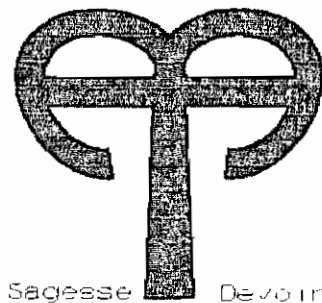


REPUBLIQUE DU SENEGAL  
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP  
**ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES**  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



GC. 0177

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

En vue de l'obtention du diplome d'ingénieur de conception

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

AUTEUR : Adéwolé C. EUSEBIO

DIRECTEURS: Massamba DIENE, Ing, PHD.

Lt. Col. Mbareck DIOP (MEACC)

**DATE:** JUILLET 93

## DEDICACE

A l'Eternel tout Puissant,  
à mes parents,  
à mes frères et soeurs,  
à ma bien-aimée,  
aux familles Segla, Sagbo, Hasumey,  
qui m'ont rendu mon séjour agréable au  
Sénégal,  
à Willi et Descados injustement renvoyés,  
à tous mes amis.

## REMERCIEMENTS

---

A l'issue de ce travail de recherche, aboutissant à la rédaction de ce mémoire, j'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, ont bien voulu m'apporter soutien technique, logistique, et moral. Principalement:

- à la MEACC, qui en me confiant l'étude de ce projet, par delà ma personne, a voulu faire confiance à toute une institution.

- à mon professeur et directeur de Projet, monsieur Massamba DIENE; nous avons beaucoup admiré vos qualités didactiques d'enseignant averti; votre amabilité, votre simplicité, et votre disponibilité nous ont permis de surmonter nombre de difficultés.

- à mon directeur externe, le Lieutenant Colonel M'bareck DIOP, chef du département Optimisation des Moyens (MEACC), votre connaissance des bétons de sable, et surtout l'immense documentation, tant sur les bétons de sable que sur le Canal du Cayor, que vous avez mis à notre disposition, nous ont permis de cerner et d'avancer efficacement dans ce projet.

- à monsieur Gharianni, consultant au bureau d'étude SCET-TUNISIE, nous avons apprécié vos informations concernant les études sur le Canal du Cayor.

- Enfin, à monsieur Lamine Lô, technicien du Laboratoire de béton de l'école Polytechnique de Thiès, votre contribution, surtout à l'essai de perméabilité m'a été très déterminante.

## SOMMAIRE

---

L'étude des "bétons de sable" pour les revêtements des canaux à ciel ouvert, est née des perspectives de recherche/développement au Sénégal sur les "bétons de sable". Elle est de la plus haute importance pour celui-ci, car s'inscrivant dans le cadre de la valorisation des ressources locales, le développement et la vulgarisation de techniques innovantes adaptées à notre contexte et porteur d'une forte valeur ajoutée.

Ce rapport sanctionne les études théoriques et pratiques réalisées aux laboratoires de géotechnique et de béton de l'école Polytechnique de Thiès (EPT). Il consiste en cinq parties: après une première partie: introduction qui campe le sujet, nous avons abordé en deuxième partie, les bétons de sable, en les définissant et en donnant quelques unes de leurs applications dans le génie civil. En troisième partie, nous étudions en laboratoire les propriétés des bétons de sables utilisés en revêtement; ainsi, des essais ont été faits en résistance mécanique pour trouver la formulation optimale de béton qui nous donnera une résistance à la compression de l'ordre de 20 MPa, et en perméabilité et capillarité pour trouver la perte d'eau par infiltration que peut occasionner ce type de matériau. En quatrième partie, nous avons fait une étude économique comparée de l'utilisation des deux types de béton ( béton de sable et béton classique ) dans le cas du revêtement du Canal du Cayor. Enfin en dernière partie, nous avons conclu le travail avec quelques recommandations.

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS . . . . .	I
SOMMAIRE . . . . .	II
LISTE DES TABLEAUX . . . . .	IV
LISTE DES FIGURES . . . . .	VII
CHAPITRE 1: Introduction . . . . .	1
CHAPITRE 2: Les bétons de sable . . . . .	4
<u>2.1)- Définition des bétons de sable</u> . . . . .	5
2.1.1)- Le ciment . . . . .	5
2.1.2)- Le sable . . . . .	5
2.1.3)- Les ajouts . . . . .	6
2.1.4)- L'eau . . . . .	9
<u>2.2)- Applications</u> . . . . .	10
CHAPITRE 3 Etude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement . . . . .	12
<u>3.1)- Résistance mécanique</u> . . . . .	13
3.1.1)- Description de l'essai . . . . .	18
3.1.1.1)- calcul et fabrication d'un mélange . . . . .	18
3.1.1.2)- Confection des éprouvettes . . . . .	20
3.1.1.3)- Essai de compression . . . . .	21
3.1.2)- Calcul des résistances . . . . .	22
3.1.3)- Analyse des résultats . . . . .	27
<u>3.2)- Essai de Perméabilité</u> . . . . .	31
3.2.2) - Résultat obtenu . . . . .	34



## LISTE DES TABLEAUX

---

- Tableau 2.1: Amélioration du béton de sable par  
ajouts successifs
- Tableau 2.2: Valeurs d'eau de mouillage de certains  
produits
- Tableau 3.1: feuille de données et de calcul de la  
gâchée de la formulation 1
- Tableau 3.2: feuille de données et de calcul de la  
gâchée de la formulation 2
- Tableau 3.3: feuille de données et de calcul de la  
gâchée de la formulation 3
- Tableau 3.4: feuille de données et de calcul de la  
gâchée de la formulation 4
- Tableau 3.5: Résultats des essais de compression sur  
cylindre de la formulation 1
- Tableau 3.6: Résultats des essais de compression sur  
cylindre de la formulation 2
- Tableau 3.7: Résultats des essais de compression sur  
cylindre de la formulation 3
- Tableau 3.8: Résultats des essais de compression sur  
cylindre de la formulation 4
- Tableau 3.9 Résultats de l'analyse granulométrique du  
sable de dune
- Tableau 3.10: Résultats de l'analyse granulométrique du  
filler calcaire
- Tableau 3.11: des résultats de l'essai de perméabilité
- Tableau 3.12: des résultats de l'essai 1 de capillarité

Tableau 3.13: des résultats de l'essai 2 de capillarité

Tableau 4.1: Dimensions des différents tronçons  
du canal principal

Tableau 4.2: Prix unitaire des constituants des bétons de  
sable en franc CFA

Tableau 4.3: calcul du coût par tronçon du revêtement du  
canal en béton de sable sans utilisation  
de Sikalutex

Tableau 4.4: prix unitaire des constituants du béton  
classique



## LISTE DES FIGURES

---

- FIG.1: amélioration des performances des bétons de sable par ajouts successifs
- FIG.3: schéma du perméamètre à béton utilisé
- FIG.4: dispositif de l'essai d'absorption capillaire
- FIG.5: courbes d'absorption capillaire sur éprouvettes de béton de sable essai 1
- FIG.6: Autre représentation de l'absorption capillaire sur éprouvettes de béton de sable essai 1
- FIG.7: courbes d'absorption capillaire sur éprouvettes de béton de sable essai 2
- FIG.8: Autre représentation de l'absorption capillaire sur éprouvettes de béton de sable essai 2
- FIG.9: section type du canal

**CHAPITRE I**

Comme tous les pays, le Sénégal est un grand consommateur de gros granulats. Ceux-ci, concentrés dans la région de Dakar et de Thiès, ont des coûts très élevés à cause du transport, et des charges d'énergie de concassage. Donc, pour une réduction des coûts de construction, il est nécessaire de donner une impulsion à l'utilisation des matériaux de "moindre coût", entre autres le sable dont le gisement est immense au Sénégal, et qui est donc un matériau naturel, abondant et bon marché.

Dans cette optique, "le béton de sable" découvert en France, a été introduit au Sénégal tout récemment par le Lieutenant-Colonel Papa Mbareck DIOP, ingénieur des ponts et chaussées, chargé de mission à la MEACC, suite à sa scolarité à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées de Paris. En effet, ce nouveau béton constitue une fort intéressante alternative au béton traditionnel qui, bien que très satisfaisant au point de vue comportement mécanique, n'est pas moins un gros consommateur d'agrégats.

En fait, le béton de sable était un matériau ancien, utilisé antérieurement au béton classique, surtout en actuelle CEI (URSS); par exemple, le port de Kaliningrad et le pont Chernavskif coulé sur place à Voronej (à 500 km environ de Moscou), au début du siècle ont été réalisés en béton de sable. Par ailleurs, beaucoup de ces ouvrages très anciens réalisés en béton de sable tiennent encore, après un siècle environ

d'existence. Ce qui nous rassure sur sa durabilité.

Mais, les bétons de sable étaient tombés en désuétude, avec l'abondance des granulats de plus gros calibre, permettant d'obtenir facilement des niveaux élevés de résistance. Cependant de nos jours, comme dit ci-dessus, les granulats devenant très onéreux, les bétons de sable recommencent à être utilisés de plus en plus en France et beaucoup de programmes de recherche/développement ont été démarré dans le but de trouver une adéquation de ce matériau aux techniques actuelles et aux normes de construction. C'est ainsi qu'un programme national de recherche/développement ( SABLOCRETE ) a été mis sur pied en France, avec pour pôle la région Aquitaine où les agrégats, tout comme au Sénégal, font défaut, et sont concentrés dans le lit de la Garonne.

Ainsi, ce projet qui se propose d'étudier le revêtement des canaux à ciel ouvert par du béton de sable avec application au Canal du Cayor, entre dans le cadre de la recherche-développement au Sénégal.

En effet l'application choisie: le Canal du Cayor, de part son grand linéaire (157 km pour le canal principal), sa grande section trapézoïdale (large de 15.4 à 12.1 mètres, et profond de 2.45 à 2.85 mètres), est donc un ouvrage très important dans le programme de maîtrise de l'eau au Sénégal, qui nous sera d'une

très grande utilité. Ce canal revêt une importance vitale, car il permettra non seulement l'irrigation, mais aussi de combler le déficit en eau potable (120 000 m<sup>3</sup>/j ) de Dakar. D'où la nécessité de limiter l'infiltration par un revêtement qui aura pour rôle l'étanchement mais aussi le soutènement du terrain encaissant. Or le revêtement constitue la rubrique influençant le plus le coût global du Canal du Cayor. D'où l'importance de cette étude, de substituer un autre matériau au béton classique, dont l'utilisation s'avérerait très onéreux dans le cadre de ce projet.

Pour atteindre cet objectif, après cette introduction nous définirons d'abord ce que c'est que les bétons de sable et leurs applications au chapitre 2 , ensuite nous parlerons au chapitre 3, des essais réalisés au laboratoire dans le but de vérifier les propriétés des bétons de sable utilisés comme revêtement puis au chapitre 4, nous ferons ressortir les incidences économiques et nous conclurons enfin au chapitre 5.

## CHAPITRE II

## CHAPITRE 2:

### ***LES BETONS DE SABLE***

---

#### 2.1)- Définitions des bétons de sable

Les bétons de sable se définissent par leur composition: sable, ciment, eau, ajouts ( minéraux et/ou organiques ). La différence fondamentale avec le béton classique, est l'absence d'agrégats d'une part et l'apport d'ajouts obligatoires d'autre part.

#### 2.1.1)- Le ciment

Les dosages en ciment sont du même ordre de grandeur que ceux des bétons traditionnels: entre 200 et 400 kg/m<sup>3</sup>. Mais dans cet intervalle, pour un même usage que les bétons classiques, le dosage retenu pour les bétons de sable est généralement plus élevé; dans la plupart des cas, cette dernière reste sans incidence sur le coût global de la technique. C'est d'ailleurs à cause de cette similitude de dosage que l'on parle pour les bétons de sable de « béton », alors que pour les mortier, il n'en est pas de même, puisque leur dosage se situe plutôt entre 400 et 700 kg/m<sup>3</sup>.

#### 2.1.2)- Le sable

Pour les sables utilisables au stade actuel des connaissances, il n'y a pas de différence entre les spécifications pour un emploi dans les bétons classiques, et pour celui des bétons de sable. Toutefois, les études déjà réalisées

en France et l'exécution du programme de recherche élaboré dans le cadre du projet national SABLOCRETE devrait permettre d'élargir à d'autres sables actuellement hors normes le champ des usages et toutefois, pour faire la différence avec les micro-bétons, la plage granulométrique doit être comprise entre 0 et 6 mm .

### 2.1.3)- Les ajouts

Les bétons de sable constitués uniquement de sable et de ciment ont généralement des résistances inférieures à celle des bétons classiques; pour relever cette insuffisance, on effectue des ajouts (généralement des fines). ceux-ci sont destinés à augmenter la compacité et par là même obtenir la résistance optimale. On utilise en particulier:

\* des Fillers: Ce sont des fines qui ont pour but de combler en partie les vides du sable (filler: to fill = remplir). Leur efficacité sera très variable selon leur nature minéralogique, leur finesse, leur activité (inerte ou à caractère pouzzolanique). Par exemple, il y a les pouzzolanes, les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé moulu, la fumée de silice qui sont à caractère pouzzolanique alors que le filler calcaire est inerte. Une optimisation du rapport efficacité/coût doit être faite. Nous utiliserons dans nos essais en laboratoire, les fines de calcaire (qui sont des résidus de carrière disponibles par exemple dans les carrières de calcaire de



Rufisque et Bargny.

\* des produits chimiques à faible dose: Ce sont les adjuvants; ils ont un rôle essentiel dans la technique des bétons de sable; en effet, ils permettent de défloculer les éléments fins et de limiter le dosage en eau; le rapport E/C dans les bétons de sable étant plus élevé que dans les bétons traditionnels, il convient de le diminuer: permettant ainsi d'augmenter les performances par un accroissement de la compacité et des résistances et de réduire les risques de retrait excessif. Comme produit chimique, nous avons: le Sikalatex que nous allons utiliser dans nos essais en laboratoire, le plastocrète, le Sikament FF 86 etc...

\* des gravillons: En ajoutant à la composition des bétons de sable des gravillons, on augmente la compacité; à même dosage en ciment, la matrice de sable se trouve enrichie en ciment. Ainsi la formule devient plus raide (augmentation du module d'élasticité). Par ailleurs, pour garder la spécificité des bétons de sable, le rapport G/S (gravillon/sable) doit rester inférieur à 1; alors que ce rapport est compris entre 1.4 et 1.7 pour les bétons traditionnels.

\*des renforts de structure: leur ajout conforte la tenue du matériau. On peut utiliser: les fibres, les treillis etc...

## Chapitre 2: Les bétons de sable

Ces différents ajouts peuvent être employés soit seul, soit en association; nous créons ainsi une synergie permettant d'augmenter davantage les résistances ( voir figure 1 à la page suivante). A titre d'exemple, le tableau 2.1 tiré du livre LCPC, CEBTP,SSBA du sud- ouest: projet national SABLOCRETE, Programme de Recherche/developpement, donne les résultats obtenus avec un sable fin: nous remarquons qu'on peut tripler les résistances sans changer le dosage en ciment ( $300 \text{ kg/m}^3$  ).

Toutefois, dans l'amélioration progressive des performances des bétons de sable par ajouts , il faudra tenir compte de l'aspect économique: la plus value que représente ces ajouts successifs.

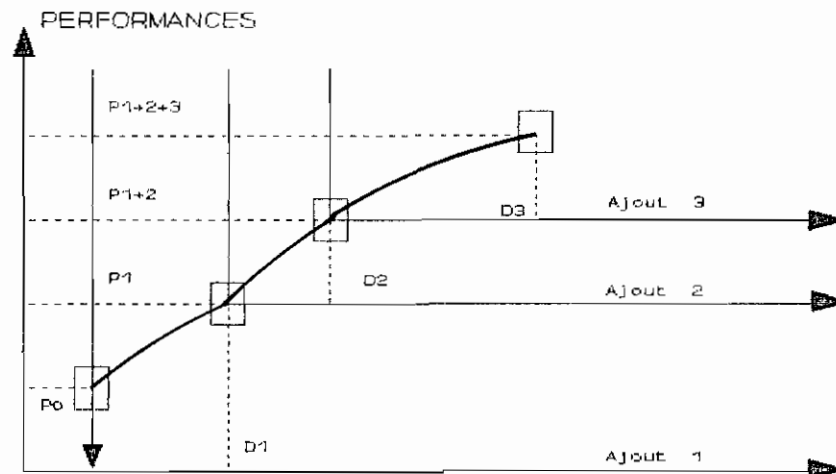


Figure 1: Effet synergique des ajouts sur la performance des bétons de sable.

**TABLEAU 2.1:** Amélioration du béton de sable par ajouts successifs ( tiré du livre LCPC, CEBTP,SSBA du sud-ouest: projet national SABLOCRETE, Programme de Recherche/développement )

AJOUT	0	1	2	3	Résistance MPa
FORMULE	sable fin	filler	adjuvant	Fumées silice	28 jours
P0	X				10.3
P1	X	X			17.60
P1 + 2	X	X	X		21.00
P1 + 2 + 3	X	X	X	X	31.70

#### 2.1.4) - L'eau

Le rapport E/C des bétons de sable est supérieur à celui des bétons classiques. Cela résulte en effet d'un besoin en eau de mouillage plus élevée, lié à une surface spécifique et à une teneur en vides plus importantes. Pour obtenir le niveau de performance le plus élevé possible, on utilisera la valeur de E/C la plus faible possible:

- en augmentant la compacité
- en utilisant si possible un filler nécessitant une faible quantité d'eau de mouillage ( exemple des valeurs tableau 2.2 )

## Chapitre 2: Les bétons de sable

---

- en utilisant des plastifiants ( adjuvants réducteurs d'eau).

TABLEAU 2.2: Valeurs d'eau de mouillage de certains produits.

Produits	Eau/Fines
* Bille de verre	0
* Sable alluvionnaire	0.07
* Sable éolien	0.17
* Cendres volantes	0.17
* Fines siliceuses	0.18
* Fines calcaires	0.19
* Ciment	0.27
* chaux	0.29
* oxyde de fer	0.44

### 2.2)- Applications

La plupart des applications actuelles des bétons de sable tiennent davantage à ses propriétés spécifiques, par rapport au béton traditionnel, qu'à l'économie qu'il pourrait représenter en remplaçant celui-ci. Ainsi, beaucoup de réalisations ont été faites en béton de sable dans pratiquement tous les domaines du génie civil, surtout en actuelle CEI:

- routes, autoroutes, aérodrômes,
- trottoirs,
- revêtement des canaux,
- ouvrages d'art,
- bâtiments et composants de génie civil,

- etc...

Les Soviétiques ont développé à travers ces usages, toute une méthodologie de formulation et de mise en oeuvre. Deux points forts s'en dégagent:

- la préfabrication: bordures de trottoirs, tuyaux, mobiliers urbains, cloisons etc..,

- la technique de projection: exemple des travaux de réhabilitation par projection des ponts, bâtiments, silos, égouts.

Tandis que les bétons de sable coulés en place, qui peuvent représenter, lorsqu'ils sont employés, des cubages importants ( routes, travaux de bourrage ou de colmatage, dalles, etc...), est d'un usage moins fréquent en URSS (actuelle CEI) par rapport aux deux autres procédés évoqués.

**CHAPITRE III**

## CHAPITRE 3:

# *ETUDES EN LABORATOIRE DES PROPRIETES DES BETONS DE SABLE UTILISES EN REVETEMENT.*

---

Le revêtement du canal ayant pour rôle le soutènement du massif encaissant et l'étanchement, nous avons retenu les trois essais suivants pour vérifier la tenue de notre matériau:

- résistance mécanique;
- perméabilité;
- capillarité.

### 3.1)- Résistance mécanique

L'objet de l'étude en laboratoire de la résistance mécanique, est de trouver une formulation optimale de béton de sable, donnant une résistance à la compression de l'ordre de 20 à 25 MPa, résistance généralement demandée dans les constructions. Ainsi, au total quatre formulations ont été effectuées:

- une première avec  $E/C = 0.65$ ; et  $C/S = 0.33$ :  
( voir tableau 3.1 );
- une deuxième avec  $E/C = 0.68$ ; et  $C/S = 0.4$ :  
(voir tableau 3.2 );
- une troisième avec  $E/C = 0.7$ ; et  $C/S = 0.4$ :  
( voir tableau 3.3 );
- enfin, une quatrième avec  $E/C = 0.7$ ; et  $C/S = 0.5$ :  
( voir tableau 3.4 ).

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

TABLEAU 3.1: Feuille de données et de calcul pour la gâchée d'essai de la formulation 1:

$$E/C = 0.65; C/S = 0.33.$$

ciment CPA 325,  $G_s = 3.15$ ; sable de dune, densité = 1.54;  
filler calcaire, densité = 1.02; Sikalatex, densité = 1.02.

(1) Matériaux	(2) Masses en Kg/m <sup>3</sup>	(3) Volumes en m <sup>3</sup>	(4) Gâchée d'essai en Kg
Ciment	300	0.095	10.00
Eau	195	0.195	6.50
Sable de dune	1000	0.649	33.33
Filler calcaire	62	0.059	02.00
Sikalatex	1.02	0.001	0.03
Total	1558	1.028	51.87



Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

TABLEAU 3.2: Feuille de données et de calcul pour la gâchée d'essai de la formulation 2:

$$E/C = 0.68; C/S = 0.35.$$

ciment CPA 325,  $G_s = 3.15$ ; sable de dune, densité = 1.54;  
filler calcaire, densité = 1.02; Sikalatex, densité = 1.02.

(1) Matériaux	( 2 ) Masses en Kg/m <sup>3</sup>	(3) Volumes en m <sup>3</sup>	(4) Gâchée d'essai en Kg
Ciment	325	0.103	30
Eau	221	0.221	20.4
Sable de dune	929	0.603	85.75
Filler calcaire	64	0.063	02.13
Sikalatex	11.9	0.012	01.02
Total	1500.9	1.000	139.30

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

TABLEAU 3.3: Feuille de données et de calcul pour la gâchée d'essai de la formulation 3:

$$E/C = 0.7 ; C/S = 0.4 .$$

ciment CPA 325,  $G_s = 3.15$ ; sable de dune, densité = 1.54;  
filler calcaire, densité= 1.02; Sikalatex, densité = 1.02.

(1) Matériaux	( 2) Masses en Kg/m <sup>3</sup>	(3) Volumes en m <sup>3</sup>	(4) Gâchée d'essai en Kg
Ciment	350	0.111	30
Eau	245	0.245	21
Sable de dune	875	0.568	75
Filler calcaire	82	0.080	07
Sikalatex	11.9	0.012	1.02
Total	1564	1	134

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

**TABLEAU 3.4:** Feuille de données et de calcul

pour la gâchée d'essai de la formulation 4:

$$E/C = 0.7; C/S = 0.5.$$

ciment CPA 325,  $G_s = 3.15$ ; sable de dune, densité = 1.54;  
filler calcaire, densité = 1.02; Sikalatex, densité = 1.02.

(1) Matériaux	( 2) Masses en Kg/m <sup>3</sup>	(3) Volumes en m <sup>3</sup>	(4) Gâchée d'essai en Kg
Ciment	350	0.111	30
Eau	245	0.245	21
Sable de dune	700	0.455	60
Filler calcaire	193	0.20	16.6
Sikalatex	11.9	0.012	1.02
Total	1499.9	1	128.62

### 3.1.1)- Description de l'essai

La réalisation de cet essai de résistance comporte trois étapes:

- calcul et fabrication du mélange d'essai,
- confection des éprouvettes,
- rupture par compression.

#### 3.1.1.1)- calcul et fabrication d'un mélange

La méthode de calcul des mélanges utilisés est celle des volumes absolus. Nous ferons un exemple de calcul pour le tableau 3.1 ( formulation 1 ), le calcul étant identique pour les autres tableaux 3.2 à 3.4. Ainsi, nous avons:

Pour  $E/C = 0.65$ ; comme par définition des bétons de sable, le dosage en ciment est du même ordre de grandeur que les bétons classiques ( entre  $200$  et  $400 \text{ kg/m}^3$  ), nous avons supposé une masse de  $300 \text{ kg/m}^3$  de ciment. Alors, il en résulte que la masse d'eau à utiliser est:  $0.65 * 300 = 195 \text{ kg/m}^3$  ; de même supposant le rapport  $C/S = 0.3$ , nous trouvons que la masse de sable à utiliser est de:  $C/0.3 = 300/0.3 = 1000 \text{ kg/m}^3$ . nous pouvons calculer maintenant le volume des ingrédients dont on connaît déjà les proportions en masse, en divisant chacune des masses par la masse volumique de chacun des ingrédients. Et pour le Sikalatex, nous n'avons pas respecté le dosage prescrit sur la boîte pour cette première formulation. Nous avons utilisés seulement  $1 \text{ l/m}^3$  de béton.

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des  
bétons de sable utilisés en revêtement

---

Volume d'eau	= 195/1000	= 0.195 m <sup>3</sup> ;
Volume de ciment	= 300/3150	= 0.095 m <sup>3</sup> ;
Volume de sable	= 1000/1540	= 0.649 m <sup>3</sup> ;
Volume de Sikalatex	= 1 litre	= 0.001 m <sup>3</sup> ;

---

Volume total des ingrédients  
à l'exception du filler = 0.940 m<sup>3</sup>

Le volume solide filler est obtenu en faisant la différence  
entre 1 m<sup>3</sup> et le volume trouvé:

$$1.000 - 0.94 = 0.060 \text{ m}^3;$$

masse du filler sec:  $0.060 * 1020 = 61.2 \text{ kg}$ ; soit 62 kg. Les  
proportions pour un mètre cube de béton sont donc les suivantes:

eau de gâchage	195	kg
ciment	300	kg
sable de dune	1000	kg
filler calcaire	62	kg
Sikalatex (plastifiant)	1.02	kg
total	1558	kg

A ce stade du calcul, il suffit maintenant de vérifier par une  
gâchée d'essai; elle est calculée pour 10 kg de ciment. Donc  
chaque composant sera divisé par 30.

**Gâchée d'essai de laboratoire:**

eau  $195/30 = 6.5 \text{ kg}$

nous faisons de même pour les autres constituants, nous avons

### Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

---

les résultats présentés au tableau 3.1 dernière colonne ( colonne 4 ).

Pour les autres formulations (  $E/C = 0.68$  et  $E/C = 0.7$  ), les calculs sont effectués de la même manière; et les résultats sont consignés dans les tableaux 3.2 à 3.4. Sauf que les gâchées d'essai sont calculées maintenant avec 30 kg de ciment.

#### Bref aperçu du plastifiant utilisé:

Le Sikalatex est un liquide laiteux, de 1.02 environ de densité que nous ajoutons directement à l'eau de gâchage dans les proportions de 0.6 l par  $m^2$  et cm d'épaisseur de béton. Il rend les bétons imperméables, plastiques et maniables.

Les gâchées sont faites en utilisant le malaxeur mécanique du laboratoire de béton. Une fois la fabrication terminée nous passons à la seconde étape.

#### 3.1.1.2)- Confection des éprouvettes

Nos échantillons ont été fabriqués et mûris selon, la méthode décrite dans la norme ACNOR A23.2-3C. Ainsi, pour déterminer la résistance en compression des bétons ayant des granulats dont la grosseur maximale est égale ou inférieure à 40 mm, nous avons utilisé des cylindres ( moules ) de 150 mm de diamètre et de 300 mm de hauteur .

### Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

---

Par ailleurs, les moules ont été d'abord mis en état et, légèrement huilés car nous avons utilisé des moules métalliques. Ensuite, pour obtenir un cylindre d'essai, le béton est introduit dans le moule à l'aide d'une truelle, et la mise en place s'effectue en remplissant celui-ci en trois couches à peu près égale que l'on pilonne avec une tige en vingt cinq coups environ. Nous terminons par l'arasement de la surface.

Les moules, une fois remplis, sont placés dans un coin de la salle du laboratoire de béton pour durcissement et, au bout de 24 heures généralement, les éprouvettes sont démoulées. L'opération de démoulage est effectuée évidemment avec soin pour ne pas créer d'épaufrures sur les arêtes ou altérer la planéité des faces.

Après démoulage, les éprouvettes sont aussitôt marquées et placées dans leur milieu de cure: de l'eau ayant une température voisine de 20°C.

#### 3.1.1.3)- Essai de compression

Nous avons utilisé la presse Tinus Olsen pour les essais de compression. Mais d'abord, nous retirons l'éprouvette de béton du lieu de conservation peu avant l'essai et, les faces de celle-ci au contact des pièces d'appui de la presse sont rectifiées à l'aide d'une couche de soufre. ainsi, commence l'essai proprement dit:

### Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

---

- on centre l'éprouvette sur la pièce d'appui inférieure en limitant au minimum l'erreur de centrage,
- on assure le contact correct de la pièce d'appui supérieure en agissant sur la rotule de la presse,
- on applique la charge d'une manière continue,
- enfin on note la charge maximale supportée par l'éprouvette à la rupture.

Les mesures sont consignées dans les tableaux des résultats ( 3.5 à 3.8 ). Il en résulte le calcul des résistances à la compression.

#### 3.1.2)- Calcul des résistances

La résistance à la compression est donnée par la formule:

$$R_c = P/S;$$

avec, P = charge maximale ( en N );

S = surface de compression ( en  $\text{mm}^2$  ).

Comme nous avons utilisé des cylindres de 150 mm de diamètre D, la surface de compression est un cercle:

$$S = \pi * R^2; \text{ avec: } R = \text{rayon};$$

c'est à dire :  $S = \pi * D^2 / 4 \implies$

$$R_c = \frac{4 * P}{\pi * D^2}$$



Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

Exemple de calcul: pour la formulation 1, nous avons:

éprouvette N°1, P = 160 KN; pour 7 jours de cure.

application numérique:

$$S = 3.14 * 150^2 / 4 = 17\ 662.5\ m^2$$

$$R_c = 160 \cdot 10^3 / 17\ 662.5 = 9.06\ MPa.$$

Rc = 9.06 MPa
---------------

Nous faisons de même pour les autres charges et les résultats sont consignés dans les tableaux 3.5 à 3.8.

**TABLEAU 3.5:** Résultats des essais de compression sur cylindres de la formulation 1:  
E/C= 0.65; C/S= 0.3 .

N°	DATES		AGES (jours)	CHARGE (KN)	RESISTANCE (MPa)
	Fabrication	Essai			
11	24/02/93	03/03/93	8	160	9
12	24/02/93	10/03/93	15	224	12.7
13	24/02/93	27/03/93	28	222*	12.6

\* On remarque une diminution de contrainte à 28 jours due certainement à un mauvais pilonnage ( présence de cavité ).

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

TABLEAU 3.6: Résultats des essais de compression sur cylindres de la formulation 2: E/C = 0.68; C/S = 0.35.

N°	DATES		AGES (jours)	CHARGE (KN)	RESISTANCE (MPa)
	Fabrication	Essai			
21	28/04/93	05/05/93	7	145	8.2
22			7	142	8.0
23			7	139	7.6
24	28/04/93	12/05/93	14	170	9.5
25			14	165	9.3
26			14	173	9.8
27	28/04/93	26/05/93	28	225	12.6
28			28	228	12.7
29			28	234	13.2

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

TABLEAU 3.7: Résultats des essais de compression sur cylindres de la formulation 3:  
E/C = 0.7; C/S = 0.4.

N°	DATES		AGES (jours)	CHARGE (KN)	RESISTANCE (MPa)
	Fabrication	Essai			
31	14/04/93	21/04/93	7	170	9.5
32			7	139	7.8
33			7	164	9.2
34	14/04/93	28/04/93	14	235	13.0
35			14	225	12.6
36			14	228	12.7
37	14/04/93	12/05/93	28	330	18.4
38			28	320	17.9
39			28	330	18.4

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

---

TABLEAU 3.8: Résultats des essais de compression sur cylindres de la formulation 4:  
E/C = 0.7; C/S = 0.5.

N°	DATES		AGES (jours)	CHARGE (KN)	RESISTANCE (MPa)
	Fabrication	Essai			
41	07/05/93	14/05/93	7	112	6.2
42			7	114	6.4
43			7	126	7.1
44	07/05/93	21/05/93	14	170	9.5
45			14	166	9.4
46			14	165	9.3
47	07/05/93	04/06/93	28	220	12.3
48			28	223	12.4
49			28	222	12.4

### 3.1.3)- Analyse des résultats

Pour bien analyser les résultats, nous avons procédé d'abord à une analyse granulométrique des granulats fins entrant dans la fabrication de nos bétons de sable. Ainsi, nous avons pu déterminer la granulométrie de notre sable de dune et de notre filler de calcaire sur une série de tamis normalisés qui classent les grains suivant leur grosseur avec la norme ACNOR A23.2-A.

Nous avons obtenu les tableaux 3.9 et 3.10, respectivement des pages suivantes:

#### Exemple de calcul:

Pour le filler calcaire, la norme exige qu'on utilise 500 g d'échantillon. alors, nous avons:

- le pourcentage de retenue est calculé par la formule suivante:

$$P = 100 * \text{retenue} / 500 ; \text{ avec, retenu en gramme.}$$

$$\text{Pour le tamis 30 : } P = 100 * 126.40 / 500$$

$$= 25.28 \%$$

- le pourcentage de retenu cumulatif, c'est la somme des retenus de la colonne 3.

- le tamisat est égale à:  $100 - (\% \text{ de retenu cumulatif})$

c'est à dire pour le tamis 30,  $100 - 50.21 = 49.79 \%$  .

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

TABLEAU 3.9: des résultats et mesure de l'analyse granulométrique du sable de dune

Tamis N°	Diamètre D (mm)	Retenue (g)	% Retenue (%)	% Retenue cumulativ	Tamisats (%)
1/4"	6.3	5.46	0.55	0.55	99.45
4	4.75	2.15	0.22	0.77	99.23
8	2.36	5.12	0.52	1.29	98.71
16	1.18	2.01	0.20	1.49	98.51
30	0.60	28.59	2.87	4.36	95.64
50	0.30	367.30	36.92	41.28	58.72
100	0.15	393.24	39.53	80.81	19.19
200	0.075	191.02	19.20	100	0

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

TABLEAU 3.10: des résultats et mesure de l'analyse granulométrique du filler calcaire de Bargny

Tamis N°	Diamètre D (mm)	Retenue (g)	% Retenu (%)	% Retenue cumulativ	Tamisats (%)
4	4.75	0	0	0	100
8	2.36	11.26	2.25	2.25	97.75
16	1.18	113.39	22.68	24.93	75.07
30	0.60	126.40	25.28	50.21	49.79
50	0.30	78.88	15.78	65.99	34.01
100	0.15	59.27	11.85	77.84	22.16
200	0.075	108.57	21.71	99.55	0.45

Ainsi, nous avons pu tracer sur papiers semi-logarithmiques, les courbes granulométriques des deux granulats ( voir l'annexe 1 ) .

Nous constatons donc que le filler calcaire de Bargny est sensiblement du 0/3, car 98 % passe le tamis 8 (de diamètre 2.36 mm ), ce qui correspond bien aux spécifications des bétons de sable. Alors, que le sable de dune est du 0/6 car 99.5 % passe le tamis 1/4".

**REMARQUE:** nous n'avons pas pu réaliser la sédimentométrie à cause de la finesse des deux granulats. En effet le densimètre descend instantanément.

Nous constatons par ailleurs que dans les tableaux des résultats obtenus ( 3.5 à 3.8 ), seule la formulation 3 nous donne des valeurs proches de 20 MPa; c'est à dire 18.2 MPa en moyenne. Nous avons retenu cette formulation ( $E/C = 0.7$  et  $C/S = 0.4$  ) pour le revêtement du canal.

En guise de comparaison, nous avons en annexes les résultats des essais de résistance en compression réalisés respectivement par la société de bétons prêts à l'emploi UNIMIX en France, le laboratoire du CEREEQ au Sénégal et Khady Ndiaye, élève ingénieur à l'EPT, dans son projet de fin d'études. On constate une anomalie entre les résultats des tableaux 3.7 et 3.8; . Cela nous a conduit à une vérification de ces résultats, par des essais de compression sur les cylindres ayant servi aux essais de capillarité et de perméabilité. Il en résulte le tableau de l'annexe 3.1. Et c'est ainsi qu'on a pu remarquer que l'anomalie était due au dérèglement du bouton de vitesse de charge de l'appareil Tinus OLSEN de mesure de l'EPT. En effet, les premiers résultats étaient faibles, mais une fois l'appareil réglée, même la formulation de  $E/C = 0.7$ , et  $C/S = 0.5$  nous a donné des valeurs supérieures à 18 MPa.



### Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

---

Une comparaison de toutes les valeurs trouvées par les différents essais de résistance, nous permet de conclure que pour des rapports de  $E/C < 0.67$  et  $E/C > 0.73$ , la résistance à la compression est très faible; alors qu'elle est un peu plus élevée pour les rapports compris entre les deux valeurs 0.67 et 0.73. En particulier, pour  $E/C = 0.7$ , nous avons obtenu les cinq valeurs moyennes suivantes:

- le tableau 3.7 donne 18.2 MPa;
- le tableau 3.8 donne 12.4 MPa ( supposé erroné );
- l'annexe 3.1 donne pour le rapport  $C/S = 0.4$ , 13.94 MPa pour les petits cylindres de 68 mm de diamètre et 136 mm de hauteur; ensuite 21.9 MPa pour les cylindres de 150 mm x 300 mm;
- l'annexe 3.1 donne 18.9 MPa pour les cylindres avec  $C/S = 0.5$ .

Ce qui nous donne une valeur moyenne de 18.23 MPa. D'autre part la moyenne des résultats trouvés par l' élève ingénieur Khady N'DIAYE pour  $E/C = 0.7$  est de 16.42 MPa ( annexes 3.2 et 3.3 ). Nous allons donc dimensionner notre canal en supposant que notre béton de sable ( formulation 3 ) a une contrainte de rupture comprise entre 16 et 18 MPa.

#### 3.2)- Essai de Perméabilité

La perméabilité étant la faculté d'un corps à se laisser traverser par un liquide, le but de cet essai sera de déterminer la perte par infiltration que peut occasionner un revêtement en

béton de sable du canal principal.

Les premières méthodes d'essai datent du 19<sup>ième</sup> siècle; et les essais étaient effectués sur des blocs cubiques de 50 cm<sup>3</sup>, sur lesquels sont scellés à leur face supérieure, des tubes de verre de 35 mm de diamètre intérieur et de 110 mm de haut par de la pâte de ciment. Ces tubes étaient remplis d'eau et pouvaient être mis en communication avec un réservoir pour en augmenter la charge. La perméabilité était alors exprimée en nombre de litres d'eau écoulés à l'heure à travers ces éprouvettes.

Depuis le principe de mesure est resté le même. Mais les essais de perméabilité ne sont pas normalisés ni au Canada, ni en France (ils le sont, par exemple, en Allemagne: DIN 1048 ). Nous avons donc choisi le principe d'un appareil de mesure actuellement utilisé en France: le perméamètre à béton, modèle du Laboratoire régional des Ponts et chaussées de Bordeaux.

#### **Principe de la mesure:**

L'essai consiste à faire pénétrer de l'eau sous certaine pression (en utilisant de l'air comprimé) à la surface d'une éprouvette de béton. Et nous mesurons la quantité d'eau ayant filtré à travers celle-ci pendant un temps donné.

#### **Méthode et matériel utilisé:**

Le laboratoire de béton de l'EPT n'ayant pas de dispositif de mesure de la perméabilité, nous avons monté nous même le

### Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

---

perméamètre suivant ( figure 3): il se compose essentiellement:

- d'une source d'air comprimé; un manodétendeur permet de régler la pression d'air à la valeur prévue pour l'essai,
- d'un cylindre en PVC, qui va recevoir l'eau et l'air comprimé,
- des tiges filetées et, des plaques métalliques servant au serrage de l'éprouvette de béton.

La pression a été appliquée sur une face circulaire de l'éprouvette de béton, qui n'est autre que le cylindre de 15 cm de diamètre et de 30 cm de hauteur, utilisé dans les essais de résistance mécanique.

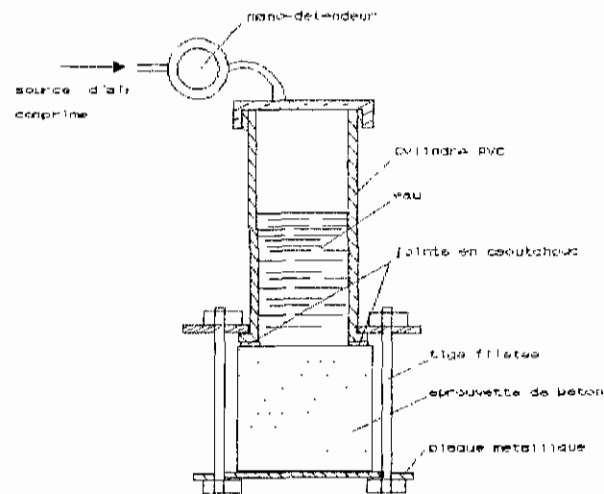


Figure 3: schéma du perméamètre à béton utilisé

### Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

---

Le plus gros problème auquel nous avons été confronté, est l'étanchéité entre le cylindre en PVC et l'éprouvette de béton. Il a été très difficile à résoudre. Finalement, nous avons utilisé des joints annulaire (plats ) en caoutchouc.

Pour la mesure: nous faisons d'abord une pesée initiale (  $M_0$  ) c'est à dire cylindre à sec et une pesée finale (  $M_t$  ) après la charge.

#### 3.2.2) - Résultat obtenu

Vu la difficulté d'étancher l'interface du cylindre en PVC et de l'éprouvette de béton, deux mesures seulement ont pu être réalisées, tel que présenté dans le tableau suivant:

TABLEAU 3.12: des résultats de l'essai de perméabilité

Numéro	E/C	Sikalatex	Résultat en cm/s
1	0.7	12 l/m <sup>3</sup>	9.7 10 <sup>-5</sup>
2	0.7	35 l/m <sup>3</sup>	7.0 10 <sup>-5</sup>

Exemple de calcul:

Le coefficient de perméabilité du béton de sable est calculé par la formule suivante:

$$K = \frac{\delta M}{36 * S * t}$$

avec,  $\delta M = M_t - M_0$  : la masse de l'eau infiltrée en g;

$S$  = surface sous pression en  $\text{mm}^2$ ;

$t$  = temps d'application de la pression en heure.

Ainsi, pour le cylindre 1, le diamètre intérieur du joint plat utilisé est de 89.60 mm; d'où la surface sous pression est:

$S = \pi * 89.60^2 / 4 = 6302.106 \text{ mm}^2$ ; et nous avons obtenu une variation de masse de 11 g pour une pression appliquée pendant 30 minutes.

$$K = \frac{11}{36 * 6302.106 * 0.5} = 9.69 * 10^{-5} \text{ cm/s.}$$

Compte tenu des difficultés liées à cet essai, ce sont des valeurs à considérer de façon prudente car nous pouvons noter un certain nombre de défauts sur notre montage. Par exemple, nous collons le joint plat aux deux cylindres ( cylindre en PVC qui va contenir l'eau sous pression et le cylindre de béton ) et, attendons environ une demi journée avant l'application de la charge ( eau + air comprimé ); ce qui entraîne déjà une perte de masse initiale due à l'assèchement d'une partie de l'eau évaporable du cylindre de béton de sable. En fait, dans notre

### Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

---

principe de mesure, nous n'avons pas prévu ce temps de séchage de la colle et, donc n'avons pas au préalable séché les éprouvettes de bétons devant servir à l'essai.

En comparant nos valeurs à celle de la littérature:

PERMEABILITES en cm/s

Béton

* Roc granite	$10^{-12}$
* Schiste ardoisier	$10^{-10}$
* calcaire	$10^{-6}$ à $10^{-9}$

on peut conclure à une probable défaut de fiabilité du montage et à une maîtrise encore imparfaite du procédé de mesure.

#### 3.3)- Capillarité

Comme par définition, la capillarité à l'eau d'un corps est la remontée d'eau dans ce corps sous l'effet des forces capillaires, le but de cet essai est de déterminer la capacité d'absorption en eau du béton de sable.

##### 3.3.1)- Méthode et matériel utilisé

Le principe de la mesure est simple: il consiste à mesurer l'absorption capillaire d'une éprouvette préalablement partiellement desséchée et, à suivre cette absorption dans le temps jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Pour cela, nous avons utilisé le matériel suivant tel que représenté à la figure 4:

- un récipient étanche en plastique, rempli de sable

siliceux fin 0-0.5 mm (obtenu par tamisage ), gorgé d'eau, et sur quelques centimètres de hauteur.

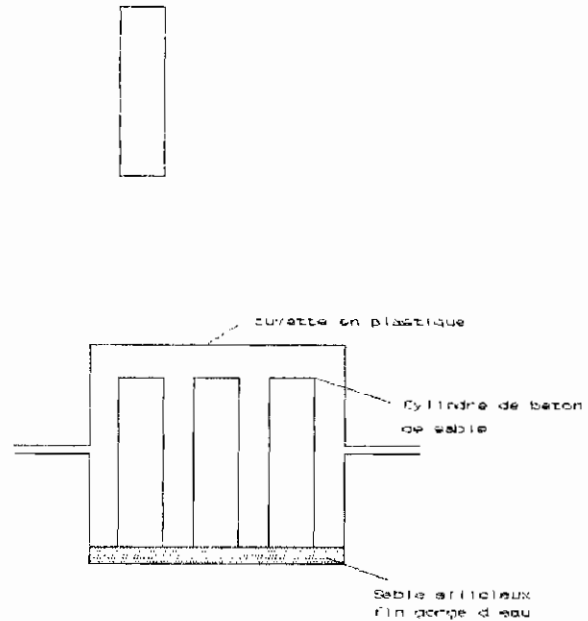
- un deuxième récipient analogue au premier, et servant à le recouvrir.

- une balance ordinaire qui nous a permis d'effectuer des pesées au gramme près.

#### Mode opératoire

Nous avons fait au total deux essais sur des séries de 3 éprouvettes cylindriques de diamètre 68 mm et de hauteur 136 mm. Au préalable, les éprouvettes obtenues après cure à 7 jours, sont pesées et placées pendant 6 jours dans une étuve sèche à 40 °C, où elles perdent une partie de leur eau évaporable, et ce jusqu'à l'obtention d'un poids constant. C'est alors que commence l'essai après refroidissement des éprouvettes. Ainsi, ces éprouvettes sont à nouveau pesées, et conservées verticalement sur le lit de sable saturé d'eau. Nous pesons toutes les deux heures environ (jusqu'à 8 heures ), puis les autres pesées se sont échelonnées jusqu'à l'obtention d'un gain de poids constant.

FIGURE 4: Dispositif de l'essai d'absorption capillaire



### 3.3.2)- Résultats

Des tableaux des mesures ( voir en annexe 2 ), nous avons obtenus les résultats suivants: tableau 3.12 pour le premier essai de capillarité et le tableau 3.13 pour le second.

#### Exemple de calcul des tableaux:

Pour le premier essai, on a: pour le cylindre 1: l'absorption capillaire au temps  $t = 2$  heures est obtenue en faisant la différence entre la masse du cylindre 1 à  $t = 2$  heures et à  $t = 0$ , c'est à dire celle après refroidissement du cylindre séché à l'étuve à  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De l'annexe 2.1, on a: à  $t = 0$ ,  $M = 922.66\text{g}$ ; à  $t = 2$ ,  $M = 935.88\text{g}$ ; alors, absorption capillaire est:  $A = 935.88 - 922.66$

$$A = 13.22\text{ g.}$$

Or, la surface du cylindre 1 de diamètre  $69.1\text{ mm}$  est:

$$\pi * 69.1^2 / 4 = 3748\text{ mm}^2 \text{ ou } 37.48\text{ cm}^2.$$

D'où l'absorption capillaire par unité de surface est:

$$13.22 / 37.48 = 0.353$$

Donc l'absorption est de: pour  $t = 2\text{h}$ ,  $0.353\text{ g/cm}^2$ .

Nous faisons de même pour les autres temps et les autres cylindres ( 2 à 6 pour les deux essais ) ; et les résultats sont donc consignés dans le tableau 3.11 et 3.12.

Il en résulte les courbes ( Fig. 5 et Fig. 7 ) de l'absorption capillaire en fonction du temps. Une autre représentation ( Fig.7 et Fig.8 ) permet d'avoir une droite:



**Tableau 3.12: des résultats de l'essai 1 de capillarité**

Temps (heure)	Absorption capillaire Cylindre1 (g /cm2)	Absorption capillaire Cylindre2 (g /cm2)	Absorption capillaire Cylindre3 (g /cm2)
0.000	0.000	0.000	0.000
2.000	0.353	0.380	0.377
4.340	0.571	0.562	0.576
6.700	0.754	0.723	0.740
8.930	0.863	0.824	0.832
12.130	0.974	0.951	0.952
19.270	1.142	1.142	1.139
25.470	1.261	1.272	1.262
30.580	1.348	1.362	1.349
35.730	1.412	1.428	1.420
45.730	1.516	1.546	1.530
50.830	1.561	1.598	1.581
60.150	1.629	1.686	1.658
68.530	1.691	1.741	1.716
75.780	1.741	1.777	1.758
96.290	1.820	1.885	1.850
105.530	1.844	1.920	1.884
115.060	1.868	1.945	1.911
120.540	1.884	1.967	1.924

**Tableau 3.13: des résultats de l'essai 2 de capillarité**

Temps (heure)	Absorption capillaire Cylindre4 (g/cm <sup>2</sup> )	Absorption capillaire Cylindre5 (g/cm <sup>2</sup> )	Absorption capillaire Cylindre6 (g/cm <sup>2</sup> )
0.000	0.000	0.000	0.000
4.020	0.371	0.412	0.451
7.230	0.603	0.634	0.660
14.420	0.867	0.916	0.913
16.910	0.941	0.997	0.988
20.310	1.042	1.082	1.069
25.420	1.159	1.192	1.189
30.570	1.254	1.289	1.277
40.580	1.390	1.422	1.404
45.710	1.443	1.489	1.466
55.020	1.526	1.577	1.562
63.400	1.596	1.644	1.636
70.670	1.642	1.689	1.676
91.210	1.754	1.795	1.785
100.520	1.788	1.839	1.823
110.050	1.820	1.869	1.861
115.500	1.839	1.882	1.881
122.670	1.859	1.907	1.897
132.050	1.877	1.934	1.927

Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

FIGURE 5: courbes d'absorption capillaire sur éprouvettes de béton de sable essai 1

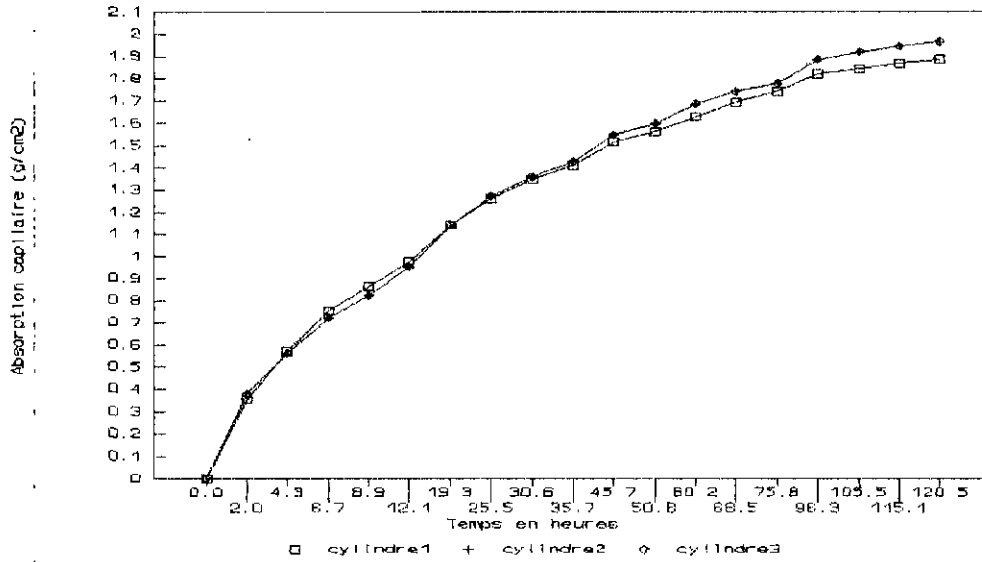
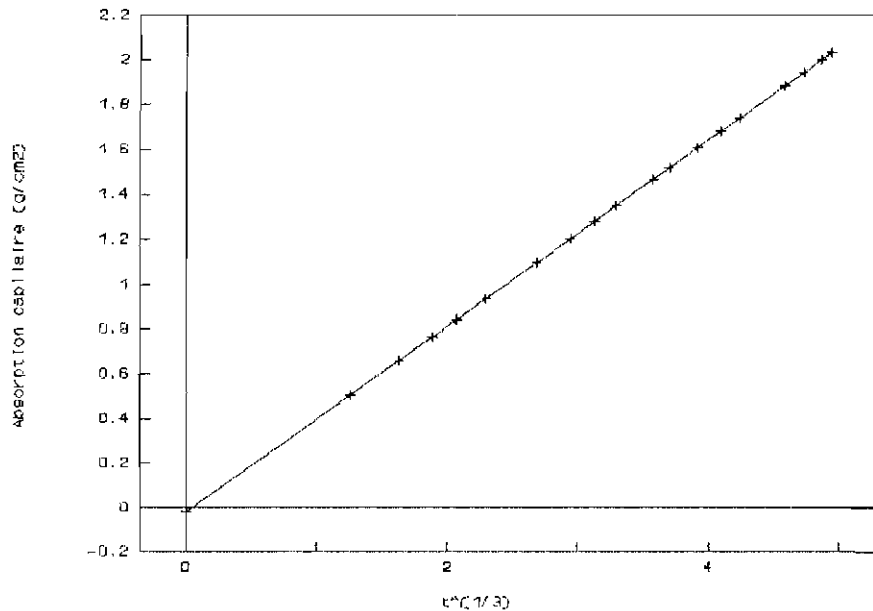


FIGURE 6: autre représentation de l'absorption capillaire sur éprouvettes de bétons de sable essai 1

Fig.6: Abs. cap. autre représentation



Chapitre 3: étude en laboratoire des propriétés des bétons de sable utilisés en revêtement

FIGURE 7: courbes d'absorption capillaire sur éprouvettes de béton de sable essai 2

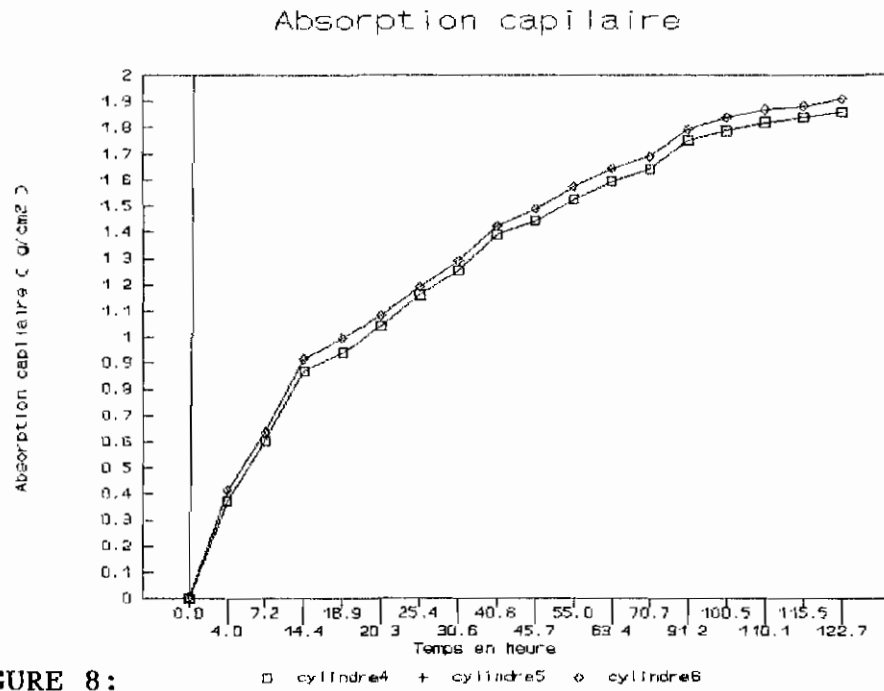
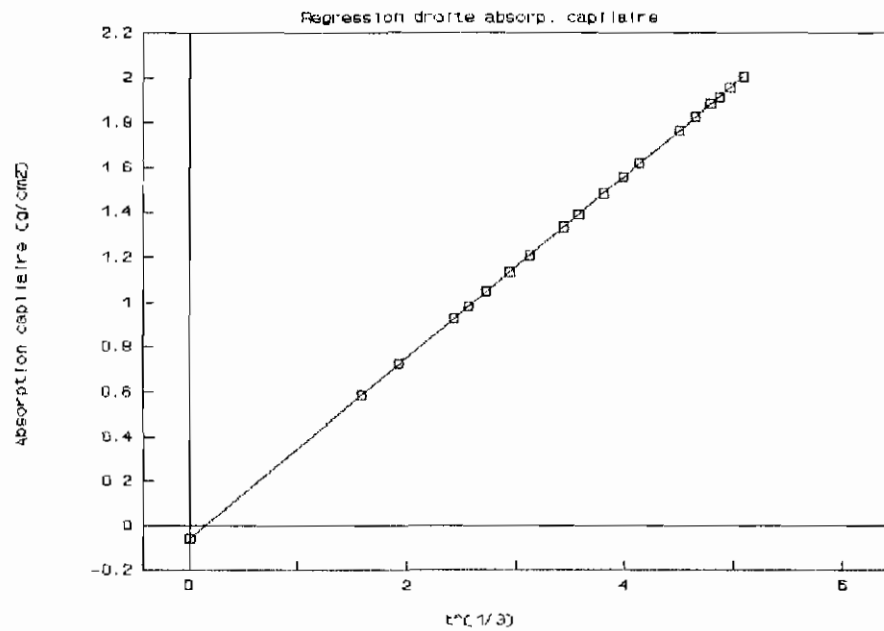


FIGURE 8:

Autre représentation Essai 2



absorption capillaire en fonction de la racine cubique du temps.

C'est ainsi, que nous avons obtenus par régression linéaire, les deux valeurs suivantes pour les deux essais de capillarité:  $0.415 \text{ g/cm}^2$  ; et  $0.405 \text{ g/cm}^2$ .

D'où en faisant la moyenne, on trouve:

Absorption capillaire = $0.41 \text{ g/cm}^2$
---

Il en résulte donc une perte d'eau par infiltration journalière de :

$$4.1 * 24^{(1/3)} = 12 \text{ l/m}^2 ;$$

alors que les fuites journalières d'un canal revêtu en béton classique sont de l'ordre de  $40 \text{ l/m}^2$  .

**CHAPITRE IV**

***ETUDE ECONOMIQUE***

---

**4.1)- Le Canal du Cayor**

C'est un ouvrage très important dans le programme de maîtrise de l'eau au Sénégal. En effet, il permettra l'irrigation de la région de Dakar (3000 ha en double culture maraîchère et arboriculture fruitière), et de la région du Cayor ( 5500 ha), mais aussi de fournir de l'eau potable à Dakar. Il y a aussi un volet recharge des nappes souterraines.

La structure du canal retenue, correspondant à une meilleure adéquation entre l'utilité, les performances, le coût, et la rentabilité économique est la suivante (voir schéma en annexe 4 ): un ouvrage de prise au bord du Lac de Guiers et un chenal en terre, une station de pompage à l'extrémité du canal d'amenée de Diatmet, deux conduites de refoulement, un canal trapézoïdal principal de 157 km de long ( auquel sera appliqué notre étude économique ), une seconde station de pompage à Banghadj, deux autres conduites de refoulement, une réserve d'eau brute à Thiès, une usine de traitement à Thiès, un canal secondaire de 83 km de long, et enfin une station de pompage à la Somone.

Le canal trapézoïdal principal ( voir figure 8 de la page suivante ) qui nous intéresse se compose de cinq tronçons dont les dimensions sont regroupées dans le tableau 4.1

Figure 8: section type du canal

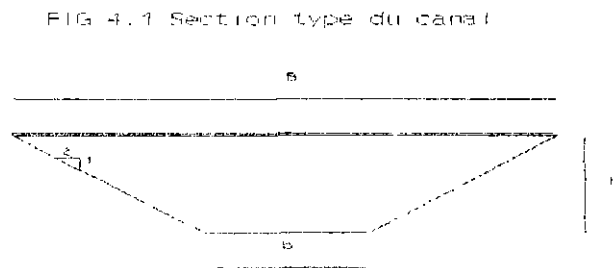


TABLEAU 4.1: Dimensions des différents tronçons  
du canal principal.

Numéro tronçon	Longueur: L (km)	Largeur: b (m)	Hauteur: h (m)
1	55.400	3.5	2.85
2	40.700	3.3	2.85
3	61.400	2.8	2.85
4	04.100	2.3	2.45
5	01.900	2.3	2.45

4.2)- revêtement en béton de sable:

Nous avons choisi comme type de revêtement, des plaques de bétons de sable de 15 cm d'épaisseur, sans membrane



4.2)- revêtement en béton de sable:

Nous avons choisi comme type de revêtement, des plaques de bétons de sable de 15 cm d'épaisseur, sans membrane d'étanchéité, armées par un grillage en acier (  $4\text{kg/m}^2$  ), comparé à la solution avec du béton ordinaire. En effet, cette épaisseur est largement du côté de la sécurité pour la protection des armatures contre la corrosion. Au point de vue résistance mécanique, nous avons trouvé au chapitre précédent que la contrainte de rupture en compression de notre matériau est de l'ordre de 16 à 18 MPa. donc nous prévoyons 5 cm de plus pour pallier au déficit de contrainte qu'il y a par rapport au béton ordinaire ( 20 MPA ). Quand à la perte par infiltration, le béton de sable sera satisfaisant, puisque la valeur journalière maintenue pour le béton ordinaire comme revêtement dans l'ouvrage du groupement SCET-TUNISIE/ELC-ELECTROCONSULT/. Etude d'exécution du Canal du Cayor: étude préliminaire, volume 3: est de  $60\text{ l/m}^2$ , alors que les essais de capillarités nous donnent pour le béton de sable, une absorption capillaire de  $0.41\text{ g/cm}^2$ , c'est à dire  $4.1\text{ l/m}^2$ , soit  $4.1 * 24^{(1/3)} = 12\text{ l/m}^2$  pour une journée.

4.2.1)- calcul du coût de fabrication du  $\text{m}^3$  de  
béton

Nous avons choisi la formulation numéro 3 ( voir tableau 3.3 ); c'est à dire  $E/C = 0.7$ ; et  $C/S = 0.4$ . Le tableau des prix unitaires dans la région de Dakar des constituants du béton de sable, est la suivante:

TABLEAU 4.2: Prix unitaire des constituants du béton de sable en franc CFA. ( Région de Dakar )

Matières	Unités	Prix unit.
Ciment	Sac = 50 kg	1760
Fines calcaire de Bargny	mètre cube	1000
Sable de dune	mètre cube	1000
Sikalatex	litre	4250

Le prix du mètre cube de béton ( le déboursé sec ) est alors de:

$$P = 1760*7 + ( 82*1000)/1020 + ( 875*1000)/1540;$$

$$P = 12\ 968.57 \text{ FCFA; sans le Sikalatex.}$$

$$\text{Et } P = 12\ 968.57 + 1.4 * 4\ 250$$

$P = 18\ 918.57 \text{ FCFA; avec le Sikalatex ( en prenant comme dosage en Sikalatex de la formulation 3, 0.4\% du poids de ciment, c'est à dire 1.4 litre de Sikalatex par mètre cube de béton).}$

D'autre part, si nous avons au lieu du Sikalatex, utilisé plutôt le Sikament FF86, nous aurions eu:

$$P = 12968.57 + 1.4* 2280 = 16\ 160.57 \text{ FCFA; comme déboursé sec.}$$

#### 4.2.2)- Calcul du coût du mètre linéaire de revêtement

Pour un mètre de longueur de canal principal, on a :

- La surface du fond (rectangulaire) est:

$$S1 = b*1 = b;$$

- La surface d'une berge (rectangulaire) est:

$$\begin{aligned} S2 &= 1*x \\ &= 1*h/\cos\theta \\ &= h/\cos\theta; \end{aligned}$$

donc la surface S du revêtement est:

$$\begin{aligned} S &= S1+2*S2 \\ &= b+2*h/\cos\theta; \end{aligned}$$

$S = b+2*h/\cos\theta$
------------------------

Application numérique

Pour le premier tronçon, on a:

b= 3.5 m; et h= 2.85 m; d'ou :

$$\begin{aligned} S &= 3.5 + 2*2.85/\cos 63.44 \\ &= 3.5 + 2*2.85/.45 \\ &= 16.17; \end{aligned}$$

$$S = 16.17 \text{ m}^2 .$$

Il en résulte que le volume de béton à utilisé pour le revêtement du mètre linéaire de canal du premier tronçon est de:

volume = surface \* épaisseur; c'est à dire:

$$v = 16.17 * 0.15 = 2.43 \text{ m}^3 .$$

D'ou le coût du mètre linéaire de revêtement du Canal est de:

- sans utilisation  $C= 2.43 * 12968.57 = 31\ 455 \text{ F CFA};$
- avec le Sikalatex  $C= 2.43 * 18\ 918.57 = 45\ 887 \text{ F CFA};$
- avec le Sikament FF 86  $C= 2.43 * 16\ 160.57 = 39\ 270 \text{ F CFA}.$

En faisant de même pour les autres tronçons, on a les résultats du tableau ci-dessous.

TABLEAU 4.3: calcul du coût par tronçon du revêtement du canal en béton de sable sans utilisation de Sikalatex

Surface du mlin (en mètre carré )	Volume du mlin (en mètre cube)	Prix du mètre linéaire ( F CFA )	Coût total du revêtement en million (F CFA)
16.17	2.426	31 455	1 742.607
15.97	2.396	31 066	1 264.386
15.47	2.320	30 087	1 847.342
13.19	1.978	25 652	105.173
13.19	1.978	25 652	48.739

4.2.3)- Calcul du coût total du revêtement

Du tableau précédent, on a:

$$\begin{aligned} \text{la surface totale revêtue} &= 16.17*55400 + 15.97*40700 \\ &+ 15.47*61400 + 13.19*4100 + 13.19*1900 = 2\,574\,795; \end{aligned}$$

$S = 2\,574\,795 \quad \text{mètres carrés}$
--

D'ou le volume total de béton à utiliser pour le revêtement est:  $V = 2\,574\,795 * .15 = 386\,219.25 \text{ m}^3$  ;

$$V = 386\,219.25 \text{ mètres cubes}$$

Le coût total du revêtement est alors:

- sans utilisation de plastifiant (Sikalatex), on a:

$$\begin{aligned} C &= 386\,219.253 * 12\,968.57 = \\ &= 5\,008.711 \text{ } 10^6; \end{aligned}$$

$$C = 5\,008.711 \text{ millions de F CFA.}$$

- avec utilisation de plastifiant (Sikalatex), on a:

$$\begin{aligned} C_p &= 386\,219.25 * 18\,918.57 = \\ &= 7\,306.716 \text{ } 10^6. \end{aligned}$$

$$C_p = 7\,306.7 \text{ millions de F CFA}$$

- avec utilisation de plastifiant ( Sikament FF 86 ), on a:

$$\begin{aligned} C_{pl} &= 386\,219.25 * 16\,160.57 = \\ &= 6\,241.523 \text{ } 10^6 \end{aligned}$$

$$C_{pl} = 6\,241.5 \text{ millions de F CFA}$$

4.3)- Revêtement en béton classique

4.3.1)- coût de fabrication du mètre cube de  
béton

Le revêtement prévu par l'étude de faisabilité ( APS, 1988 ), pour l'ensemble du Canal du Cayor est formé de plaques de béton, armée par un grillage en acier ( $4\text{kg/m}^2$  ), sans membrane d'étanchéité. Ce type de revêtement a été préféré du point de vue technique et/ou économique, à d'autres solutions possibles et en particulier à celles dans lesquelles l'étanchéité hydraulique est garantie par une membrane imperméable. Ainsi, nous avons le tableau des prix unitaires ( dans la région de Dakar ) pour les constituants du béton classique suivant:

TABLEAU 4.4: Prix unitaire des constituants du béton classique ( Région de Dakar )

Matières	Unités	Prix unit.
Ciment	Sac = 50 kg	1 760
Gravier	mètre cube	11 250
Sable	mètre cube	1 000

En supposant le dosage suivant pour notre béton classique de densité normale: pour un mètre cube:

: Ciment	300 Kg
. Eau	150 Kg
Gravier	800 l
. Sable	400 l

Il en résulte que le prix du mètre cube de béton classique ( le déboursé sec ) sans le transport, sans les taxes, sans la main d'oeuvre est de:

$$P_c = 0.8 * 11\ 250 + 300 * 1760 / 50 + 0.4 * 1000 \\ = 19\ 960 ;$$

#### 4.3.2)- calcul du coût total du revêtement

Le coût total du revêtement du Canal par du béton classique est égal au volume total de béton de revêtement que multiplie le prix unitaire. Or le volume total de revêtement calculé au paragraphe 4.2.3) est de: 386 219.25 mètres cubes; il en résulte donc que:

le coût total du revêtement est:

$$C = 386\ 219.254 * 19\ 960 \\ = 7\ 708.936\ 10^6\ \text{F CFA.}$$

$C_c = 7\ 709\ 10^6\ \text{F CFA}$
------------------------------------

4.4)- Comparaison des résultats

Signalons que dans le calcul des coûts au paragraphe 4.2)- et 4.3)- nous n'avons pas tenu compte des coûts indirects de transport et de main d'oeuvre, et du coût de l'eau de gâchage.

En effet, nous avons supposé que le poste de fabrication du béton se situera à coté d'un réservoir d'eau ( par exemple l'eau du Lac de GUIERS, transportée à Diatmet ). Donc l'entreprise n'aura pas à acheter de l'eau. /

Quand à la main d'oeuvre, il y aura une incidence sur le coût du revêtement suivant qu'on est en revêtement par du béton de sable ou par du béton ordinaire. En effet la fabrication du béton de sable, de même que son application ne requiert pas une main d'oeuvre qualifiée. il est très maniable, avec une cohésion et une absence de ségrégation. d'autre part sa petite granularité fait de lui un béton très pompable et injectable pour le bétonnage à forte densité de ferrailage. Donc son utilisation fera gagner des économies par rapport au béton classique qui requiert par contre une main d'oeuvre qualifiée.

Les résultats ont montré que la variante béton de sable permet une économie de l'ordre de 1.5 milliard F CFA si on utilisait le plastifiant Sikament FF 86 (  $7709.10^6 - 6241.10^6 = 1468.10^6$  ); ou une économie de l'ordre 402.10<sup>6</sup> F CFA (  $402.10^6 = 7709.10^6 - 7307.10^6$  FCFA) si on utilisait le Sikalatex. Nous avons



donc intérêt à choisir un plastifiant le moins cher possible. Malheureusement, seul le prix du ciment est homologué.

En outre il faut compter sur les propriétés d'imperméabilisant du plastifiant Sikalatex que nous avons utilisé ( 12 l/m<sup>2</sup> seulement d'absorption par jour pour un dosage de 60 l/m<sup>3</sup> ). En effet, des stations de pompage ( section 4.1 ) sont prévues par le dimensionnement hydraulique pour rendre le débit d'eau constant sur tout le long du canal; donc comme le béton de sable ( avec Sikalatex ) occasionne moins de perte d'eau par infiltration que le béton classique, il en résulterait pour la gestion du canal, une économie d'énergie de pompage due à la différence des volumes d'eau à pomper dans les deux solutions de revêtement. D'autre part, le déboursé sec du béton de sable pourrait être révisé à la baisse, si on avait déterminé le taux optimal de Sikalatex par mètre cube de béton qui nous donne la meilleure imperméabilisation du canal.

D'autre part, nous n'avons pas tenu compte du transport des granulats dans le calcul des déboursés sec. Or, il est évident qu'on trouve du sable à proximité immédiate, tout au long du canal dans la région traversée. Par contre, les gros granulats sont concentrés dans la région de Dakar et de Thiès. IL faudra donc les transporter jusqu'à Diatmet ( c'est à dire au poste de fabrication du béton comme dit plus haut ). Ceci peut ramener le déboursé sec du mètre cube de béton classique à environ 24 000

## Chapitre 4: étude économique

---

F CFA ( en supposant le prix du camion de gros granulat à 16 000  
F CFA : granulat + prix du transport Thiès-Diattmet ).

CHAPITRE V

## CHAPITRE 5:

### **CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

---

Nous voila arrivé au terme de nos recherches sur l'utilisation des bétons de sable comme revêtement des canaux à ciel ouvert. Pour cela, les fonctions à assurer par ce matériau, ne sont pas des moindres. En effet, les revêtements doivent assurer:

- d'abord, une fonction étanchéité pour éviter les pertes d'eau par infiltration dans les berges ou le radier, et les tassements qui peuvent éventuellement en résulter. L'étude expérimental a montré que le béton de sable remplissait bien ce rôle. En effet, même si les essais de perméabilité n'ont pas donné des résultats fiables à cause de difficultés d'expérimentation, les tests d'absorption capillaire nous permettent de conclure à une étanchéité suffisante du béton de sable ( perte d'eau journalière  $12 \text{ l/m}^2$ , à comparer à  $60 \text{ l/m}^2$  acceptée pour le béton ordinaire par le bureau d'étude SCET-TUNISIE ( étude préliminaire ) pour le projet Canal du Cayor,

- ensuite, une fonction de résistance mécanique: là, nous avons trouvé une formulation de béton de sable pouvant résister jusqu'à une contrainte comprise entre 16 et 18 MPa. Cette contrainte admissible est légèrement inférieure à celle des bétons classiques ( de 20 à 25 MPa ), mais peut convenir pour épouser les déformations sans dommage, en jouant sur l'épaisseur de revêtement . Mais nous pensons que d'autres formulations de bétons de sable, plus résistantes, et plus économiques peuvent

être facilement établies en suivant la même démarche.

- enfin une fonction de réduction des pertes de charges dues à la rugosité proprement dite du matériau: malheureusement cet aspect n'a pas pu être abordé dans le cadre de cette étude.

Donc, nous pouvons conclure sous réserve de certaines vérifications que nous citons d'ailleurs en recommandations ( ci-dessous ), que les bétons de sable peuvent valablement remplacer les bétons classiques en revêtement des canaux à ciel ouvert au point de vue propriétés mécaniques, et peuvent aussi permettre de dégager une économie appréciable comme le démontre notre étude économique appliquée au Canal du Cayor.

Ainsi, en guise de recommandations, je propose que l'étude des bétons de sable soit poursuivie, et que:

- l'on reprenne les essais de perméabilité. Pour ce faire, il faudra construire, selon le même principe présenté au chapitre III, un perméamètre plus étanche et plus fonctionnel. Ainsi, beaucoup de tests pourront être faits, permettant ainsi de disposer de valeurs sûres du coefficient de perméabilité des bétons de sable avec et/ou sans plastifiant ( réducteurs d'eau, imperméabilisants, etc... ), et ainsi d'étudier l'influence de ces plastifiants. De même, les essais de capillarité doivent être étendus à d'autres dosages.

- l'on fasse également des travaux permettant de définir d'autres formulations. Par exemple, l'étude expérimentale peut être axée sur l'effet d'autres ajouts simultanés (surtout la fumée de silice, les cendres pouzzolanes etc...), et l'estimation de la plus-value que cela peut apporter par rapport au béton classique dans nos pays.

- une planche expérimentale soit réalisée, afin de bien vérifier le comportement du béton de sable en revêtement.

- enfin, soit promue dans nos pays Africains, la recherche-développement sur les bétons de sable et leur utilisation dans le génie civil.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- CHAUVIN, Jean-Jacques.  
Le béton de sable en Union Soviétique. 9 P.
- 2- CHAUVIN, Jean-Jacques et GRIMALDI, Gilbert. 1988  
Les bétons de sable - Bulletin de liaison Laboratoire régional de Bordeaux, et laboratoire de l'est Parisien, - réf 336. 15 P.
- 3- DIOP, Papa Mbareck. 1991.  
Les bétons de sable: Perspective de recherche développement au Sénégal. 20 P.
- 4- Diop, Papa Mbareck et THIOUNE, Serigne Leye .  
Rapport d'évaluation du chantier expérimental de stabilisation de trottoirs en béton de sable à la Médina, Rue 15, quartier NGARAAF. 5 P.
- 5- PAPADAKIS, Michel et VENUAT, Michel .1969.  
Manuel du laboratoire d'essais des ciments, mortiers, bétons, Paris, Eyrolles, 313 P.
- 6- Association Canadienne du ciment Portland.  
Dosage et contrôle des mélanges de béton. 189 P.
- 7- LCPC, CEBTP, SSBA du Sud-Ouest.  
Projet national SABLOCRETE, Programme de Recherche/Développement. 67 P.
- 8- Groupement SCET-TUNISIE/ELC-ELECTRO CONSULT/CNR/SONED-AFRIQUE. 1992. Canal du Cayor: étude préliminaire, volume 3: revêtement du canal .77 P.

# ANNEXE I

COURBES GRANULOMETRIQUES DES GRANULATS

CONSTITUANTS LES BETONS DE SABLE





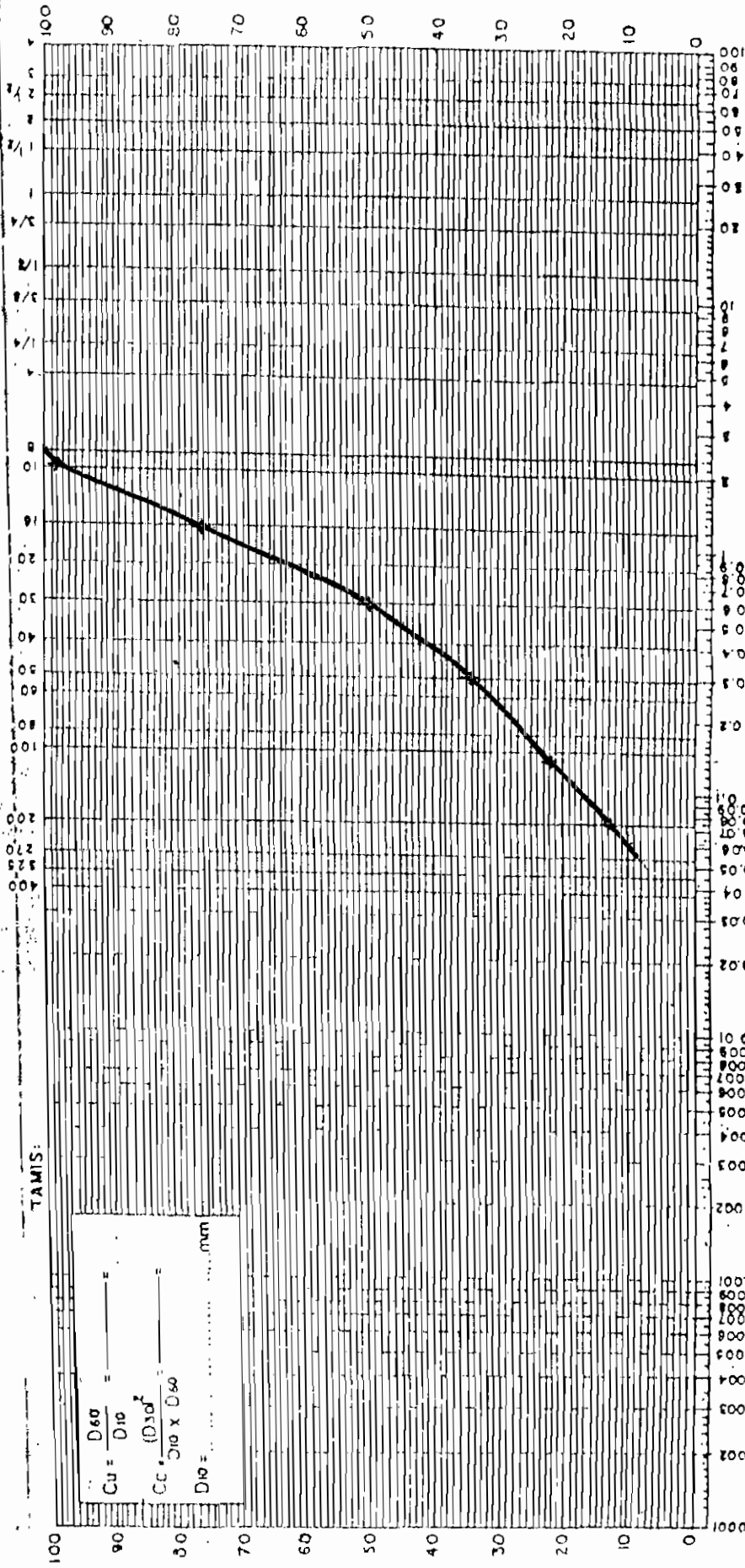
École polytechnique de Thiès

Boite Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE 17 Mai 93

ECHANTILLON NO. \_\_\_\_\_

COURBE GRANULOMETRIQUE



$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$   
 $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \dots$   
 $D_{10} = \dots \text{ mm}$

COLLOIDES	ARGILE	SILT	SABLE	GRAVIER
-----------	--------	------	-------	---------

AFNOR

Description: Filler calcaire de Bargny

Remarques:



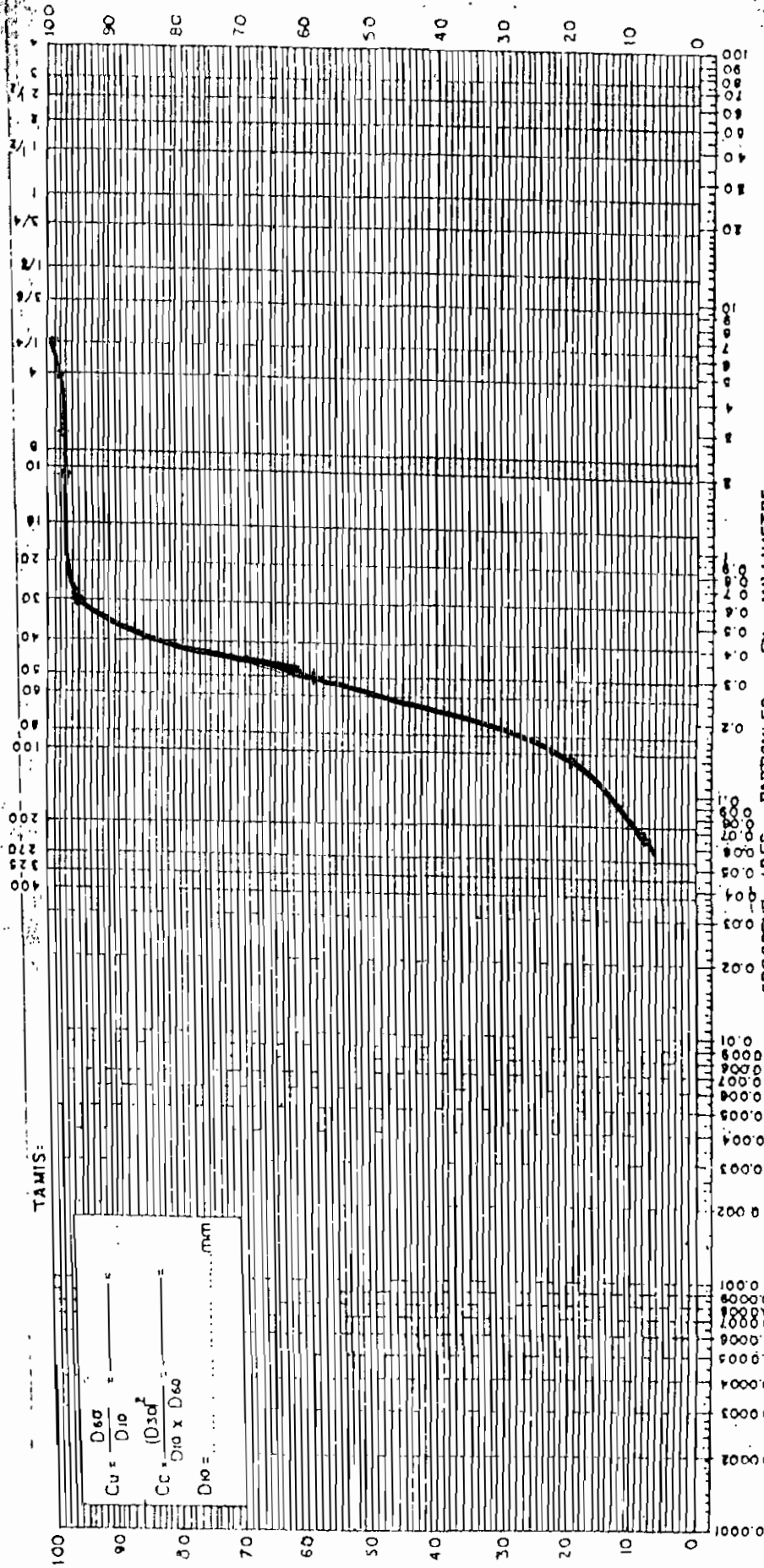
École polytechnique de Thiès

Boîte Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE 19 Mai 93

ECHANTILLON NO. 2

COURBE GRANULOMETRIQUE



$\frac{D_{60}}{D_{10}} = \dots$   
 $\frac{D_{30}}{D_{10}} = \dots$   
 $\frac{D_{10}}{D_{60}} = \dots$

COLLOIDES	ARGILE	SILT	SABLE	GRAVIER
-----------	--------	------	-------	---------

AFNOR

Description: *Sable de dune*

Remarques:

# **ANNEXE II**

**TABLEAU DES MESURES ET RESULTATS**  
**ESSAI D'ABSORPTION CAPILLAIRE**

Annexe 2.1: tableau des mesures d'absorption  
capillaire essai 1

Temps (heure)	Cylindre1 ( g )	Cylindre2 ( g )	Cylindre3 ( g )
0.000	922.660	924.830	928.510
2.000	935.880	938.840	942.180
4.340	944.050	945.520	949.400
6.700	950.920	951.460	955.360
8.930	954.990	955.170	958.700
12.130	959.170	959.850	963.060
19.270	965.450	966.890	969.860
25.470	969.910	971.670	974.330
30.580	973.180	975.000	977.460
35.730	975.580	977.420	980.050
45.730	979.480	981.790	984.060
50.830	981.170	983.700	985.880
60.150	983.720	986.950	988.680
68.530	986.050	988.940	990.780
75.780	987.930	990.300	992.330
96.290	990.870	994.250	995.660
105.530	991.790	995.540	996.910
115.060	992.690	996.460	997.890
120.540	993.280	997.290	998.330
127.820	993.660	997.760	999.070

**Annexe 2.2: tableau des mesures d'absorption  
capillaire essai 2**

Temps (heures)	Cylindre4 ( g )	Cylindre5 ( g )	Cylindre6 ( g )
0.000	943.300	922.580	928.550
4.020	957.070	937.850	945.060
7.230	965.690	946.080	952.720
14.420	975.530	956.520	962.000
16.910	978.250	959.510	964.720
20.310	982.000	962.670	967.690
25.420	986.380	966.730	972.080
30.570	989.890	970.350	975.320
40.580	994.950	975.260	979.950
45.710	996.900	977.730	982.250
55.020	1000.000	980.990	985.740
63.400	1002.590	983.500	988.450
70.670	1004.310	985.150	989.940
91.210	1008.490	989.080	993.900
100.520	1009.730	990.730	995.310
110.050	1010.940	991.840	996.710
115.500	1011.630	992.290	997.420
122.670	1012.360	993.250	998.000
132.050	1013.060	994.240	999.120

Annexe 2.3 : tableau des résultats de la régression  
linéaire: essai capillarité 1  
absorption en g/cm <sup>2</sup>

t <sup>(1/3)</sup>	Absorption capillaire moyenne	régression linéaire des absorptions
0.000	0.000	-0.018
1.260	0.370	0.505
1.631	0.569	0.659
1.885	0.739	0.764
2.075	0.839	0.843
2.298	0.959	0.936
2.681	1.141	1.095
2.942	1.265	1.203
3.127	1.353	1.280
3.294	1.420	1.349
3.576	1.531	1.466
3.704	1.580	1.519
3.918	1.658	1.608
4.092	1.716	1.680
4.232	1.759	1.738
4.583	1.851	1.884
4.726	1.883	1.943
4.864	1.908	2.000
4.940	1.925	2.032

Regression Output:		
Constant		-0.018
Std Err of Y Est		0.069
R Squared		0.986
No. of Observations		19.000
Degrees of Freedom		17.000
X Coefficient(s)	0.415	
Std Err of Coef.	0.012	

Annexe 2.4: tableau des résultats de la regression  
linéaire essai capillarité 2

$T^{(1/3)}$	absorption capil. moy (g/cm <sup>2</sup> )	absorption Regression (g/cm <sup>2</sup> )
0.000	0.000	-0.058
1.590	0.411	0.586
1.934	0.632	0.725
2.434	0.899	0.928
2.567	0.975	0.982
2.728	1.064	1.047
2.940	1.180	1.133
3.127	1.273	1.208
3.436	1.405	1.334
3.576	1.466	1.390
3.803	1.555	1.482
3.987	1.625	1.557
4.134	1.669	1.616
4.501	1.778	1.765
4.650	1.817	1.825
4.792	1.850	1.883
4.870	1.867	1.914
4.969	1.888	1.954
5.092	1.913	2.004

Regression Output:		
Constant		-0.058
Std Err of Y Est		0.073
R Squared		0.983
No. of Observations		19.000
Degrees of Freedom		17.000
X Coefficient(s)	0.405	
Std Err of Coef.	0.013	

# **ANNEXE III**

**QUELQUES EXEMPLES D'ESSAI DE  
RESISTANCE MECANIQUE SUR  
LES BETONS DE SABLES**



ANNEXE 3.1: tableau de vérification des résultats essai de résistance mécanique  
E/C = 0.4; et le dosage en ciment est de 350 Kg/m<sup>3</sup>

Numéros	C/S	Dosage en fine (Kg/m <sup>3</sup> )	Dosage en Sika. l/m <sup>3</sup>	Charge - (KN)	Résistance à 28j (MPa)	Moyenne (MPa)	Observations
PETITS CYLINDRES 68 x 136 mm							
1	0.4	82.2	60	45	12.40	13.4	* ces cylindres ont été cassés sans réglage de l'appareil. Les autres ont été cassés par le Technicien.
2				52	14.33		
3*				43	11.85		
4*				47	12.95		
5				48.8	13.44		
6*				41	11.30		
7				57.5	15.84		
8				55	15.15		
9				52	14.33		
GRANDS CYLINDRES 150 X 300							
1	0.5	193	12	335	18.97	18.9	
2	0.5	193	12	333	18.85	18.9	
3*	0.4	82	35	220	12.46	19.58	
4				407	23.04		
5				380	21.51		
6				376	21.29		

Annexe 3.2: Résultats des essais de résistance mécanique réalisés par Khady NDIAYE dans son projet de fin d'étude 1993

n° gâchée	Dosage en ciment kg/m <sup>3</sup>	E/C	C/S	Dosage en fine kg/m <sup>3</sup>	Volume Sikalatex ml	Masse volumique de la gâchée kg/m <sup>3</sup>	Affaissement mm	Rc7 MPa	Moyenne MPa	Rc28 MPa	Moyenne MPa	Observations
1	253	0.77	0.2	5	563	1835	3	3.85 3.85 3.74 3.43 3.28	3.63	6.76 5.46 6.76 5.98 5.46	6.08	adjuvant 0.6 l par m2 et par cm d'épaisseur
2	321	0.75	0.25	6	641	1945	17	4.37 4.21 4.16 4.11 3.69	4.11	9.1 9.1 9.1 9.1 9.1	9.1	
3	350	0.75	0.3	11	469	1918	37	3.54 3.64 3.69 3.74 3.64	3.65	9 8.68 8.84 9.67 8.76	8.89	
4	348	0.8	0.29	8	686	1945	90	6.76 7.80 8.11 7.92 7.86	7.69	10 10.31 10.38 10.30 10.77	10.35	
5	433	0.67	0.4	13	518	1945	85	8.45 8.58 8.10 9.00 8.84	8.79	18.43 18.49 18.25 18.23 17.94	18.27	Rc28 réalisé par le technicien
6	425	0.7	0.4	15	470	1945	70	8.48 8.48 7.80 7.80 8.14	8.14	18.38 18.43 17.68 18.34 17.12	17.99	Rc28 réalisé par le technicien
7	270	0.74	0.35	106	12	1987	70	2.13 2.13 2.60 2.34 2.34	2.31	7.70 7.44 7.75 7.54 7.70	7.63	Adjuvant 0.4% du poids du ciment
8	313	0.83	0.30	52	11	2028	50	5.77 5.20 4.94 4.78 4.84	5.11	13.31 13.44 13.57 13.62 13.68	13.52	gâchée qu'utilise la commune de Dakar dans ses chantiers
9	360	0.72	0.35	51	15	2062	50	5.72 5.98 5.82 5.98 5.82	5.11	16.07 16.22 16.17 17.00 16.17	16.33	

**Annexe 3.3: Résultats des essais de résistance mécanique réalisés par Khady NDIAYE dans son projet de fin d'étude 1993**

n° gâchée	Dosage en ciment kg/m <sup>3</sup>	E/C	C/S	Dosage en fine kg/m <sup>3</sup>	Volume Sikalatex ml	Masse volumique de la gâchée kg/m <sup>3</sup>	Affaissement mm	Rc7 MPa	Moyenne MPa	Rc28 MPa	Moyenne MPa	Observation
10	361	0.80	0.40	60	11	2028	75	5.10 5.36 5.51 5.15 5.20	5.26	15.50 15.76 15.50 15.24 14.98	15.40	
11	336	0.80	0.40	84	11	2024	50	6.60 6.45 6.29 6.19 6.60	6.43	14.35 14.20 13.99 14.40 13.99	14.19	
12	363	0.70	0.40	73	11	2042	65	6.76 6.81 6.86 6.81 6.04	6.66	14.92 15.18 14.56 14.77 14.77	14.84	
13	317	0.8	0.38	91	19	2048	45	5.41 5.04 5.30 5.41 5.25	5.28	12.12 12.95 12.95 11.96 12.06	12.41	
14	254	0.80	0.38	127	15	2042	25	3.43 3.54 3.90 3.84 3.64	3.63	8.32 7.54 8.06 7.75 7.64	7.86	
15	406	0.63	0.30	68	11	2083	30	9.57 9.46 9.41 9.44 9.52	9.48	20.33 20.54 20.54 20.54 20.51	20.49	Passant 200 seulement en fines
16	449	0.61	0.35	64	15	2069	35	9.62 9.52 9.62 9.57 9.62	9.59	18.20 19.50 17.26 17.94 18.72	18.32	Passant 200 seulement en fines
17	324	0.76	0.30	54	0.6% de C 17	2042	40	5.77 6.66 6.71 6.76 6.48	6.48	10.74 9.78 10.35 10.14 10.40	10.28	Rc7 réalisée par le technicien
18	365	0.72	0.35	52	23	2055	35	8.84 9.36 9.1 9.88 8.84	9.20	17.37 17.42 16.38 17.16 16.33	16.93	Adjuvant 0.6% de C pour gâchée 17 et 18

Résultats de formules de bétons de sable dosés à 130 kg/m<sup>3</sup> de fines de calcaires par la société UNIMIX (Région Bordelaise)

CIMENT (dosage en kg/m <sup>3</sup> )	Nombre de résultats	Compression Rc à 28 jours (MPa)	Etendue
250	15	12,5	11-19
290	25	17	21-29
320	10	22	18-26
360	15	26	19-31
400	8	33	28-38
450	12	46	40,5-51,5

Les résultats obtenus par des essais de béton de sable effectués par le CEREEQ dans la période de mai à juin 1990, sur ma demande dans le cadre de mon PFE à l'ENPC, sont les suivants :

DOSAGE	RÉSULTATS		
	à 7 jours	à 14 jours	à 28 jours
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ciment CHF : 350 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- Filler de calcaire de Bargny : 50 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- Sable de dune de Lobatt FALL : 900 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- Plastifiant (plastocrète 160) : 0,4 %</li> <li>- Eau : 250 l/m<sup>3</sup></li> </ul>	Rc = 15,9 MPa	Rc = 19,2 MPa	Rc = 25,2 MPa
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ciment CHF : 400 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- Filler de Calcaire de Bargny : 50 kg/m<sup>3</sup></li> <li>- Sable de dune de Lobatt FALL : 1200kg/m<sup>3</sup></li> <li>- Eau : 319 l/m<sup>3</sup></li> <li>- Plastifiant (plastocrète 160) : 0,4 %</li> </ul>	Rc = 10,3 MPa	Rc = 15,3 MPa	Rc = 19,5MPa

CENTRE EXPERIMENTAL DE RECHERCHES ET D'ETUDES POUR L'EQUIPEMENT

ETABLISSEMENT PUBLIC A CARACTERE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL



DAKAR - Hann  
 B.P. 189  
 Tél. : 21-35-18 - 22-52-29  
 Compte : 417.400  
 B C E A O - Dakar

Dakar, le 21 Août 1991

Dossier N°  
 Réception N°  
 Essai : B. 11.340

Essais de Compression sur Cylindres de Béton H. 32 cm  
O. 16 cm

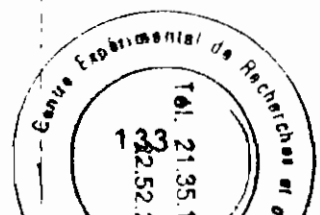
Provenant du Chantier : Rue 15, Médina  
 Nature du Travail : Planche d'essai expérimentale béton de sable  
 Entrepreneur : Commune de Dakar

**COMPOSITION**  
**D U**  
**BETON**

Gravier ...  
 Gravier  
 Gravier **Filler calcaire de Bargny** : 50 kg  
 de dune : 1000 kg  
 Sable :  
 Ciment **Cap-Vert CPA 325** : 350 kg  
 Eau : **s/matériaux secs** : 250 litres  
**Plastocrète** : 0,4 %  
 Durée du Malaxage : Temps de Vibration

Date de Réception au Centre

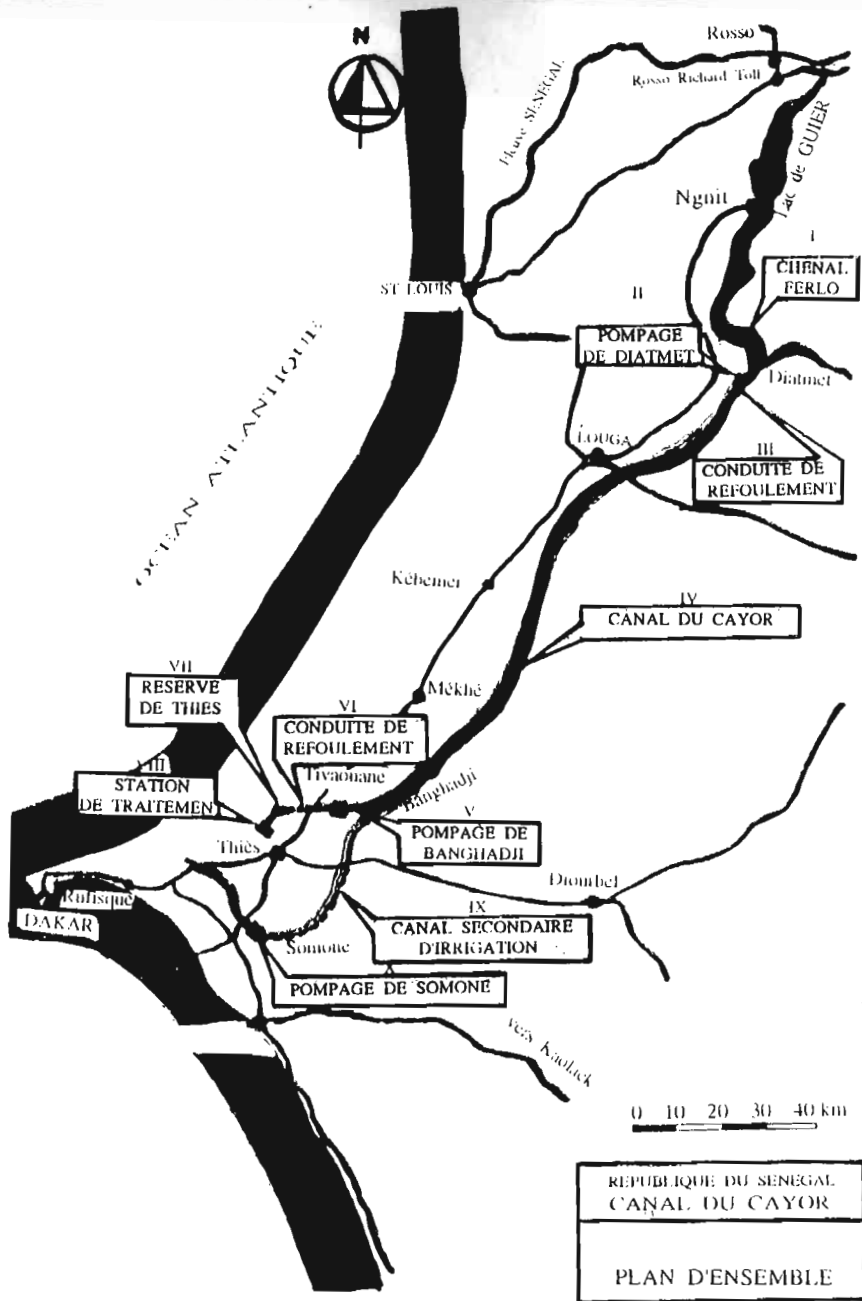
Numéro ou Marques	D A T E S		AGE	Poids sec du Cylindre	Charge de rupture K N	Résistance bars	Moyenne bars
	de fabrication	de l'essai					
1	10.7.91	17.7.91	7j	12,850	204	102	102
2	10.7.91	24.7.91	14j	12,610	248	124	124
3				12,535	272	136	
4	10.7.91	7.8.91	28j	12,360	260	130	



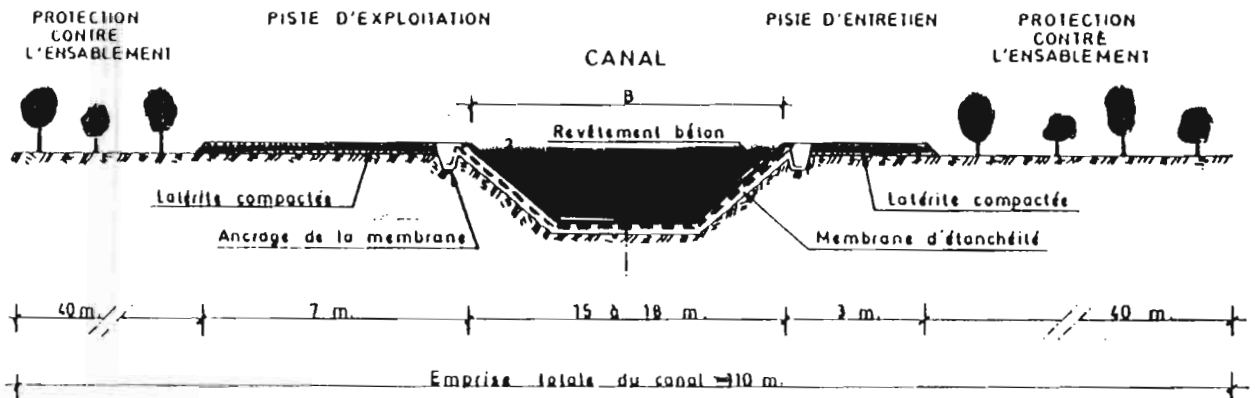
LE DIRECTEUR DU C.E.R.E.O.

## ANNEXE IV

' LE CANAL DU CAYOR



SECTION COURANTE DE L'EMPRISE  
DU CANAL



# ANNEXE V

**QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATION**

**OU DE REALISATION EN BETONS DE SABLE**



### 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, on ne dispose que de peu d'éléments sur leur comportement au fluage, ce qui les exclut dans l'immédiat des éléments de structure fortement sollicités ou précontraints ;

— enfin, les données sur la durabilité sont encore peu nombreuses, encore que rassurantes : on cite souvent des réalisations en béton de sable plus que centenaires : aqueduc de la Vanne, en région parisienne sur une section de plus de 40 km, phare de Port-Saïd en Égypte, grand mur de retenue qui domine la place du Trocadéro à Paris, etc. La formulation de l'époque était en définitive assez voisine de l'actuelle : le liant employé était de la

chaux hydraulique utilisée à fort dosage (3/4 à 2/3 de sable 1/4 à 1/3 de chaux) ; on retrouve ce principe de nos jours si l'on considère l'ensemble ciment + fines d'apport utilisé.

Les bétons de sable sont finalement plus anciens que les bétons traditionnels ; leur mise en sommeil a tenu à la facilité d'obtenir des résistances élevées avec des granulats de plus gros diamètre ; la raréfaction de ces derniers associée aux coûts des transports posent, à l'heure actuelle, le problème d'un nouvel essor de la technique des bétons de sable.

### EXEMPLES D'EMPLOI

La plupart des applications actuelles du béton de sable tiennent davantage à ses propriétés spécifiques, par rapport au béton traditionnel, qu'à l'économie qu'il pourrait représenter en remplaçant celui-ci.

Les figures 5 à 15 illustrent ces applications.



Fig. 5. — Injection en sous-œuvre.  
Injection sous platelage d'une pile de pont ancien  
Cohésion, bonne tenue au délavage permettant les travaux en site aquatique



Fig. 6. — Bâtiments de plusieurs étages montés sur poutres précontraintes (1) séparées par des caissons décoratifs (2).  
(1) béton de sable avec ajouts de gravillons (G/S = 1).  
(2) béton de sable avec fines (G/S = 0).

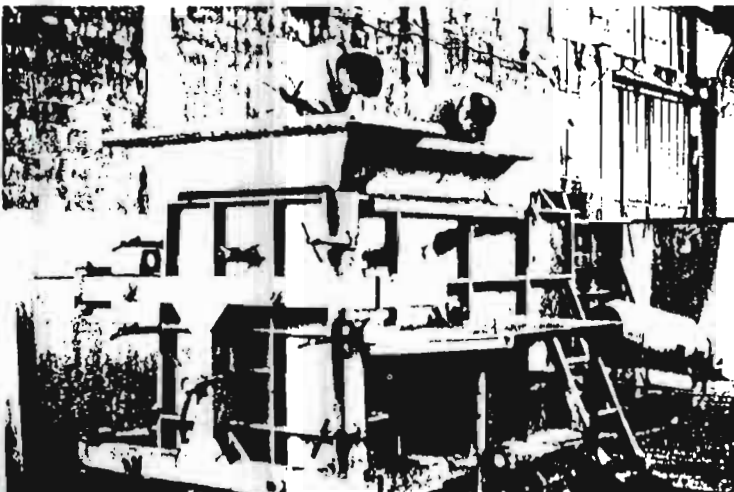


Fig. 7. — Des pièces très volumineuses peuvent être fabriquées avec des bétons de sable plastique sans modifier les temps de démoulage si leur maniabilité devrait permettre un allègement des moules, la vibration nécessaire étant très faible.

restées sans suite. Le principe physique du phénomène semble être qu'au concassage on libère des surfaces physico-chimiquement actives tant qu'elles sont fraîches, sur lesquelles se fixe le liant.

En ce qui concerne les bétons de sable, il semble que cette technique soit tombée en sommeil en URSS, comme en Europe occidentale, vers les années 1920 ; elle va redevenir d'actualité au cours de la deuxième guerre mondiale : à la guerre éclair de juin 1941 suit une guerre de positions (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 : on peut citer, en particulier, l'aérodrome militaire de Pevek (en Sibérie) et celui d'Arkhangelsk ; il en existe certainement d'autres, mais 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 se situe vraisemblablement aux environs du million de mètres cubes par an dans les emplois identifiés des différents secteurs pris en compte dans le projet national français Sablocrète :

- routes, autoroutes, aérodromes,
- bâtiments et composants de génie civil,
- ouvrages d'art.

Les Soviétiques ont développé à travers ces usages toute une méthodologie de formulation et de mise en œuvre ; sur ce dernier aspect, deux points forts se dégagent :

- la préfabrication,
- la technique de projection.

Le béton de sable coulé en place, qui peut représenter, lorsqu'il est employé, des cubages importants (routes, travaux de bourrage ou de colmatage, dalles, etc.), est d'un usage moins fréquent en URSS par rapport aux deux autres procédés de mise en œuvre évoqués.

## Le béton de sable dans la préfabrication

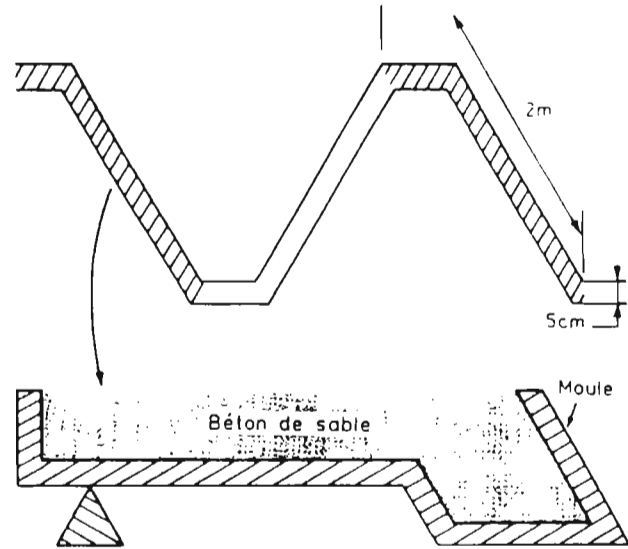
Lors de précédentes missions, on avait pu constater l'importance de la préfabrication en Union soviétique ; cette importance s'appliquait évidemment au béton de sable, au point de considérer que tous les usages de ce matériau se faisaient selon ce procédé : essentiellement des dalles et pavés pour allées piétonnes et des bordures de trottoirs ; les applications sont en fait beaucoup plus variées et concernent tous les domaines du bâtiment et des composants de génie civil.

On ne peut pas dresser une liste exhaustive de ces applications, aussi se contentera-t-on de quelques exemples représentatifs.

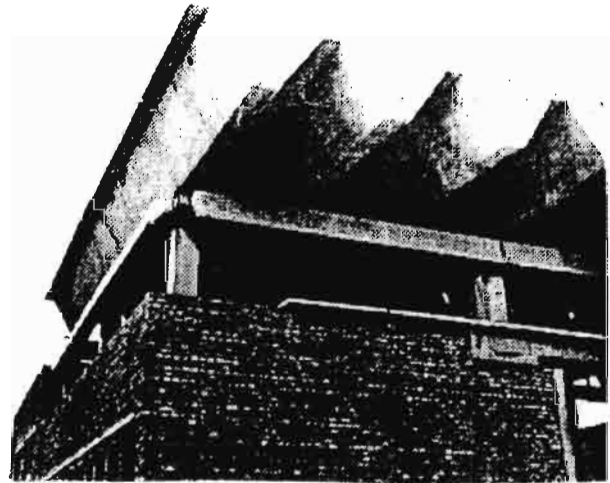
## Toitures à plis

Ces éléments préfabriqués ont une épaisseur de 5 cm, une hauteur de 2 m et une longueur pouvant atteindre 32 m. L'extérieur est revêtu d'un complexe rigide plastique-bitume (fig. 1).

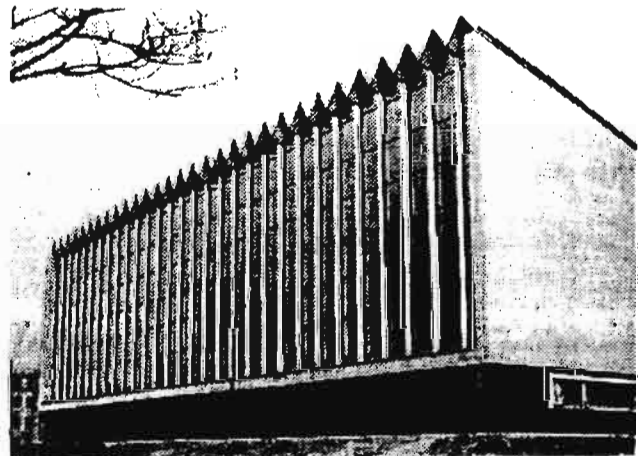
Fig. 1 - Toitures à plis



a. Moulage d'un élément.



b. Détail.



c. Vue générale.

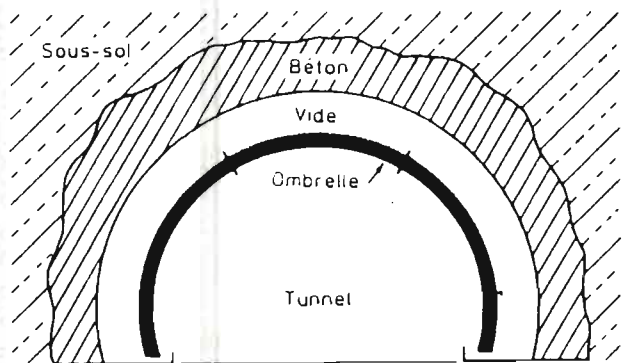
### Ombrelles d'étanchéité (fig. 2 )

La construction de tunnels et de métros en URSS a conduit à développer une technologie originale, le perçement au bouclier, qui est largement utilisé et associé au serrage de revêtements en béton armé dans la roche. Cette technique a été largement employée pour le métro de Leningrad. La finition est assurée par la mise en place d'une ombrelle d'étanchéité : il s'agit d'une voûte à caractère autoporteur constituée de plusieurs éléments (généralement trois) assemblés sur place et réalisés dans une usine de préfabrication. Ces éléments sont constitués en béton de sable armé, leur épaisseur est de

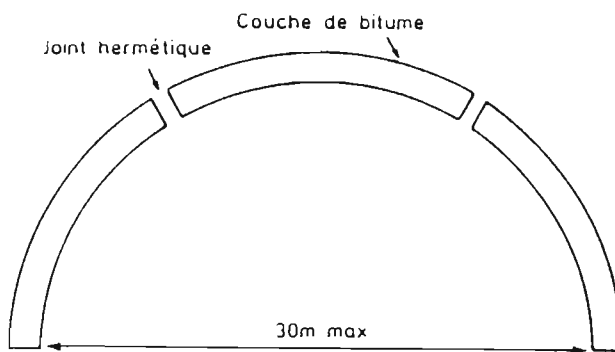
l'ordre de 2 cm. La partie côté voûte est imperméabilisée au bitume et une rigole en pied de voûte permet de collecter d'éventuelles venues d'humidité. L'utilisation d'ombrelles d'étanchéité a permis d'économiser les travaux d'encaissement et de réduire de façon importante la masse des structures en place.

La préfabrication soviétique produit également des toitures complètes d'édifices : ce sont des éléments armés en béton de sable de 5 à 7 cm d'épaisseur pouvant atteindre 100 m de long après assemblage et à double courbure ; ces éléments sont assemblés sur le chantier (fig. 3).

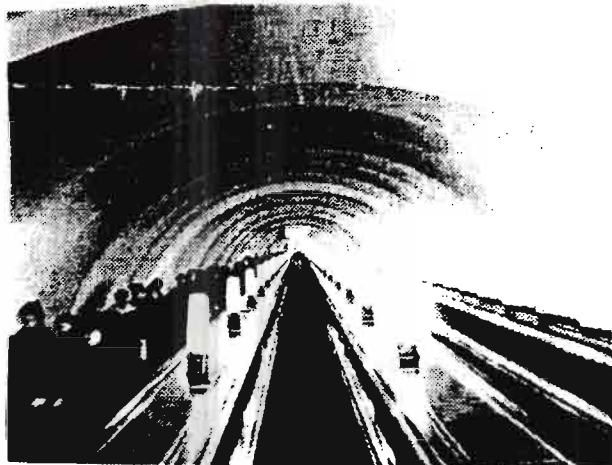
Fig. 2 - Ombrelles d'étanchéité



a. Ombrelle en place : principe.



b. Assemblage des éléments d'ombrelles.

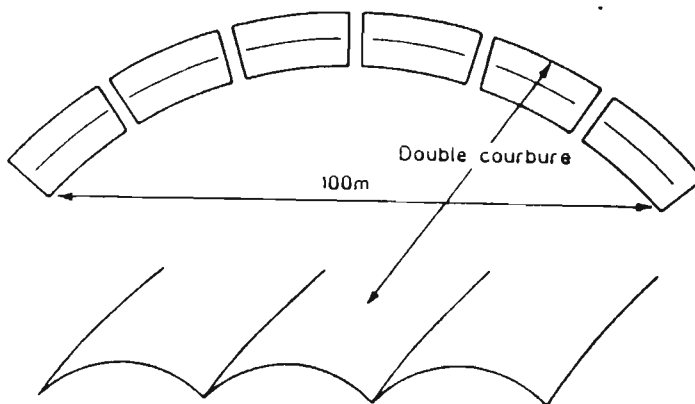


c. Tunnel d'accès au métro de Leningrad (qui se trouve à grande profondeur). Exemple d'application d'ombrelles.



d. Tunnel du métro de Leningrad. Exemple d'application d'ombrelles.

Fig. 3 - Toitures d'édifices



## Murs architecturaux - Mobilier urbain

Un grand nombre d'objets : monuments, statues, bacs, murs architecturaux sont réalisés en préfabrication, notamment dans les usines de Leningrad.

Pour les murs architecturaux (fig. 4), le fond des moules (là où se situe le décor) est rempli de béton de sable, le reste du moule étant complété par du béton classique armé. Chacun des moules est numéroté pour constituer ensuite des décors plus complets.

Le problème du bullage en surface des objets fabriqués a été résolu, soit par un système de secousses des moules, soit en disposant, à la surface interne du moule, un revêtement plastique absorbant l'air.

## Bâlements

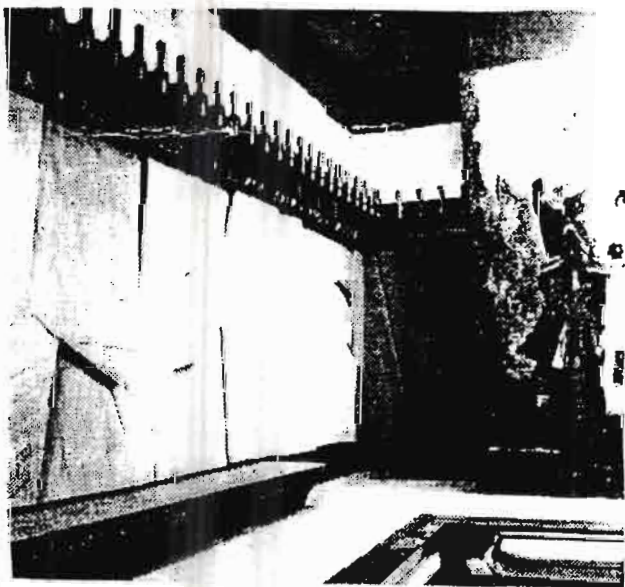
Un nombre très important d'éléments préfabriqués entre dans la construction des bâtiments en Union soviétique ; lorsque le béton de sable

présente un intérêt économique, ils sont en béton de sable, notamment à Nadym, en Sibérie, où 20 000 m<sup>3</sup> de béton de sable sont utilisés annuellement pour de tels usages.

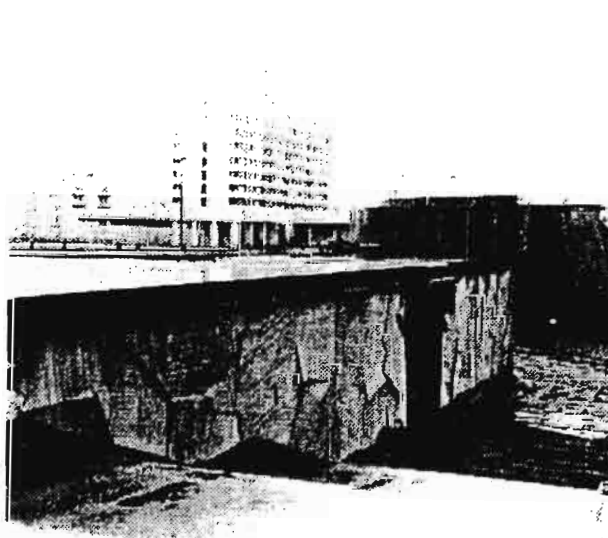
Dans cette ville, de nombreux immeubles de huit étages sont pratiquement entièrement en béton de sable (poteaux, planchers, escaliers, murs porteurs, etc.), à l'exception des murs extérieurs qui sont en béton léger (pour concilier isolation thermique et résistance : en hiver, il fait - 40 °C à l'extérieur et + 20 °C à l'intérieur). Toutefois, il n'y a pas qu'en Sibérie que de tels bâtiments sont réalisés : à Moscou, la Banque pour le Commerce Extérieur, à part l'ossature métallique et le parement de façade en pierre, est entièrement en béton de sable ; ce bâtiment a utilisé à lui seul plus de 5 000 m<sup>3</sup> de béton de sable.

A noter également d'intéressantes réalisations, comme les plafonds à caissons réalisés à Leningrad : il s'agit d'éléments assemblés permettant de réaliser des portées de 36 m sans appuis intermédiaires.

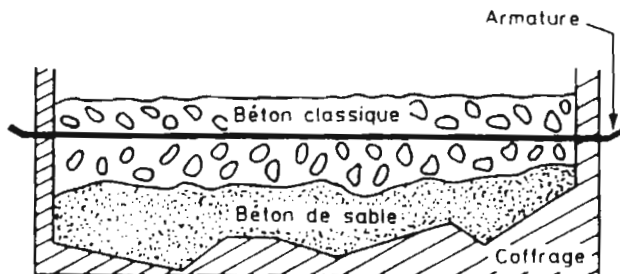
Fig. 4 - Murs architecturaux



a. Intérieur.



b. Extérieur.



c. Moule de fabrication (élément numéroté).