton durci (MV_{bd}) est donnée par la masse de l'éprouvette au jour de l'écrasement divisée par son volume.

La connaissance de la masse volumique du béton est indispensable à la détermination des différents dosages au m^3 . Pour ce faire, connaissant le poids total de la gâchée (Pt_g), la masse de chaque constituant pour un mètre cube de béton frais est donnée à partir de sa masse utilisée dans la gâchée (C_g, S_g, F_g ou E_g , g étant mis pour gâchée) par :

$$C(\text{Kg/m}^3) = \frac{C_g \cdot MV_{bf}}{Pt_g}$$

3.2.3.3 Cure des éprouvettes

La réaction d'hydratation est la réaction chimique qui se produit lorsqu'on mélange du ciment Portland avec de l'eau. La température et l'humidité sont nécessaires à la tenue de cette réaction. Dans une grande mesure, la résistance, la durabilité et la densité du béton dépendent du niveau d'hydratation. Il faut donc veiller à ce que cette réaction puisse se tenir jusqu'à l'obtention de propriété(s) adéquate(s); c'est la cure ou le mûrissement du béton.

La cure a deux principaux objectifs qui sont :

- empêcher ou compenser toute perte d'humidité. Une défaillance à cet objectif risque de retarder, voire stopper le processus d'hydratation. De plus, une perte d'humidité peut causer le retrait du béton pouvant engendrer des fissures à la surface au cas où le béton n'a pas atteint une résistance adéquate.
- contrôler la température du béton pendant un temps défini. Le béton devrait donc être maintenu à une température favorable pour qu'il s'hydrate convenablement.

Il existe plusieurs méthodes de mûrissement dont :

- . le chauffage
- . l'imperméabilisation à l'aide de bandes de papier, le maintien du coffrage en place
- . l'utilisation de foin ou de paille humides, de toiles de jute ou de coton imbibées d'eau, de terre, de sable, d'une nappe d'eau, de l'arrosage.

Pour notre cas, la méthode de cure utilisée est la suivante: après démoulage, nous trempions les éprouvettes dans des bassines d'eau (100% d'humidité) jusqu'à leur date d'écrasement. D'autres éprouvettes témoins sont laissées à l'air libre sans aucune cure pour fins de comparaison. Ceci nous permettra d'illustrer l'effet du manque de mûrissement.

Sauf indication contraire, toutes nos éprouvettes ont été curées.

3.2.3.4 Résistance à la compression

La résistance à la compression du béton est une propriété utilisée dans la conception des bâtiments et des structures. Ce n'est certes pas le seul critère de qualité du béton mais c'est le plus facile à obtenir. Elle est liée à la résistance à la traction et à la flexion.

Les essais de compression peuvent être destinés:

- 1°) soit à déterminer la composition des bétons qui seront par la suite utilisés sur le chantier,
- 2°) soit à s'assurer de la possibilité de réaliser effectivement de tels bétons,
- 3°) soit à contrôler la régularité de la qualité des bétons mis en oeuvre. Le même mélange fait à des intervalles de temps donnés ne donnerait peut être pas toujours la plage de résistance escomptée, surtout si les matériaux ont

perdu de leur qualité (ségrégation par le vent par exemple).

La résistance en compression est fortement dépendante du rapport eau/ciment et l'âge du béton, du pourcentage d'hydratation, du malaxage etc...

Procédé de mesure

Les éprouvettes cylindriques de 7 cm de diamètre et 14 cm de hauteur, sont d'abord surfacées à la pâte de soufre. C'est la rectification des faces en contact des pièces d'appui de la presse à béton; ceci dans le but d'assurer la planéité des faces. Ensuite, la charge est appliquée de manière continue à une vitesse de 0.5 ± 0.2 MPa/s soit une plage de 1.15 à 2.69 kN/s pour nos éprouvettes.

D'après la charge maximale (P_{max} en kN) supportée par l'éprouvette et la section (S_e en mm^2) de cette dernière, la résistance à la compression (R_c) est donnée par la formule :

$$R_c (MPa) = \frac{10^3 \cdot P_{max} (KN)}{S_e (mm^2)}$$

Soit

$$R_c (MPa) = 0.26 \cdot P_{max} (KN)$$

Nous avons procédé à la détermination de cette résistance à 7 et 28 jours de la vie du béton.

Chapitre IV

ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Effets du ciment

En nous référant aux résultats présentées en annexe C, nous remarquons que même avec des dosages en fines (la fraction dont nous disposons) de l'ordre de 100 Kg/m^3 , un béton de sable dosé à 250 Kg/m^3 de ciment donne de faibles résistances à 28 jours (8 MPa). Ceci est obtenu avec des rapports E/C et C/S d'environ respectivement 0.8 et 0.38 (gâchées 7 et 14).

De plus, les résistances s'améliorent avec un dosage croissant en ciment. Par exemple, lorsque ce dernier atteint 400 Kg/m^3 nous obtenons une résistance de l'ordre de 20 MPa (gâchées 5, 6, 15, 27).

Enfin pour une même résistance, les dosages en ciment sont plus élevés dans le béton de sable que dans les bétons classiques. Par exemple, le tableau 5.3 du chapitre 5 nous donne des résistances de l'ordre de 20 MPa à 28 jours, avec des dosages en ciment de 350 Kg/m^3 de béton classique. Le béton de sable atteint la même performance pour des dosages en ciment de l'ordre de 400 à 450 Kg/m^3 (gâchées n° 5, 6, 15, 16 et 27). Ceci résulte de l'importance de la surface spécifique dans les mélangés de sables contrairement aux mélanges granulats-sables d'autant plus que le rôle des fines de calcaires est "biaisé" par la forte proportion d'éléments grossiers.

4.2 Effets des adjuvants utilisés

Dans un premier temps, les essais ont été effectués avec le Sikalatex (cf. annexe C.1) comme adjuvant. Le dosage en sikalatex des 6 premières gâchées est d'environ $0.5 \text{ l/m}^2/\text{cm}$ d'épaisseur. Nous avons essayé de nous conformer aux prescriptions du fabricant (cf. annexe E.1), soit $0.6 \text{ l/m}^2/\text{cm}$ d'épaisseur. Pour un choix de 10 cm d'épaisseur, ce dosage serait de 6 l/m^2 ; ce qui n'est pas du tout économique d'autant plus que les gains de résistance n'en justifient pas le choix.

Dans un second temps, le dosage a été réduit à 0.4% du poids du ciment étant donné que:

- c'est le dosage qu'utilise la Commune de Dakar
- connaissant la densité du produit (1.067), la quantification était plus facile
- la réduction de coût est considérable: environ 90%.

Nous avons de plus remarqué que le dosage en sikalatex n'apportait pas un gain de résistance (cf. tableau 4.1); en outre, exception faite des mélanges à grands rapports E/C, la maniabilité n'était pas améliorée. Par exemple, les mélanges 8 et 9 sont dosés à 0.4 % en sikalatex; ces mélanges repris avec 0.6% de C en sikalatex sont respectivement numérotés 17 et 18 ($F=50\text{Kg/m}^3$).

Les résistances obtenues (cf. tableau 4.1) montrent:

- qu'en réduisant légèrement le rapport E/C et en augmentant le pourcentage de sikalatex, la résistance ne se trouve pas améliorée (gâchées 8 et 17); elle baisse au contraire;
- qu'en maintenant le rapport E/C constant tout en augmentant le dosage en Sikalatex, la résistance reste pratiquement inchangée.

Tableau 4.1 Effet du dosage en Sikalatex $F = 50\text{Kg/m}^3$

8 et 17 : C/S = 0.30

9 et 18 : C/S = 0.35

8 et 17 : C = 300 Kg/m^3

9 et 18 : C = 300 Kg/m^3

8 et 9 : A = 0.4% de C

17 et 18 : A = 0.6% de C

N° gâchée	E/C	A _{ff} mm	MV _{bf} Kg/m ³	R _{C7} MPa	R _{C28} MPa	Coût des matières premières (F CFA)
8	0.8	50	2048	5.1	13.5	17185
17	0.75	40	2042	6.5	10.3	20392
9	0.7	50	2062	5.9	16.3	19470
18	0.7	35	2055	9.2	16.9	22846

A la suite d'un envoi de nos premiers résultats à l'association SABLOCRETE, il nous a été conseillé de réduire nos rapports E/C et d'utiliser un adjuvant réducteur d'eau parmi ceux présentés en annexe E.3 (s'ils sont disponibles sur le marché Sénégalais).

Sur ce, le plastifiant Sikament FF86 (cf.annexe E.2) a été retenu en remplacement du Sikalatex. Pour fins de comparaison, les mélanges 8 et 9 repris avec le Sikament FF86 (gâchées n° 36 et 39) sont consignés dans le tableau 4.2 ci-après:

Tableau 4.2 Effet de la nature de l'adjuvant

Les caractéristiques C, F et C/S et sont présentées dans le tableau précédent.

N°	Nature de	C	A _{ff}	MV _{bf}	R _{c7}	R _{c28}	Coût des
8	Sikalatex	300	50	2048	5.1	13.5	17185
36	Sikament	300	55	2042	6.7	13.7	14903
9	Sikalatex	350	50	2062	5.9	16.3	19470
39	Sikament	350	45	2062	7.3	16.2	16774

Avec les rapports E/C et C/S spécifiés dans le précédent tableau, nous constatons que les résistances sont pratiquement identiques.

De plus, lors des gâchages, la maniabilité n'était pas améliorée.

Conclusion: Pour la fraction de calcaire dont nous disposons (cf.paragraphe 4.3), le plastifiant ne peut jouer son rôle avec un dosage de 0.4% de C. Il serait plus intéressant d'augmenter le dosage à raison de 0.5% à 0.7% de C. Expérience que nous n'avons malheureusement pas tentée.

4.3 Effet des fines

La gâchée n°11 est la même que le n°10 avec plus de calcaire (0/4) (cf. tableau 4.3).

Tableau 4.3 Effet de l'augmentation du calcaire 0/4

A = SikalateX à 0.4% de C

E/C = 0.8

C/S = 0.4

N°	C (Kg/m ³)		F Kg/m ³	A _{ff} mm	MV _{bf} Kg/m ³	R _{c7} MPa	R _{c28} MPa	Coût MP F CFA
	Réel	Nomin.						
10	361	350	60	75	2028	5.3	15.4	19420
11	336	350	84	50	2024	6.2	14.2	18460

Cependant, nous notons une légère baisse de résistance à 28 jours alors qu'à 7 jours, c'est le contraire.

Ceci peut être dû au faible passant du tamis 200 (14%). En effet, avec ce pourcentage de fines calcaires, la correction à apporter sur la quantité de calcaire, dans le but de réaliser le dosage effectif en fines, nous amène à utiliser beaucoup d'éléments calcaires grossiers. Ceci a pour conséquences:

- une diminution du dosage en ciment non efficacement compensée par ce calcaire,

- des difficultés d'ouvrabilité résultant du fait que l'eau présente n'assure pas efficacement l'hydratation du béton, puisqu'une grande quantité est absorbée par le calcaire.

Le tableau 4.4 et la figure 4.1 illustrent mieux l'effet d'un dosage croissant en fine.

Pour avoir un dosage de x Kg de fine par m^3 il faut peser $x (1 + 0.84\%)$ Kg de calcaire 0/4, comme spécifier dans la section 3.1.3 de calcaire 0/4.

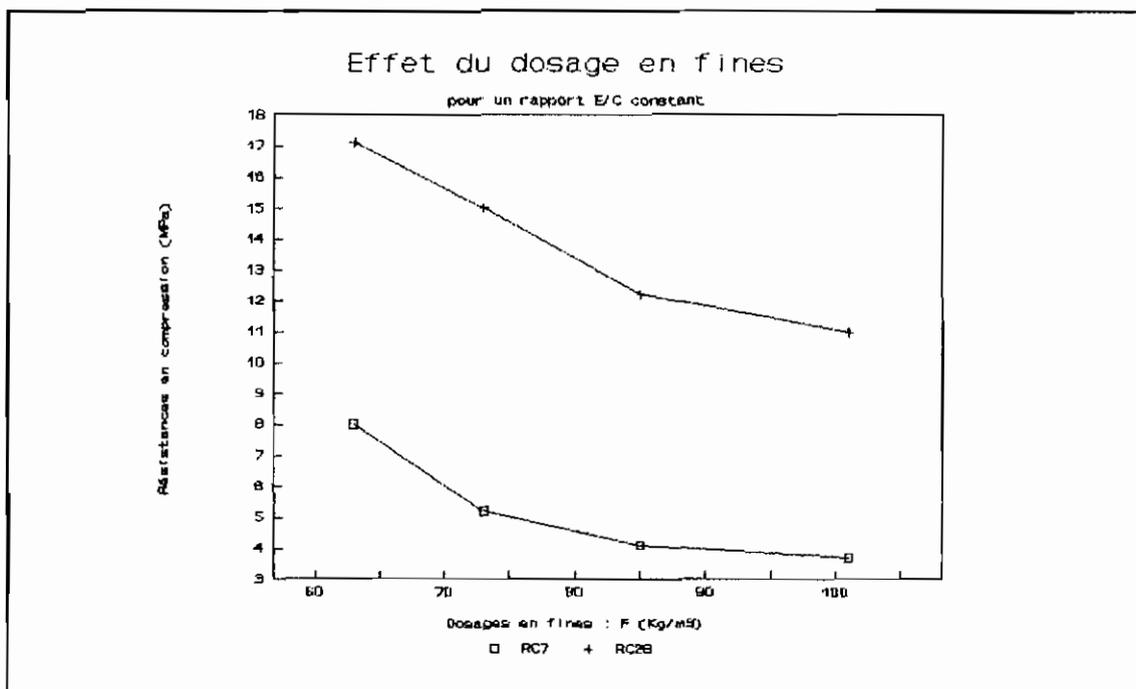


Figure 4.1 : Effet du dosage en calcaire 0/4 pour un rapport E/C constant.

Tableau 4.4

Effet du dosage en fines pour un rapport E/C constant

E/C = 0.7

C/S = 0.4

Plastifiant: Sikament FF86 à 0.4% de C

N° gâchée	C (Kg/m ³)		F Kg/m ³	A _{ff} mm	MV _{bf} Kg/m ³	MV _{bd} (Kg/m ³)		R _{c7} MPa	R _{c28} MPa	R _{c28} /R _{c7}	Coût matières
	Réel	Nominal				7 jours	28 jours	Moyenne Ecart-type	Moyenne Ecart-type		F CFA /m ³
21	381	400	63	50	2055	2033	2045	8.0 e=0.4	17.1 e=0.6	2.14	17449
31	365	350	73	40	2055	2030	2042	5.2 e=0.2	15.0 e=0.8	2.88	16883
32	340	350	85	15	2042	2030	2044	4.1 e=0.4	12.2 e=1.1	2.96	15967
33	303	300	101	10	2000	1988	2012	3.7 e=0.4	11.0 e=1.4	2.97	14575

Ainsi donc, pour des dosages en fines de 60, 63, 73, 84, 85 et 101 Kg/m³ correspondent dans le mélange des dosages en calcaires 0/4 respectifs de 432, 454, 522, 605, 612, 727, Kg/m³.

Une solution serait d'augmenter le dosage en plastifiant ou d'utiliser des fractions plus petites de calcaires, d'autant plus que la résistance croît avec la finesse des calcaires.

Aussi avons-nous expérimenté la deuxième alternative en procédant par tamisages au tamis n°200 (0.075mm) (cf.tableau 4.5). Cette partie s'insère dans le cadre de la recherche car l'on perçoit que le tamisage ne soit pas envisageable dans les chantiers traditionnels du fait des surcoûts et de la pollution (poussière) qu'il engendre.

Tableau 4.5 Effet de la finesse du calcaire

A = Sikalatex à 0.4% de C

N°	C (Kg/m ³)		E/C	F Kg/m ³	A _{ff} mm	MV _{bf} Kg/m ³	R _{c1} MPa	R _{c28} MPa	Coût M.P F CFA
	Réel	Nominal							
8	313	300	0.8	52	50	2048	5.1	13.5	17185
15	406	400	0.6	68	30	2083	9.5	20.5	21955
9	360	350	0.7	51	50	2062	5.9	16.3	19470
16	449	450	0.6	64	35	2069	9.6	18.3	24287

Les gâchées 8 et 9 reprises avec uniquement des fines passant le tamis n°200 (0.075mm) sont numérotés respectivement 15 et 16. Avec ces fines, la quantité d'eau de gâchage est moins importante car la masse à gâcher est moins importante.

Conclusions:

- a- Toute chose étant égale par ailleurs, plus le dosage en calcaires 0/4 est élevé, plus le mélange est raide et plus les résistances sont faibles.
- b- Plus la fraction de calcaires est fine, plus il y a de possibilités de diminution des rapports E/C (environ 0.6).
- c- Le gain de résistance en (c) en vaut le coût (surtout pour la gâchée 15); mais il faut faire attention aux risques de retrait pour les dosages en ciment obtenus (450 Kg/m^3).

4.4 Effet des rapports C/S et E/C sur la résistance

4.4.1 Effet du rapport C/S

A partir du tableau 4.6 et des figures 4.2.1 et 4.2.2 nous notons que pour un rapport E/C constant, plus le rapport C/S augmente, plus le mélange est maniable (A_{ff} croissant) et plus les résistances sont élevées.

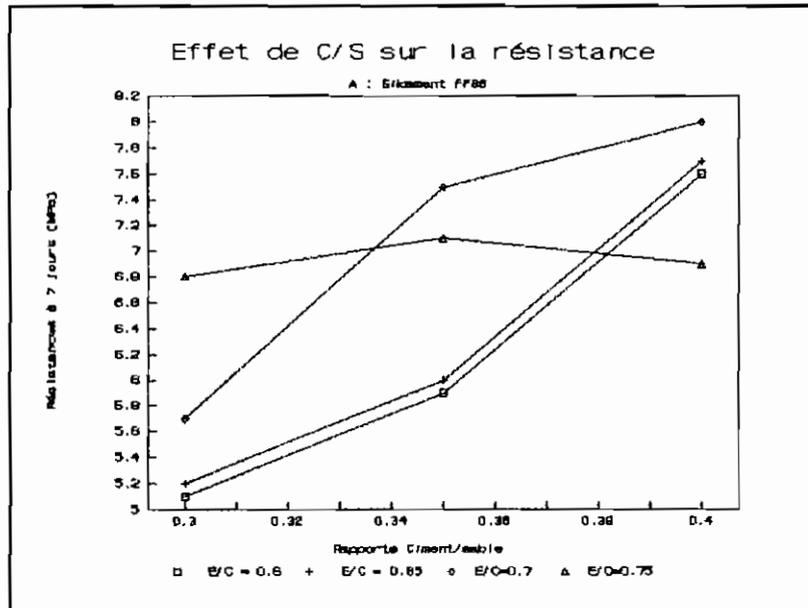
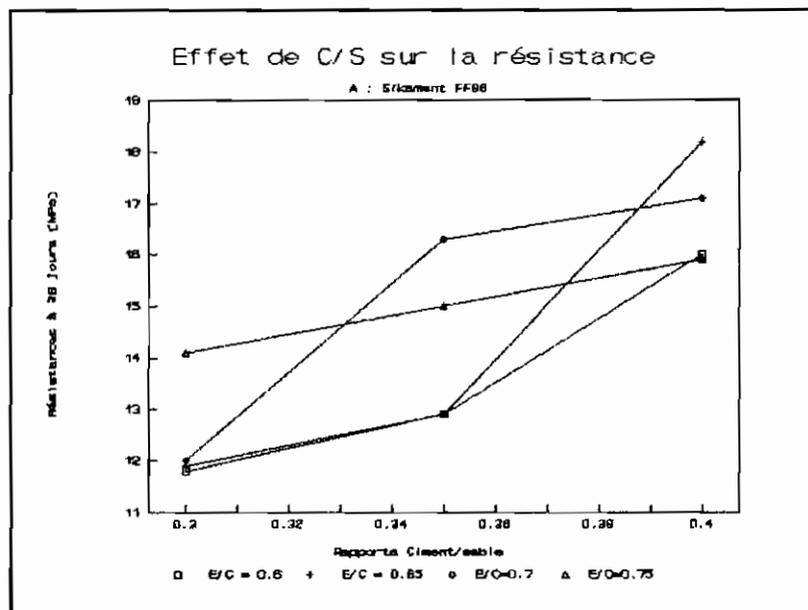
Cependant, à partir de $E/C = 0.75$, la résistance est quasi stationnaire par rapport au rapport C/S.

Tableau 4.6

Effet du dosage en sable et eau

Plastifiant: Sikament FF86 à 0.4% de C

numéro de gâchée	E/C	C/S	C Kg/m ³		F Kg/m ³	A _r mm	MV _{br} kg/m ³	R ₇ MPa	R ₂₈ MPa	Rc ₂₈ /Rc ₇	Coûts matières FCFA
			Réel	Nominal				moyenne écart-type	moyenne écart-type		
22		0.3	324	300	54	10	1987	5.1 e=0.9	11.8 e=0.9	2.31	15051
23	0.6	0.35	355	350	59	17	2014	5.9 e=0.2	12.9 e=0.8	2.19	16358
24		0.4	383	400	64	19	2028	7.6 e=0.4	16.0 e=0.7	2.10	17550
25		0.3	323	300	54	12	1998	5.2 e=0.3	11.9 e=0.7	2.29	15008
26	0.65	0.35	355	350	59	20	2032	6.0 e=0.1	12.9 e=0.7	2.15	16358
27		0.4	382	400	64	30	2042	7.7 e=0.2	18.2 e=0.3	2.36	17504
19		0.3	322	300	54	25	2007	5.7 e=0.2	12.0 e=0.6	2.10	14962
20	0.7	0.35	355	350	59	30	2048	7.5 e=0.3	16.3 e=0.6	2.17	16358
21		0.4	381	400	63	50	2055	8.0 e=0.4	17.1 e=0.6	2.14	17449
28		0.3	328	300	55	30	2062	6.8 e=0.3	14.1 e=0.7	2.07	15241
29	0.75	0.35	351	350	59	55	2042	7.1 e=0.2	15.0 e=0.8	2.11	16184
30		0.4	372	400	62	70	2028	8.9 e=0.3	15.9 e=0.3	2.30	17041

Figure 4.2.1: Effet de C/S sur R_{c7} Figure 4.2.2: Effet de C/S sur R_{c28}

Pour éviter des surdosages en ciment, tout en recherchant des résistances adéquates, nous recommandons des rapports C/S compris entre 0.35 et 0.4.

4.4.2 Effet du rapport E/C (cf. tableau 4.6 et fig
4.3.1 et 4.3.2)

A un rapport C/S = 0.3, la résistance augmente avec le rapport E/C. Cette augmentation est aussi valable pour le rapport C/S = 0.35 tant que le rapport E/C ne dépasse pas 0.7. Par contre, pour le rapport C/S = 0.4, le rapport E/C est fixé à 0.65.

Conclusion:

D'après 4.4.1 et 4.4.2, nous déduisons les rapports optimaux suivants:

- E/C = 0.7 quand C/S = 0.35
- E/C = 0.65 quand C/S = 0.4 = mélange optimum
- E/C = 0.6 quand C/S = 0.4

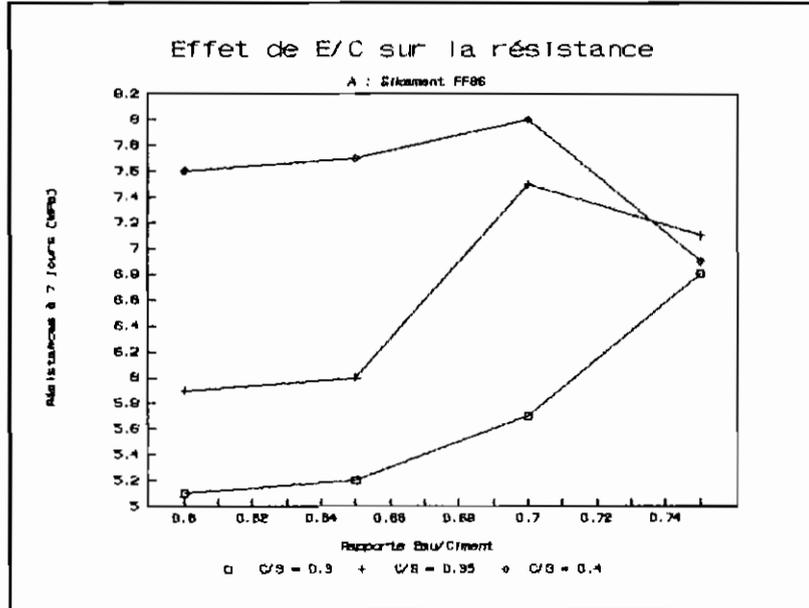


Figure 4.3.1 Effet de E/C sur R_{c7}

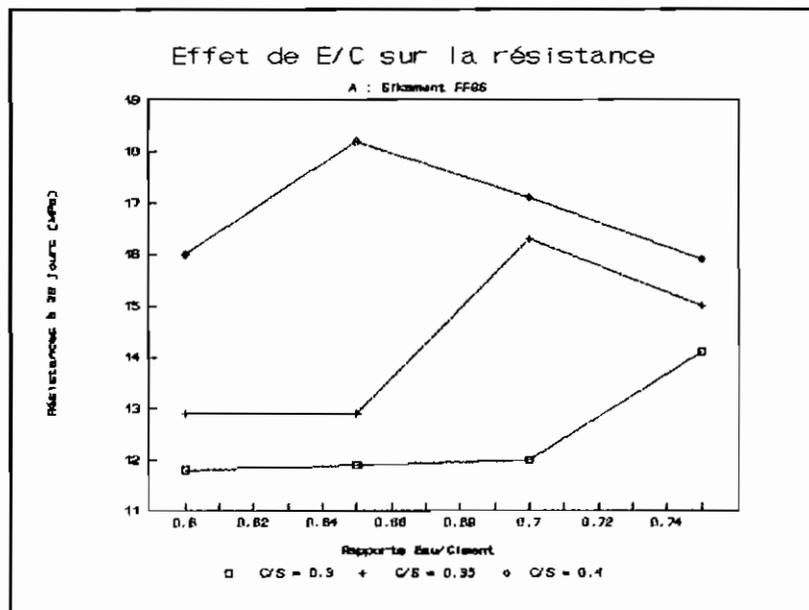


Figure 4.3.2: Effet de E/C sur R_{c28}

4.5 Effet de la coloration à l'oxyde (cf. tableau 4.7 et
fig 4.4)

Nous avons expérimenté la coloration du béton de sable à l'oxyde rouge, à raison de 1% et 2% du poids du ciment.

Nous remarquons une légère augmentation de résistance à 7 et 28 jours.

Par contre, nous ne pouvons pas nous prononcer sur le vieillissement du sable coloré (alcalis-réaction).

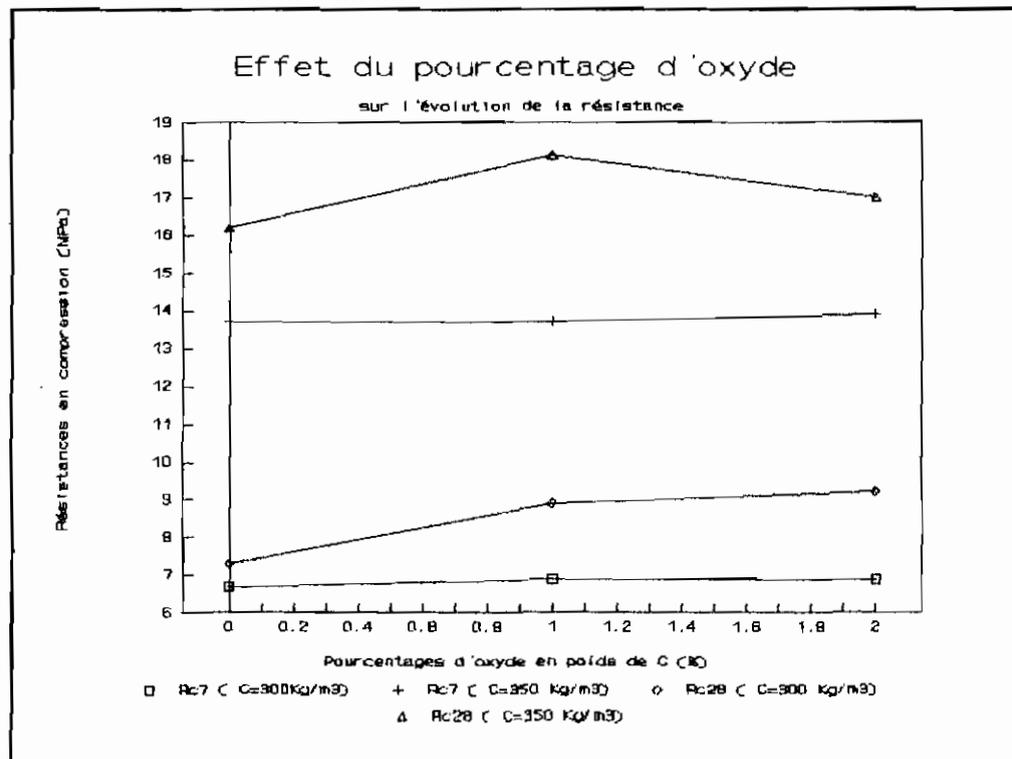


Figure 4.4: Effet du pourcentage d'oxyde sur R_{c28}

Tableau 4.7

Dosages polychromes
Plastifiant : Sikament FF86 à 0.4% de C

N° gâchée	C Kg/m ³		E/C	C/S	F Kg/m ³	A _{ff} mm	MV _{of} Kg/m ³	Quantité d'oxyde rouge %	R _c (MPa)		R _{c28} /R _{c7}	Coût matières F CFA
	Réel	Nominal							7 jours	28 jours		
									moyenne écart-type			
36	321	300	0.8	0.3	53	55	2042	0	6.7 e=0.2	13.7 e=0.6	2.04	14903
34								1	6.9 e=0.4	13.7 e=0.4	1.98	19076
35								2	6.9 e=0.2	13.9 e=0.4	2.01	23249
39	388	350	0.7	0.35	53	45	2062	0	7.3 e=0.6	16.2 e=0.6	2.22	16774
38								1	8.9 e=0.1	18.1 e=0.2	2.03	21558
37								2	9.2 e=0.2	17.0 e=0.6	1.85	26342

* L'oxyde est dosé en pourcentage (massique) du ciment

4.6 Effet du mûrissement du béton de sable (Tableau 4.8)

La cure a un impact très important sur le béton de sable dosé au Sikalatex. En effet, nous enregistrons des pertes de résistances considérables; surtout à 28 jours (cf.tableau 4.8).

Cette perte s'accroît pour les forts dosages en ciment (400Kg/m^3) et atteint 67% pour le mélange 15.

Nous tenons cependant à préciser que ces pertes ont été très atténuées par le fait que les éprouvettes non curées aient été conservées à l'intérieur du laboratoire de résistance de matériaux où les conditions climatiques sont moins agressives.

D'après les tentatives sur les bétons dosés au Sikament FF86 les pertes se révèlent moins importantes qu'avec le Sikalatex.

Tableau 4.8

**Influence du mûrissement
Béton de sable réalisé avec le Sikalatex**

N° gâchée	C (Kg/m ³)		E/C	C/S	F Kg/m ³	A _{ff} mm	MV _{br} Kg/m ³	MV _{br} (Kg/m ³)				R _{c7} (MPa)			R _{c28} (MPa)			R _{c28} /R _{c7}			
	Réel	Nominal						7 jours		28 jours		C	NC	Perte de R _{c7} %	C	NC	Perte de R _{c28} %	C	NC	C	NC
								C	NC	C	NC	moyenne écart-type			moyenne écart-type						
15	406	400	0.60	0.30	68	30	2083	2042	1898	2042	1868	9.5 e=0.08	7.4 e=0.3	22.1	20.5 e=0.09	6.8 e=0.6	66.8	2.16	0.92		
18	449	450	0.60	0.35	64	35	2069	2038	1867	2012	1852	9.6 e=0.05	7.6 e=0.1	20.8	18.3 e=0.8	7.0 e=0.1	61.7	1.91	0.92		
17	324	300	0.75	0.30	54	40	2042	1976	1855	2017	1830	6.5 e=0.4	4.8 e=0.2	26.1	10.3 e=0.3	4.5 e=0.2	56.3	1.56	0.94		
18	365	350	0.7	0.35	52	35	2055	2024	1902	2028	1853	9.2 e=0.5	7.3 e=0.3	20.6	16.9 e=0.5	7.4 e=0.5	56.2	1.84	1.01		
													22.4 e= 2.5 Moyenne.....> Ecart-type.....>		60.2 e= 5.1					

* C : Curée

* NC : Non curée

Chapitre V

PROPOSITIONS DE SOLUTIONS5.1 Etude économique

Les coûts des matières premières présentés dans le chapitre précédent ont été calculés sur la base des prix unitaires du tableau 5.1.

Cependant, pour une étude économique de la technique, nous proposons les coefficients suivants:

* Frais divers	_____	
- matériaux (joints, coffrages...)		
- consommables		
électricité		6%
essence		
photocopies		
eau		
* Amortissements	_____	
* Main d'oeuvre	_____	30%
* Coût d'opportunité	_____	10%

c'est le coût que l'entreprise ne prend pas en charge en bénéficiant des services de la Commune. En effet, la formulation et la technique de mise en oeuvre sont fournies par l'Agent-Voyer. Ce dernier, aidé d'un surveillant de chantier, assure le contrôle.

Tableau 5.1 Prix unitaires des matériaux

Source : enquêtes

	Unité	Prix unitaire F CFA	Unité	Prix unitaire F CFA
Basalte 5/15	m ³	11250	Kg	7.19
Grès 5/20	m ³	7500	Kg	5.36
Calcaire 5/15	m ³	6500	Kg	4.81
Calcaire 0/4	m ³	2500	Kg	1.91
Sable de mer	m ³	2250	Kg	1.73
Sable de dune	m ³	1000	Kg	0.77
Ciment	Sac	1700	Kg	34
Sikalatex	l	4250	l	4250
Sikament FF 86	l	2280	l	2280
Oxyde rouge	Kg	1300	Kg	1300

Tableau 5.3 : Exemples de dosages de bétons classiques

réf. n° 9 : Projet de fin d'études, Mariata Ly (1989, E.P.T)

E/C = 0.6

	C Kg	G Kg	S Kg	R _{c7} MPa	R _{c28} MPa	R _{c28} /R _{c7}	Coût(F CFA) matières	Coût(F CFA) réel
Basalte + Sable de dune	358	939	815	9.5	22.3	2.3	19551	28544
Basalte + Sable de mer	358	939	1004	8.5	18.6	2.2	20660	30164
Grès + Sable de dune	333	842	679	9.9	19.7	2.0	16358	23883
Grès + Sable de mer	333	842	837	7.3	18.3	2.5	17283	25233
Calcaire + Sable de dune	358	798	755	12.8	20.0	1.6	16592	24224
Calcaire + Sable de mer	358	798	930	12.1	20.7	1.7	17619	25724

En définitive, les coûts de matières premières seront majorés d'un total de 46%.

5.2 Variantes de formulations proposées

Les dosages répondant à un bon rapport coût/qualité sont consignés dans les tableaux 5.2.1, 5.2.2 et 5.2.3 avec des variantes sur le dosage en ciment et en adjuvant.

Nous estimons que le dosage en plastifiant devrait être de 0.5 % au minimum afin d'améliorer la maniabilité. Même à 0.6%, l'ouvrabilité du béton pourrait amener à réduire les rapports E/C. Il en résulterait de meilleures résistances qui justifieraient les coûts établis exception faite pour le dosage à 400Kg/m³ (cf. tableau 5.4).

Par contre, pour des calcaires ayant des pourcentages de fines supérieurs à celui dont nous disposons (14%), les rapports E/C pourraient être réduits jusqu'à un minimum de 0.6.

Pour des résistances à 28 jours similaires, l'économie du béton de sable par rapport au béton classique varie de 3 à 15% avec un pourcentage d'adjuvant de 0.4%, de 5 à 12% lorsque ce pourcentage est de 0.5 et enfin de 2 à 9% pour un pourcentage de 0.6. Notons que pour le dosage à 400Kg/m³ en ciment, des plages supérieures à 0.4% en adjuvant ne sont pas a priori recommandables (cf. tableau 5.4).

Les dosages de béton classiques utilisés pour comparaison sont tirés de la référence n°9 (Projet de Fin d'Etude, Mariata LY, EPT 1989).

Tableau 5.2 SOLUTIONS PROPOSEES ET VARIANTES

Tableau 5.2.1 En termes de dosages nominaux

C Kg/m ³	E/C	C/S	F Kg/m ³	A %	R _{c7} MPa	R _{c28} MPa	R _{c28} /R _{c7}	Coût matières (F CFA)			Coût réel (F CFA)		
								A=0.4%	A=0.5%	A=0.6%	A=0.4%	A=0.5%	A=0.6%
400	0.70	0.40	63	0.4	8.0	17.1	2.1	17449	18174	18898	25476	26534	27591
350	0.70	0.35	59	0.4	7.5	16.3	2.2	16358	17033	17708	23883	24868	25854
300	0.75	0.30	55	0.4	6.8	14.1	2.1	15241	15863	16488	22252	23160	24072

Tableau 5.2.2 En terme de dosages réels

C Kg	E l	F Kg	S Kg	A en % de C (l)		
				0.4	0.5	0.6
381	305	454	953	1.27	1.59	1.91
355	285	425	1014	1.18	1.48	1.78
328	280	396	1094	1.10	1.37	1.64

Tableau 5.2.3 En termes de matériels de mesure au chantiers

Dosages nominaux>	400 (Kg/m ³)	350 (Kg/m ³)	300 (Kg/m ³)
Ciment en nombre de sacs de 50 Kg	7.62 soit : 7 + 1/2	7.1 soit : 7	6.56 soit : 6 + 1/2
Eau en nombre de fût de 250 l	1.22 soit : 1 + 4 seaux de 14 l	1.14 soit : 1 + (2+1/2) seaux de 14 l	1.12 soit : 1 + 2 seaux de 14 l
Fine en nombre de brouettes de 50 l	6.94 soit : 7	6.48 soit : 6 + 1/2	6.04 soit : 6 + 2 seaux de 14 l
Sable en nombre de brouettes de 50 l	14.66 soit : 14 + (2+1/2) seaux de 14 l	15.6 soit : 15 + 1/2	16.84 soit : 17
Sikament FF86 à 0.4%	4 bouteilles de coca PM	1 coca GM + (1 + 1/2) coca PM	1 GM + (2 + 1/2) PM
Sikament FF86 à 0.5%	4 bouteilles de coca PM	1 coca GM + 2 coca PM	1 GM + 3 PM
Sikament FF86 à 0.6%	1 bouteille de coca GM	1 coca GM + 1 coca PM	1 coca GM + 2 coca PM

Tableau 5.3 Exemples de dosages de bétons classiques

	C Kg	G Kg	S Kg	R _{c7} MPa	R _{c28} MPa	R _{c28} /R _{c7}	Coût(F CFA) matières	Coût(F CFA) réel
Basalte + Sable de dune	358	939	815	9.5	22.3	2.3	19551	28544
Basalte + Sable de mer	358	939	1004	8.5	18.6	2.2	20660	30164
Grès + Sable de dune	333	842	679	9.9	19.7	2.0	16358	23883
Grès + Sable de mer	333	842	837	7.3	18.3	2.5	17283	25233
Calcaire + Sable de dune	358	798	755	12.8	20.0	1.6	16592	24224
Calcaire + Sable de mer	358	798	930	12.1	20.7	1.7	17619	25724

Tableau 5.2.1 Dosages proposés

C Kg/m ³	E/C	C/S	F Kg/m ³	A %	R _{c7} MPa	R _{c28} MPa	R _{c28} /R _{c7}	Coût matières (F CFA)			Coût réel (F CFA)		
								A=0.4%	A=0.5%	A=0.6%	A=0.4%	A=0.5%	A=0.6%
400	0.70	0.40	63	0.4	8.0	17.1	2.1	17449	18174	18898	25476	26534	27591
350	0.70	0.35	59	0.4	7.5	16.3	2.2	16358	17033	17708	23883	24868	25854
300	0.75	0.30	55	0.4	6.8	14.1	2.1	15241	15863	16488	22252	23160	24072

Tableau 5.4 Comparaison des dosages

Dosages en ciment en moyenne de 350 Kg/m³ pour les B.C, ceux des B.S variant de 400 à 300.

C(Kg/m ³)	R _{c7B.S} /R _{c7B.C}	R _{c28B.S} /R _{c28B.C}	Rapport de coût B.S/B.C			Pourcentage d'économie (P%)			Productivité (R%/P%)		
			A=0.4%	A=0.5%	A=0.6%	A=0.4%	A=0.5%	A=0.6%	A= 0.4%	A= 0.5%	A=0.6%
400	0.80	0.86	0.97	1.01	1.05	3	-1	-5	4.7	-14.2	-2.8
350	0.75	0.82	0.91	0.95	0.98	9	5	2	2.0	3.6	9.1
300	0.69	0.71	0.85	0.88	0.91	15	12	9	1.9	2.4	3.2

B.C : Bétons Classiques
B.S : Bétons de Sable

R% étant la perte de résistance

5.3 Exécution des mélanges

5.3.1 Choix des matériaux

* Sable de dune:

En fonction des sites, les sables de dune ont des fractions granulométriques différentes. Il est préférable de rechercher la fraction la plus grossière possible si le coût de transport et la qualité du béton le justifient.

* Fine de calcaire:

Contrairement au sable de dune, le calcaire devra être de la plus petite fraction granulométrique possible. De plus, sur le chantier, on veillera à minimiser la perte de fines par l'érosion éolienne.

5.3.2 Gâchages polychromes

Pour colorer le béton de sable nous proposerons des oxydes synthétiques métalliques purs:

- en poudre, mélangés avec le ciment à raison de 1 à 2% du poids de ce dernier;
- en liquide, introduits dans l'eau de gâchage à raison de 2 à 4% du poids du ciment par mètre cube (m³).

D'après les renseignements reçus de l'association SABLOCRETE de France, les couleurs obtenues avec les oxydes (à condition que l'on ne cherche pas une couleur vive) restent stables pour les bétons de sable fabriqués à la bétonnière et pour de petites surfaces.

En revanche, pour de grandes surfaces, des dégradations de couleurs (décoloration aux rayons ultra-violet) se produisent si la mise en oeuvre n'est pas parfaite et notamment lorsqu'on n'applique pas de cure pour protéger le béton frais.

5.3.3 Utilisation de la bétonnière

Nous ne l'avons malheureusement pas expérimenté. Cependant, les correspondances assurées avec l'association SABLOCRETE de France nous permettent de nous prononcer.

Au cours de leurs travaux, ils ont presque toujours constaté une différence entre les gâchées de béton de sable réalisées en laboratoire et celles sur chantier (pour une même formulation). Les résultats s'avèrent meilleurs sur chantier.

Pour malaxer à la bétonnière, ils procèdent de la manière suivante:

- 1- Introduction du ou des sables
- 2- Introduction du filler et du ciment
- 3- Malaxage à sec; de l'ordre de 4 minutes
- 4- Incorporation progressive de l'eau dans laquelle on a au préalable versé de l'adjuvant
- 5- Malaxage de l'ordre de 4 minutes.

5.4 Modes de mise en oeuvre

5.4.1 Dallages

Les types de dallages en général réalisés par la Commune de Dakar sont des dallages à usage d'habitation. En effet, les terrains omnisports, les marchés et les parkings pour voitures particulières supportent (ref. n°1):

- une charge statique répartie inférieure ou égale à 250 KN/m^2 (environ 250 Kg/m^2),
- et/ou une charge roulante inférieure ou égale à 15 KN (environ 1.5 tonnes/essieu).

Sur la figure 5.1 nous distinguons les parties suivantes du dallage:

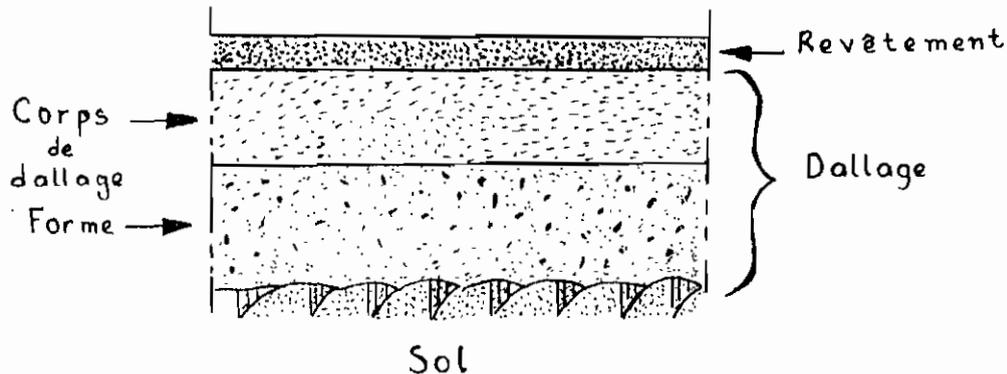
* Forme (ou sous-couche)

On peut utiliser des matériaux tout venant, à condition que le pourcentage de fines inférieures à $80\mu\text{m}$ ne dépasse pas 20% en poids et l'équivalent sable (ES) soit supérieur à 40.

* Corps de dallage

Pour les sols homogènes de capacité portante suffisante, l'épaisseur de la couche de béton varie entre 0.08 et 0.12m.

fig 5.1 : Les parties du dallage



Lors de l'exécution, toute bande commencée doit être achevée sans interruption.

La finition peut être réalisée par dressage à la règle. Il est indispensable de rappeler que la cure est obligatoire. L'on appliquera systématiquement un produit de cure sur le béton fraîchement coulé. L'eau est un bon produit de cure utilisable après 24 heures de coulage.

Il s'agit de procéder par arrosages successifs (matins et si possible après-midis) pendant au moins 7 jours.

Ceci éviterait les grands écarts de températures qui sont générateurs de fissurations.

* revêtement

Au cas où l'on n'en n'aurait pas besoin, la surface du béton pourrait être striée au balai.

5.4.2 Contrôle de fissuration

Les joints sont des fausses fissures destinées à permettre les mouvements de chaque parties du dallage. Ils doivent supporter tous les mouvements du dallage sans subir le

moindre dommage. Ils doivent de plus, offrir en surface, une protection contre les infiltrations d'eau de pluie.

Par contre, les fissures se créent pour rétablir l'équilibre des contraintes (zones de faiblesses).

Il a été constaté à travers les expérimentations de la Commune de Dakar (cf tableau 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3) et de l'association SABLOCRETE, qu'en règle général, il est nécessaire d'exécuter des joints plus rapprochés lorsqu'on utilise du béton de sable que lorsqu'on utilise du béton classique (tous les 240m² pour ce dernier).

L'association SABLOCRETE procède de la façon suivante:

- Dallage de trottoir: prévoir un joint dès que la surface du béton de sable excède 15m².
- Chaussée rigide de 7m de largeur: prévoir un joint longitudinal dans l'axe et des joints transversaux tous les 3m.

Cependant, d'après les constatations faites lors de la visite des chantiers expérimentaux de la Commune de Dakar, il nous paraît préférable de prévoir des joints transversaux tous les 2 à 2.5m et un joint longitudinal tous les 3m de dallage.

De plus les joints pourraient être mis en quinconce (cf.fig 5.4) pour plus d'efficacité étant donnés les types de fines dont nous disposons (impliquent des rapports E/C élevés).

Des joints d'isolement seront systématiquement posés à la frontière entre le dallage et le corps du bâtiment.

Lors de l'exécution, les joints seront moulés: une réglette en PVC de quelques millimètres d'épaisseur est enfoncée dans le béton avant durcissement à l'emplacement choisi pour le joint.

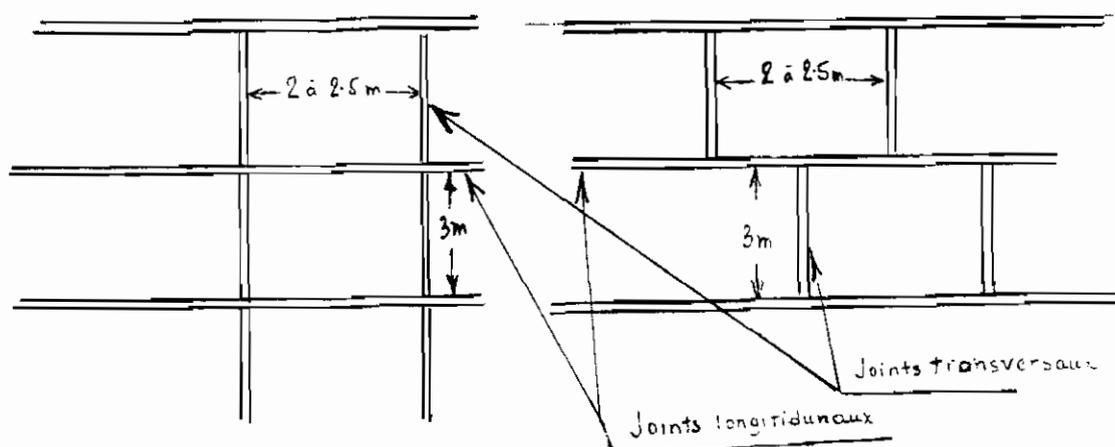
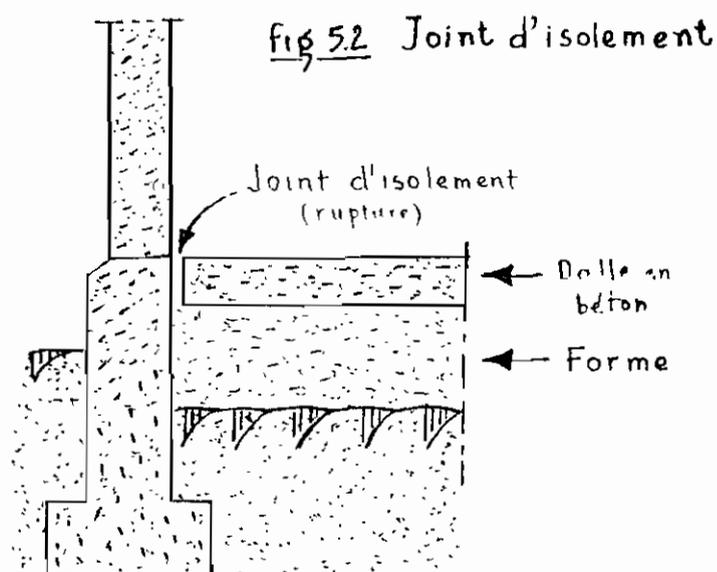


fig 5.3 : Joints en panneau fig 5.4 : Joints en chevron

Chapitre VI CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

De notre étude, il résulte qu'en assurant un dosage en plastifiant (Sikament FF86) d'un minimum de 0.5% en poids du ciment, des rapports E/C allant de 0.65 à 0.75, C/S de 0.35 à 0.4 et des dosages en ciment de l'ordre de 300 à 400 Kg/m³, nous pouvons obtenir, avec une bonne cure, des résistances avoisinant celles des bétons classiques (20 MPa). Cependant, toutes les utilisations municipales n'exigent pas des performances aussi élevées. En effet, parkings et trottoirs sont des infrastructures peu sollicitées.

L'économie par rapport aux bétons classiques est en moyenne de 8%, certains entrepreneurs, affirment y trouver des revenus substantiels.

Il est permis d'espérer des résistances supérieures à celles obtenues pour peu que l'on dispose de calcaires plus fines, la fraction 0/2 mm par exemple satisfairait aux exigences. L'insuffisance d'éléments fins est à l'origine des problèmes rencontrés dans notre étude, notamment le manque de maniabilité. Cette dernière étant pourtant une propriété spécifique très recherchée dans les bétons de sable.

De plus, l'ajout d'un imperméabilisant comme le Sikalatex à raison de 0.2% du poids du ciment et une réussite (dans la mise en oeuvre) de la pose des joints assureraient une meilleure tenue à l'infiltration des eaux de ruissellement.

Nous tenons également à souligner que la traction, le fluage et le vieillissement (alcalis-réaction) du béton de sable devraient faire l'objet d'autres études car n'ayant pas été traités dans ce présent rapport. De plus, la poursuite de notre étude pourrait s'orienter vers l'expérimentation en vraie grandeur, de l'espacement proposé pour les joints (chantier en cours ou futurs de la Commune) et la confection de dallettes ou parpaings.

Les prix qui nous ont permis de faire l'étude économique, exception faite pour celui du ciment, ne sont pas toujours contrôlés. En effet, comme nous l'avons déjà mentionné dans le corps du rapport, jusqu'en 1991, les fines de calcaires n'étaient pas commercialisées; leur prix passa de 500 FCFA en 1991 à 1000 FCFA en 1993. Parallèlement, les plastifiants n'ont pas de prix de référence (4000 à 6000 FCFA le litre) et leur disponibilité sur le marché est irrégulière.

De tels produits n'étant pas encore banalisés, la Commune de Dakar devrait s'impliquer dans un projet d'importation des plastifiants afin de réduire et de stabiliser les coûts.

Enfin, une synergie créée par le regroupement du CEREEQ, de l'IST, de l'Ecole Polytechnique de Thiès et d'autres écoles en association "Suuf-béton" par exemple pourrait amener à établir un guide pratique d'utilisation des bétons de sable au Sénégal, à l'instar de l'association SABLOCRETE en France où le béton de sable fait déjà l'objet d'une norme spécifique P.18500.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics; annale n° 482 Mars-Avril 1990, série gros oeuvre 37
Travaux de dallages, règles professionnelles, 29 p.;
- 2- Association Canadienne du Ciment Portland (CPCA),
Dosage et contrôle des mélanges de bétons, 189 p.;
- 3- CHAUVIN J.J et GRIMALDI G., Septembre-Octobre 1988,
Les bétons de sable , 15 p.;
- 4- CHAUVIN J.J, Juillet-Août 1991,
Le béton de sable en Union soviétique, 9 p.;
- 5- DIOP P. MBareck, Les bétons de sable , Perspectives de Recherche-Développement au Sénégal, 19 p.;
- 6- Djiba Y., Mars 1993, Importance économique des granulats au Sénégal et évaluation des performances d'un béton hydraulique à granulats de type silexite et à ciment Portland à ajout pouzzolanique, I.S.T,UCAD, 51 p.;

-
- 7- GUERRIN A., LAVAU R.C., 1973, Traité de béton armé, tome I, 355 p.;
- 8- GRUNAU Edward B., traduit par DALCIN B., 1971, Les joints dans le bâtiment", éditions Eyrolles ;
- 9- Ly M., Juin 1989, Etude comparative des bétons faits à partir de matériaux les plus utilisés au Sénégal, E.P.T, 55 p.;
- 10- PAPADAKIS M.et VENUAT M., 1969, Manuel du laboratoire d'essais des ciments, mortiers,bétons, éditions Eyrolles 313 p.;
- 11- "SABLOCRETE" Projet National , " Mémoire de Présentation du Programme de Recherche-Développement", 68 pages.

ANNEXE A

RESULTATS DES TAMISAGES EFFECTUES

ANNEXE A

RESULTATS DES TAMISAGES

A.1 : Analyses granulométriques

N° Tamis	Diamètre des grains mm	Sable de dune			Fines de calcaire		
		Refus cumulé g	Refus cumulé %	Passant cumulé %	Refus cumulé g	Refus cumulé %	Passant cumulé %
4	4.75				1.18	0.08	99.92
8	2.36				41.44	2.93	97.07
10	2.00				86.72	6.13	93.87
16	1.18				345.35	24.42	75.58
20	0.85	1.06	0.1	99.9	534.69	37.81	62.19
40	0.425	82.46	8.32	91.68	811.03	57.35	42.65
50	0.3	302.08	30.48	69.52	920.61	65.09	34.91
60	0.25	444.49	44.84	55.16	969.33	68.54	31.46
100	0.15	698.31	70.45	29.55	1100.9	77.84	22.16
140	0.106	798.28	80.53	19.47	1167.89	82.58	17.42
200	0.075	910.08	91.81	8.19	1218.31	86.15	13.85
Passant tamis n° 200		81.15			195.94		
		P _{total} = 1000g		Perte = 0.9%	P _{total} = 1440g		Perte = 1.8%

A.2 : Estimation des modules de finesse

Diam. (mm)	Sable de dune	Fines de calcaire
	Pourcentages retenus cumulatifs (%)	
4.75	0	0
2.36	0	2.47
1.18	0	19.13
0.60	1.47	24.78
0.30	38.32	15.56
0.15	37.49	17.5
	77.28	79.44
	MF = 0.7728	MF = 0.7944

Le module de finesse est égale à la somme des pourcentages cumulatifs retenus sur la série de tamis inscrite sur le tableau ci-dessus que l'on divise par 100.

ANNEXE B

PRESENTATION DES RESULTATS DES GACHEES

Annexe B.1.1

Gâchées effectuées avec le SIKALATEX

N° gâchée	C (kg/m ³)		E/C	C/S	F kg/m ³	A ml	A _{ff} mm	MV _{bf} kg/m ³	R _{c7} (MPa)		R _{c28} (MPa)		R _{c28} /R _{c7}	Coût matières F CFA	Observations
	Réel	Nominal							Mesures	Moyenne Ecart-type	Mesures	Moyenne Ecart-type			
1	253	250	0.80	0.2	5	48800	3	1835	3.8 3.8 3.7 3.4 3.3	3.6 e=0.2	6.8 5.5 6.8 6.0 5.5	6.1 e=0.6	1.69	217042	adjuvant 0.5 l par m ² et par cm d'épaisseur (10 cm)
2	321	300	0.75	0.25	6	52947	17	1945	4.4 4.2 4.2 4.1 3.7	4.1 e=0.3	9.1 9.1 9.1 9.1 9.1	9.1 e=0.0	2.22	237006	
3	350	350	0.75	0.3	11	53205	37	1918	3.5 3.6 3.7 3.7 3.6	3.6 e=0.08	9.0 8.7 8.8 9.7 8.8	9.0 e=0.4	2.50	239067	
4	348	350	0.80	0.29	8	54807	90	1945	6.8 7.8 8.1 7.9 7.9	7.7 e=0.5	10.0 10.3 10.4 10.3 10.8	10.4 e=0.3	1.35	244943	
5	433	450	0.70	0.4	13	47977	85	1945	8.4 8.6 8.1 9.0 8.8	8.8 e=0.3	18.4 18.5 18.2 18.2 17.9	18.2 e=0.2	2.07	219635	
6	425	400	0.70	0.4	15	51357	70	1945	8.5 8.5 7.8 7.8 8.1	8.1 e=0.3	18.4 18.4 17.7 18.3 17.1	18.0 e=0.6	2.22	233739	
7	270	250	0.75	0.35	106	973	70	1987	2.1 2.1 2.6 2.3 2.3	2.3 e=0.2	7.7 7.4 7.7 7.5 7.7	7.6 e=0.1	3.30	15353	Adjuvant 0.4% du poids du ciment
8	316	300	0.80	0.30	52	1159	50	2048	5.8 5.2 4.9 4.8 4.8	5.1 e=0.4	13.3 13.4 13.6 13.6 13.7	13.5 e=0.2	2.65	17185	gâchée qu'utilise la commune de Dakar dans ses chantiers
9	360	350	0.70	0.35	51	1350	50	2062	5.7 6.0 5.8 6.0 5.8	5.9 e=0.1	16.1 16.2 16.2 17.0 16.2	16.3 e=0.4	2.76	19470	

Annexe B.1.2
Gâchées effectuées avec le SIKALATEX (Suite et fin)

N° gâchée	C (kg/m³)		E/C	C/S	F Kg/m³	A ml	A _{ff} mm	MV _{bf} Kg/m³	R _{c1} (MPa)		R _{c2} (MPa)		R _{c2} /R _{c1}	Coût matières F CFA	Observations
	Réel	Nominal							Mesures	Moyenne Ecart-type	Mesures	Moyenne Ecart-type			
10	361	350	0.80	0.40	60	1264	75	2028	5.1 5.4 5.5 5.1 5.2	5.3 e=0.2	15.5 15.8 15.5 15.2 15.0	15.4 e=0.3	2.91	19420	
11	336	350	0.80	0.40	84	1284	50	2024	6.6 6.4 6.3 6.2 5.6	6.2 e=0.4	14.3 14.2 14.0 14.4 14.0	14.2 e=0.2	2.29	18460	
12	363	350	0.70	0.40	73	1264	65	2042	6.8 6.8 6.9 6.8 6.0	6.7 e=0.4	14.9 15.2 14.6 14.8 14.8	14.9 e=0.2	2.22	19701	
13	317	300	0.80	0.38	91	1140	45	2028	5.4 5.0 5.3 5.4 5.2	5.3 e=0.2	12.1 12.9 12.9 12.0 12.1	12.1 e=0.8	2.28	17790	
14	254	250	0.80	0.38	127	937	25	2042	3.4 3.5 3.9 3.8 3.6	3.6 e=0.2	8.3 7.5 8.1 7.7 7.6	7.8 e=0.3	2.17	14947	
15	406	400	0.60	0.30	68	1467	30	2083	9.6 9.5 9.4 9.4 9.5	9.5 e=0.08	20.3 20.5 20.5 20.5 20.5	20.5 e=0.09	2.16	21955	Fines utilisées sont uniquement les passants du tamis n° 200
16	449	450	0.60	0.35	64	1487	35	2069	9.6 9.5 9.6 9.6 9.6	9.6 e=0.05	18.2 19.5 17.3 17.9 18.7	18.3 e=0.8	1.91	24287	Idem pour 15
17	324	300	0.75	0.30	54	0.6% de C 1700	40	2042	5.8 6.7 6.7 6.8 6.5	6.5 e=0.4	10.7 9.8 10.3 10.1 10.4	10.3 e=0.3	1.58	20392	
18	365	350	0.70	0.35	52	1926	35	2055	8.8 9.4 9.1 9.9 8.8	9.2 e=0.5	17.4 17.4 16.4 17.2 16.3	16.9 e=0.5	1.84	22846	Adjuvant 0.6% de C pour gâchée 17 et 18

Annexe B.2.1
Gâchées effectuées avec le SIKAMENT FF88

N° gâchée	C (kg/m³)		E/C	C/S	F kg/m³	A ml	A _v mm	MV _{tr} kg/m³	F _{ct} (MPa)		F _{ctm} (MPa)		F _{ctm} /F _{ct}	Coût matières F.C.F.A	Observations
	Réel	Nominal							Mesures	Moyenne Ecart-type	Mesures	Moyenne Ecart-type			
19	322	300	0.7	0.30	54	1073	25	2007	5.9 5.5 5.7 e=0.2	5.7	11.9 12.6 11.5 e=0.6	12.0	2.10	14962	Adjuvant à 0.4% de C
20	355	350	0.7	0.35	59	1014	30	2048	7.3 7.9 7.3 e=0.3	7.5	16.5 16.7 15.6 e=0.6	16.3	2.17	16358	
21	381	400	0.7	0.40	63	953	50	2055	7.9 7.7 8.4 e=0.4	8.0	16.5 17.6 17.3 e=0.6	17.1	2.14	17449	
22	324	300	0.6	0.30	54	1080	10	1987	4.8 4.4 6.1 e=0.9	5.1	12.8 11.8 11.0 e=0.9	11.8	2.31	15051	
23	355	350	0.6	0.35	59	1014	17	2014	5.7 6.0 6.0 e=0.2	5.9	13.4 13.3 12.0 e=0.8	12.9	2.19	16358	
24	383	400	0.6	0.40	64	958	19	2028	7.3 8.0 7.5 e=0.4	7.8	15.5 15.6 16.8 e=0.7	16.0	2.10	17560	
25	270	250	0.65	0.30	54	1077	12	1998	5.0 5.5 5.0 e=0.3	5.2	12.2 11.1 12.4 e=0.7	11.9	2.29	15008	
26	316	300	0.65	0.35	59	1014	20	2032	5.9 6.0 6.2 e=0.1	6.0	12.7 12.3 13.6 e=0.7	12.9	2.15	16358	
27	360	350	0.65	0.40	64	955	30	2042	7.9 7.5 7.8 e=0.2	7.7	18.5 17.9 18.1 e=0.3	18.2	2.36	17504	
28	328	300	0.75	0.30	55	1094	30	2062	7.1 8.5 6.8 e=0.3	8.8	13.4 14.3 14.7 e=0.7	14.1	2.07	15241	
29	351	350	0.75	0.35	59	1003	55	2042	7.3 7.1 8.9 e=0.2	7.1	14.1 15.5 15.5 e=0.8	15.0	2.11	16184	
30	372	400	0.75	0.40	62	930	70	2028	8.7 7.2 6.8 e=0.3	8.9	16.2 15.6 15.9 e=0.3	15.9	2.30	17041	
31	365	350	0.7	0.40	73	913	40	2055	5.4 5.1 5.1 e=0.2	5.2	14.3 14.8 15.9 e=0.8	15.0	2.88	16883	
32	340	350	0.7	0.40	85	850	15	2042	4.2 4.4 3.7 e=0.4	4.1	11.1 12.4 13.2 e=1.1	12.2	2.98	15967	
33	303	300	0.7	0.40	101	758	10	2000	3.6 3.4 4.2 e=0.4	3.7	9.7 10.8 12.5 e=1.4	11.0	2.97	14575	
34	321	300	0.8	0.30	53	1070	55	2042	7.1 7.2 6.5 e=0.4	6.9	13.8 13.3 14.1 e=0.4	13.7	1.98	19076	% oxyde = 1%
35	321	300	0.8	0.30	53	1070	55	2042	6.7 6.9 7.2 e=0.2	6.9	14.0 14.2 13.4 e=0.4	13.6	2.01	23249	2%
36	321	300	0.8	0.30	53	1070	55	2042	6.7 7.0 6.7 e=0.2	6.7	13.5 13.3 14.4 e=0.6	13.7	2.04	14903	0%
37	368	350	0.7	0.35	53	1051	45	2082	9.9 9.3 8.5 e=0.2	9.2	17.3 16.3 17.3 e=0.6	17.0	1.85	26342	2%
38	368	350	0.7	0.35	53	1051	45	2082	8.9 8.9 9.1 e=0.1	8.9	18.2 18.2 17.9 e=0.2	18.1	2.03	21558	1%
39	368	350	0.7	0.35	53	1051	45	2082	7.3 6.6 7.9 e=0.6	7.3	15.8 16.9 15.8 e=0.6	16.2	2.22	16774	0%

ANNEXE C

**DETERMINATION DES COUTS DES MATIERES PREMIERES
DU METRE CUBE DE BETON DE SABLE**

Annexe C.1

Détermination des coûts des matières premières pour un mètre cube de béton de sable

Adjuvant : SIKALATEX

N° gâchée	C Kg	A ml	F Kg	S Kg	P _C F CFA	P _A F CFA	P _F F CFA	P _S F CFA	Totaux F CFA
1	253	48800	35	1265	8602	207400	67	973	217042
2	321	52947	42	1284	10914	225025	80	987	237006
3	350	53205	78	1167	11900	226121	149	897	239067
4	348	54607	57	1200	11832	232080	109	923	244943
5	433	47977	93	1083	14722	203902	177	833	219635
6	425	51357	107	1063	14450	218267	204	817	233739
7	270	973	757	771	9180	4135	1444	593	15353
8	316	1159	374	1043	10744	4926	714	802	17185
9	360	1350	367	1030	12240	5738	700	792	19470
10	361	1324	432	904	12274	5627	824	695	19420
11	336	1232	605	840	11424	5236	1154	646	18460
12	363	1331	526	908	12342	5657	1004	698	19701
13	317	1205	655	834	10778	5121	1250	641	17790
14	254	953	915	669	8636	4050	1746	514	14947
15	406	1489	410	1353	13804	6328	782	1040	21955
16	449	1684	460	1283	15266	7157	878	987	24287
17	324	1836	389	1080	11016	7803	742	831	20392
18	365	2099	374	1043	12410	8921	714	802	22846

Coûts unitaires en F CFA (+ coût de transport):

Le prix du Sikalatex est un prix avec remise!

C = 34/Kg	F = 1.908/Kg
A = 4.25/ml	S = 0.769/Kg

Annexe C.2

Détermination du coût des matières premières du mètre cube de béton de sable

Plastifiant: SIKAMENT FF86

N° gâchée	C Kg	A ml	F Kg	S Kg	Oxyde Kg	P _C	P _A	P _F	P _S	P _{Oxyde}	Totaux F CFA
19	322	1073	389	1073		10948	2446	742	825		14962
20	355	1183	425	1014		12070	2697	811	780		16358
21	381	1270	454	953		12954	2896	866	733		17449
22	324	1080	389	1080		11016	2462	742	831		15051
23	355	1183	425	1014		12070	2697	811	780		16358
24	383	1277	461	958		13022	2912	880	737		17550
25	323	1077	389	1077		10982	2456	742	828		15008
26	355	1183	425	1014		12070	2697	811	780		16358
27	382	1273	461	955		12988	2902	880	734		17504
28	328	1093	396	1094		11152	2492	756	841		15241
29	351	1170	425	1003		11934	2668	811	771		16184
30	372	1240	446	930		12648	2827	851	715		17041
31	365	1217	522	913		12410	2775	996	702		16883
32	340	1134	612	850		11560	2586	1168	654		15967
33	303	1010	727	758		10302	2303	1387	583		14575
34	321	1070	381	1070	3	10914	2440	727	823	4173	19076
35	321	1070	381	1070	6	10914	2440	727	823	8346	23249
36	321	1070	381	1070		10914	2440	727	823		14903
37	368	1196	381	1051	7	12512	2727	727	808	9568	26342
38	368	1196	381	1051	4	12512	2727	727	808	4784	21558
39	368	1196	381	1051		12512	2727	727	808		16774

Coûts unitaires en F CFA (+ coût de transport):

C = 34/Kg

S = 0.769/Kg

A = 2.28/ml

Oxyde = 1300/Kg

F = 1.908/Kg

ANNEXE D

**MASSES VOLUMIQUES DU BETON DE SABLE
POUR DES RESISTANCES A 28 JOURS
SUPERIEURES A 12 MPa**

Annexe D

Masses volumiques du bétons de sable pour des résistances à la compression à 28 jours supérieures à 12 MPa

1. Avec du SIKALATEX

N° gâchée	E/C	MV _{bf} (Kg/m ³)	MV _{bd} (Kg/m ³)		MV _{bf} /MV _{bd}		R _{c28} /R _{c7}
			7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	
8	0.8	2048	2032	2032	1.008	1.008	2.65
9	0.7	2062	2025	2040	1.018	1.011	2.76
10	0.8	2028	2010	2026	1.009	1.001	2.91
11	0.8	2024	2005	2025	1.009	0.999	2.29
12	0.7	2042	2020	2034	1.011	1.004	2.22
13	0.8	2048	1960	2022	1.045	1.013	2.28
15	0.6	2083	2042	2042	1.020	1.020	2.16
16	0.6	2069	2038	2012	1.015	1.028	1.91
18	0.7	2055	2024	2028	1.015	1.013	1.84
Moyenne		2051	2017	2029	1.017	1.011	2.34
Ecart-type		18	25	8	0.017	0.009	0.37

2. Avec du SIKAMENT FF86

N° gâchée	E/C	MV _{bf} (Kg/m ³)	MV _{bd} (Kg/m ³)		MV _{bf} /MV _{bd}		R _{c28} /R _{c7}
			7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	
19	0.70	2007	1985	1995	1.011	1.006	2.10
20	0.70	2048	2026	2036	1.011	1.006	2.17
21	0.70	2055	2033	2045	1.011	1.005	2.14
23	0.60	2014	1990	2009	1.012	1.002	2.19
24	0.60	2028	2008	2025	1.011	1.001	2.10
26	0.65	2032	2029	2026	1.001	1.003	2.15
27	0.65	2042	2020	2034	1.011	1.004	2.36
28	0.75	2062	2034	2043	1.014	1.009	2.07
29	0.75	2042	2012	2030	1.015	1.006	2.11
30	0.75	2028	1987	2019	1.021	1.007	2.30
31	0.70	2055	2030	2042	1.012	1.006	2.88
32	0.70	2042	2030	2040	1.006	1.001	2.96
34	0.80	2042	2020	2038	1.011	1.002	1.98
35	0.80	2042	2025	2035	1.008	1.003	2.01
36	0.80	2042	2029	2027	1.006	1.007	2.04
37	0.70	2062	2042	2052	1.010	1.005	1.85
38	0.70	2062	2033	2054	1.014	1.004	2.03
39	0.70	2062	2023	2040	1.019	1.011	2.22
Moyenne		2043	2020	2033	1.011	1.005	2.20
Ecart-type		16	17	15	0.004	0.003	0.29

ANNEXE E

PROSPECTUS DES ADJUVANTS

ANNEXE E.1

LE SIKALATEX ET SES UTILISATIONS

Présentation

SIKALATEX est une dispersion aqueuse de résine synthétique qui se présente sous la forme d'un liquide laiteux, concentré.

Parfaitement soluble il s'ajoute directement à l'eau de gâchage des mortiers de ciment.

Caractères généraux

Liquide blanc laiteux.

Densité : voisine de 1.

Matières actives 50 % environ.

SIKALATEX

- améliore fortement l'adhérence du mortier sur tout support, même lisse (béton, pierre, brique, métaux ferreux, verre et céramique).
- rend le mortier plastique et facile à mettre en œuvre.
- augmente les résistances à la traction.
- limite le risque de fissuration.
- apporte une imperméabilité élevée.
- améliore la dureté de surface.
- réduit l'usure et le poussilage.

SIKALATEX conserve ses qualités, même en milieu humide ou en immersion.

SIKALATEX est compatible avec tous les ciments, et la chaux.

Domaine d'application

Enduits et chapes.

- accrochage des enduits et chapes de ciment sans piquage préalable.
- enduits imperméables pour réservoirs et piscines d'eau douce et d'eau de mer.
- chapes de haute résistance à l'usure même en présence d'eau : seuils sous vanne, radiers soumis à des efforts d'érosion.

Jointoiment.

Joints de maçonnerie durables et étanches.
Joints de prédalles et de panneaux préfabriqués.

Ragrages et réparations

Reprofilages et réparations d'épaufrures même sur béton armé ou précontraint.

Collages

Collages d'îlots directionnels et de bordures de trottoirs sur béton ou sur enrobés.

Travaux de finition de couverture (embarrures, solins, souches).

Collage et durcissement des plâtres

Collage par barbotine conformément au DTU 25-1.
Réalisation de plâtres durs et étanches.

Reprises de bétonnage

Reprises entre coulées successives de béton par incorporation de SIKALATEX dans un mortier de liaison.

Pose de carrelages

Mortier de pose de carrelages et collages de parements.

Barbotine d'imperméabilisation et coulis d'injection

Barbotine d'imperméabilisation sur murs humides.
Barbotine d'imperméabilisation et de consolidation sur revêtement en enrobés bitumineux.

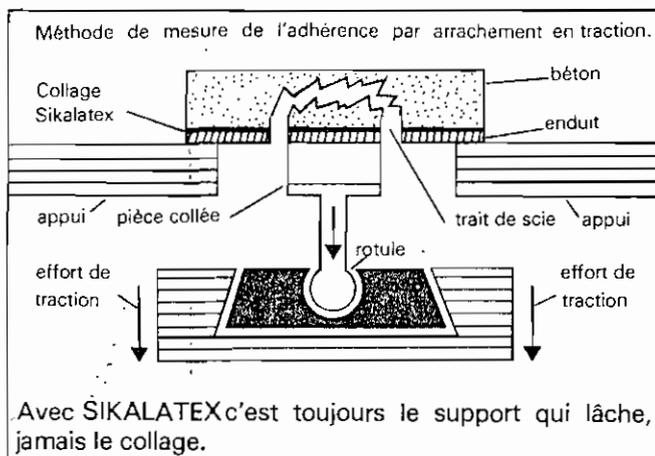
Protection des armatures et amélioration de l'adhérence acier-béton.

Voile de ragréage étanche mis en place au projex.

Injection de fissures ou de béton poreux.

Scellements

Scellements imperméables et sans fissuration.



Travaux préparatoires

Préparation des supports :

Ils seront solides et en bon état, propres et débarrassés des parties non adhérentes; ils seront largement imbibés d'eau sans flaques en surface.

Préparation de la solution Sikalatex :

1 volume de Sikalatex
2 volumes d'eau.

Préparation de la barbotine Sikalatex :

1 volume de ciment
1 volume de sable
Gâcher jusqu'à consistance crémeuse avec la solution Sikalatex.

Préparation du mortier Sikalatex :

1 volume de ciment
2 volumes de sable 0-3
Gâcher jusqu'à consistance voulue avec la solution Sikalatex.

Mode d'emploi

Malaxage :

- à la main comme un mortier ordinaire
- avec une bétonnière ou un malaxeur verser le mortier dès qu'il est homogène et éviter tout malaxage prolongé.
- Le mortier peut être accéléré en ajoutant 1 litre de Sika 3 par sac de 50 kg de ciment.

I. Enduits

Pour obtenir une bonne adhérence des enduits sur béton brut ou lisse et sur toutes maçonneries :

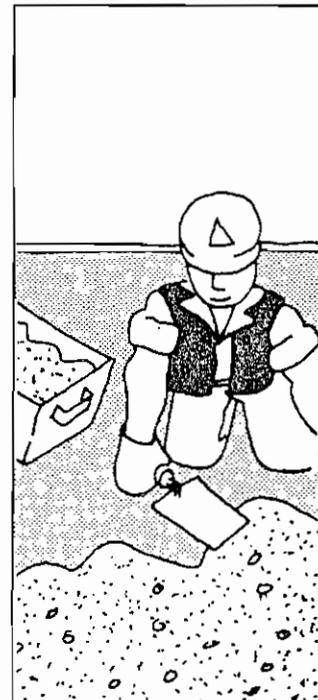
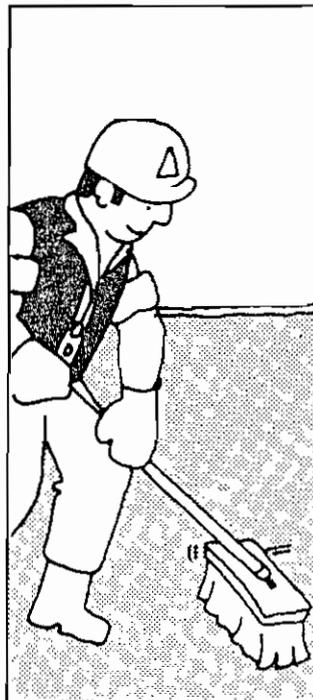
- Préparer les supports comme indiqué ci-dessus.
- Faire un gobetis à l'aide du mortier Sikalatex réalisé avec un sable grenu pour obtenir une surface d'accrochage rugueuse.
- Laisser tirer le gobetis avant d'enduire la paroi (dur à l'angle).
- Appliquer l'enduit proprement dit, dresser à la règle, garder une surface rugueuse.
- Faire la couche de finition.



II. Chapes

Pour obtenir une bonne adhérence des chapes :

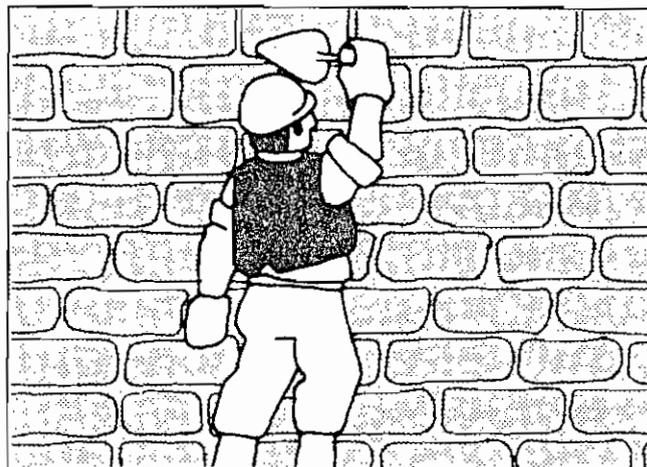
- Préparer les supports comme indiqué ci-dessus.
- Etaler la barbotine Sikalatex en couche mince de quelques millimètres d'épaisseur au balai de cantonnier (utiliser le même sable).
- Sur cette barbotine encore fraîche et poisseuse exécuter la chape proprement dite.
- Pour obtenir une chape présentant une bonne résistance à l'usure et peu sensible à l'action des huiles et graisses :
 - procéder comme ci-dessus pour la couche d'accrochage,
 - sur la barbotine encore fraîche et poisseuse, exécuter une chape avec un mortier Sikalatex gâché avec la solution spéciale suivante :
 - 1 volume de Sikalatex
 - 3 volumes d'eau.
- Protéger contre la dessiccation en pulvérisant sur la chape la solution Sikalatex dès le virage au mat du mortier, puis en humidifiant la chape après 24 heures.



III. Joints de maçonneries

Pour réaliser des joints apparents durables et étanches :

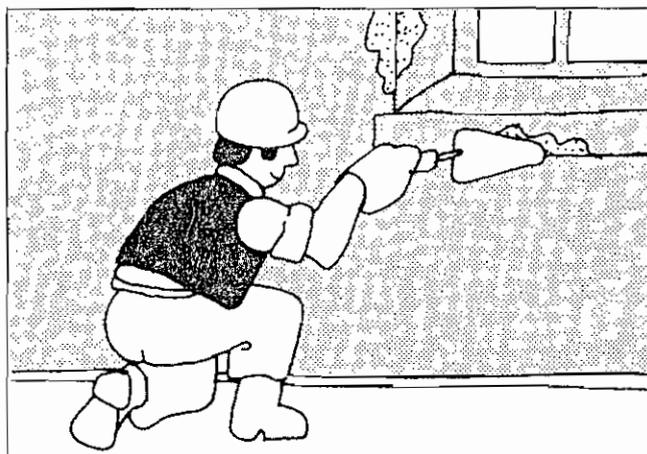
- Si nécessaire, refouiller les joints horizontaux et verticaux sur quelques centimètres de profondeur.
- Les laver au jet d'eau sous pression.
- Garnir les joints encore humides avec le mortier SikalateX, gâché assez ferme, pour obtenir une bonne adhérence et une étanchéité améliorée des joints.
- Eviter les joints saillants ou trop profonds (DTU 20.11).



IV. Ragréages - Réparations (sols, enduits, béton)

Pour procéder à des ragréages solides et nets :

- Procéder à la préparation habituelle du support.
- Préparer un mortier SikalateX gâché ferme avec un sable assez fin.
- Imprégner la partie à ragréer avec la solution SikalateX.
- Avant séchage de cette imprégnation appliquer et serrer le mortier SikalateX.
- Finir aussitôt les ragréages, reprofilages d'arêtes, recharges de dressement.
- Les trous laissés par les broches d'écartement des coffrages seront obturés efficacement et de façon durable avec un mortier SikalateX.



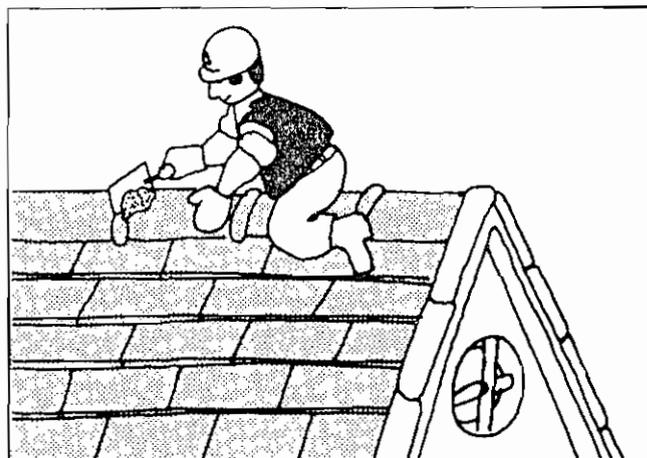
V. Travaux de finition de couverture

Embarrures et crêtes de tuiles faitières.

Raccords d'enduits des maçonneries et solins de rives.

Enduits de souches et solins.

- Préparer les supports qui devront être propres et humidifiés.
- Appliquer le mortier SikalateX de la même manière que le mortier habituel.
- Protéger contre la dessiccation.



VI. Collages des plâtres — Plâtre imperméable

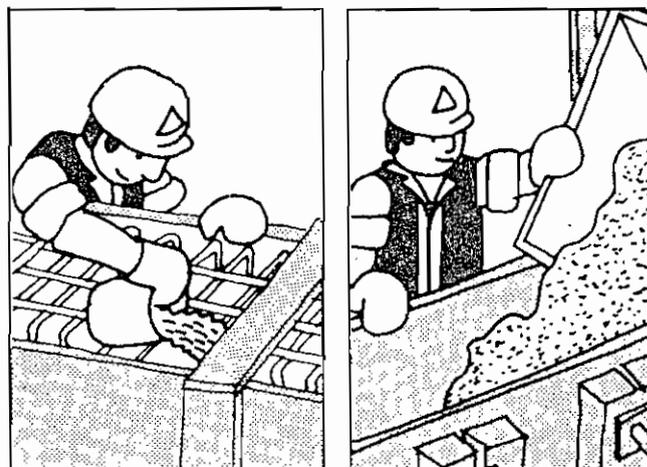
Pour traiter les plâtres soumis à l'humidité :

- Gâcher le plâtre avec la solution SikalateX spéciale à 1 volume de SikalateX, pour 4 volumes d'eau.
- Faire un gobetis rugueux en couche d'accrochage.
- Le plâtre fort gâché avec la solution SikalateX devient dur et imperméable.
- Il durcit plus rapidement.

VII. Reprises de bétonnage.

Pour obtenir une bonne liaison du béton frais sur béton durci et prévenir les défauts d'imperméabilisation de la surface de reprise :

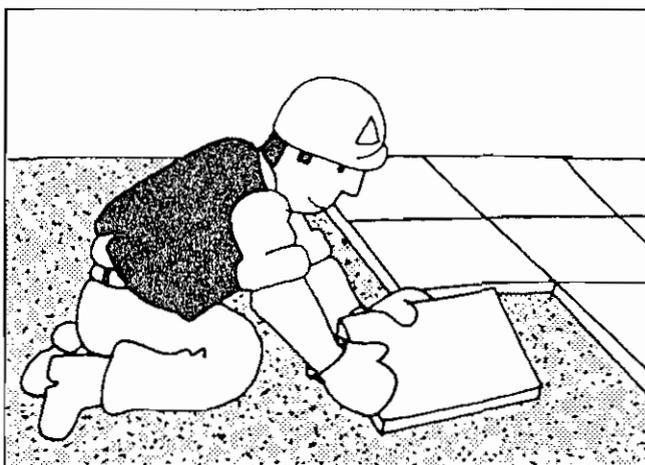
- Laver au jet d'eau sous pression le béton de la surface de reprise.
- Préparer un mortier SikalateX gâché à consistance plastique.
- Répandre le mortier SikalateX sur la surface humide en couche de 2 à 3 centimètres.
- Couler aussitôt le béton.
- Vibrer soigneusement la zone de reprise pour une bonne interpénétration du mortier et du béton.
- Utiliser une hauteur de banches compatible avec les moyens de serrages utilisés sur le chantier.



VIII. Pose de carrelage

Pour améliorer l'adhérence des carrelages :

- Sur murs - Les carreaux, sur béton lisse ou sur maçonnerie enduite seront appliqués comme à l'habitude suivant la nature des carreaux à l'aide d'un mortier SikalateX.
- La pose au mortier SikalateX permet d'obtenir une adhérence parfaite et durable, en présence d'eau et même d'eau de mer (piscines).
- Au sol - Le support ou la forme (béton armé, béton maigre ou chape) devront être sains, propres et humidifiées sans excès.
- Etaler un mortier SikalateX au dosage spécial :
 - 1 volume de ciment
 - 3 volumes de sable
 gâché à consistance assez ferme avec la solution SikalateX, sur une épaisseur de 1 à 2 cm.
- Tirer soigneusement à la règle.
- Fixer les carreaux à la batte au fur et à mesure de l'avancement, avant tout début de prise, de telle sorte que le mortier reflue légèrement dans les joints.
- Le coulis pour joints peut être exécuté au ciment pur gâché avec la solution SikalateX.



IX. Travaux d'imperméabilisation

Pour imperméabiliser les parois des maçonneries humides, des bassins, regards :

- Préparer les parois intérieures qui doivent être saines, nettoyées et humidifiées.
- Appliquer la barbotine SikalateX, faite avec un sable fin, au pinceau à badigeon, en plusieurs couches croisées.
- Dans le cas de murs humides la barbotine peut être accélérée pour éviter son délavage en remplaçant dans la solution SikalateX 1 volume d'eau par un volume de SIK 4 a, ce qui donne pour la solution de gâchage : 1 volume SikalateX + 1 volume de Sika 4 a + 1 volume d'eau.

X. Scellements

Pour réaliser des scellements imperméables et sans fissuration ni faïençages :

- Préparer la réservation qui doit être propre, sans poussière et humidifiée.
- Imprégner les parois avec la solution SikalateX.
- Bourrer aussitôt avec le mortier SikalateX, maintenir en place la pièce à sceller jusqu'à durcissement.
- Pour accélérer le durcissement du mortier on peut ajouter SIK 3 à raison de 1 litre de SIK 3 pour 50 kg de ciment.

Consommation

- En couche d'accrochage
0,120 L par m² et mm d'épaisseur.
- En mortier SikalateX
0,600 L par m² et cm d'épaisseur.
- En imperméabilisation
0,100 L par m²

Conditionnement - Stockage

Pack de 10 bidons de 2 litres
Tonnelet de 30 litres

- Stocker à l'abri du gel.

Précautions

Manipulation non dangereuse.

- En cas d'ajout de Sika 4 a, mettre des gants.

"Le produit est assuré auprès de la Société Mutuelle d'Assurance du Bâtiment et des T.P. (Contrat n° 004 966 M 752) au titre de la responsabilité professionnelle fabricant."

Sika s.a.

Siège social

101, rue de Tolbiac

75654 Paris Cedex 13

Tél.: (1) 45.83.44.11 - Fax : (1) 45.84.89.29



Les renseignements fournis par la présente notice sont donnés à titre indicatif. Ils sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Ils n'entraînent aucune dérogation à nos conditions générales de vente. Ils ne peuvent en aucun cas impliquer une garantie de notre part, ni engager notre responsabilité quant à l'utilisation de nos produits.

ANNEXE E.2

LE SIKAMENT FF86

ADJUVANTS DU BETON

SIKAMENT FF 86

Super-plastifiant pour bétons à hautes performances



Conforme à la norme NF P 18-336 - Conforme à la norme ASTM C 494 Type F

Présentation

Le SIKAMENT FF 86 produit de synthèse, est un réducteur d'eau très puissant. Il permet la confection de bétons à très faible E/C ayant des résistances mécaniques très élevées à toutes les échéances et en particulier aux jeunes âges.

Caractères Généraux

Liquide brun-gris

Densité : $1,23 \pm 0,02$ pH : 9 ± 1 Teneur en ions Cl⁻: inférieure à 1 g/l.**Domaines d'application****• Bétons à hautes performances**

Le SIKAMENT FF 86 permet de réduire très fortement la quantité d'eau de gâchage du béton tout en maintenant sa maniabilité, son utilisation conduit à l'obtention d'un béton à compacité élevée et à des gains de résistances très importants.

Le SIKAMENT FF 86 est utilisé pour :

- les bétons à caractéristiques mécaniques initiales et finales élevées,
- les bétons spéciaux de génie civil,
- les ouvrages d'art,...

• Préfabrication

Le SIKAMENT FF 86 permet d'atteindre des résistances élevées à très court terme d'où une économie de temps et d'énergie dans les usines de préfabrication lorsque des résistances importantes sont nécessaires à la manipulation des pièces telles que :

- voussoirs,
- poutres précontraintes ...

• Silice micronique

L'emploi du SIKAMENT FF 86 dans des bétons additionnés de silice micronique autorise, par la déluculation des grains de ciment et de silice, l'obtention de très faibles rapports E/C.

Sans modification de formulation et avec des granulats de qualité courante, les bétons peuvent atteindre des résistances supérieures à 70 MPa.

Leur très faible perméabilité leur confère une durabilité exceptionnelle à l'égard des agressions physiques (gel-dégel, abrasion...) et chimiques (carbonatation, alcalis-réaction, environnements agressifs...). Nous consulter.

Dosage - Mode d'emploi

Plage d'utilisation : 0,4 à 2 % du poids du ciment selon les performances recherchées.

Ce dosage pourra être dépassé pour obtenir des réductions d'eau très importantes notamment lors la confection de bétons avec silice micronique.

Le SIKAMENT FF 86 peut être introduit dans l'eau de gâchage, mais il présente la plus grande efficacité lorsqu'il est introduit dans le malaxeur sur le béton déjà mouillé.

On veillera dans ce cas à respecter un temps de malaxage suffisant pour une bonne répartition dans la masse du béton.

Conditionnement - Emballage - Stockage

Fût de 250 kg. - vrac.

Ce produit peut geler mais une fois dégelé lentement et homogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.

En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Précautions d'emploi

En cas de contact avec la peau, laver à l'eau.

Indications normalisées

Temps de fin de prise selon NF P 18-356

	CPA 55 HTS Le Teil		CPA 55 FC Gargenville	
	20°C	5°C	20°C	5°C
Dosage				
Témoin	6 H 45	18 H	6 H 30	18 H 30
0,5 %	5 H 30	14 H 30	5 H 45	12 H
1,3 %	5 H 45	10 H	6 H 15	11 H 30

ANNEXE E.3

PLASTIFIANTS UTILISABLES

ADJUVANTS POUR BETONS, MORTIERS ET COULIS ADMIS PAR L'AFNOR

La liste que nous publions ci-dessous résume les principaux fournisseurs de familles d'adjuvants pour bétons, mortiers et coulis disponibles, agréés par l'Afnor et répondant aux normes NF. Sont indiqués ci-après, après le nom du produit, sa plage d'utilisation en pourcentage, puis, entre parenthèses, son fabricant.

Accélérateurs de prise sans chlore

- NFP 18-331
- Ceraxel 335 (0,8-3,0) (*Chryso, Léandre Vincent*);
 - Daraset (1,0-0,50) (*Société Grace*);
 - Résivit (0,5-3,0) (*CIA-Condât Industries Adjuvants*);
 - Sikaprise SC2, fonction secondaire accélérateur de durcissement (1,0-2,5) (*Sika*);
 - Cimaccel 240, fonction secondaire accélérateur de durcissement (1,0-3,0) (*Axim*);
 - Techniprise 25 (0,5-6,0) (*Technique Béton*);
 - Pozzolith 555 (0,8-2,0) (*Master Builders*).

Accélérateurs de durcissement sans chlore

- NFP 18-332
- Cerrapid (0,9-2,5) (*Chryso*);
 - Plastocrete 160 (0,2-0,35);
 - Sika super rapid (0,25-1,00) (*Sika*);
 - Gamabar (0,6-1,1);
 - CRD 22 S (0,15-0,30) (*Technique Béton*);
 - Pozzolith 501 A (0,30-0,60) (*Master Builders*).

Fluidifiants superplastifiants

- NFP 18-333
- Cerfluid 30 (0,60-1,55); Résine GT (0,6-5,0); Chryso-superplast 15 (0,6-2,0); Chryso-superplast CB 30 (0,61-2,42); Chryso-superplast 760, fonction secondaire retardateur de prise (0,3-1,8); Chryso-superplast LS, fonction secondaire retardateur de prise (0,3-1,5); Chryso-superplast 40 (0,3-2,5) (*Chryso, Léandre Vincent*);
 - Daracem 200 WG (0,3-2,0) (*Société Grace*);
 - Resiflow BB40 (0,5-2,0); Résiflow N40 (0,5-1,5) (*CIA*);
 - Sikafluid (0,4-1,5); Sikafluid 200 R, fonction second-

naire retardateur de prise (0,5-1,5); Sikafluid 302 (0,7-1,5); Sikafluid HR 401 (0,5-3,0); Sikament 10 (0,35-3,50) (*Sika*);

● Cimfluid 232, fonction retardateur de prise (0,6-2,2) (*Axim*);

● Rheobuild 561, fonction secondaire retardateur de prise (0,4-1,5); Rheobuild 716, fonction secondaire retardateur de prise (0,4-1,5); Rheobuild 1000 (0,4-3,5); Rheobuild 2000 PF (0,5-4,0); Porolith 400 N Rheofluid Norm (0,5-1,6) (*MBT France*).

● Gamafluid, fonction secondaire retardateur de prise (0,35-2,0) (*Technique Béton*).

● Melmentfluid (1,0-5,0) (*SKN*).

● Addiment FM 93 (0,2-2,3) (*Heidelberger Zement*).

Hydrofuges de masse

- NFP 18-334:
- Chrysofuge bleu (1,0-2,50) (*Léandre et Vincent, Chryso*);
 - HM Béton (0,16-0,22) (*Compagnie Industrielle de Recherche*);
 - Résifuge (1,0-2,0) (*CIA-Condât Industries Adjuvants*);
 - Hydrofuge Sika Liquide (0,7-1,5) (*Sika*);
 - Cimfuge, fonction secondaire retardateur de prise (0,8-2,5) (*Axim*);
 - Imperbeton (0,5-2,0) (*Technique Béton*);
 - Pozzolith Pozzofuge (0,17-0,23) (*Master Builders*);

Plastifiants

- NFP 18-335
- Chrysoplast 209 (0,25-0,80) (*Léandre et Vincent*);
 - WRDA 37 (0,30-0,70) (*Société Grace*);
 - Plastiment HP (0,25-0,60) (*Sika*);
 - Pozzolith 391 N Plasti (0,25-0,45) (*MBT France*);

Réducteurs d'eau

- plastifiants
- NFP 18-336
- Durciplast (0,6-2,0); Cerplast (0,2-0,6) (*Léandre et Vincent*);
 - Darex Filplast (0,30-0,55) (*Société Grace*);
 - Resireducto (0,2-0,5); Plasticia (0,15-0,60) (*CIA-Condât Industries Adjuvants*);

● Elveplast (0,3-0,8); Cerplast (0,2-0,6); Agilplast (0,5-2,0); Durciplast (0,6-5,0) (*Chryso*);

● Plastiment BV 40, fonction secondaire retardateur de prise (0,3-1,0); Sikament HR 401 (0,5-3,0); Plastiment BV 100, fonction secondaire retardateur de prise (0,15-0,40); Sikament EF86 (0,4-2,0) (*Sika*);

● Cimplast 115 (0,25-0,60) (*Axim*);

● Pozzolith 395 (0,25-0,60) (*MBT France*);

● Technaplast, fonction secondaire retardateur de prise (0,2-1,0) (*Technique Béton*);

● Melmentplast 40 (0,5-1,5); Melmentplast 20 (1,0-3,0) (*S.K.W.*);

● Addiment BV1 (0,1-0,5) (*Heidelberger Zement*);

● Isola BV 1, fonction secondaire retardateur de prise (0,1-0,5); Isola BV 2 (0,2-0,6) (*Isola Bauchemie*).

Retardateurs de prise

- NFP 18-337
- Chrytard (0,2-1,0); Ceritard (0,2-2,0) (*Léandre et Vincent, Chryso*);
 - Resitard (0,1-1,0) (*CIA-Condât Industries Adjuvants*);
 - Plastiretard, fonction secondaire réducteur d'eau (0,2-0,5); Plastiment Fluide, fonction secondaire réducteur d'eau (0,5-1,5); Sika Retarder (0,2-2,0) (*Sika*);
 - Cimxtard 101 (0,15-1,0) (*Axim*);
 - Pozzolith 200 NS (0,15-0,40) (*MBT France*);
 - Melretard Liquide (0,2-2,2); Melretard Poudre (0,2-2,2) après dilution (*Technique Béton*);
 - Pozzolith 100 XR Tard (0,20-0,55) (*Master Builders*);
 - Addiment VZ2 (0,2-0,6) (*Heidelberger Zement*).

Entraîneurs d'air

- NFP 18-338
- Darex Air AEA (0,05-0,10) (*Société Grace*);
 - ACM2 (0,20-0,60); Resi Air (0,01-0,15) (*CIA-Condât Industries Adjuvants*);
 - Chryso Air (0,07-0,15); Cerygel D10 (0,1-0,3) (*Chryso*);
 - Sika-AER (0,01-0,1); Sika AEA 15 (0,05-0,30) (*Sika*);
 - MBVR Master Entrainer (0,03-0,10) (*Master*).

ARMATURES EN BETON Un certificat

pour Acor Louviers

■ L'usine de Louviers (Eure) du groupe Acor, spécialiste des aciers de construction rationalisés, vient de décrocher le premier certificat de conformité attribué par l'Afcab (Association française de certification des armatures en béton). Cette usine produit des armatures standards pour le béton des maisons individuelles et des petits bâtiments. Créée en novembre 1990, l'Afcab, qui rassemble des producteurs, des grands utilisateurs et des laboratoires de contrôle, doit remplacer, dans le cadre de l'Europe de 1993, la commission interministérielle d'homologation des armatures pour le béton. «Les certifications sont beaucoup plus difficiles à obtenir que les homologations: l'Afcab exige une stricte démonstration de la validité de nos procédures», précise Yves Fasquelle, P-DG d'Acor et président de l'Association pour le développement de l'emploi du treillis soudé.

Les adjuvants à travers l'Europe

■ L'association européenne des fédérations d'adjuvants pour béton (EFCA) publie une liste (1) des producteurs les plus importants dans ce domaine. Elle répertorie les différentes fédérations nationales et leur adresse (France, Allemagne, Norvège, Belgique, Suisse, Hollande, Espagne, Italie, Royaume-Uni). Environ soixante sociétés et organismes figurent dans ce recueil.

(1) L'EFCA, Harcourt, the Common, Kings Langley, Herts WD4 8BL, U.K.

Les mortiers de résine à la loupe

■ L'Observatoire technique de l'Europe et du bâtiment (Oteb), a publié dans la collection du CSTB, un ouvrage intitulé «Les mortiers de résine» (1). La première partie distingue les bétons de résine des bétons modifiés à l'aide de résine. La seconde répertorie les différentes applications de ces bétons: en bardages et vêtements, en revêtements de sol, en produits de décoration et appareils sanitaires et en mortiers de réparation ou de ragréage.

(1) 200 pages, 350 F, librairie du CSTB, 4, av. du Recteur-Poincaré, 75782 Paris.

ANNEXE F

LES DOMAINES D'ACTION DE L'ASSOCIATION SABLOCRETE

ANNEXE F

LES DOMAINES D'ACTION DE L'ASSOCIATION SABLOCRETE

L'association SABLOCRETE créée en 1988 pour une durée de cinq ans (prolongée à sept ans) a pour objectif de promouvoir l'usage courant du béton de sable et son développement en France. Elle travaille en étroite collaboration avec les universités, laboratoires et autres instituts techniques. Elle mène des actions de coopération avec la Communauté des Etats Indépendants (C.E.I) et l'Algérie.

Si cette procédure qui mobilise des fonds publics et privés importants a été mise en place, c'est qu'il apparaissait indispensable d'approfondir les connaissances que l'on avait du matériau, d'optimiser les formulations de bétons de sable déjà connues et de valider par la réalisation d'ouvrages, les résultats en laboratoire.

Ses actions sont organisées suivant deux directions:

- les actions de recherche approfondies: elles concernent la formulation des produit, la définition de leur performances, le suivi de leur comportement; c'est le domaine des universités, laboratoires et centres techniques;
- les actions pilotes de développement : elles concernent la mise en place d'un savoir faire technique(matériel de fabrication et mise en oeuvre) et économique(maîtrise des coûts); c'est le domaine privilégié de l'entreprise.

1 - LES ACTIONS DE RECHERCHE :

Ces actions ont été orientées suivant 9 thèmes :

. Thème 1 : Les sables propres.

- Mise au point d'une méthodologie de formulation des bétons de sable : à partir d'une centaine de formulations de bétons de sable, est engagée une approche méthodologique de la formulation des bétons de sable, qui associe le CEBTP, le LCPC, l'ENTPE et divers partenaires du Projet National.

- Appréciation des risques alcali-réaction du béton de sable : cette étude démarre en 1992 au CEBTP - Saint Rémy, en collaboration avec M. POITEVIN, Ingénieur Conseil.

. Thème 2 : Les fillers.

- Relations entre les caractéristiques des fillers et les performances des bétons de sable dans lesquels ils sont employés : cette étude (L.R.P.C. BORDEAUX - INSA LYON) montre notamment l'influence de la nature et du dosage en filler sur la maniabilité et la résistance.

Cette étude, portant sur sept fillers, sera complétée, en 1992, d'une recherche de l'influence de l'addition de fines siliceuses dans les bétons de sable.

- Emploi de sable de laitier cristallisé et/ou de filler de laitier cristallisé ou vitrifié pour la réalisation de bétons de sable (CEBTP ST REMY, Centre Technique et de Promotion des Laitiers de haut-fourneau) : cette étude montre le rôle de la finesse du filler, mais aussi du rapport sable/filler, dans l'amélioration des performances mécaniques et de durabilité.

. Thème 3 : Les liants spéciaux.

On s'attachera dans ce thème non encore abordé à déterminer les avantages éventuels et les limites d'emploi de liants autres que le ciment.

. Thème 4 : Les sables avec fines naturelles.

- Contribution à la mise en évidence des mécanismes d'interaction entre ciment et fines limoneuses et argileuses: cette recherche, (L.R.P.C. BORDEAUX - INSA LYON) pourrait déboucher sur la possibilité d'exploiter des gisements de sables jusqu'alors inemployés.

- -

. Thème 5 : Rhéologie des matériaux frais.

- Etude des propriétés rhéologiques à l'état frais des bétons de sable : travail de fin d'études envisagé à l'E.N.T.P.E. - LYON.

- Etudes sur les bétons fluides : ces études très lourdes réalisées par le L.C.P.C. et le C.E.B.T.P. devraient permettre de :

- . développer un matériel capable de mesurer les caractéristiques d'un béton fluide ;
- . rédiger des recommandations pour améliorer les conditions de pompabilité ;
- . adapter les conditions du contrôle des bétons fluides.

. Thème 6 : Comportement différé des bétons de sable.

- Adhérence des armatures (L.R.P.C. - BORDEAUX) : cette étude a notamment montré la relation entre la valeur de l'adhérence et le niveau de résistance du béton de sable.

- Etude du retrait instantané, de la résistance en compression et en traction de différents types de béton de sable : étude E.N.P.C.

- Thèse sur le fluage et le retrait différé (M. BENAÏSSA, Université de BORDEAUX, et L.R.P.C. - BORDEAUX) : M. BENAÏSSA soutient sa thèse en Octobre 1992.

- Etude de la durabilité de différentes formulations de bétons de sable : cette étude (C.E.B.T.P. ST REMY - INSA TOULOUSE) débouche sur la détermination expérimentale des caractéristiques fondamentales de durabilité de 3 formulations différentes de béton de sable.

Elle se poursuit sur cinq bétons de sable mis en oeuvre sur ouvrages en vraie grandeur, d'âges compris entre 3 et 11 ans. Le CEBTP, le LCPC, le LRPC - BORDEAUX et divers partenaires du Projet National sont associés à cette seconde phase.

. Thème 7 : Recherche d'amélioration par ajouts.

- Bétons de sable hautes performances : après avoir démontré qu'il est possible d'obtenir des bétons de sable à hautes performances, l'étude (C.E.B.T.P. ST REMY) caractérise les formulations mises au point.

- Les bétons de sable fibrés : cette étude, (INSA LYON) mesure l'influence de l'apport de fibres.

- Adjuvantation des bétons de sable (INSA LYON) : l'étude, entreprise en 1992, porte sur la méthodologie de l'adjuvantation des bétons de sable et la recherche d'un système optimal d'adjuvants pour bétons de sable.

. Thème 8 : Recherche sur éléments de structure.

- Etudes thermiques sur le béton de sable : cette étude, (L.R.P.C. BORDEAUX) vise à caractériser le comportement thermique des bétons de sable, par une série d'essais sur trois formulations différentes.

. Thème 9 : Mise au point de technologies nouvelles de fabrication et de mise en oeuvre.

- Bétons de sable hypercompactés : cette étude (C.E.B.T.P. ST REMY) a démontré la faisabilité de blocs de construction compacts à démoulage immédiat, de performances variables ; elle se poursuit pour optimiser les méthodes de fabrication et caractériser les comportements des produits.

- Etudes technologique de l'optimisation du malaxage des bétons de sable : cette étude (C.E.B.T.P. ST REMY) vise à optimiser les techniques de malaxage dans le sens de l'amélioration des caractéristiques de compacité, résistances et durabilité des bétons de sable.

2 - LES ACTIONS PILOTES DE DEVELOPPEMENT.

Quatre grands domaines sont distingués : routes, bâtiment, ouvrages d'art, équipements divers. Les organismes chargé du suivi technique des opérations sont mentionnés entre parenthèses.

-

- Domaines Routes :

. Dalles de chaussées rigides.

- CAZAUX (33) : Exécution d'une chaussée en béton de sable avec variantes de couches de roulement (L.R.P.C. - BORDEAUX) : fabriqué avec du sable de dune du site, brut d'extraction, avec ajout de sable fillérisé, le béton de sable s'est révélé fiable techniquement et économiquement pour la mise en oeuvre d'une chaussée routière à l'aide d'une slip-form (photo 1).

- Aire de Boyer (A6) : Exécution d'une chaussée en béton de sable armé continu, revêtu de bétons drainants (L.R.P.C. - AUTUN) : la technique du béton armé continu est applicable industriellement à un béton de sable, fabriqué à base de sable calcaire concassé 0/6.

- BISCAROSSE (40) : Section de voirie en béton de sable compacté, armé ou non de rubans crantés (L.R.P.C. BORDEAUX). On a pu constater que :

. avec des matériaux strictement locaux et un matériel relativement rustique peut être mis en oeuvre un béton de sable routier compacté ;

. l'apport du ruban cranté sur ce béton de sable, dans l'évolution de la fissuration, est très significatif (photo 2).

- SOUPES SUR LOING (77) : Mise au point d'une méthode de dimensionnement de chaussée en béton de sable : Cette opération, très mobilisatrice, (S.E.T.R.A., L.C.P.C. et 4 Laboratoires Régionaux, Société G.S.M., Syndicat des chaussées béton) consiste en la réalisation d'une chaussée en béton de sable, de diverses épaisseurs ; le suivi et l'analyse du comportement sous trafic pendant 12 mois permettront d'appréhender, fin 1992, le dimensionnement optimal de ce type de chaussée.

. Equipements annexes de la route.

- Bordures-caniveaux en béton de sable extrudé : ce chantier (L.R.P.C. BORDEAUX) a permis de mettre en oeuvre des bordures-caniveaux en béton de sable extrudé avec du matériel réservé au béton classique. Les caractéristiques mécaniques obtenues sont correctes et l'aspect fini séduisant (photo 3).

Des séparateurs de voies en béton de sable extrudé vont également être réalisés, ainsi que des pistes cyclables.

- Domaine bâtiment.

. **Dallages industriels** (C.E.B.T.P. - BORDEAUX).

Une première phase de l'opération a démontré la faisabilité technique d'un dallage de trottoir polychrome en béton de sable, fabriqué et mis en oeuvre avec du matériel de chantier tout-à-fait traditionnel (bétonnière), et diverses sortes de sables locaux (photo.4).

Une 2ème phase a vu la mise en oeuvre d'un béton de sable de centrale BPE, en 2 teintes, sur une place circulaire de 600 m² où sont recherchées des qualités de maniabilité et d'esthétique.

A noter qu'en parallèle du programme, mais avec l'appui du projet national SABLOCRETE, ont été réalisés au CAP FERRET (33) un dallage et des plaques de parement, respectivement fabriqué et préfabriquées sur place, avec du sable du site et du matériel ordinaire de chantier, en béton de sable désactivé : le maître d'oeuvre a retenu le béton de sable pour sa parfaite adaptation aux conditions sévères d'aspect et d'intégration dans le site (photos 5 et 6).

. **Dallage industriel autocompactant** (INSA - LYON).

Ce chantier, programmé pour Septembre 1992 à DIJON, d'un dallage industriel de 800 m², permettra d'expérimenter la fabrication, la mise en oeuvre, les performances et le comportement réels d'un béton de sable fluidifié à base de sables locaux, de cendres volantes et de fibres polypropylène.

Des variantes avec du filler calcaire, ou une charge de gravillons, ou des fibres acier, ainsi que deux bétons traditionnels (l'un fluidifié et fibré, l'autre non) seront également expérimentés et comparés, selon des critères techniques et économiques.

. **Parpaings** (C.E.B.T.P. - BORDEAUX).

La fabrication industrielle, avec du matériel traditionnel, de parpaings en béton de sable n'a pas rencontré de difficultés. Sur un marché français très concurrencé, la production de blocs de construction en béton de sable, destinés à rester apparents ou de gamme supérieure, actuellement en cours, offre toutefois de meilleures perspectives (photo 8).

- -

. **Poutres** (C.E.B.T.P. - BORDEAUX).

Le béton de sable s'est révélé convenir à la fabrication de poutres ferraiUées et l'opération s'attache à démontrer comment la maniabilité et le bel aspect de surface du béton de sable peuvent être exploités pour le coulage de pièces minces, étriquées, avec des ferrailIages denses ou complexes, exigeant de réelles qualités de parements (photo 9).

. **Prédalles en béton de sable précontraint**
(C.E.B.T.P. - BORDEAUX).

L'objectif de cette opération est la fabrication en usine de prédalles en valorisant les particularités du béton de sable d'une part, la validation en laboratoire des produits d'autre part.

La fabrication de **composants en béton de sable armé ou précontraint**, de type encadrements de baies, poutres ou dalles alvéolées, va également être expérimentée.

. Il est également à noter que des **moulages** de béton de sable colorés (masques, bustes, éléments de bas-relief) ont été effectués avec des résultats ouvrant de réelles perspectives dans le domaine de la décoration extérieure.

. On examinera aussi l'opportunité d'utiliser le béton de sable dans un procédé industriel de **structure composite pour construction antisismique** en Guadeloupe, en substitution du micro-béton actuellement mis en oeuvre.

- Domaine ouvrages d'art .

. **Pieu foré à la tarière creuse** (C.E.B.T.P. - BORDEAUX) : exploitation des propriétés rhéologiques du béton de sable pour la fabrication de tels pieux, avec introduction de la cage d'armature après coulage, dans des terrains de nature variable (photo 10).

. **Pieu foré sous bentonite** (L.R.P.C. - LILLE) : un pieu en béton de sable, à base de sable calcaire fillérisé peu utilisé et de cendres volantes, a été fabriqué et mis en service sous une culée de pont. La maniabilité du produit, sa cohésion, l'absence de ségrégation ont démontré son intérêt technique mais aussi économique (photo 11 et 12).

. **Comblement de cavités sous fondations de piles de pont (L.R.P.C. - TOULOUSE) :**

Béton coulé à sec : fabriqué à partir de sable lavé et de filler calcaire locaux, le béton de sable, par ses propriétés rhéologiques, a confirmé sa capacité, par simple gravité, de garnir des vides étroits et peu accessibles. Sa facilité de mise en oeuvre, liée à des performances en résistance et durabilité satisfaisantes, en font le matériau adapté à ce type de chantier (photo 13).

Béton immergé : de par son homogénéité, le béton de sable n'est pas soumis à ségrégation et résiste bien au délavage, ce qui, allié à son aptitude au pompage et à l'auto-compactage, le rend particulièrement adapté au coulage en immersion, au tube plongeur. Et l'on a pu constater que, sous l'eau, le béton de sable se répand beaucoup plus aisément, et dans des espaces plus réduits, qu'un béton traditionnel, sans effort supplémentaire au pompage.

. **Confortement de digue par injection de béton de sable - ARCACHON - (L.R.P.C. - BORDEAUX) :** ce chantier a vu la mise en oeuvre de 400 m³ de béton de sable pompé, injecté sous faible pression au travers des enrochements d'une digue, pour en assurer l'étanchéité et la stabilisation.

Le comportement thixotropique du matériau permet d'une part de bien garnir les vides, d'autre part de limiter le volume injecté au seul volume utile.

. En 1992, une étude pratique comparée de l'apparition - ou non - de phénomènes de ségrégation dans des bétons de sable et des bétons traditionnels sera réalisée, dans le but de quantifier finement les différences de comportement.

. La faisabilité de micro-pieux de type 1 en béton de sable fera également l'objet d'une étude en laboratoire et d'un essai en vraie grandeur.

- Equipements divers.

. **Enrochements artificiels (L.R.P.C. - BORDEAUX) :** douze blocs de type Accropodes (R) en béton de sable (sable brut du site), ont été préfabriqués sur site et mis en place sur une digue composée de blocs Accropodes traditionnels. L'utilisation du sable local assure un intérêt économique, les premiers essais de validation technique sont satisfaisants (photo 14).

- -

Dans la continuité de cette opération, une série de blocs, destinés à la protection d'ouvrages maritimes ou non, a été réalisée à partir d'une formulation de béton de sable à base de sable de dune et de cendres volantes.

. Conduites d'assainissement en béton de sable armé et non armé (C.E.B.T.P. - BORDEAUX) : fabriquées en usine avec des matériaux locaux et des moyens techniques existants, ces conduites ϕ 300 mm présentent des caractéristiques très satisfaisantes et ont l'avantage commercial d'un très bel aspect de surface (photo 15).

En 1992, 64 mètres de conduites en béton de sable, de diamètre 800 mm, ont été instrumentés et mis en oeuvre sur un tronçon en service. Leur suivi pendant un an devra permettre de caractériser leur comportement en situation.

. Réhabilitation de collecteur visitable (L.R.P.C. BORDEAUX) : après optimisation de la formulation du béton de sable et mise au point d'un matériel spécifique pour projection par voie mouillée, un chantier de réhabilitation réalisé à Bordeaux a mis en évidence les très bonnes performances mécaniques du matériau en place, sa simplicité de mise en oeuvre et son net intérêt économique.

. Réhabilitation de collecteur visitable encombré (L.R.P.C. de BORDEAUX et de MELUN, Ville de PARIS). Les résultats obtenus à BORDEAUX ont été confirmés sur un chantier de réhabilitation d'un collecteur encombré de la Ville de PARIS, où, contrairement aux techniques habituelles, il n'a pas été nécessaire de déposer les canalisations empruntant le collecteur (photos 16 et 17).

- Béton de sable projeté.

A la lumière de résultats très positifs observés, notamment en renforcement structurant de collecteurs visitables, il semble que la technique de projection de béton de sable par voie mouillée, à flux dense, ainsi qu'à flux dilué, présente de réelles perspectives de développement. Un groupe de travail national a même été constitué pour mettre au point des recommandations de mise en oeuvre.

SABLOCRETE (associée à ce groupe de travail) prépare pour sa part une action pilote susceptible de fournir de nouveaux enseignements sur la technique et l'efficacité du béton de sable projeté.

o

o o

- -

Parallèlement à ce programme, réalisé en France, diverses **actions de coopération** sont également menées :

- avec l'U.R.S.S., en liaison avec le L.C.P.C. : riche d'informations, cette action a permis l'organisation d'un séminaire franco-soviétique qui s'est tenu à BORDEAUX les 6 et 7 Novembre 1991

- avec l'ALGERIE, en collaboration avec le C.E.B.T.P. : des recherches sont actuellement en cours pour promouvoir l'utilisation du béton de sable dans le domaine bâtiment.

Mais l'abondance de leurs ressources en sable conduisent d'autres pays, tels le SENEGAL et le MAROC, à s'intéresser aux travaux du Projet National SABLOCRETE.

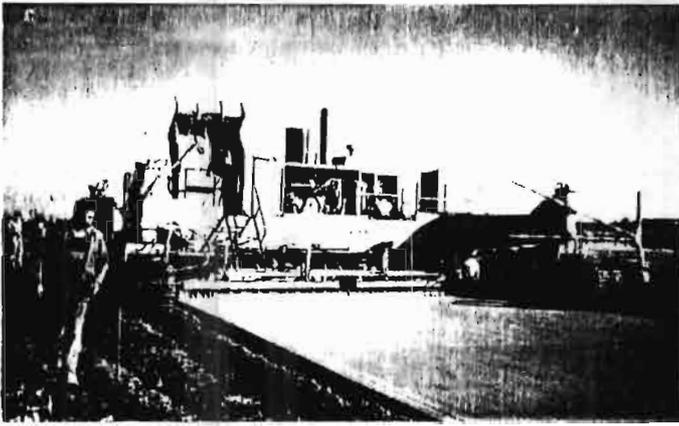
o

o o

Les réalisations présentées témoignent de la faisabilité et de l'intérêt de diverses applications du béton de sable. Il serait toutefois prématuré d'en tirer des conclusions définitives sans compléter et approfondir les connaissances déjà acquises : c'est précisément l'objet du Projet National SABLOCRETE qui devrait poursuivre pendant deux ans encore ses actions.

Mais d'ores et déjà est entamée une réflexion dans le but de traduire les résultats obtenus sous forme, par exemple, de guides pratiques d'utilisation des bétons de sable.

CHAUSSEES, DALLAGES COULES ET ANNEXES



1. Sable du site et béton de sable mis en oeuvre par slip-form.



2. Association du béton de sable routier compacté et du ruban d'acier cranté.
Une expérience utile pour la valorisation des ressources locales.

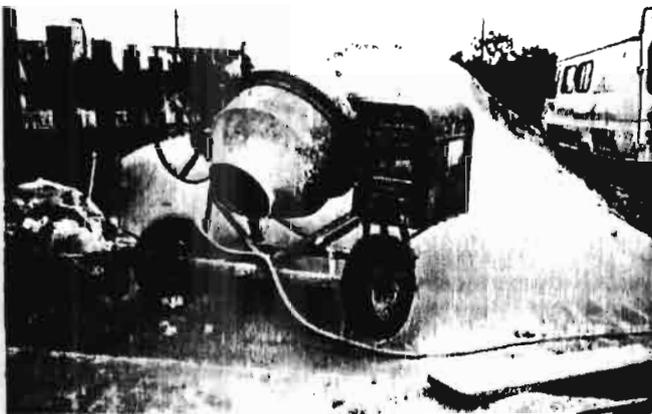


3. Bordure-caniveau en béton de sable extrudé. Les parements sont séduisants.



4. Bétons de sable polychromes pour un trottoir expérimental.

BETON DE SABLE DESACTIVE pour le dallage et le perré d'un belvédère prestigieux



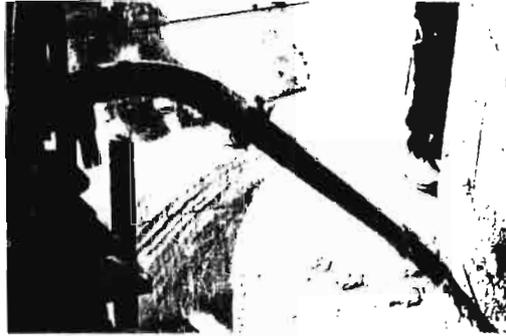
5. Les matériels, les matériaux...



6... Le chantier, le site.

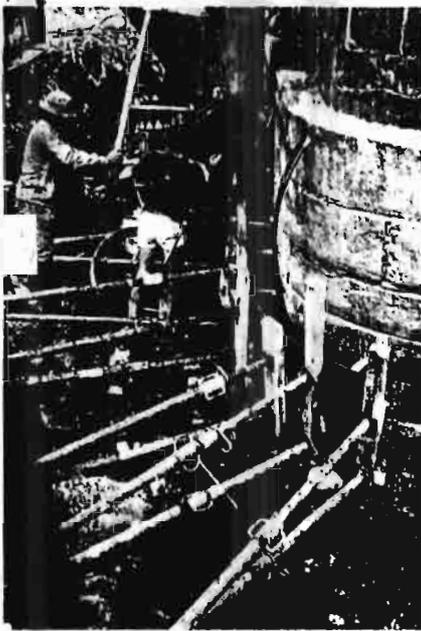
POMPAGE

POUR COMBLEMENT DE CAVITES...



...sous piles de pont, le béton de sable garnit parfaitement les affouillements par simple gravité. Il se révèle également adapté aux techniques de renforcement en sous oeuvre par injection, y compris en immersion .

...à la tarière creuse .



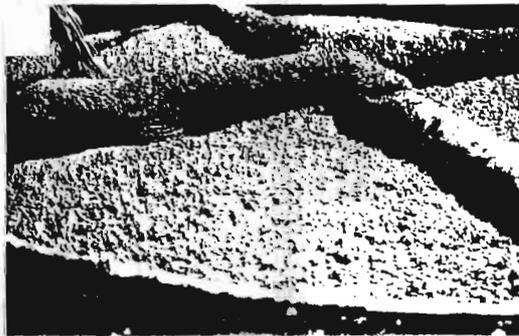
13.

POUR PIEUX FORÉS

...sous bentonite .



10...la pompabilité du béton de sable est appréciée tout comme la possibilité d'introduire une cage d'armature après coulage du pieu .



11 . Des caractéristiques rhéologiques...

12 ...pour un béton sans histoire .

PROJECTION REHABILITATION DE COLLECTEURS VISITABLES

...pendant le chantier le collecteur et les autres réseaux restent en service .

...la projection par voie humide, possible et efficace avec le béton de sable, diminue les pertes par rebonds et améliore les conditions de mise en oeuvre .



16.



17.

ANNEXE G

RAPPELS SUR LES BETONS CLASSIQUES

ANNEXE G

RAPPELS SUR LE BETON CLASSIQUE

Définition:

Le béton est un matériau composite constitué de particules minérales (granulats) inertes cimentées par un liant pour former une masse dense et homogène. Les proportions sont de l'ordre de 70 % pour les granulats et 30 % pour le liant.

Matières minérales (granulats):

- graviers (gros granulats) : cailloux de grosseur plus ou moins importante (diamètre supérieur à 12.5 mm).
- sable (granulats fins) : fin ou grossier (le diamètre peut atteindre 10 mm).

Liant : (ciment Portland mélangé à l'eau = pâte de ciment)

La réaction chimique qui se produit entre le ciment et l'eau fait durcir la pâte jusqu'à ce qu'elle ait la consistance d'une roche.

La quantité de liant dépend presque uniquement des caractéristiques mécaniques (résistance) ou physiques (perméabilité) recherchées.

Dans le dosage, tenir compte de la proportion de vides que contient le granulat. La quantité est exprimée en kg/m^3 de liant sec.

*** Eau:**

Elle doit être propre n'ayant pas une odeur ou un goût prononcé (potable). Elle ne doit pas contenir des matières en suspension au delà de 5g/litre pour un béton courant peu ou non armé. De même les sels dissous ne doivent pas dépasser 30 g/l.

Sa quantité dépend de la granulométrie du granulat et de la quantité de ciment utilisée.

Le clinker est un granulat produit dans le four à ciment qui, une fois moulu, donne naissance au ciment Portland.

*** Ciment:**

Le ciment Portland utilisé peut être défini comme un liant hydraulique fabriqué à partir d'une pierre calcaire et d'une source de silice et d'alumine telle que l'argile. A l'ensemble broyé et cuit, on ajoute une quantité de gypse (il à régulariser le taux initial d'hydratation du ciment).

On peut produire plusieurs types de ciment suivant la variation des proportions des matériaux de base et des matériaux secondaires tels que les cendres, la pouzzolane (roche volcanique siliceuse), le laitier de haut-fourneau (composé de silicates).

Rôle des granulats

Ils doivent être composés de particules qui ont une bonne résistance mécanique, qui peuvent supporter les agents atmosphériques et qui ne contiennent pas de matériaux pouvant avoir des effets nuisibles. Ils influencent fortement le coût du béton.

En effet, ils permettent de produire un matériau ayant une résistance et une durabilité appropriées au plus bas coût possible, en dehors de l'aspect remplissage et support.

Les granulats doivent satisfaire certaines exigences. Ils doivent être composés de particules propres, dures, résistantes et durables, exemptes de tout produit chimique et non recouvertes d'argiles ou de tout autre matériau fin qui pourrait nuire à l'hydratation et à l'adhérence de la pâte de ciment.

Pour du béton de masse normale la masse volumique du granulat en vrac (le volume est occupé à la fois par des granulats et de l'air) varie entre 1200 et 1750 kg/m³.

La plupart des granulats ordinaires ont des densités comprises entre 2.4 et 2.9.

Dans les calculs de béton, on utilise surtout la densité des granulats à l'état saturé superficiellement sec (S.S.S.); c'est à dire que tous les pores des granulats sont remplis d'eau et que leur surface ne retient pas d'eau. Ils n'absorbent ni n'apportent d'eau

au mélange lors du malaxage.

- granulométrie :

Elle influe le plus sur la qualité du béton frais et durci. La dimension des particules d'un sable à béton peut être évaluée d'après son module de finesse (MF).

$$MF = \frac{\sum (160+315+630+1250+2500+5000) \mu m}{100}$$

Les chiffres inscrits dans la parenthèse représentent les ouvertures des tamis (micromètre).

Plus M_f est élevé, plus le sable est grossier et moins le béton est ouvrable. Pour un béton normal nous avons:

2.3 < M_f > 3.1

Si $M_f < 2.3$: il y a une majorité d'éléments fins et très fins.

$M_f > 3.1$: il y a manque de finesse et difficulté d'ouvrabilité

Plus les granulats sont fins, plus il y aura des vides dans le mélange. Or ces vides doivent être remplis par la pâte de ciment. Par conséquent moins le mélange sera économique pour un rapport E/C constant.

Plus les granulats sont rugueux moins ils sont maniabiles mais plus ils sont résistants car ils offrent une meilleure adhérence.

Pour les sables, l'équivalent de sable (ES) pour un béton normal est compris entre 65 et 75.

Deux caractéristiques sont essentielles pour le choix d'un granulat à béton parce qu'elles affectent la maniabilité entre autres; ce sont la granulométrie (dimension et distribution) et la nature des particules (forme, texture, porosité...).

- Gâchage :

La quantité d'eau de gâchage dépend de la grosseur maximale du granulat; plus cette dimension est faible plus il faut d'eau de gâchage.

Dans le cas des mélanges maigres (faible teneur en ciment), on utilisera un sable fin (ayant un faible module de finesse) et pour les mélanges les plus riches on utilisera un sable plus grossier pour des raisons d'économie.

Rapport eau/ciment

Il caractérise le plus souvent la qualité d'un béton par sa résistance en compression parce que c'est commode et très facile à vérifier même si d'autres propriétés comme la durabilité, la résistance à l'usure, l'imperméabilité sont aussi, sinon parfois plus importantes. Dans le domaine des bétons ordinaires, la résistance en compression est inversement proportionnelle au rapport eau/ciment (E/C).

Adjuvants

Les quantités d'adjuvants à employer sont fonction d'un grand nombre de facteurs (nature du produit, nature, finesse et dosage du ciment, module de finesse du sable, dosage en eau).

Les adjuvants sont des produits qui ajoutés au béton en faible quantité permettent d'améliorer certaines propriétés ou qualités soit sur le béton frais soit sur le béton durci. Ces produits sont autres que le ciment Portland.

Ils se trouvent dans le commerce sous forme de poudre, de paillettes ou de liquide. Ils sont utilisés pour:

- 1- diminuer le coût des constructions en béton en réduisant la proportion d'une des composantes par exemple.
- 2- obtenir certaines propriétés dans le béton de la façon la plus efficace (la maniabilité par exemple).
- 3- s'assurer de la qualité du béton durant le malaxage, le transport, la mise en place et le mûrissement dans des conditions mauvaises de température (l'accélération de la prise par exemple en temps d'hiver ou son retardement pendant le transport).

Nous distinguons :

- les plastifiants : produits d'addition pulvérulents extrêmement fins qui ajoutés au béton lui confèrent une meilleure plasticité améliorant ainsi ses qualités de maniabilité ou d'ouvrabilité.

Ex :

- la bentonite : argile très fine dont les grains sont inférieurs au micron. Dosage = 3 à 5 % du poids du ciment.

- la pouzzolane fine ,les fillers calcaires

Les plastifiants sont d'autant nécessaires que le sable utilisé manque de fines ou que le dosage en ciment est faible.

- les fluidifiants : produits très différents chimiquement des plastifiants. Ils produisent une défloculation de la pâte de ciment et les bulles comprises dans les grumeaux qui se dispersent, sont libérés du même coup.

Leur deuxième rôle, le plus important est un rôle de lubrification. Ce processus permet une réduction de l'eau de gâchage (-10 %) sans inconvénient sur la maniabilité du béton.

Le fluidifiant le plus connu (dans la norme Française) est à base de lignosulfonate de calcium et se présente sous forme d'un liquide soluble dans l'eau.

Son dosage est à raison de 0.5 % du poids du ciment et on diminuera l'eau de gâchage de 15 à 20 litres par m³ sans pour autant diminuer la maniabilité. Ce sont des réducteurs d'eau.

Cependant, le retrait au séchage augmente avec leur utilisation.

- Les retardateurs de prise

Ils retardent la prise initiale du béton en retardant l'hydratation et le début de prise du ciment. On les utilise en temps chaud ou lors d'un coulis ou d'un bétonnage où les conditions de mise en place sont difficiles ou inhabituelles.

Exemple :

Les sucres et gluconates, les acides citriques, l'oxyde de zinc, les phosphates alcalins. Leur dosage est très faible.

Les retardateurs de prise diminuent la résistance initiale mais augmentent la résistance finale.

- Les accélérateurs de prise

Ce sont des produits solubles dans l'eau et qui agissent chimiquement en augmentant la vitesse d'hydratation du ciment; cela entraîne un déclenchement de la prise initiale et une augmentation de la résistance initiale. Ce phénomène s'accompagne d'un dégagement de chaleur très important. Ils sont utilisés en temps froid ou pour les travaux urgents.

Le dosage doit être inférieur à 2 % du poids du ciment lorsque les armatures sont recouvertes d'au moins 2 cm.

Cependant, son inconvénient majeur est le retrait au séchage.

Exemples d'accélérateurs:

Les carbonates et chlorures, particulièrement le chlorure de calcium.

- Les entraîneurs d'air

Permettent une diminution du dosage en eau à maniabilité équivalente mais les résistances mécaniques sont affaiblies et cela, d'autant plus qu'elles sont plus élevées.

Ils se présentent sous forme de liquide, de sels solubles ou de poudre à ajouter au moment du malaxage.

- Les hydrofuges

Ce sont des produits qui améliorent l'étanchéité des bétons et protègent de l'humidité en arrêtant l'absorption capillaire à travers un béton qui est en contact avec de l'eau ou de la terre humide.

- Il existe des hydrofuges de masse ajoutés à l'eau de gâchage ou directement dans la bétonnière. Ce sont des produits fins plastifiants qui bouchent les pores du béton (bentonite, fillers); ces produits ne sont efficaces que si le béton est bien compacte et homogène.

- Il existe des hydrofuges de surfaces qui s'appliquent en traitement (de surface) superficiel, au pinceau ou à la brosse sur le béton durci; ils sont à base de silicates, on peut aussi utiliser des peintures bitumineuses.

Il est déconseillé d'appliquer sur le béton des peintures grasses (à l'huile) car la chaux du ciment saponifie les huiles grasses.

- Les antigels (utilisés dans les pays froids)
(accélérateurs, plastifiants ou fluidifiants plus entraîneurs d'air).

Ils évitent le gel du béton frais; en effet, le gel détruit la compacité et stoppe la prise du ciment (le processus d'hydratation ne sera jamais entamé). Comme antigel, on utilise un accélérateur avec un plastifiant ou fluidifiant et éventuellement un entraîneur d'air ou un produit unique réunissant les deux ou trois fonctions précédentes.

- Les antigels

Ils évitent que le béton, une fois durci, se désagrège progressivement dans le temps par suite de gels successifs. Les entraîneurs d'air sont les meilleurs adjuvants antigels mais une bonne compacité et l'homogénéisation du béton restent les conditions essentielles de la non gélivité.

La qualité du béton plastique et du béton durci dépend des caractéristiques de ses différentes composantes. D'où l'intérêt de l'étude de la formulation afin de maximiser les proportions et rendre ainsi le béton économique.

On peut dire qu'un béton est bien dosé si les trois objectifs suivants sont atteints :

- 1- le béton malaxé est maniable,
- 2- le béton durci a les propriétés voulues de résistance, de durabilité et d'apparence,
- 3- le béton est économique.

Pour obtenir une composition de béton économique, il faut essayer de minimiser la quantité de ciment utilisée sans nuire pour autant la qualité du béton. Puisque cette qualité dépend surtout du rapport eau/ciment, il faut donc essayer de minimiser la quantité d'eau de gâchage pour minimiser la quantité de ciment. Notons les méthodes de calculs suivantes:

- la méthode du rapport eau/ciment;
- la méthode des masses;
- la méthode des volumes absolus.

Cependant le calcul d'un mélange n'est qu'un moyen de produire un béton qui aura les propriétés désirées du début à la fin des travaux. En effet, les propriétés (maniabilité, résistance ...) - et par là la qualité de béton voulue - ne peuvent pas être réellement obtenues (même si les matériaux sont convenables) que si la mise en place, la finition et le mûrissement du béton se font selon les règles de l'art.