

Dédicaces

🌸 Au Seigneur **DIEU Tout Puissant** qui m'a créé et m'a donné la faculté de connaître et de comprendre, qu'il soit loué éternellement Amen !

🌸 A **Mes Parents** qui m'ont donné la vie et qui ont guidé mes premiers pas dans la recherche du savoir et de la réussite.

🌸 A **mon défunt oncle ASSAN Marcel** Puisse le Seigneur lui réserver une place à ses côtés.

🌸 A **mon Oncle AHMADOU Issa** qui m'a soutenu et encouragé.

🌸 A **mon grand frère BELLO Ousmanou** qui m'a toujours soutenu et éprouvé de la joie pour mes victoires et de la peine pour mes souffrances.

🌸 A **mon épouse SOSSOU Edwige ABADJE** qui a toujours cru en moi et m'a soutenu avec fougue.

Je vous dédie ce mémoire.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma formation. Je remercie particulièrement :

- ✦ M. Samy LEBELLE, Professeur de Génie Civil au 2iE Groupe EIER-ETSHER, qui par ses efforts de formateur, son soutien permanent, m'a encadré tout au long de cette étude sans ménager aucun effort. Merci pour votre présence continue, votre encadrement, votre spontanéité appréciée par tous et votre gentillesse.
- ✦ A tout le personnel du Laboratoire de génie civil du 2iE Groupe EIER-ETSHER, plus particulièrement à M. KONE Tofangui, M. BABAKAR Ouédraogo, et M. KABORE Salif pour avoir mis à ma disposition toutes les informations nécessaires pendant mes travaux au Laboratoire.
- ✦ M. Hippolyte Freitas et Mon épouse SOSSOU Edwige Abadjè d'avoir accepté de relire le manuscrit de mon rapport.
- ✦ Le corps enseignant pour la qualité de la formation reçue.
- ✦ J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à tous mes camarades de la 36^{ème} promotion du 2iE Groupe EIER-ETSHER, avec qui nous avons passé trois années ensemble, des joies et des difficultés.

Que tous ceux ci-dessus cités reçoivent en ceci l'expression de ma profonde reconnaissance.

Table des matières.

<i>Dédicaces</i>	<i>i</i>
<i>Remerciements</i>	<i>ii</i>
<i>Table des matières</i>	<i>iii</i>
Liste des sigles et abréviations.....	v
Liste des tableaux	vii
Liste des courbes.....	vii
Liste des figures.....	vii
Liste des photos	vii
RESUME	9
INTRODUCTION	12
MATERIAUX ET FORMULATION DU BETON	13
1Matériaux	14
1.1 - Le sable.....	14
1.1.1- Analyse granulométrique : Manipulation selon la norme NF P 18-560.....	14
1.1.2- Expression des résultats	16
1.1.3- Equivalent de sable : Manipulation selon la norme NF P 18-598.....	18
1.1.4- Interprétation des résultats et qualité du sable.	20
1.2 - Le gravier.....	21
1.2.1- Analyse granulométrique : Manipulation selon la norme NF P 18-560.....	21
1.2.2- Expression des résultats	24
1.2.3- Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles)	26
1.2.4- Résultats essais Los Angeles.....	26
1.3 - Le polypropylène. [2]	27
1.3.1- Historique et production.....	27
1.3.2- Producteurs et sites de production dans le monde.....	29
1.3.3- Utilisation:	30
1.3.4- Caractéristiques polypropylènes : Notice technique Edition avril 2004 Numéro 1.96 Version n°49.2004 SIKA® FIBRES POLYPROPYLENE.....	31
1.4 - Le coton. [3]	33
1.4.1- Historique et production.....	33
1.4.2- Exemple de filière de production africaine : cas du BURKINA-FASO premier producteur d'Afrique.....	38
1.4.3- Données économiques du monde :	40
1.4.4- Caractéristiques du coton.	42
2Formulation du béton	47
2.1 - Le béton : concept et définition	47
2.1.1- Concept et définition.[4]	47
2.1.2- Classification des bétons et techniques de renforcement	48
2.2 - Formulation d'un béton : Méthode Dreux Gorisse.[5].....	51
2.2.1- Dosage en ciment et eau.....	51
2.2.2- Dosage en pourcentage des granulats.	54
2.2.3- Dosage en masse des granulats.	55
2.2.4- Formule en masse et en volume	57
2.2.5- Détermination du temps de vibration.....	57
2.2.6- Evaluation du nombre d'essais (nombre éprouvettes) à réaliser.....	58
RESULTATS ET INTERPRETATION	60
3Confection des éprouvettes résultats des essais et interprétations	61

3.1 -	Eprouvettes cylindriques pour essais de compression.	61
3.1.1-	Réalisation des éprouvettes.	61
3.1.2-	Aspect des éprouvettes après décoffrage	61
3.1.3-	Essai de compression : Essai et résultats.	62
3.1.4-	Aspect des éprouvettes après rupture : mode de rupture.	65
3.2 -	Eprouvettes rectangulaires de 10*10*40 pour essais de traction par flexion.	67
3.2.1-	Réalisation des éprouvettes.	67
3.2.2-	Aspect des éprouvettes après décoffrage	67
3.2.3-	Essai de traction par flexion : Essai et résultats.	67
3.2.4-	Aspect des éprouvettes après rupture : mode de rupture.	71
3.3 -	Interprétation des résultats.	72
3.3.1-	Interprétation résultats essais de compression.	72
3.3.2-	Interprétation résultats essais de traction par flexion.	73
	CONCLUSION	75
	BIBLIOGRAPHIE	77
	ANNEXES	78

Liste des sigles et abréviations

- A:** Affaissement au cône d'Habrams.
AFIS: Advance Fiber Information System
b: Largeur de la poutre
BAEL : Bétons Armés aux Etats Limites.
BAN: Béton Auto Nivelant
BAP : Béton Auto Plaçant
BHP: Bétons Hautes Performances.
BIB: Banque Internationale du Burkina
BICIA-B: Banque Internationale pour le Commerce l'Industrie et l'Agriculture du Burkina
C : Dosage en ciment
Cc: Coefficient de courbure
CGFC: Comité de Gestion de la Filière Coton.
CNUCED: Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement.
CPA 45: Ciment Portland avec Ajout de résistance minimale à 28 de 45 MPa
Cu: Coefficient de courbure
d : Plus petit diamètre des grains
D : Plus gros diamètre des grains
Dagris: Développement des Agro-Industries du Sud.
DM: Dull Mixed stain.
D₆₀: Diamètres des éléments correspondant à 60% de tamisats cumulé.
D₁₀: Diamètres des éléments correspondant à 10% de tamisats cumulé.
D₃₀: Diamètres des éléments correspondant à 30% de tamisats cumulé.
E: Dosage en eau
E.S. : Equivalent de sable.
E.S.V. : Equivalent sable visuel
FAO: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
F'_c: Résistance visée à 28 jours
F_{c28}: Résistance désirée
F_{cj}: Résistance à la compression à j jour
FMT: Fineness Maturity Tester
G: Gravier.
G: coefficient granulaire.
GPC: Groupement des Producteurs du Coton.
h : Hauteur de la poutre.
H₁ : Hauteur flocculant
H'₂ : Hauteur sable à vue
H₂ : Hauteur sable au piston
HVI: High Volume Instrument Measurements.
I: Moment d'inertie
INERA: Institut National de Recherche Agronomique Burkinabé
J: Jour
K: Terme correcteur qui dépend du dosage en ciments de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés
L: Portée de la poutre
L_A : Coefficient Los Angeles.
M : Masse

M_{max}: Moment maximum à la rupture
M_f : Module de finesse
M_h : Masse humide d'essai
NIR: Near Infra Red
OGM: Organisme Génétiquement Modifiés
P: Charge maximum à la rupture
P.E. : polyéthylène
P_g: Poids du gravier.
P_s: Poids du sable.
R : Refus
RDS: Dispersion.
S: Sable.
SDM: Slight Dull Mixed stain.
SOFITEX: Société des Fibres Textiles du Burkina
t: Temps de vibration
T : Tamisats
Tex: Poids en grammes de 1000m de fibres
UNPCB: Union des Producteurs de Coton du Burkina Faso
USDA: Département Américain de l'Agriculture
v : Distance de la fibre neutre à la partie la plus tendue
V_c: Volume ciment
V_g: Volume gravier
V_s: Volume sable
W : Teneur en eau
W_g: La masse spécifique du sable
W_s: La masse spécifique gravier
Ø: Diamètre
 σ_c : Classe vraie du ciment
 γ : Coefficient de compacité
 σ : Ecart type
 σ_{max} : Contrainte maximum à la rupture

Liste des tableaux

Tableau 1: Condition de classification des granulats norme NFP 18-304.....	18
Tableau 2: Résultats équivalent sable.....	21
Tableau 3: Caractéristiques de l'essai Los Angeles.....	26
Tableau 4: Résultats Los Angeles.....	26
Tableau 5: Producteurs de polypropylène et sites de production dans le monde (2003).....	29
Tableau 6: Situation française en polypropylène (2003).....	30
Tableau 7: Nombre d'usine et capacité de production.....	39
Tableau 8: Données économiques.....	40
Tableau 9: Grades de couleur du coton Upland USDA 1993.....	43
Tableau 10: Longueur des fibres et code.....	44
Tableau 11: Uniformité de la longueur des fibres et signification.....	45
Tableau 12: Résistance des fibres de coton.....	46
Tableau 13: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.....	52
Tableau 14: Correction du dosage en eau selon le diamètre.....	53
Tableau 15: Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.....	54
Tableau 16: Valeur du coefficient de compacité γ	55
Tableau 17: Dosage du béton.....	57
Tableau 18: Evaluation du nombre des essais.....	58
Tableau 19: Résultats résistance à la compression du béton témoin.....	63
Tableau 20: Résultats résistance à la compression du béton avec fibres de polypropylène dosée à 0,6kg/m ³	63
Tableau 21: Résultats résistance à la compression béton avec fibre de coton dosé à 0,6 Kg/m ³	63
Tableau 22: Résultats résistance à la compression béton avec fibres de coton dosé à 1,2 Kg/m ³	64
Tableau 23: Résistance à la traction par flexion béton témoin.....	68
Tableau 24: Résistance à la traction par flexion béton avec fibres de polypropylène.....	68
Tableau 25: Résistance à la traction par flexion béton avec fibres de coton dosé à 0,6 Kg/m ³	68
Tableau 26: Résistance à la traction par flexion béton avec fibres de coton dosé à 1,2 Kg/m ³	69
Tableau 27: Récapitulatif des résultats d'essai de compression.....	72
Tableau 28: Récapitulatif des résultats d'essai de traction par flexion.....	73

Liste des courbes

Courbe 1: Courbe granulométrique du sable.....	16
Courbe 2: Courbe granulométrique gravier.....	24

Liste des figures

Figure 1: Productions annuelles en 2003 du polypropylène dans l'Union Européenne.....	28
Figure 2: Les 06 Producteurs représentant les 30 % de la production mondiale.....	29
Figure 3 : Moyenne mondiale de consommation.....	30
Figure 4: Période de semis et de récolte du coton selon les pays producteurs.....	37
Figure 5: organisation de l'union nationale des producteurs du coton du BURKINA-FASO.....	39
Figure 6: Graphique indiquant approximativement le dosage en ciment.....	53
Figure 7: Graphique indiquant le temps de vibration en fonction de la nature des granulats.....	58
Figure 8: Schéma mécanique de l'éprouvette.....	70

Liste des photos

Photo 1: fruit du cotonnier.....	34
Photo 2: Eprouvettes béton témoin.....	61
Photo 3: Eprouvettes en béton dosé aux fibres de coton (1,2 Kg/m ³).....	62
Photo 4: Eprouvettes en béton dosé aux fibres de polypropylène (0,6 Kg/m ³).....	62

Mémoire de fin d'étude de Master d'Ingénierie juin 2007.
Etude de l'influence des fibres de coton sur la résistance des bétons.

<i>Photo 5: Eprouvettes béton témoin.....</i>	<i>65</i>
<i>Photo 6: Eprouvettes en béton dosé aux fibres de polypropylène (0,6 Kg/m³).....</i>	<i>65</i>
<i>Photo 7: Eprouvettes en béton dosé aux fibres de coton (0,6 Kg/m³).....</i>	<i>66</i>
<i>Photo 8: Eprouvettes en béton dosé aux fibres de coton (1,2 Kg/m³).....</i>	<i>66</i>
<i>Photo 9: Aspect des éprouvettes après décoffrage.</i>	<i>67</i>
<i>Photo 10: Photo de l'éprouvette sur le portique d'essai universel.....</i>	<i>69</i>
<i>Photo 11: Mode de rupture des éprouvettes béton témoin.....</i>	<i>71</i>
<i>Photo 12: Mode de rupture des éprouvettes béton dosée aux fibres de coton (0,6 Kg/m³).....</i>	<i>71</i>
<i>Photo 13: Mode de rupture des éprouvettes béton dosée aux fibres de coton (1,2 Kg/m³).....</i>	<i>72</i>

AUTEUR : GARBA OUSMANOU

Professeur responsable : Samy LEBELLE

Laboratoire : Laboratoire d'écomatériau
de construction du 2iE Groupe
EIER-ETSHER

THEME :

Etude de l'influence des fibres de coton sur la résistance des bétons.

RESUME

L'utilisation des matériaux locaux dans la construction a été une volonté réelle en Afrique depuis plusieurs décennies. L'Association pour le Développement naturel d'une Architecture et d'un Urbanisme Africain (ADAUA) en avait fait son credo dans les années 70. Beaucoup de constructions, notamment en Afrique subsaharienne témoignent encore de cette volonté. Dans son sillage, des institutions de formation et de recherche ont accompagné cette dynamique pour améliorer l'état des connaissances tant sur les technologies de mise en oeuvre que sur la caractérisation des différents matériaux de construction. A l'instar des établissements européens tels que le Centre International de la Construction en Terre (CRATerre) créée en 1973, et plus tard le Building Advisory Service Information Network (BASIN) en 1988, les deux écoles qui aujourd'hui forment le 2iE (l'EIER et l'ETSHER) et d'autres institutions ont tous participé à cette recherche-développement-dissémination, et ont largement contribué à une meilleure connaissance scientifique et technique dans ce domaine en Afrique. La communauté scientifique mondiale lui est tributaire, notamment de l'invention de l'adobéton dans les années 90. L'adobéton est une technique de construction dont les murs sont en briques de terre crue (adobe) mais dont la protection contre les intempéries est assurée par des écailles de béton de sable. Des constructions sur le site du 2iE à Ouagadougou réalisées à l'époque selon cette technique existent encore en parfait état. Dans le même ordre d'idée, il est à présent question de savoir si les fibres de coton matériau local tout comme d'autres fibres pourraient améliorer les performances des bétons et mortiers ?

Avant de formuler le béton proprement, il a été effectué une série d'analyses sur les matériaux devant constituer le béton. Parmi ces analyses, l'analyse granulométrique pour le sable et gravier donnant pour le sable un module de finesse de 2,21 indiquant que le sable est dans le fuseau acceptable, un coefficient d'uniformité de 4,43 indiquant que le sable a une granulométrie étalée, un coefficient de courbure de 0,86 et un équivalent de

sable de 87 % montrant un très bon degré de propreté du sable. Pour le gravier nous avons obtenu un Los Angeles de 25% montrant que le gravier est acceptable pour la formulation du béton. Les autres matériaux comme le polypropylène et le coton sont donnés par la société SIKA pour le polypropylène et le coton provenant de la SOFITEX. Nous avons amélioré les qualités du coton en les découpant en longueur de 18 mm afin d'éviter un problème de ségrégation à l'intérieur de la matrice du béton. Aucune analyse n'a été effectuée sur les ciments car le laboratoire ne dispose pas d'équipements nécessaires pour les essais sur les ciments tout de même le ciment utilisé est un ciment CPA 45 provenant du Togo.

La composition des bétons aux fibres de coton tout comme les autres bétons fibrés est basée sur la détermination des différentes composantes du béton à savoir le sable le gravier, le ciment, l'eau, et la proportion des fibres fixée par le fabricant pour ce qui est du coton, nous avons pris les valeurs minimale $0,6 \text{ Kg/m}^3$ et maximale $1,2 \text{ Kg/m}^3$ autorisées pour la formulation des bétons fibrés. Le choix de la valeur minimale et maximale est dû au fait que le coton est en phase expérimentale donc nous ne savons quel dosage est approprié. Nous avons déterminé les proportions des composantes du béton par la méthode DREUX Gorisse et le gâchage est effectué en suivant la procédure des bétons fibrés. L'ajout des fibres de coton nous a exigé l'augmentation de la quantité d'eau de gâchage. Nous avons confectionné les éprouvettes cylindriques conformément à la norme NF P 18-404 et pour ce qui est des éprouvettes rectangulaires nous avons réalisé des moules de $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ en bois blanc. L'aspect des éprouvettes aux fibres de coton après démoulage était rosâtre et présentait moins de micro fissures que le béton ordinaire. Nous avons réalisé l'essai d'écrasement sur les éprouvettes cylindriques quant aux éprouvettes rectangulaires, nous avons utilisé le portique universel pour l'essai de flexion. Les essais sur les mortiers n'ont pas été faits ne disposant pas d'appareils appropriés. Les essais nous ont donné des informations sur les modes de rupture des éprouvettes les éprouvettes aux fibres de coton étaient plus ductiles que les éprouvettes en béton ordinaire car nous avons constaté qu'elles pouvaient se casser sans se rompre. L'ajout de fibres de coton confère aux bétons une sorte de cohésion interne entre les grains en s'entrelaçant entre les grains de la matrice de béton, et selon le théorème de CAUCHY : pour un matériau homogène et isotrope la contrainte tangentielle est la même dans toutes les directions [6] cette cohésion renforce implicitement la résistance à la compression de l'ordre de 4,35%. Dans des proportions très élevées, les fibres de

coton font chuter la résistance à la compression du béton qui passe de 25,40MPa pour un dosage en fibres de 0,6 Kg/m³ à 12,43MPa pour un dosage en fibres de 1,2 Kg/m³. En ce qui concerne les performances à la traction des bétons, il y a pas eu augmentation par l'ajout de fibres au sein de la matrice de béton du fait que soit les dimensions adoptées pour les éprouvettes ne sont pas appropriées, soit l'essai de traction par flexion n'est pas indiqué il fallait soumettre l'éprouvette à un essai de traction pure. Cependant, il existe une limite au delà de laquelle un surdosage en fibres entraînerait une perte de résistance à la traction.

Mots clés : matériaux locaux, coton fibre, bétons, résistance à la compression, résistance à la traction, ductile.

INTRODUCTION

Une technique récente, consiste à ajouter au béton des fibres afin d'en améliorer ces propriétés mécaniques (compression, fissuration, flexion). Le métré d'Orléans (auteur de l'article : cloche.chez.tiscali.fr) fût l'essai sur un tronçon comparatif entre du béton B45+treillis soudé et du B30 fibré polypropylène. Le tronçon en béton fibré a eu de meilleurs résultats aux tests mécaniques (arrachements de scellements, fissuration..). « Le résultat de mes surf sur le sujet m'a permis de déduire: Fibres polypropylène de 19 mm dosé à 900g/m³. Remplace le treillis soudé anti-fissuration » à c'est essais réalisés démontrant la performance des fibres dans les bétons [1]une réflexion à été menée de savoir si l'introduction de coton sous forme de fibres peut être envisagé en tant que produit de valorisation des bétons. L'objectif du travail de l'étude présenté ici est de savoir, si l'introduction de coton sous forme de fibres peut être envisagé en tant que produit de valorisation des bétons. Le mémoire après l'introduction générale, s'articule autour de deux parties :

- La partie consacrée à l'analyse des matériaux et à la formulation du béton : dans cette partie, il est question de se rassurer de la conformité des matériaux devant constituer le béton. A cet effet nous effectuerons pour le sable une analyse granulométrique pour déterminer les propriétés granulaires du sable, un essai d'équivalent sable pour connaître le degré de propreté du sable. Pour le gravier une analyse granulométrie un essai de résistance aux chocs (Los Angeles).Le polypropylène étant livré par la maison SIKA ne subira aucun test de qualité car le laboratoire ne disposant pas de d'appareils nécessaires il va de même pour le coton provenant de la SOFITEX et le ciment CPA 45 provenant du Togo. La formulation du béton par la méthode DREUX Gorisse. Dans cette rubrique nous verrons comment déterminer les proportions des matériaux ciment, sable gravier, eau, fibres qui vont constituer le béton et nous déduirons du dosage donné pour un mètre cube les différents dosage en litre et en kilogramme qu'il faut pour des éprouvettes à réaliser.
- La partie consacrée aux résultats et à l'interprétation de ces résultats : Dans cette partie il fallait confectionner les éprouvettes cylindriques et réfléchir sur la façon de réaliser les moules des éprouvettes rectangulaires et ensuite couler les éprouvettes rectangulaires. Les éprouvettes ainsi confectionnées, doivent être soumises à un certain nombre d'essai notamment l'essai de compression pour les éprouvettes cylindriques de 16x32 et l'essai de traction par flexion pour les éprouvettes rectangulaires de 10x10x40. Une interprétation des résultats suivra enfin cette série d'essai.

Enfin la conclusion qui fera un bilan sur toute l'étude menée, une synthèse et des perspectives éventuelles de recherche.

MATERIAUX ET FORMULATION DU BETON

1 Matériaux

1.1 - Le sable

1.1.1- Analyse granulométrique : Manipulation selon la norme NF P 18-560

✓ Préparation de l'échantillon pour l'essai.

La première question qui se pose est de choisir une masse d'échantillon à tamiser. Ce choix de masse doit vérifier plusieurs contraintes.

En effet, il faut que l'échantillon analysé soit en quantité suffisante pour être mesurable et pas trop important pour éviter de saturer les tamis ou de les faire déborder. En caricaturant, il est impensable d'analyser un échantillon d'un micro gramme, comme un échantillon d'une tonne. Une plage de masse limite qui permet d'éviter ces inconvénients. La masse de l'échantillon à prélever, M doit être dans la plage :

$$0,2xD < M < 0,6xD$$

On observe que cette plage est exprimée en fonction de D, qui représente le D de la classe du granulat « d/D » en mm.

M est indiquée en kg

Dans notre cas, à l'œil nu nous avons estimé un sable 0/5, D= 5mm.

Il faudra alors prélever des échantillons de masse comprise entre : $0,2x5 < M < 0.6x5$

C'est à dire : $1 \text{ Kg} < M < 3 \text{ Kg}$.

Nous avons choisie une masse $M = 1,5 \text{ Kg}$.

✓ Exécution de l'essai.

L'analyse granulométrique doit permettre de séparer les grains, d'un granulat et de les classer par diamètre. Le diamètre des mailles des tamis définit ces classes.

La vibration fait descendre les grains au travers des tamis jusqu'à ce qu'ils soient bloqués par le tamis de la maille correspondante au diamètre du grain. Mais la vibration n'est pas suffisante pour faire descendre les fines, c'est à dire les grains d'un très petit diamètre. En effet ces grains sont si fins qu'ils se collent aux grains d'un diamètre plus gros. Ces fines restent ainsi bloquées dans des tamis ne correspondant pas à leur diamètre. Sous le seul effet de la vibration, l'analyse est donc faussée. En effet, Chaque tamis contient les grains de diamètres correspondant plus une part de fines. La pesée du refus indiquera et représentera la masse des grains du diamètre correspondant au tamis plus la masse des fines collées aux autres grains. La masse mesurée sera donc supérieure à la masse recherchée.

✓ Tamisage.

Cette partie décrit les opérations de tamisage par vibration. Il fixe également les conditions à vérifier lors de ces opérations.

Verser le matériau dans la colonne de tamis. Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis, en les classant de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissantes.

La question du choix des tamis se pose ici. Quels sont les tamis nécessaires à l'analyse ?

Si la classe granulaire, d/D du granulat est connue, nous connaissons les dimensions du plus petit et du plus grand grain représentatif du granulat. Etre représentatif ne signifie pas être le plus petit ou le plus grand de l'échantillon. Il est fort probable que sur des tamis de mailles inférieures ou supérieures à d et D, des grains se déposent mais en faible quantité. La norme NF P 18-304 indique par le calcul que cela peut concerner les deux tamis de mailles inférieures à d est le tamis de maille

supérieure à D. Il faut donc choisir tous les tamis partant de deux mailles en dessous de d et allant jusqu'à deux mailles au-dessus de D (voir règle détermination de D dans la partie détermination de la classe granulaire).

Si la classe granulaire n'est pas connue, l'œil sera un bon indicateur pour classer approximativement un granulat. Il est à savoir qu'un sable est un granulat constitué de grain de taille comprise entre 0 et 5mm. En prenant les tamis dans ces plages, il est fort probable que l'analyse permettra de classer tous les diamètres de grain.

Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne, puis reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle. On agite chaque tamis en donnant à la main des coups réguliers sur la monture. D'une manière générale, on peut considérer qu'un tamisage est terminé lorsque le refus sur un tamis ne se modifie pas de plus de 1 % en une minute de tamisage.

Cette condition fixée par la norme pour savoir quand stopper le tamisage par vibration est largement vérifiée au bout de 10 minutes de vibration, ce qui est plus simple à mesurer.

Verser le tamisat recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.

✓ **Pesées.**

Cette partie décrit les opérations de pesée. Il fixe également les conditions à vérifier lors de ces opérations.

Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à : 100 g si $d < 1$ mm, 200 g si d compris entre 1 et 4 mm et 700 g si $d > 4$ mm. Cela permet de vérifier que les tamis ne sont pas saturés. Un tamis saturé perturbe l'effet de la vibration. En effet malgré la vibration, Certains grains peuvent rester coincés par d'autres en trop grande quantité dans un tamis alors qu'ils devraient descendre en traversant ce tamis. L'analyse de ce fait pourrait être faussée (dans ce cas on continue à la main).

Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille. Soit R_1 la masse de ce refus.

Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur ; ajouter le refus obtenu à R_1 et peser l'ensemble. Soit R_2 la masse des deux refus cumulés.

Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés $R_3, R_4, \dots, R_i, \dots, R_n$.

Peser s'il y en a, le tamisat au dernier tamis. Soit T_n sa masse.

Si après essai, les résultats montrent qu'un (ou plusieurs) tamis a (ont) été surchargé(s), l'essai doit être refait manuellement à partir de ce tamis.

1.1.2- Expression des résultats

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE P 18-560

Opérateur : GARBA OUSMANOU					
Date : 11 avril 2007					
Poids initial sec (g): 1500 g					
Modules AFNOR	Ø Tamis (mm)	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés
50	80				
49	63				
48	50				
47	40				
46	31,5				
45	25				
44	20				
43	16				
42	12,5				
41	10	9	9	0,60	99,40
40	8	43	52	3,47	96,53
39	6,3	50	102	6,80	93,20
38	5	80	182	12,13	87,87
37	4	57	239	15,93	84,07
36	3,15	74	313	20,87	79,13
35	2,5	66	379	25,27	74,73
34	2	59	438	29,20	70,80
33	1,6	67	505	33,67	66,33
32	1,25	71	576	38,40	61,60
31	1	100	676	45,07	54,93
30	0,8	102	778	51,87	48,13
29	0,63	114	892	59,47	40,53
28	0,5	185	1077	71,80	28,20
27	0,4	94	1171	78,07	21,93
26	0,315	117	1288	85,87	14,13
25	0,25	84	1372	91,47	8,53
24	0,2			0,00	100,00
23	0,16			0,00	100,00
22	0,125	99	1471	98,07	1,93
21	0,1			0,00	100,00
20	0,08	12	1483	98,87	1,13
Fond		11	1494	99,60	0,40

Courbe 1: Courbe granulométrique du sable.

✓ **Présentation des résultats.**

Voir la courbe granulométrique du sable en Annexes 1.

Axes :

- abscisses : Dimensions des tamis.
- ordonnées : Tamisats en pourcentage cumulé des grains, de 0 à 100%

Tracé : La courbe granulométrique est la ligne brisée qui joint les points mesurés.

✓ **Validité de l'analyse granulométrique.**

La somme des masses, R_n et T_n , ne doit pas différer de plus de 2 % de la masse M_{S1} . Cela permet d'observer et de vérifier si les pertes et les imprécisions liées à la manipulation sont dans des proportions suffisamment faibles pour ne pas fausser l'analyse.

Avec :

- R_n = Masse de refus cumulés sur le dernier tamis, c'est à dire le plus petit.
- T_n = Masse de tamisats sur le dernier tamis, c'est à dire, masse de refus dans le fond.
- M_{S1} = Masse initiale de l'échantillon

$$\frac{100[M_{S1} - (R_n + T_n)]}{M_{S1}} < 2 \% : \text{ Cette différence représente la valeur équivalente aux}$$

pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. Pour vérifier si cela n'a pas de conséquences sur la justesse de l'analyse, cet écart est observé par rapport à M_{S1} et exprimée en %. Ce % doit être $< 2\%$.

Pour ce qui est de notre analyse :

- $R_n = 1483$ g
- $T_n = 11$ g
- $M_{S1} = 1500$ g

$$\frac{100[1500 - (1483 + 11)]}{1500} = 0,4 \% < 2 \% \text{ OK! L'Analyse est validée.}$$

✓ **Module de finesse du sable.**

$$Mf = \frac{1}{100} * \Sigma \text{ des refus des tamis (23-26-29-32-35-38)}$$

$$Mf = \frac{1}{100} (0 + 85,87 + 59,47 + 38,40 + 25,27 + 12,13) = 2,21$$

Le sable constituant le béton est un granulat courant de granularité régulière donc de qualité granulaire excellente pour un béton avec un module de finesse de $2,20 < 2,21 < 2,80$ le module de finesse est compris dans le fuseau préférentiel pour les bétons.

✓ **Coefficient d'uniformité (Cu) de HAZEN W.**

$$D_{60} = 1,25 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 0,27 \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1,25}{0,27} = 4,63$$

$Cu = 4,63 > 2$: le sable a une granulométrie étalée

✓ **Coefficient de courbure (Cc).**

$$D_{60} = 1,25 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 0,27 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0,54 \text{ mm}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{(0,54)^2}{0,27 * 1,25} = 0,86$$

$$Cc = 0,86$$

✓ **Détermination de la classe granulaire du sable.**

L'analyse permet également de classer les granulats. La classe granulaire repère, un granulats afin de le différencier d'un autre. Cette classification désigne le granulats en indiquant son plus petit diamètre représentatif, d et son plus grand diamètre représentatif, D. Le granulats est appelé d/D.

La classe granulaire peut être définie approximativement par une lecture directe de la courbe granulométrique. Le plus petit diamètre se trouve en partant du début de la courbe. Ce plus petit diamètre devient représentatif dès que la valeur de son tamisat cumulé est la première à atteindre approximativement 5%. Le plus grand diamètre se trouve en fin de courbe. Il est représentatif dès que la valeur de son refus cumulé est le dernier à atteindre approximativement 5%.

La norme NF P 18-304 est plus précise. Elle détermine la classe granulaire en numérisant les critères de plus petits et de plus grand diamètre ainsi que le critères de représentativité.

Un granulats est dit "d/D" si d et D répondent aux 4 conditions numériques suivantes:

Tableau 1: Condition de classification des granulats norme NFP 18-304

N°	Dimension de tamis à repérer	Mesure à prendre	Condition à vérifier
1	0,63*d	Tamisat cumulé, T'	T' < 3% (Si D > 5mm) ou T' < 5% (Si D < 5mm)
2	d	Tamisat cumulé, T	1% < T < 15% (Si D < 1,56*d) ou 1% < T < 20% (Si D < 1,56*d)
3	D	Refus cumulé, R	1% < R < 15% (Si D < 1,56*d) ou 1% < R < 20% (Si D > 1,56*d)
4	1,56*D	Refus cumulé, R'	R' = 0

Nous avons ainsi déterminé un sable de classe 0/5

1.1.3- Equivalent de sable : Manipulation selon la norme NF P 18-598

✓ **La nature du sable.**

Le sable est un grain minéral dont le diamètre est inférieur à 5mm. Il est utilisé dans le béton afin de combler les vides entre les grains de gravier.

A l'état naturel, le sable se compose de grains de diamètres inférieurs à 5mm. Mais, il se compose de grains minéraux comme de grains organiques (argile). Ces grains organiques ont un diamètre inférieur à 0.08mm. Le mélange est appelé sable à partir du moment où à l'œil, il se compose d'avantage de grain supérieur à 0.08mm.

Cela signifie que le mot sable désigne deux choses. Le sable brut composé uniquement de grains minéraux et le sable tel qu'on le trouve dans la nature composé d'un mélange de sable brut et d'argile.

✓ **Les conséquences de la présence d'argile dans le sable.**

Dans certaines proportions, la présence d'argile dans le sable produit des effets sur le béton. Au-delà d'une certaine quantité, l'argile absorbe une partie de l'eau du béton pour former une boue. Cette boue gênera l'adhérence du ciment avec les granulats. Le béton une fois sec s'effrite et manque de résistance. En absorbant trop d'eau, l'argile en trop forte quantité, provoque un phénomène de retrait important par l'évaporation de l'eau.

Pour éviter ces phénomènes il faut vérifier que le sable naturel ne comporte pas une quantité d'argile nuisible au béton. L'argile apparaît ici comme une impureté dans le sable. La qualité du sable désigne alors sa propreté, c'est-à-dire la proportion de sable brut par rapport à l'argile. La vérification de la qualité du sable revient à vérifier sa propreté.

La présence d'argile dans le sable naturel contribue aussi à faciliter la mise en œuvre du béton. En effet, par leur petite dimension les grains d'argile se comporte comme des roulements à billes qui limitent le frottement entre les granulats.

En faible proportion, l'argile permet de faciliter la mise en œuvre du béton sans en altérer la résistance.

Le sable naturel de qualité est en conséquence un sable qui contient de l'argile dans des proportions qui permettent de faciliter la mise en œuvre du béton tout en garantissant la résistance souhaitée.

✓ **Le problème : déterminer la nature du sable.**

Le problème consiste donc à analyser la nature du sable, c'est-à-dire de trouver un moyen d'observer et de mesurer la proportion d'éléments argileux dans le sable.

Cette analyse permet de vérifier si l'argile se trouve dans des proportions qui permettent de réaliser un béton de qualité.

✓ **Un moyen précis : l'équivalent de sable.**

Comment faire pour observer l'argile présente dans le sable ?

Un moyen consiste à séparer l'argile du sable de façon précise, c'est-à-dire en limitant fortement les pertes de manipulation.

Pour cela il est à observer qu'en présence d'une solution de glycérine, formaldéhyde et de chlorure de calcium, l'argile flocule. C'est-à-dire que l'argile se rassemble sous forme de petits flocons. Après agitation dans cette solution, ces flocons descendent par gravité de façon très lente. Cela signifie qu'après agitation le sable brut descend très rapidement alors que l'argile se dépose beaucoup plus lentement en une vingtaine de minutes. Ainsi le sable brut peut être visiblement séparé de l'argile qui se déposera lentement au dessus.

La hauteur totale représente la hauteur de l'échantillon. Le rapport entre la hauteur de sable brut et la hauteur totale donne la proportion de sable brut dans le sable. Cette proportion exprimée en pourcentage est appelé E.S : Equivalent de Sable.

✓ Préparation de l'échantillon.

L'essai s'effectue sur un échantillon de sable humide afin d'éviter les pertes d'argile. Il faut vérifier que les grains de sable ont bien un diamètre inférieur à 5mm par tamisage et vérifier que la masse sèche de l'échantillon soit de 120g.

✓ Exécution de l'essai.

Le sable est incorporé dans une éprouvette normalisée et préalablement remplie de solution « lavante ». L'ensemble est agité à la main pour bien humidifier le sable et déloger les bulles d'air.

L'humidification dure dix minutes.

L'éprouvette est ensuite placée horizontalement dans une machine à vibrer automatique. L'éprouvette est vibrée 90 fois en 30 secondes.

Les éléments argileux flocculés sont ensuite remontés à l'aide d'un tube plongeur qui injecte de la solution « lavante ». Les bords supérieurs du tube sont aussi nettoyés pour que l'ensemble de l'échantillon soit plongé dans la solution. Le tube est plongé au fond de l'éprouvette et remonté lentement pendant que l'éprouvette est tournée également lentement.

L'argile à flocculé et se reparti dans la solution « lavante ». L'éprouvette va reposer durant 20 minutes le temps que tout le flocculat argileux se dépose sur le sable brut.

La limite entre le sable brut et l'argile est maintenant visible. Il est possible de mesurer à l'œil et au réglé, la hauteur de sable total et la hauteur de sable brut pour en déterminer la proportion, l'E.S.

Il est aussi possible de prendre cette mesure à l'aide d'un piston normalisé qui traverse la couche d'argile pour se poser sur le sable brut. La hauteur totale du sable se mesure comme précédemment. La longueur de la tige du piston correspond à la hauteur de l'éprouvette. La mesure de la longueur de la tige qui n'a pas pénétrée dans l'éprouvette correspond alors à la hauteur de sable brut.

1.1.4- Interprétation des résultats et qualité du sable.

Les valeurs de l'équivalent de sable indiquent la nature du sable en fonction du moyen de mesure et permettent d'en apprécier la qualité pour composer un béton.

Notre sable a donné les résultats suivants (voir tableau):

Tableau 2: Résultats équivalent sable.

Echantillon et provenance		Sable	
Prise N°:		1	2
Masse humide d'essai (Mh)	Masse humide (g)	120	120
	Masse sèche (g)	120	120
	Teneur en eau w en %	0%	0%
	Masse humide d'essai (g)	120	120
Mesures	Hauteur du floculant H1(cm)	9,7	10
	Hauteur à vue H'2(cm)	8,4	8,9
	Hauteur au piston H2 (cm)	8,25	8,75
	Equivalent de sable à vue (ESV)	86,6	89
	Equivalent de sable au piston (ES)	85,1	87,5
	Température °C (contrôle)	26	27
	Moyenne ESV	87,8	
	Moyenne ES	86,3	
	ES	87,05	

ES = 87 % > 85 % : Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

1.2 - Le gravier.

1.2.1- Analyse granulométrique : Manipulation selon la norme NF P 18-560

✓ Préparation de l'échantillon pour l'essai.

La première question qui se pose est de choisir une masse d'échantillon à tamiser. Ce choix de masse doit vérifier plusieurs contraintes.

En effet, il faut que l'échantillon analysé soit en quantité suffisante pour être mesurable et pas trop important pour éviter de saturer les tamis ou de les faire déborder. En caricaturant, il est impensable d'analyser un échantillon d'un micro gramme, comme un échantillon d'une tonne. Une plage de masse limite qui permet d'éviter ces inconvénients. La masse de l'échantillon à prélever, M doit être dans la plage :

$$0,2xD < M < 0,6xD$$

On observe que cette plage est exprimée en fonction de D, qui représente le D de la classe du granulat « d/D » en mm.

M est indiquée en kg

Dans notre cas, à l'œil nu nous avons estimé un gravier 6/25 D= 25mm.

Il faudra alors prélever des échantillons de masse comprise entre : $0,2 \times 25 < M < 0,6 \times 25$

C'est à dire : $5 \text{ Kg} < M < 15 \text{ Kg}$.

Nous avons choisie une masse $M = 4 \text{ Kg}$.

✓ Exécution de l'essai.

L'analyse granulométrique doit permettre de séparer les grains, d'un granulat et de les classer par diamètre. Le diamètre des mailles des tamis définit ces classes.

La vibration fait descendre les grains au travers des tamis jusqu'à ce qu'ils soient bloqués par le tamis de la maille correspondante au diamètre du grain. Mais la vibration n'est pas suffisante pour faire descendre les fines, c'est à dire les grains d'un très petit diamètre. En effet ces grains sont si fins qu'ils se collent aux grains d'un diamètre plus gros. Ces fines restent ainsi bloquées dans des tamis ne correspondant pas à leur diamètre. Sous le seul effet de la vibration, l'analyse est donc faussée. En effet, Chaque tamis contient les grains de diamètres correspondant plus une part de fines. La pesée du refus indiquera et représentera la masse des grains du diamètre correspondant au tamis plus la masse des fines collées aux autres grains. La masse mesurée sera donc supérieure à la masse recherchée.

✓ Tamisage.

Cette partie décrit les opérations de tamisage par vibration. Il fixe également les conditions à vérifier lors de ces opérations.

Verser le matériau dans la colonne de tamis. Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis, en les classant de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissantes.

La question du choix des tamis se pose ici. Quels sont les tamis nécessaires à l'analyse ?

Si la classe granulaire, d/D du granulat est connue, nous connaissons les dimensions du plus petit et du plus grand grain représentatif du granulat. Etre représentatif ne signifie pas être le plus petit ou le plus grand de l'échantillon. Il est fort probable que sur des tamis de mailles inférieures ou supérieures à d et D , des grains se déposent mais en faible quantité. La norme NF P 18-304 indique par le calcul que cela peut concerner les deux tamis de mailles inférieures à d est le tamis de maille supérieure à D . Il faut donc choisir tous les tamis partant de deux mailles en dessous de d et allant jusqu'à deux mailles au-dessus de D (la détermination effective de D est faite dans la partie détermination de la classe granulaire).

Si la classe granulaire n'est pas connue, l'œil sera un bon indicateur pour classer approximativement un granulat. Il est à savoir qu'un sable est un granulat constitué de grain de taille comprise entre 0 et 5mm. En prenant les tamis dans ces plages, il est fort probable que l'analyse permettra de classer tous les diamètres de grain.

Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne, puis reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle. On agite chaque tamis en donnant à la main des coups réguliers sur la monture. D'une manière générale, on peut considérer qu'un tamisage est terminé lorsque le refus sur un tamis ne se modifie pas de plus de 1 % en une minute de tamisage.

Cette condition fixée par la norme pour savoir quand stopper le tamisage par vibration est largement vérifiée au bout de 10 minutes de vibration, ce qui est plus simple à mesurer.

Verser le tamisat recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.

✓ **Pesées.**

Cet article décrit les opérations de pesée. Il fixe également les conditions à vérifier lors de ces opérations.

Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à : 100 g si $d < 1$ mm, 200 g si d compris entre 1 et 4 mm et 700 g si $d > 4$ mm. Cela permet de vérifier que les tamis ne sont pas saturés. Un tamis saturé perturbe l'effet de la vibration. En effet malgré la vibration, Certains grains peuvent rester coincés par d'autres en trop grande quantité dans un tamis alors qu'ils devraient descendre en traversant ce tamis. L'analyse de ce fait pourrait être faussée (dans ce cas on continue à la main).

Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille. Soit R_1 la masse de ce refus.

Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur ; ajouter le refus obtenu à R_1 et peser l'ensemble. Soit R_2 la masse des deux refus cumulés.

Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés $R_3, R_4, \dots, R_i, \dots, R_n$.

Peser s'il y en a, le tamisat au dernier tamis. Soit T_n sa masse.

Si après essai, les résultats montrent qu'un (ou plusieurs) tamis a (ont) été surchargé(s), l'essai doit être refait manuellement à partir de ce tamis.

1.2.2- Expression des résultats.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE P 18-560

Opérateur : GARBA OUSMANOU					
Date : 11 avril 2007					
Poids initial sec (g): 4000 g					
Modules AFNOR	Ø Tamis (mm)	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés
50	80				
49	63				
48	50				
47	40				
46	31,5				
45	25				
44	20	680	680	17,00	83,00
43	16	1361	2041	51,03	48,98
42	12,5	992	3033	75,83	24,18
41	10	447	3480	87,00	13,00
40	8	339	3819	95,48	4,53
39	6,3	134	3953	98,83	1,18
38	5	34	3987	99,68	0,33
37	4	6	3993	99,83	0,17
36	3,15	6	3999	99,98	0,03
35	2,5				
34	2				
33	1,6				
32	1,25				
31	1				
30	0,8				
29	0,63				
28	0,5				
27	0,4				
26	0,315				
25	0,25				
24	0,2				
23	0,16				
22	0,125				
21	0,1				
20	0,08				
Fond					

Courbe 2: Courbe granulométrique gravier.

Voir la courbe granulométrique gravier en Annexes 1.

Axes :

- abscisses : Dimensions des tamis.
- ordonnées : Tamisats en pourcentage cumulé des grains, de 0 à 100%

Tracé : La courbe granulométrique est la ligne brisée qui joint les points mesurés.

✓ Validité de l'analyse granulométrique.

La somme des masses, R_n et T_n , ne doit pas différer de plus de 2 % de la masse M_{S1} .

Cela permet d'observer et de vérifier si les pertes et les imprécisions liées à la manipulation sont dans des proportions suffisamment faibles pour ne pas fausser l'analyse.

Avec :

- R_n = Masse de refus cumulés sur le dernier tamis, c'est à dire le plus petit.
- T_n = Masse de tamisats sur le dernier tamis, c'est à dire, masse de refus dans le fond.
- M_{S1} = Masse initiale de l'échantillon

$$\frac{100[M_{S1} - (R_n + T_n)]}{M_{S1}} < 2 \% : \text{ Cette différence représente la valeur équivalente}$$

aux pertes et imprécisions de mesures liées à la manipulation. Pour vérifier si cela n'a pas de conséquences sur la justesse de l'analyse, cet écart est observé par rapport à M_{S1} et exprimée en %. Ce % doit être <2%.

Pour ce qui est de notre analyse :

- $R_n = 3993\text{g}$
- $T_n = 6\text{g}$
- $M_{S1} = 1500\text{g}$

$$\frac{100[4000 - (3993 + 6)]}{4000} = 0,025 \% < 2 \% \text{ OK! L'Analyse est validée.}$$

✓ Détermination de la classe granulaire du gravier.

L'analyse permet également de classer les granulats. La classe granulaire repère, un granulats afin de le différencier d'un autre. Cette classification désigne le granulats en indiquant son plus petit diamètre représentatif, d et son plus grand diamètre représentatif, D. Le granulats est appelé d/D.

La classe granulaire peut être définie approximativement par une lecture directe de la courbe granulométrique. Le plus petit diamètre se trouve en partant du début de la courbe. Ce plus petit diamètre devient représentatif dès que la valeur de son tamisat cumulé est la première à atteindre approximativement 5%. Le plus grand diamètre se trouve en fin de courbe. Il est représentatif dès que la valeur de son refus cumulé est le dernier à atteindre approximativement 5%.

La norme NF P 18-304 est plus précise. Elle détermine la classe granulaire en numérisant les critères de plus petits et de plus grand diamètre ainsi que le critères de représentativité.

Un granulats est dit "d/D" si d et D répondent aux 4 conditions numériques du tableau 2 : Condition de classification des granulats norme NFP 18-304.

Nous avons ainsi déterminé un gravier de classe 10/25

1.2.3- Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles)

✓ Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations.

Formulation

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs est exprimé par le coefficient Los Angeles L_A :

$$L_A = \frac{m}{M} 100$$

Tableau 3: Caractéristiques de l'essai Los Angeles.

Classe granulaire	4/6,3	6/10	10/14	10/25	16/31,5	25/50
Nombre de boulets	7	9	11	11	12	12
Masse totale de la charge de boulet	3080g	3960g	4840g	4840g	5280g	5280g
Tolérance sur la charge de boulet	+20 à -150g					

1.2.4- Résultats essais Los Angeles.

Tableau 4: Résultats Los Angeles.

Echantillon et provenance		Gravier
Prise d'essai N°		1
Préparation de l'essai	Masse total prélevée	5000
	Classe granulaire	10/25
	Nombre de boulets introduits	11
	poinds de la charge de boulet	4840
	Nombre de tours programmés	500
	Masse d'échantillon sec introduit	5000
Mesures	Poids du refus sec (tamis 1,6 mm)	3730
	Coefficient Los Angeles	25%

Avec un $L_A = 25 \% < 35 \%$, Béton de classe A le gravier est acceptable pour la formulation de notre béton.

Les copolymères, avec l'éthylène (de 1,5 à 7 % en masse), représentent environ 20 % de la production de polypropylène. Ils sont plus transparents, plus facilement thermoscellables et plus résistants aux chocs.

Des polypropylènes greffés avec l'acide acrylique, l'anhydride maléique ou le styrène, des polypropylènes réticulés avec des silanes sont ainsi fonctionnalisés afin de satisfaire divers besoins.

Des mélanges à base de polypropylène sont préparés avec des charges d'environ 40 % en masse de talc ou de carbonate de calcium. Des polypropylènes sont également renforcés par 20 à 30 % en masse de fibre de verre ou de mica. Une résistance au choc très élevée est obtenue en ajoutant de 20 à 40 % en masse d'élastomères, en vue d'une utilisation dans les pare-chocs des véhicules de tourisme.

✓ Production:

Productions annuelles, en 2003, en milliers de tonnes :

- monde : 33 000,
- Union Européenne : 8 638.

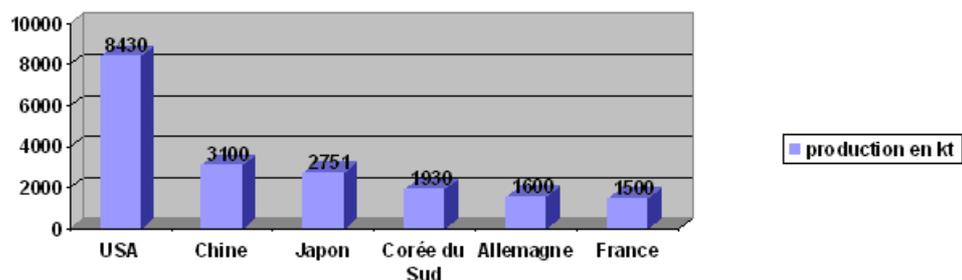


Figure 1: Productions annuelles en 2003 du polypropylène dans l'Union Européenne

✓ Producteurs:

En 2003, six producteurs représentent 30 % de la capacité mondiale de production de polypropylène : BP, Basell Polyolefins, Total Petrochemicals, Borealis, Sabic et Repsol.

Capacités annuelles de production, en 2003, en milliers de tonnes :

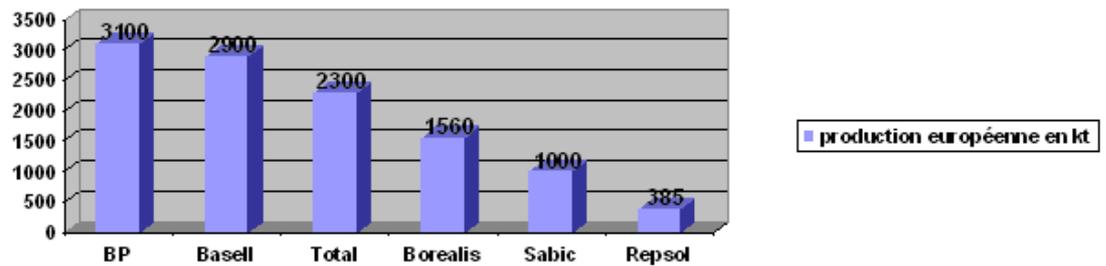


Figure 2: Les 06 Producteurs représentant les 30 % de la production mondiale.

1.3.2- Producteurs et sites de production dans le monde.

Tableau 5: Producteurs de polypropylène et sites de production dans le monde (2003)

Capacités annuelles, en 2003, en milliers de tonnes.

Société	Site	Capacités annuelles en kt
Basell Polyolefins	Berre l'Etang (13)	250
	Notre dame de Gravenchon (76)	250
	Bayport (Etats-Unis)	400
	Lake Charles (Etats-Unis)	400
	Plock (Pologne)	400
	Maua (Brésil via la joint-venture Polibrasil)	750
	Kaohsiung (Taiwan via la joint-venture Taiwan Polypropylene)	400
BP	BP via l'entité séparée Innovene possède 3 sites de production aux Etats-Unis : Carson : 230 kt/an ainsi que les sites de La Porte et Chocolate Bayou.	
(association avec Total)	Lavera (13)	270
	Feluy (Belgique)	430
Total Petrochemicals	Laporte (située aux Etats-Unis c'est la plus importante usine de production de PP du monde)	1000
	Daesan (Corée du Sud)	270
Borealis	Schwechat (Autriche)	430
	Burghausen (Allemagne)	210
	Kallo (Belgique)	635
	Porvoo (Finlande)	160
	Ronningen (Norvège)	125

Tableau 6: Situation française en polypropylène (2003)

Situation française : en 2003, en milliers de tonnes.

Production	Importations	Exportations	Consommation réelle
1500	350	750	966

1.3.3- Utilisation:

En 2004 il s'est consommé 32 millions de tonnes de polypropylène dans le monde dont 7,9 millions de tonnes en Europe.

Consommation en 2003 en kg par habitant : La moyenne mondiale de consommation est de 5,5 kg/personne/an

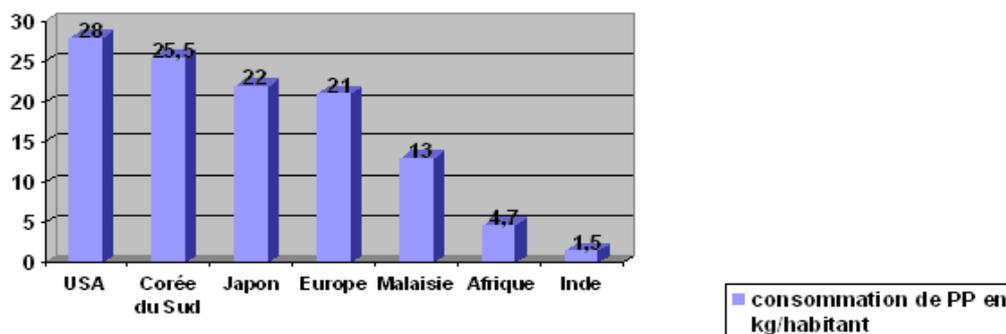


Figure 3 : Moyenne mondiale de consommation.

En 2003, en France, la consommation de polypropylène (966 000 t) a représenté 18 % du total de la consommation des matières plastiques (5 155 000 t).

Le polypropylène se retrouve dans de nombreux produits. Il est présent dans les tapis et les fibres textiles, sous forme de films dans les emballages, et surtout sous forme moulée, dans l'électroménager et les ustensiles ménagers par exemple la vaisselle pour four à micro-ondes, dans les jouets, les bagages, le mobilier de jardin...

L'injection représente la principale forme d'utilisation (2/3) suivie par le textile et les films.

✓ Emballages :

En 2003, il a représenté 7 % de la part des plastiques utilisés dans les emballages. Il est notamment très fortement utilisé dans le domaine de l'emballage pharmaceutique avec un peu moins de 30 % de la production de ce secteur. Les films, généralement

biorientés, sont utilisés dans l'emballage de produits alimentaires divers (pâtes, biscuits...). Ils présentent par ailleurs l'avantage d'être rétractables à chaud.

✓ **Electroménager :**

Une machine à laver contient aujourd'hui plus de 10 kilos de pièces intérieures fabriquées en polypropylène (cuves, socles)

✓ **Automobile :**

En 2003, le polypropylène représente 32 % du total des différents plastiques utilisés dans l'industrie automobile. En 2002, en Europe, plus de 450 000 tonnes de polypropylène ont été utilisés dans l'industrie automobile, faisant de ce polymère le premier des plastiques utilisés dans ce secteur devant le polyuréthane, le PVC et le polyéthylène. On retrouve par exemple l'utilisation de ce matériau au niveau du hayon de la classe A de Mercedes, première utilisation sur un véhicule de grande série, permettant ainsi de gagner plusieurs kilos sur l'ensemble de cette fonction intégrant les feux arrière, le moteur d'essuie-glace et le système de verrouillage du coffre. Sont concernés également de façon courante les planches de bord, vides-poche, portes-carte, enveloppes de batteries et surtout pare-chocs. Pour pouvoir être efficaces et pouvoir redistribuer les déchets retraités, les filières de recyclage ne peuvent fonctionner qu'avec un nombre limité de types de plastique. On peut ainsi saluer l'effort des principaux constructeurs automobiles qui ont effectué un grand pas dans ce sens et notamment l'initiative de Renault qui a réalisé avec sa Mégane 2 une voiture 100 % polypropylène.

*1.3.4- Caractéristiques polypropylènes : Notice technique Edition avril 2004
Numéro 1.96 Version n°49.2004 SIKA® FIBRES POLYPROPYLENE*

✓ **Présentation**

Les SIKA® FIBRES POLYPROPYLENE sont des fibres synthétiques fibrillées se présentant en sachets pulpables prédosés pour 1 m³ de béton.

✓ **Domaines d'application.**

- Bétons de dallages, chaussées, parkings, pistes, dans lesquels les fibres SIKA® FIBRES POLYPROPYLENE jouent un rôle d'anti-fissurant.
- Bétons désactivés.
- Bétons soumis aux chocs.
- Bétons nécessitant une forte cohésion à l'état frais, tels que les bétons extrudés ou dallage à forte déclivité.
- Bétons préfabriqués pour améliorer la manipulation des pièces au démoulage et limiter le rebut de dalles, pavés, bordures, regards, tuyaux, etc.

✓ **Caractères généraux.**

Les SIKA® FIBRES POLYPROPYLENE se dispersent très facilement et créent un réseau fibré haute densité qui a pour conséquences :

- d'améliorer la cohésion du béton à l'état frais,
- de dissiper l'énergie due aux contraintes de retrait,

- d'augmenter la résistance aux chocs et l'imperméabilité du matériau durci,
- d'améliorer le comportement au feu du béton.

Nota : les fibres n'assurent pas un renforcement structural du béton, mais peuvent se substituer au treillis anti-fissuration lorsque ce dernier est utilisé afin de limiter les risques de fissuration plastique.

✓ **Caractéristiques.**

- Conditionnement Carton de 18 doses de 900 g en sacs papier pulpables.
- Conservation à l'abri de l'humidité, le produit se conserve 3 ans.

✓ **Données techniques**

- Densité = 0,91
- Nature Polypropylène
- Longueur 18 mm
- Section (35 x 400) μm^2
- Résistance à la traction 340 à 500 MPa
- Module d'élasticité 8500 à 12500 MPa

✓ **Conditions d'application.**

- Consommation / Dosage 1 dose de 900 g de SIKA® FIBRES POLYPROPYLENE par m^3 de béton.

- Mise en oeuvre introduire le sachet dose pulpable de SIKA® FIBRES POLYPROPYLENE directement avec les agrégats ou dans le camion toupie. Dans ce dernier cas, faire tourner la toupie à grande vitesse à la fin du chargement, au minimum 1

minute par m^3 de béton, afin de bien répartir les fibres dans le béton et de désagréger complètement le sac papier.

Pour améliorer les caractéristiques de mise en place à l'état frais et les performances finales du matériau durci, il est conseillé d'associer les fibres à un adjuvant superplastifiant SIKAMENT®, SIKAFUID® ou SIKA® VISCOCRETE® (nous consulter).

L'utilisation d'un produit de cure est recommandée par temps chaud ou en présence de vent.

✓ **Précautions d'emploi.**

Manipulation non dangereuse. Consulter la fiche de données de sécurité accessible par Minitel 3613, code SIKASECUR ou sur Internet www.sika.fr

✓ **Mentions légales.**

Produit réservé à un usage strictement professionnel, nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces

informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

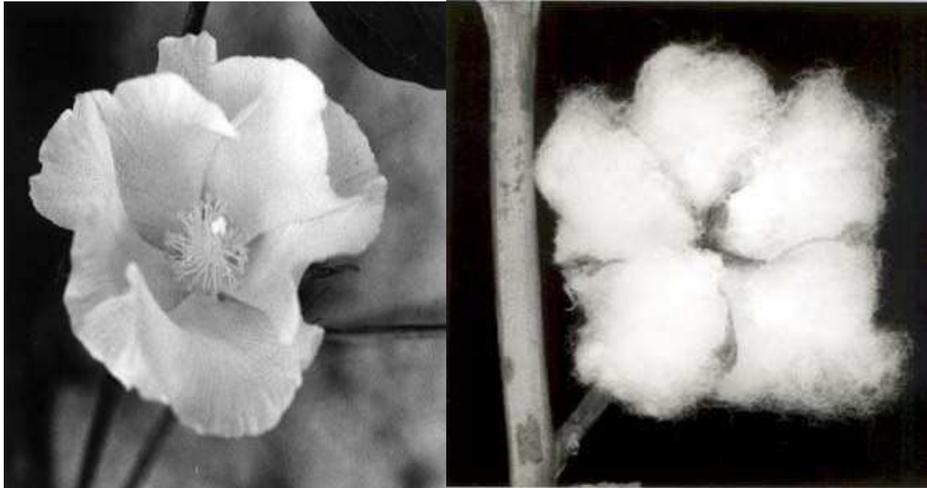
1.4 - Le coton. [3]

1.4.1- Historique et production.

Le coton est une fibre végétale qui entoure les graines du cotonnier (*Gossypium*), un arbuste de la famille des Malvacées. Cette fibre est généralement transformée en fil qui est tissé pour fabriquer des tissus. Le coton est le plus important des fibres naturelles produites dans le monde. Depuis le XIX^e siècle, il constitue, grâce aux progrès de l'industrialisation et de l'agronomie, la première fibre textile du monde (près de la moitié de la consommation mondiale de fibres textiles).

✓ La plante :

Le cotonnier peut mesurer jusqu'à dix mètres à l'état sauvage. Lorsqu'il est cultivé, on limite sa taille à un ou deux mètres de façon à en faciliter le ramassage. Herbacé ou ligneux, le cotonnier pousse dans les régions tropicales et subtropicales arides. Il peut vivre une dizaine d'années à l'état sauvage ("coton pérenne"), alors qu'il est généralement exploité sous la forme de plante annuelle lorsqu'il est cultivé. À la floraison apparaissent de grandes fleurs blanches ou jaunes à cinq pétales. Ensuite des capsules aux parois épaisses et rigides se développent. Lorsqu'elles s'ouvrent, elles laissent s'échapper des graines et des bourres de coton recouvertes d'une houppe de fibres blanchâtres et soyeuses pouvant mesurer entre 2cm et 5cm de long selon les variétés.



Fleur épanouie de cotonnier.

Le fruit du coton est une capsule à cinq loges.
On voit cinq masses d'ouate formées
par l'enchevêtrement des fibres des graines.

Photo 1: fruit du cotonnier.

Les variétés de coton les plus connues sont le *Gossypium arboreum* et le *Gossypium herbaceum*. Ces deux formes de coton à fibres courtes originaires d'Inde ont donné naissance à de nombreuses variétés cultivées aujourd'hui, mais ne sont presque plus exploitées en tant que telles (sauf pour l'ouaterie), car leurs fibres sont trop courtes. Le *Gossypium barbadense*, coton d'origine péruvienne, compte pour environ 5% de la production mondiale de fibres. Sa culture a été notamment introduite en Égypte et constitue, aujourd'hui au travers de la qualité "Jumel", l'un des meilleurs cotons du monde en terme de qualité et de longueur de fibres. Le *Gossypium hirsutum* qui représente environ 80% de la production mondiale de fibres est originaire d'Amérique du Sud.

✓ Historique :

Le coton est utilisé pour fabriquer des vêtements légers depuis des millénaires dans les régions au climat tropical. Certains chercheurs affirment qu'il est probable que les Égyptiens connaissaient le coton il y a plus de 12 000 ans av. J.-C. et l'on a trouvé des fragments de coton datant d'il y a environ 7 000 ans dans des grottes de la vallée du Tehuacán, au Mexique. Des preuves archéologiques ont permis de savoir que les hommes ont domestiqué des espèces différentes de cotonnier en Inde et en Amérique du Sud il y a des milliers d'années. La plus ancienne trace écrite que l'on connaisse parle du coton indien. Le coton est en effet cultivé en Inde depuis plus de 3 000 ans et le Rig-Veda, écrit en 1 500 av. J.-C. le mentionne. Mille ans plus tard, le grec Hérodote mentionne le coton indien : « Là bas il y a des arbres qui poussent à l'état sauvage, dont le fruit est une laine bien plus belle et douce que celle des moutons. Les indiens en font des vêtements. » À la fin du XVI^e siècle av. J.-C., le coton dont le nom vient de l'arabe (*el kutun*) via le castillan ("el algodón" - Cf. métanalyse), s'est répandu dans les régions plus chaudes en Amérique, Afrique et Eurasie. Le coton fut l'une des premières cultures des colons européens en Amérique, dont la première plantation dans la colonie de Jamestown date de 1607. L'industrie cotonnière qui

s'était bien développée en Inde a été affectée par la révolution industrielle britannique et ses inventions qui ont permis une production de masse à bon marché au Royaume-Uni. En 1764, l'Anglais James Hargreaves construit la première machine à filer industrielle à plusieurs fuseaux baptisée «Spinning Jenny». Quelques années plus tard, l'Anglais Richard Arkwright inventa la machine à peigner et à filer, et c'est finalement Samuel Crompton qui fit la synthèse de ces deux métiers en 1799 en créant le « Mule » (mulet) qui avait une productivité environ 40 fois plus élevée que le rouet utilisé auparavant. En 1805, Jacquard mit au point l'un des premiers métiers à tisser automatiques fonctionnant avec de grandes cartes perforées qui permettaient la réalisation de motifs variés.

Les pays européens parvenus à copier la richesse des étoffes indiennes cessèrent presque complètement leur commerce avec elle. Seule l'Angleterre, par le biais de la Compagnie anglaise des Indes orientales, continua ce commerce, tout en le limitant à l'importation du produit de base brut et non plus d'étoffes; tout particulièrement lorsque l'administration de l'Inde lui échoira en 1858. Le second débouché du coton indien était essentiellement chinois. Le tissage de cette fibre végétale reprendra sous l'influence du Mahatma Gandhi. Par la suite, la colonisation du continent américain amena avec elle une vague d'émigrants venus d'Europe qui connaissaient la culture du coton et installèrent sur ce nouveau territoire d'importantes plantations.

Actuellement, le coton reste la fibre textile la plus largement utilisée dans le monde malgré l'apparition des fibres synthétiques.

✓ Culture du coton.

La culture du coton nécessite une saison végétative longue, beaucoup de soleil et un total de 120 jours arrosés pour assurer la croissance puis un temps sec en fin de cycle végétatif pour permettre la déhiscence des capsules et éviter le pourrissement de la fibre. Ces conditions climatiques se rencontrent généralement sous les latitudes tropicales et subtropicales. Le coton supporte les climats tempérés à condition qu'il ne gèle pas.

Le cotonnier est une plante qui se développe sous des climats tropicaux ou subtropicaux arides, à des températures comprises entre 11°C et 25°C. Selon les espèces, il craint les températures extrêmes (inférieures à 5°C ou supérieures à 25°C). Des périodes de sécheresse ou d'humidité trop prolongées à certains stades de son développement (qui dure entre 5 et 7 mois) peuvent avoir non seulement un impact sur le niveau et la qualité de la production, mais parfois également détruire complètement la plante.

Les semis se font en principe dans une terre de bonne qualité, généralement alluvionnaire. Le cotonnier est une plante particulièrement fragile et qui a de grands besoins en éléments nutritifs ("*...La culture du cotonnier est parmi les plus épuisantes pour les sols...*") (Que sais-je ? Le coton), ce qui nécessitera parfois une amélioration de la qualité des sols par le biais de l'apport d'amendements, de fertilisants et par la rotation des cultures (souvent avec une culture de légumineuse et une de céréale). En outre, en raison de son système racinaire particulièrement

développé (sa longueur peut parfois atteindre le double de la hauteur de la plante), le cotonnier requiert une terre riche (limoneuse ou argilo-sableuse) dans laquelle il puisse enfoncer profondément ses racines à fort pivot et se développer dans les meilleures conditions. Les premières feuilles apparaissent entre une semaine et un mois après le semis. Au cours de cette phase, la plante a besoin de chaleur et de beaucoup d'eau (7000 à 9000 M³ par hectare) qui peut lui être fournie par le biais naturel des pluies ou par l'irrigation. Les feuilles du cotonnier sont palmées. Elles mesurent entre 12 et 15cm de long et de large et sont implantées en spirale tout les 5 à 8 cm, le long de la tige principale.

La floraison apparaît après un mois et demi à deux mois et se poursuit régulièrement sur plusieurs semaines, voire plusieurs mois, jusqu'à l'arrivée de conditions atmosphériques contraires (saisons sèche ou froide). A compter de ce moment précis, le fruit (appelé dans le cas du cotonnier "capsule") commence à se développer à partir du centre de la fleur. Il va grossir jusqu'à atteindre un diamètre de 2 à 3 cm. La période entre l'épanouissement de la fleur et les premières ouvertures de capsules est en moyenne de deux mois.

L'ouverture des capsules laisse apparaître une boule duveteuse. La récolte du coton est alors possible (pour les périodes de récolte, se référer au tableau 6 en fin de partie). Celle-ci peut se faire soit manuellement soit mécaniquement. La première technique réclame une main d'œuvre abondante et se fait par le biais de cueillettes successives en fonction du degré de maturité et d'ouverture des capsules. Elle peut se révéler plus onéreuse et plus longue, mais permet d'obtenir un produit de meilleure qualité et exempt de débris végétaux indésirables. Le second procédé consiste à effectuer une récolte mécanique. Avant le passage de la machine (*récolteuse mécanique de coton à broches*, les plus répandues ou *débourreuse mécanique de coton à brosses*), les plantes sont partiellement effeuillées par aspersion, puis les capsules sont prélevées par aspiration en un seul passage. Ce procédé plus rapide que la méthode manuelle est utilisé dans les pays développés et le Brésil car plus rapide que la méthode manuelle. Toutefois, il possède l'inconvénient de récolter des débris de feuilles et de branches en même temps que les capsules et nécessite donc une opération ultérieure de triage afin de retirer les corps étrangers et d'obtenir un coton le plus pur possible. Finalement, quel que soit le mode de récolte employé, le coton est envoyé vers une usine d'égrenage généralement proche des exploitations, afin de retirer les fibres de coton des graines auxquelles ils sont attachés. Le coton est ensuite compressé sous forme de bales, puis entreposé.

Le coton produit par le biais de l'irrigation trouve de plus en plus d'adeptes, en particulier aux Etats-Unis. Bien que cette méthode soit plus onéreuse, elle offre de nombreux avantages tels que des rendements plus élevés, des récoltes plus régulières et des fibres de meilleure qualité. En outre, la période de maturation est plus courte que dans un mode cultural traditionnel.

La culture du cotonnier est majoritairement pluviale (Afrique subsaharienne, une grande partie des cultures des États-Unis, de l'Inde, de la république populaire de Chine). La culture pluviale est théoriquement possible dès 400 mm de précipitations annuelles. Pourtant, dans les faits, le coton ne peut être cultivé sans irrigation qu'avec

une pluviométrie supérieure à 700 mm/an, afin de palier la variabilité interannuelle des pluies et les irrégularités de leur distribution. Ainsi, 40 % des surfaces cultivées en coton (Égypte, Ouzbékistan, Pakistan, Syrie) sont irriguées.

Pour lutter contre les parasites du coton, les cultivateurs des États-Unis ont longtemps utilisé des produits contenant de l'arsenic, ce qui a contribué à la pollution des sols.

Les variétés de cotonniers asiatiques sont *Gossipium arboreum* et *Gossipium herbaceum*, les cotonniers américains sont *Gossipium hirsutum* et *Gossipium barbadense*.

✓ **Période de semis et de récolte du coton selon les pays producteurs.**

Par convention, la date de début de la campagne cotonnière est fixée au 1er août de chaque année.

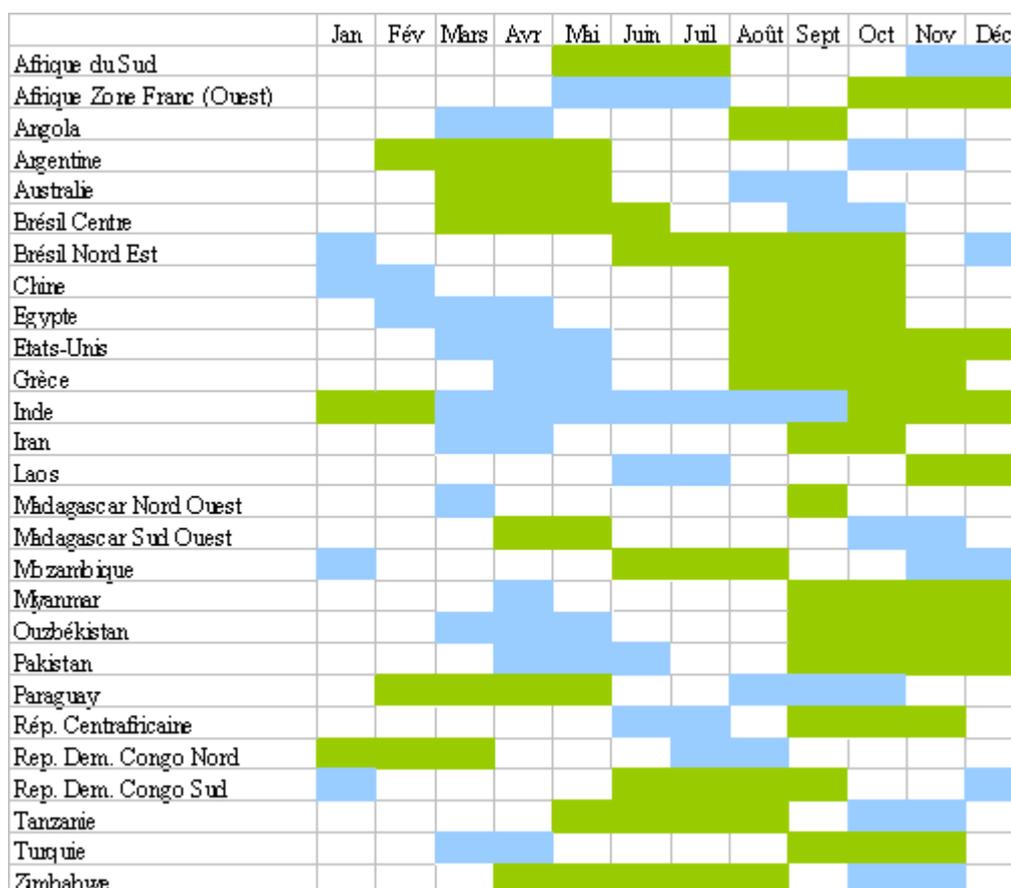
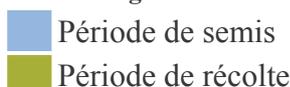


Figure 4: Période de semis et de récolte du coton selon les pays producteurs.



Source : Secrétariat de la CNUCED selon les informations de [Dagris](#) et du CCIC

1.4.2- Exemple de filière de production africaine : cas du BURKINA-FASO premier producteur d'Afrique.

Les exportations de coton ont représenté environ 40% du montant des exportations burkinabaises sur la période 1995-2000 avec environ 105 millions de dollars annuels (certaines sources affichent jusqu'à 60% selon les années). Ce produit de base représente en terme de valeur la principale matière première exportée par le Burkina Faso et fait vivre environ 2 millions de personnes dans le pays.

La filière burkinabaise est considérée comme l'une des plus performantes de la zone ouest-africaine. La production a lieu dans les régions de la Comoé, de Kossi, de Mouhoun et de Kéné Dougou situées dans l'ouest du pays. Cette culture se présente sous la forme d'exploitations de type familial, de superficie souvent restreinte (env. 1 hectare), mais pouvant parfois atteindre 20 à 30 hectares. La force animale constitue généralement le principal facteur de production de la culture du coton (60% environ dans les grandes exploitations). Le Burkina Faso a lancé des essais depuis 2003 concernant la mise en place de cultures de coton génétiquement modifié. Il est pour l'heure, le seul pays d'Afrique de l'Ouest à suivre cette voie.

Comme la majorité des filières ouest africaines, la filière burkinabaise est intégrée verticalement. Elle est placée sous l'égide de la Société des fibres et textiles du Burkina (Sofitex) qui encadre environ 200 000 exploitants. Depuis 1999, l'UNPCB (l'union des producteurs coton du Burkina Faso) en détient environ 30%, la part du gouvernement étant ramenée à 35% et celle de Dagriss à 34%. Malgré l'ouverture de son capital au secteur privé bancaire qui détient une part de 1%, son rôle qui demeure encore centralisé, notamment en ce qui concerne l'achat du coton graine, est très large (distribution des intrants, transformation, commercialisation des fibres et des autres co-produits issus de l'égrenage). Le transport quant à lui a été privatisé.

Au Burkina Faso, les planteurs de coton d'un même village sont regroupés au sein d'une structure unique appelée groupement des producteurs de coton (GPC). Celle-ci leur sert d'intermédiaire avec la Sofitex.

Une fois le coton récolté, il est chargé selon les modalités du programme de collecte, dans les villages, par les camions de la Sofitex. Pour la rémunération des producteurs, le groupement reçoit de celle-ci le montant représentant la différence entre le prix d'achat du coton graine chargé et le coût des intrants achetés auprès d'elle en début ou en cours de campagne. Cette recette est ensuite redistribuée entre les différents membres du groupement. Le coton est ensuite égrené pour être majoritairement exporté sous forme de fibres principalement vers l'Asie du Sud-Est (66%) et l'Europe (20%), le reliquat se distribuant de manière égale entre des partenaires commerciaux africains et sud-américains. Le prix d'achat du coton graine est annoncé avant la période de semis et en cas de profit, les producteurs reçoivent un prix plus élevé au cours de la campagne suivante; la ristourne étant réparti à hauteur de 50% pour les producteurs, 25% pour l'état et 25% pour la Sofitex.. Ce système de bonus est également appliqué en Côte d'Ivoire et au Bénin, bien que les primes soient plus faibles et distribuées de manière moins fréquente.

Tableau 7: Nombre d'usine et capacité de production.

Société	Nombre d'Usines	Capacité (tonnes)
Sofitex	12	373 000
Total	12	373 000
A venir	Mise en fonction de deux usines à Kourouma et à Diedougou. (campagne 2003-04)	

Source : Marchés tropicaux (22 mars 2002). Il est cependant à noter que depuis 2004 certains changements son intervenus.

Le Burkina Faso produit également de l'huile alimentaire de coton à partir des graines issues de l'égrenage. Celles-ci sont triturées dans une usine, la Citec (dont la Sofitex est actionnaire).

* Capital détenu à 35% par l'Etat, à 30% par l'Union nationale des producteurs de coton du Burkina Faso (UNPCB), à 34% par Dagriss et 1% pour les banques locales (Banque internationale du Burkina (BIB), Banque internationale pour le commerce, l'industrie et l'agriculture (BICIA-B)).

L'Union nationale des producteurs de coton du Burkina Faso (UNPCB) qui est la principale union de producteurs du Burkina Faso est organisée de la manière suivante

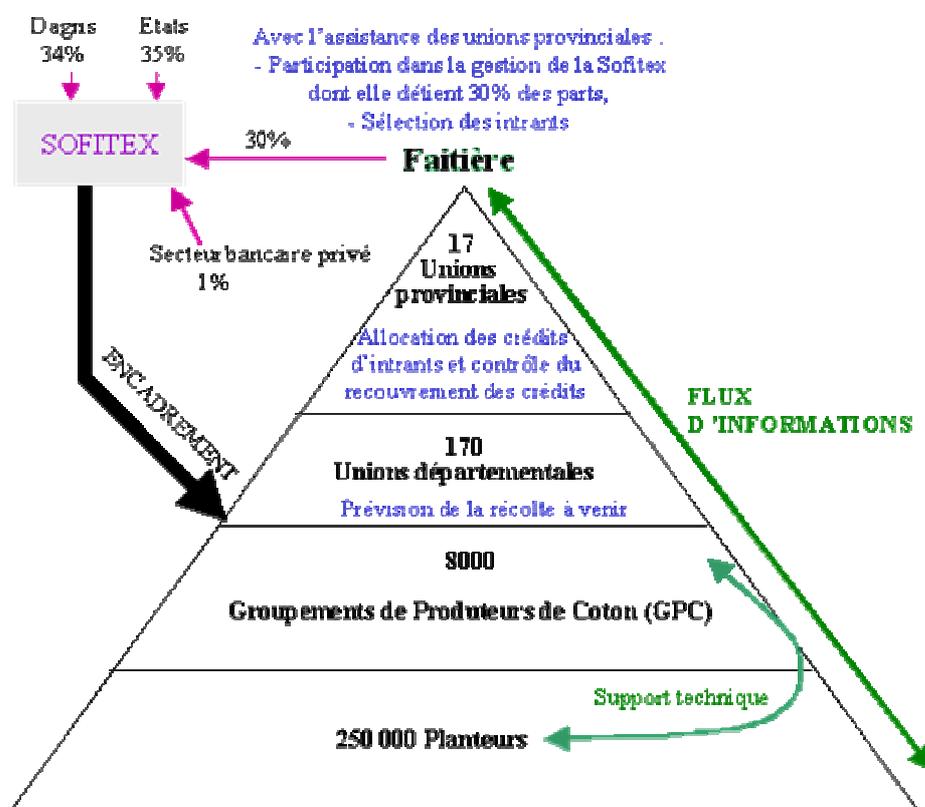


Figure 5: organisation de l'union nationale des producteurs du coton du BURKINA-FASO

Source : Secrétariat de la CNUCED

Le marché domestique du coton est finalement encadré par un comité de gestion de la filière coton (CGFC) chargé de fixer les prix du coton graine et des intrants. Un fonds autogéré avec l'UNPCB est en place afin d'assurer la stabilisation et le soutien du prix au producteur.

La zone de production Centre a été reprise par le consortium IPS/Reinhart et la zone Est par Dagrís depuis fin 2004; la Sofitex a, quant à elle, conservé son rôle dans la zone Ouest.

1.4.3- Données économiques du monde :

Tableau 8: Données économiques.

Productions		Stocks		Exportations		Importations	
Pays	Production 2003/04	Total mondial :	7696	Total mondial :	6209	Total mondial :	6119
Total mondial :	20 485	Pays	Stocks	Pays	Exportation	Pays	Importation
Chine	4 870	Chine	3115	États-Unis	1687	Chine	1156
États-Unis	3 975	Inde	786	Ex-URSS	1638	Union européenne	1038
Inde	2 924	États-Unis	577	Union européenne	324	Ex-URSS	547
Pakistan	1 734	Ex-URSS	569	Pakistan	315	Indonésie	470
Pays de l'Ex-URSS	1 691	Pakistan	402	Australie	305	Brésil	435
Brésil	1 242	Brésil	355	Argentine	296	Japon	330
Turquie	950	Union européenne	257	Mali	152	Corée du Sud	321
Australie	498	Argentine	212	Bénin	139	Thaïlande	320
Union européenne	449	Australie	154	Syrie	126	Turquie	100
Égypte	280	Turquie	138	Chine	60	États-Unis	82
Argentine	108	Japon	117	Soudan	49		

Chiffres *FAO 1995*, en milliers de tonnes

✓ Coton génétiquement modifié :

Le coton génétiquement modifié représentait en 2006 le quart des surfaces cultivées dans le monde et vraisemblablement le tiers de la production mondiale. Les cotons OGM sont aujourd'hui produits par la plupart des grands pays producteurs : Chine, Etats-Unis, Australie et Inde. Le Brésil l'a autorisé en 2006. En Afrique, à l'exception de la République Sud africaine, aucun pays ne produit aujourd'hui (2006) de coton à partir de variétés génétiquement modifiées. Seul le Burkina Faso dispose aujourd'hui d'une législation autorisant la mise en place d'essais de coton génétiquement modifié en milieu contrôlé. Pour la troisième année consécutive, l'INERA, Institut national de recherche agronomique burkinabé, va conduire des essais avec les principales firmes détentrices des techniques de transgénèse (Syngenta, Dow Elanco et Monsanto). D'autres pays, notamment le Mali, sont en voie de finaliser les textes permettant la mise en place d'essais.

Source pour ce paragraphe: *Page d'informations sur le coton*, site de la société française de développement rural Dagrís, consultée le 10/1/2007. [1]

✓ Commerce équitable :

En avril 2005, l'association Max Havelaar France lance le premier coton équitable : des producteurs de coton d'Afrique de l'Ouest (Mali, Sénégal, Cameroun, Burkina Faso) rentrent dans une démarche de commerce équitable et sont certifiés par Max Havelaar (cf. [2]). Le sens de cette nouvelle labellisation doit être précisé :

- il existait déjà des vêtements de coton produits selon les règles du commerce équitable, et distribués en France (notamment dans le réseau Artisans du Monde). Dans ce cas, c'est la transformation du coton et son importation qui répondent aux critères du commerce équitable : la filature du coton et la confection des vêtements sont faites par des petits producteurs engagés dans une démarche à long terme avec des organisations de commerce équitable du Nord ; l'importation des vêtements est faite par une centrale d'importation de commerce équitable. La production du coton lui-même échappe largement aux critères du commerce équitable.

- le label de Max Havelaar concerne lui la production du coton, pas des vêtements. C'est donc le premier stade de la filière qui est labellisé. Les stades suivants de la filière ne sont pas soumis aux mêmes critères : les acteurs du reste de la filière (filature, tissage, confection, importation) textile sont « agréés » par Max Havelaar. Cet agrément, contrôlé par des déclarations trimestrielles et des audits physiques ponctuels pour assurer la traçabilité, engage le fournisseur à respecter les normes de l'OIT. Les distributeurs de ces vêtements en coton équitable sont les super et hyper marchés, les boutiques et la vente par correspondance ; soit : Armor Lux, Célio, Cora, Eider, Hacot et Colombier, Hydra, Kindy, La Redoute. Ils ont un simple contrat de licence avec Max Havelaar. Ils gardent le même système de distribution que pour leurs autres produits non labellisés.

Il faut noter que ce label de Max Havelaar a fait l'objet d'une controverse dans le milieu du commerce équitable, car il s'est accompagné d'un accord avec la société française Dagris, accusée par ses détracteurs d'encourager la culture de coton transgénique en Afrique de l'Ouest (où le coton OGM est actuellement peu présent). L'usage d'OGM est en contradiction avec les principes du commerce équitable, à cause de la dépendance économique qu'il entraîne pour les petits producteurs et des conséquences sur l'environnement. Ceci dit, Dagris, Max Havelaar et les groupements des producteurs ont décidé, conjointement, d'exclure toutes variétés d'OGM des productions bénéficiant du label "coton équitable".

Indépendamment de cela, certaines sociétés de mode récentes (telles qu'Ideo, Veja, Seyes Pullover,...) développent actuellement des filières où les critères sociaux et environnementaux (coton cultivé suivant les normes de l'agriculture biologique) concernent à la fois la production du coton et les différentes étapes de sa transformation.

1.4.4- Caractéristiques du coton.

✓ **Qualité.**

Le fil de coton est une fibre naturelle au même titre que la soie, la laine ou le lin. A côté de celles-ci, on trouve des fibres dites artificielles car obtenue à partir de polymères naturels tels que la viscose ou l'acétate et des fibres synthétiques fabriquées à partir de polymères dérivés de produits pétroliers (acrylique, polyester ou polyamide).

Concernant les fibres de coton qui sont employées comme intrant dans un grand nombre d'industries (habillement, ameublement, automobile...), les critères de qualité sont jugés, de manière générale, par rapport aux critères en vigueur aux Etats-Unis.

- Les normes américaines relatives aux fibres
Exemples de normes nationales
La qualité des fils de coton

✓ **Les normes américaines relatives aux fibres**

- Les normes en matière de fibres de coton

En matière de coton velu, les premiers standards de qualité ont été édictés en 1914 aux Etats-Unis. Ils sont connus sous le terme de standards universels sur le coton. Avec la signature en 1924 de l'accord universel sur les standards du coton, ces normes se sont progressivement internationalisées. La plupart des pays ont également développé leurs propres systèmes de classification mais, dans un souci de cohérence, le Département américain de l'agriculture (USDA) a développé, en 1992, un système de mesures (HVI pour "High Volume Instrument Measurements") fournissant un cadre pour déterminer les normes communes de classement. Ces dernières sont notamment influencées par trois facteurs qui sont la couleur, la pureté (absence de déchet visible) et les propriétés de la première transformation (égrenage) ainsi que par la longueur de la fibre.

En fonction des critères d'évaluation du système HVI, 8 normes sont édictées :

- Bon finot (good middling);
- Finot strict (strict middling);
- Finot (middling);
- Finot strictement faible (strict low middling);
- Finot faible (low middling);
- Bon ordinaire, strict, bon (strict good ordinary);
- Bon ordinaire (good ordinary);
- Ordinaire inférieur (below good ordinary).

Pour de plus amples informations, se référer aux liens de l'USDA sur la classification, Le système de mesure HVI et sur la standardisation.

- La couleur des fibres

La couleur des fibres de coton dépend principalement de la variété, des conditions météorologiques ainsi que de la durée d'exposition des fibres au soleil après l'ouverture des capsules et du type de variété cultivée. En outre, l'infection de la plante par une maladie ou par certains ravageurs peut conduire à une modification de la couleur des fibres.

Il existe, dans les normes susmentionnées, vingt-cinq grades concernant la couleur ainsi que cinq catégories de couleur dites inférieures. Quinze de ces grades sont représentés par des échantillons préparés par le Département américain de l'agriculture. Pour chacun des panels de couleur pour lesquels il existe une norme physique, on utilise six échantillons placés les uns à côté des autres dans une même boîte. En ce qui concerne les autres normes dont les teintes se situent au dessus, en dessous ou entre certains standards physiques, il existe une norme descriptive. Celle-ci est principalement utilisée par l'USDA, mais peut également être prise comme référence par des clients étrangers et américains. Les couleurs du coton velu peuvent être classées dans l'une des cinq teintes principales suivantes :

- blanche (white);
- légèrement teintée (light spotted);
- teintée (spotted);
- tachée (tinged),
- jaunie (yellow stained).

Grades de couleur du coton Upland USDA 1993

Tableau 9: Grades de couleur du coton Upland USDA 1993.

	White	Light spotted	Spotted	Tinged	Yellow stained
Good Middling	11	12	13		
Strict Middling	21	22	23	24	25
Middling	31	32	33	34	35
Strict Low Middling	41	42	43	44	
Low Middling	51	52	53	54	
Strict Good Ordinary	61	62	63		
Good Ordinary	71				
Below Grade	81	82	83	84	85

- Proportion de feuilles contenues dans les fibres

La qualité du coton dépend également de la quantité de feuilles et de corps étrangers contenus dans le coton ramassé. Ce niveau dépend en grande partie des conditions météorologiques et des méthodes de récolte. Pour évaluer cette quantité, il existe 7

grades différents (numérotés de 1 à 7) représentés par des échantillons. Afin de compléter ce classement avec une représentation qualitative, un sous grade existe, principalement déterminé en fonction de l'aspect du coton (sans recours à échantillonnage).

- Proportion de corps étrangers contenus dans les fibres

En dehors des fibres et des feuilles de coton, plusieurs éléments peuvent se rencontrer dans les fibres de coton. Tel est le cas par exemple des fragments de coques, du collage (miellat), de la poussière ou des traces d'huile. Lorsque la présence de tels corps étrangers est détectée, la personne en charge du classement devra prendre la décision de savoir si les éléments sont en nombre assez importants pour faire l'objet d'une notation.

- La longueur des fibres

La longueur des fibres constitue également un facteur important de détermination de la qualité. En effet, les fibres de coton sont flexibles et, à ce titre, peuvent être plus ou moins étirées et donc subir une déformation influençant leur qualité. L'élongation est mesurée en fonction du degré d'étirement de la fibre (pourcentage entre les longueurs des fibres à l'état initial et après étirement). Cette élongation peut également être mesurée de différentes manières. Aux Etats Unis, le Département américain de l'agriculture distingue les soies courtes, moyennes, longues et extra-longues - (24 codes de longueurs différentes) évaluées par incréments de 1/32ème de pouce soit 0,8mm environ :

Tableau 10: Longueur des fibres et code.

Longueur de la fibre en pouces	Code	Longueur de la fibre en pouces	Code
< 13/16	24	1-3/16	38
13/16	26	1-7/32	39
7/8	28	1-1/4	40
29/32	29	1-9/32	41
15/16	30	1-5/16	42
31/32	31	1-11/32	43
1	32	1-3/8	44
1-1/32	33	1-13/32	45
1-1/16	34	1-7/16	46
1-3/32	35	1-15/32	47
1-1/8	36	1-1/2	48
1-5/32	37		

L'uniformité de la longueur des fibres

L'uniformité de la longueur des fibres est le ratio (exprimé en pourcentage) de la longueur moyenne des fibres sur la longueur moyenne de la moitié supérieure des fibres expertisées. Le même échantillon de fibres utilisé dans le cadre du test concernant la longueur des fibres est employé pour déterminer leur uniformité. Si toutes les fibres du même échantillon sont de la même longueur, le résultat du ratio d'uniformité est 100.

Tableau 11: Uniformité de la longueur des fibres et signification.

Uniformité de la longueur des fibres/Résultat du ratio	Signification
Supérieur à 85	Très bonne uniformité
Entre 83 et 85	Bonne
Entre 80 et 82	Moyenne
Entre 77 et 79	Faible
Inférieur à 77	Très faible

Source: Cotton Ginners Handbook USDA/ARS décembre 1994

La présence de fibres courtes affecte le niveau de qualité du coton. Cette dernière peut résulter d'une mauvaise récolte (fibres cassées) ou d'opérations de traitement ultérieures.

✓ La résistance des fibres

Comme pour le ratio d'uniformité des fibres, l'évaluation de leur résistance (élasticité et charge de rupture) se fait à partir du même échantillon. Cette résistance des fibres est évaluée par le biais du système HVI. Elle représente la force, en grammes, nécessaire pour casser un faisceau de fibres et dépend de la caractéristique variétale de la plante.

Actuellement aux États-Unis, l'évaluation de la qualité de la quasi-totalité des cotons se fait par le biais du système HVI (High Volume Instruments) en ce qui concerne leur longueur, leur uniformité, leur maturité (micronaire), leur résistance ainsi que leur degré de pureté.

Les résultats sont reportés en grammes par tex* (tex : poids en grammes de 1000m de fibres).

Tableau 12: Résistance des fibres de coton.

Résultat concernant la résistance des fibres (en g/tex) selon le test HVI	Signification
Supérieur ou égal à 30	Très résistant
Compris entre 27 et 29	Résistant
Compris entre 24 et 26	Moyenne
Compris entre 21 et 23	Faible
Inférieur ou égal à 20	Très faible

Source: Cotton Ginners Handbook USDA/ARS décembre 1994

A côté de cette classe, il en existe également plusieurs autres qui sont détaillées dans le document suivant : United States Standards for the color grade of american upland cotton (effective August 5, 1993).

D'autres tests, notamment mécaniques, tels que le FMT (Fineness Maturity Tester), le NIR (Near Infra-Red) et l'AFIS (Advance Fiber Information System) permettent d'évaluer d'autres caractéristiques du coton (sa maturité, l'existence de matières collantes (NIR), le contenu en fibres courtes et le nouage (AFIS)).

✓ Exemples de normes nationales

Il existe également des normes au niveau national. Tel est, par exemple, le cas de la Tanzanie, un des premiers pays producteurs de coton en Afrique, qui classe ses cotons selon des critères d'apparence physique. On distingue alors la qualité supérieure "TANG", de la qualité standard "GANY" et de la plus faible appelée "YIKA". Viennent ensuite compléter ce premier niveau de classification, des critères descriptifs qui subdivisent les premières catégories en sous-groupes. Finalement, les cotons reçoivent un grade selon leur teinte. C'est ainsi que sont distingués les cotons "slight dull mixed stain (SDM)", des "Dull mixed stain (DM)" et des "Stain". Pour consulter les critères relatifs à ces différentes qualités, se référer au Tanzania Cotton Board.

La coexistence de normes nationales prenant pleinement en compte les besoins des acteurs domestiques et d'une norme de référence pour le commerce international n'est pas incompatible puisqu'un certain niveau de correspondance existe. Le Bénin a, par exemple, développé un label national pour son coton déterminant plusieurs niveaux de qualité. On distingue notamment les qualités Kaba (qualité supérieure), Zana, Kene et Bati (qualité inférieure).

✓ La qualité des filés de coton.

Il existe trois systèmes de classification des filés au niveau international : le système anglais Na (exprime le nombre d'écheveaux de 840 yards dans une livre de fil), le

système métrique Nm (nombre de kilomètres de fil contenu dans un kilo de fil) et le système TEX (poids en grammes d'un kilomètre de fil).

Les correspondances sont quasiment identiques entre le système anglais et métrique, alors que le TEX est exactement l'inverse du système métrique multiplié par 1000.

2 Formulation du béton.

2.1 - Le béton : concept et définition

2.1.1- Concept et définition.[4]

Béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant.

Le liant peut être « hydraulique » (car il fait prise par hydratation ; ce liant est couramment appelé ciment) ; on obtient dans ce cas un béton de ciment. On peut aussi utiliser un liant *hydrocarboné* (bitume), ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux. Le *coulis* est un mélange très fluide de ciment et d'eau. Enfin, lorsque les agrégats utilisés avec le liant hydraulique se réduisent à des sables, on parle alors de *mortier* (sauf si l'on optimise la courbe granulaire du sable et dans ce cas on parle de béton de sable).

✓ Historique :

Sa recette est un secret militaire gardé confidentiel (en raison de son importance stratégique) par les Cimmériens, les Phéniciens et les Égyptiens. Permettant la construction de ports artificiels, de forteresses, de temples et de monuments commémoratifs, il se répand dans les colonies grecques grâce aux conquêtes d'Alexandre le Grand, puis dans l'empire romain, après son alliance avec Neapolis avant de tomber en désuétude à la chute de celui-ci.

Redécouvert par l'occident seulement depuis le XIX^e siècle notamment grâce à Louis Vicat, le béton de ciment est, à l'heure actuelle, le matériau de construction le plus utilisé.

La réaction chimique qui permet au béton de ciment de *faire prise* est assez lente : à peine 50% de la résistance mécanique finale au bout de 7 jours. La vitesse de durcissement du béton peut cependant être affectée par la nature du ciment utilisé et par la température du matériau lors de son durcissement. La valeur prise comme référence dans les calculs de résistance est celle obtenue à 28 jours (90% de la résistance finale). Le délai de 28 jours a été choisi afin de pouvoir contrôler la résistance 4 semaines après avoir coulé le béton. Ainsi, un béton coulé un vendredi sera vérifié un vendredi, ce qui évitera d'avoir à faire des tests durant les week-ends. Il est possible de modifier (accélérer ou, au contraire, retarder) la vitesse de prise en incorporant au béton frais des adjuvants (additifs) ou en utilisant un ciment prompt (ciment Vicat). Il existe d'autres types d'adjuvants qui permettent de modifier certaines propriétés physico-chimiques des bétons. On peut, par exemple, augmenter la fluidité du béton pour faciliter sa mise en œuvre en utilisant des *plastifiants*, le

rendre hydrofuge (adjonction d'un liquide hydrofuge ou d'une résine polymère) ou maîtriser la quantité d'air incluse (*entraîneur d'air*).

✓ Le matériau béton :

Si un béton classique est constitué d'éléments de granulométrie décroissante, en commençant par les agrégats, le spectre granulométrique se poursuit avec la poudre de ciment puis parfois avec un matériau de granulométrie encore plus fine comme une fumée de silice (récupérée au niveau des filtres électrostatiques dans l'industrie de l'acier). L'obtention d'un spectre granulométrique continu et étendu vers les faibles granulométries permet d'améliorer la compacité, donc les performances mécaniques.

L'eau a un double rôle d'hydratation de la poudre de ciment et de facilitateur de la mise en œuvre (ouvrabilité). En l'absence d'adjuvant plastifiant, la quantité d'eau est déterminée par la condition de mise en œuvre. Un béton contient donc une part importante d'eau libre, ce qui conduit à une utilisation non optimale de la poudre de ciment. En ajoutant un plastifiant (appelé aussi *réducteur d'eau*), la quantité d'eau utilisée décroît et les performances mécaniques du matériau sont améliorées (BHP : *béton hautes performances*).

Les résistances mécaniques en compression obtenues classiquement sont de l'ordre de:

- bétonnage sur chantier : 25 à 35 MPa
- bétonnage soigné en usine (préfabrication): 40 à 60 MPa
- béton hautes performances : jusqu'à 200 MPa
- en laboratoire : 500 MPa

2.1.2- Classification des bétons et techniques de renforcement

Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon sa masse volumique ρ :

- Béton très lourd : $\rho > 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton lourd (béton courant): $\rho = 1800 \text{ à } 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton léger: $\rho = 500 \text{ à } 1800 \text{ kg/m}^3$.
- Béton très léger: $\rho < 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants:

- béton de ciment;
- béton silicate (chaux);
- béton de gypse (gypse);
- béton asphalte.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

-Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2003 kg/m³ environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.

- Les bétons lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m³ servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.

- Les bétons de granulats légers, dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes offshore ou les ponts.

✓ Le béton armé :

Le béton armé a été inventé par Joseph Monier qui en a déposé les brevets dès 1870. On se reportera pour plus de précision au livre "Joseph Monier et la naissance du ciment armé" paru aux éditions du Linteau (Paris, 2001).

De façon intrinsèque, le béton de ciment présente une excellente résistance à la compression. En revanche, il a une faible résistance à la traction donc à la flexion. Aussi est-il nécessaire, lorsqu'un ouvrage en béton est prévu pour subir des sollicitations en traction ou en flexion (comme par exemple un plancher, un pont, une poutre...), d'y incorporer des armatures en acier destinées à s'opposer et à reprendre les contraintes de traction qui pourraient mettre en péril la pérennité de l'ouvrage. Les armatures mises en œuvre peuvent être soit en *acier doux* soit en *acier haute-adhérence* (aciers *HA* anciennement dénommés *TOR*). On parle alors de béton armé, matériau composite mis au point par François Hennebique en 1886.

✓ Le béton précontraint :

Parfois, les sollicitations prévisibles sont telles que l'élasticité propre de l'acier ne suffit pas à assurer la sécurité de l'ouvrage. Aussi, a-t-on recours à des techniques spécifiques d'armature conduisant au *béton précontraint*.

En effet, le béton possède des propriétés mécaniques intéressantes en compression alors que la résistance en traction est limitée et provoque rapidement sa fissuration et sa rupture.

Il s'agit de techniques inventées par Eugène Freyssinet en 1928, qui consistent à tendre (comme des ressorts) les aciers constituant les armatures du béton, et donc à comprimer, au repos, ce dernier. Ainsi, lorsque la structure est sollicitée, ces armatures s'allongent et le béton a tendance à se *décompresser* sans toutefois parvenir à se mettre en traction, puisqu'il était déjà en partie comprimé.

Selon que cette tension appliquée aux armatures (appelé câble de pré-contrainte ou toron de pré-contrainte) est effectuée avant la prise complète du béton ou postérieurement à celle-ci, on distingue la *précontrainte par pré-tension* et la *précontrainte par post-tension*.

- Dans la *pré-tension* (le plus souvent utilisée en bâtiment), les armatures sont mises en tension avant la prise du béton. Elles sont ensuite relâchées, mettant ainsi le béton en compression par simple effet d'adhérence. Cette technique ne permet pas d'atteindre des valeurs de précontrainte aussi élevées qu'en post-tension.

- La *post-tension* consiste à disposer les câbles de précontrainte dans des gaines incorporées au béton. Après la prise du béton, les câbles sont tendus au moyen de vérins de manière à comprimer l'ouvrage au repos. Cette technique, relativement complexe, est généralement réservée aux grands ouvrages (ponts) puisqu'elle nécessite la mise en œuvre d'encombrantes « pièces d'about » (dispositifs mis en place de part et d'autre de l'ouvrage et permettant la mise en tension des câbles).

Dès lors la section de béton est uniformément comprimée (selon la position des câbles il apparaît même une contre-flèche à vide). Une fois soumis à la charge maximale, la précontrainte en fibre inférieure sera presque annulée par la tension de charge, alors que dans la partie supérieure la compression sera largement plus importante que dans une poutre en béton armé classique.

✓ Le béton bitumineux :

Le béton bitumineux (aussi appelé enrobé bitumineux) est composé de différentes fractions de gravillons, de sable, de filler et utilise le bitume comme liant. Il constitue généralement la couche supérieure des chaussées (*couche de roulement*). L'enrobé est fabriqué dans des usines appelées "centrales à enrobés", fixes ou mobiles, utilisant un procédé de fabrication continu ou par gachées. Il est mis en œuvre à chaud (150° C environ) à l'aide de machines appelées « finisseurs » qui permettent de le répandre en couches d'épaisseur désirée. L'effet de « prise » apparaît dès le refroidissement (< 90 °C), aussi est-il nécessaire de compacter le béton bitumineux avant refroidissement en le soumettant au passage répété des « rouleaux compacteurs ». Contrairement au béton de ciment, il est utilisable presque immédiatement après sa mise en œuvre.

Le bitume étant un dérivé pétrolier, le béton bitumineux est sensible aux hydrocarbures perdus par les automobiles. Dans les lieux exposés (stations services) on remplace le bitume par du goudron. Le *tarmacadam* des aéroports est l'appellation commerciale d'un tel *béton de goudron* (rien à voir avec le macadam, dépourvu de liant).

✓ Autres techniques de renforcement :

On peut améliorer la résistance mécanique (post-fissuration) du béton en y incorporant des fibres (dosages traditionnels de l'ordre de 20 à 60 kg/m³). L'incorporation de celles-ci dans le béton rend ce dernier davantage ductile (moins fragile). Différents types de fibre peuvent être utilisés avec des propriétés spécifiques. C'est surtout le rapport entre la longueur et le diamètre des fibres (élancement) qui aura une influence sur les performances finales du béton fibré. On obtient ainsi un « béton fibré », souvent mis en œuvre par projection (tunnels) ou couramment utilisé pour les dallages industriels par exemple. Une autre option est dite de « poudre réactive » à structure fractale : les grains qui le composent ont tous la même taille, et accessoirement la propriété de présenter la même forme à différentes échelles (fractale). L'organisation optimale des granulats au sein du béton lui octroie de meilleures propriétés mécaniques. Il s'agit toutefois d'une technique toujours au stade expérimental.

2.2 - Formulation d'un béton : Méthode Dreux Gorisse.[5]

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

- la méthode Baron
- la méthode Bolomey
- la méthode de Féret
- la méthode de Faury
- la méthode Dreux-Gorisse

Dans cette partie nous nous intéresserons qu'à la méthode de Dreux Gorisse

2.2.1- Dosage en ciment et eau.

✓ Résistance visée

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée.

Ainsi la résistance visée, $f'_c = F_{c28} + 15\%F_{c28}$

$$f'_c = 1.15F_{c28}$$

Le dosage en eau et ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats.

Ainsi expérimentalement, la relation suivante entre l'ensemble de ces paramètres a été établie.

$$f'_c = \sigma_c \cdot G \cdot (C/E - 0,5)$$

Avec:

f'_c : résistance visée à 28 jours

C: dosage du ciment en kg/m^3 de béton

E: dosage de l'eau en kg/m^3 de béton

σ_c : Classe vraie du ciment en MPa

G : coefficient granulaire. Ce coefficient représente la qualité des granulats.

✓ **Données :**

-Ouvrabilité désirée : $A = 7\text{cm}$ (consistance plastique)

-Serrage : vibration avec aiguille vibrante de 25 mm

- $f_{c28} = 30\text{ Mpa}$

-Ciment CPA 45 $\Rightarrow \sigma_c = 45 + 10 = 55\text{Mpa}$

-Granulat concassé de qualité passable et D est moyen (voir tableau 13 : valeurs approximatives du coefficient granulaire G) $\Rightarrow G = 0.4$

✓ **Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.**

Tableau 13: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	D ≤ 12,5	20 ≤ D ≤ 31,5	D ≥ 50
	Fins	Moyens	Gros
Excellente	0,55	0,6	0,65
Bonne	0,45	0,5	0,55
Passable	0,35	0,4	0,45

$$f'_c = \sigma_c * G * (C/E - 0.5)$$

$$\Rightarrow \frac{C}{E} = \frac{f'_c}{\sigma_c * G + 0.5}$$

$$\text{AN : } \frac{C}{E} = 1.53$$

Le dosage en eau dépend également de l'ouvrabilité désirée. Ainsi en intégrant l'ouvrabilité désirée, expérimentalement, et à partir du rapport C/E, il est possible de déterminer le dosage en ciment par l'abaque suivant.

La détermination du dosage en ciment s'obtient par cet abaque à double entrée. En abscisse, la valeur de l'affaissement désirée est entrée et en ordonnée le rapport, C/E. L'intersection des deux entrées, indique la sortie, la courbe donnant le dosage en ciment en kg.

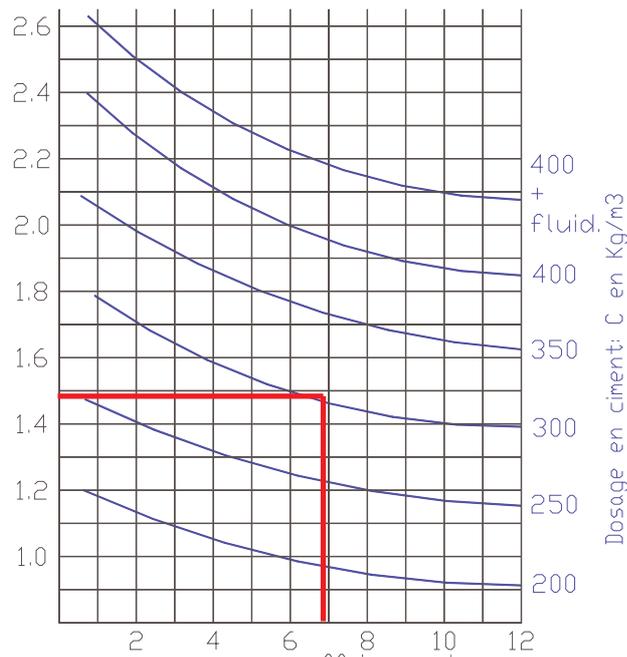


Figure 6: Graphique indiquant approximativement le dosage en ciment

En fonction du rapport $C/E = 1.53$ et de la consistance désirée de 7cm, nous avons obtenu un dosage en ciment de 330 kg/m^3 de béton (voir graphique ci-dessus)
 Le dosage en eau s'en déduit : $C/E=1.53$ avec $C=330\text{kg}$, $E=C/1.53$

$\Rightarrow E=330/1.53=215.69 \text{ kg d'eau}$, soit 215 l d'eau.

✓ **Ajustement du dosage en eau.**

Le dosage en eau est à ajuster. En effet l'eau doit pouvoir humidifier tous les grains du mélange. Or pour humidifier un grain, il faut d'autant plus d'eau que son diamètre est petit. La quantité d'eau dépend donc également du diamètre des grains à humidifier. Le dosage en eau déterminé est indiqué pour mouiller tous les grains du mélange granulaire d'un diamètre représentatif maximal, $D=25\text{mm}$. Pour les autres diamètres, il faut majorer ou minorer ce dosage selon ce diamètre, D .

Correction du dosage en eau selon le diamètre, D du mélange granulaire

Tableau 14: Correction du dosage en eau selon le diamètre.

Diamètre en mm	10	12.5	16	20	25	31,5	40	50
Correction en %	9	6	4	2	0	-2	-4	-6

Ainsi pour notre mélange granulaire de diamètre, $D=22.4\text{mm}$, il faut majorer le dosage en eau de +1%.

Pour un dosage initial de 215L d'eau le dosage doit être augmenté à $E=215 \times 1.01=217\text{L}$.

2.2.2- Dosage en pourcentage des granulats.

✓ Courbe granulaire de référence

Données :

- Sable roulé
- Gravier concassé
- classe granulaire du sable : 0.2/6.3
- classe granulaire du gravier : 6/22.4

Origine O (0.08 ; 0%)

Point de brisure A (tamis X_A ; $Y_A\%$)

$D > 20$ mm, X_A est située au milieu du "segment gravier" limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D. (voir la représentation sur le graphique). Et l'ordonnée (Y_A) est donnée par la formule :

$$Y_A = 50 - \sqrt{D} + K$$

Avec K (voir tableau ci dessous) un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés. (En particulier la forme du sable). Dans notre cas, $K = 1$
 $\Rightarrow Y_A = 50 - \sqrt{22.4} + 1 = 46.27 \%$

Tableau 15: Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Forme des granulats (du sable en particulier)							
Dosage en ciment	400+ fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	2	-2	0	-4	-2
	350	2	4	0	2	-2	0
	300	4	6	2	4	0	2
	250	6	8	4	6	2	4
	200	8	10	6	8	4	6

Extrémité B (22.4 ; 100%)

✓ Ligne de partage

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulats au point d'ordonnée 5% de la courbe granulaire du plus gros granulats.

2.2.3- Dosage en masse des granulats.

✓ Coefficient de compacité

Le coefficient de compacité γ est le rapport des volumes absolus des matières solides ($V_m = V_g + V_s + V_c$) au volume total du béton frais en oeuvre soit un mètre cube.

$$\gamma = \frac{V_g + V_s + V_c}{1000} \text{ (en litres),}$$

Avec :

- V_g : Volume absolu du gravier
- V_s : Volume absolu du sable
- $V_c = \frac{C}{3.1} = \frac{330}{3.1} = 106.45 \text{ l}$; Volume absolu du ciment

Ce coefficient γ est fonction de :

D : dimension maximale des granulats

C : dosage en ciment et

E : dosage en Eau

$\frac{G}{S}$ rapport de composition gravier, sable

Forme des granulats (concassés ou roulés)

Moyen de serrage (vibrations, piquage)

Tableau 16: Valeur du coefficient de compacité.

Consistance	Serrage	γ coefficient de compacité						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0,75	0,78	0,795	0,805	0,81	0,815	0,82
	Vibration faible	0,755	0,785	0,8	0,81	0,815	0,82	0,825
	Vibration normale	0,76	0,79	0,805	0,815	0,82	0,825	0,83
Plastique	Piquage	0,76	0,79	0,805	0,815	0,82	0,825	0,83
	Vibration faible	0,765	0,795	0,81	0,82	0,825	0,83	0,835
	Vibration normale	0,77	0,8	0,815	0,825	0,83	0,835	0,84
	Vibration nuisante	0,775	0,805	0,82	0,83	0,835	0,84	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,82	0,83	0,835	0,84	0,845
	Vibration normale	0,78	0,81	0,825	0,835	0,84	0,845	0,85
	Vibration nuisante	0,785	0,815	0,83	0,84	0,845	0,85	0,855

Nota: Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon, il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- sable roulé et gravier concassé -0.01

- sable et gravier concassé -0.03

Pour un dosage en ciment $C \neq 350 \text{ Kg/m}^3$, on apportera le terme correctif suivant : $\frac{C - 350}{3000}$

$D = 22.4 \text{ mm}$ et Consistance plastique avec une vibration normale nous choisissons : $\gamma = 0.828$

Correction de γ :

Sable roulé et gravier concassé $\gamma = 0.828 - 0.01 = 0.818$

Dosage en ciment $C = 330 \text{ Kg/m}^3 \neq 350 \text{ Kg/m}^3$ $\gamma = 0.818 + \frac{C - 350}{3000} = 0.811$

Posons : $V_g + V_s = V$

$\Rightarrow \gamma = \frac{V + V_c}{1000}$ avec $V_c = 106.45 \text{ l}$ et $\gamma = 0.811$ nous obtenons :

$V = 811 - 106.45 = 704.88 \text{ litres}$

La courbe granulaire de référence OAB, on trace alors la ligne de partage des courbes granulaires en joignant le point à 95 % de la courbe granulaire du sable, au point 5 % de la courbe du granulométrique du gravier.

On lit, sur la courbe de référence OAB (voir Annexes 1) au point de croisement (intersection) avec la droite de partage de courbes, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats :

- %sable = 42 %

- %gravier = 58 %

Ainsi les volumes absolus de chacun des granulats sont :

- $V_s = 0.42 * V = 296.05 \text{ litres}$

- $V_g = 0.58 * V = 408.83 \text{ litres}$

La masse spécifique de nos granulats étant de $w_s = w_g = 2.65$ la masse de chacun des granulats sera de :

$P_s = 2.65 * 296.05 = 784.53 \text{ Kg}$

$P_g = 2.65 * 408.83 = 1083.40 \text{ Kg}$

2.2.4- Formule en masse et en volume

Nous obtenons ainsi les formules de composition suivante (voir tableau) :

Tableau 17: Dosage du béton.

Désignation	Dosage en poids pour 1m3 (en Kg)	Dosage en volume pour 1m3 (en litre)	Pourcentage volumique (en %)	Dosage en volume pour 6 éprouvettes de 16*32 (40 litres)	Dosage en poids (Kg) pour 6 éprouvettes de 16*32
Ciment	330,00	106,450	13,12	5,248	13,20
Gravier	1083,40	408,831	50,39	20,156	43,34
Sable	784,53	296,050	36,49	14,596	31,38
Eau	215,69	215,690		10,634	8,63
Total	2197,93	811,331	100	40,000	87,92

NB : le dosage en fibres de coton a été déterminé par analogie aux bétons de fibres de polypropylène le coton étant en phase expérimentale nous avons pris les deux valeurs extrêmes (valeur minimale et valeur maximale) du dosage des bétons fibrés.

Le béton ordinaire est confectionné en incorporant dans l'ordre, le gravier, puis le sable et en fin le ciment. Le mélange est brassé à sec durant approximativement une minute. L'eau est ensuite ajoutée doucement afin de vérifier visuellement l'ouvrabilité du béton. L'ensemble est ensuite brassé durant approximativement 2 minutes. L'essai d'ouvrabilité est mené afin de vérifier et d'ajuster le dosage en eau. Nous précisons que pour les bétons fibrés nous avons introduit les fibres juste après les granulats c'est-à-dire avant incorporation du ciment.

2.2.5- Détermination du temps de vibration.

La mise en place du béton s'est effectuée en deux couches.

Le temps de vibration dépend du moyen de vibration, de l'ouvrabilité du béton et de la nature des granulats le constituant. Les deux normes indiquent les temps de vibrations par couche en fonction de tous ces paramètres et sous forme de tableau.

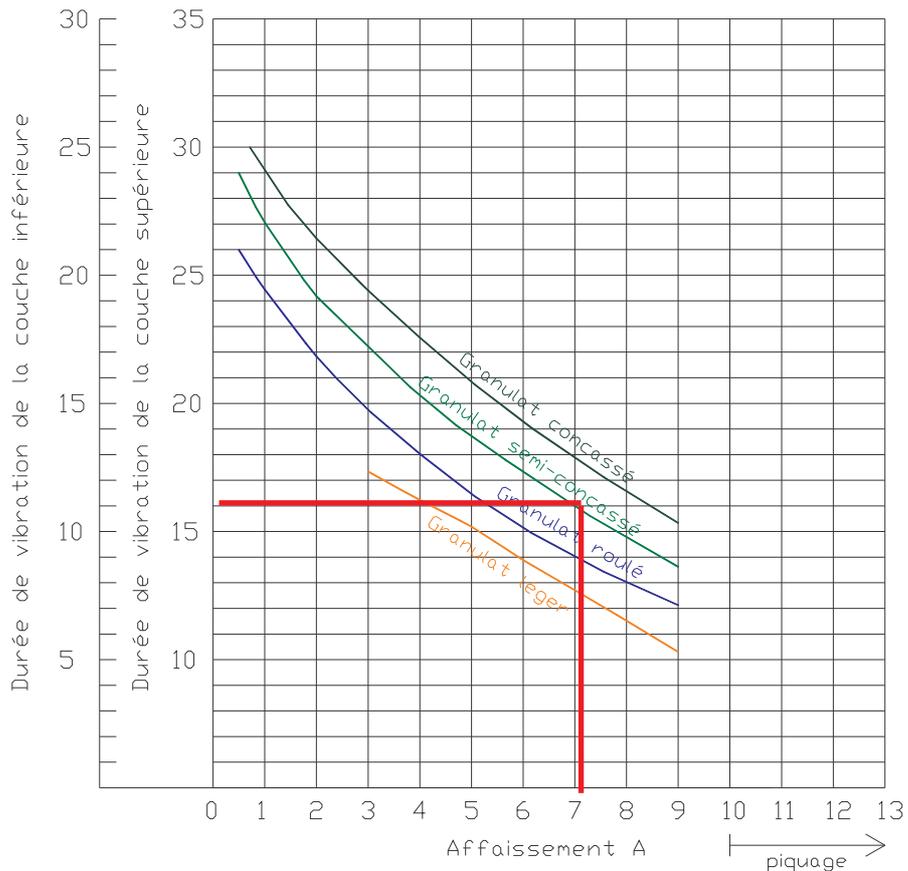


Figure 7: Graphique indiquant le temps de vibration en fonction de la nature des granulats.
 Source : Confection des bétons NORME NF P 18-404

Pour un affaissement de $A = 7$ cm et des granulats concassés nous avons obtenu les temps de vibration suivants :

- couche inférieure $t = 11$ secondes
- couche supérieure $t = 16$ secondes

2.2.6- Evaluation du nombre d'essais (nombre éprouvettes) à réaliser.

Tableau 18: Evaluation du nombre des essais.

		Béton témoin	Béton aux fibres de polypropylène	Béton aux fibres de coton	Béton aux fibres de coton
Dosage en fibres		0 Kg/m ³	0,6 Kg/m ³	0,6 Kg/m ³	1,2 Kg/m ³
A 7jours:	Compression	3Essais	3Essais	3Essais	3Essais
A 21jours:	Traction	3Essais	3Essais	3Essais	3Essais
A 28jours:	Compression	3Essais		3Essais	

Soit un total de :

- 18 éprouvettes de 16*32 pour essais de compression.
- 12 éprouvettes de 10*10*40 pour essais de traction par flexion.

RESULTATS ET INTERPRETATION

3 Confection des éprouvettes résultats des essais et interprétations.

3.1 - *Eprouvettes cylindriques pour essais de compression.*

3.1.1- *Réalisation des éprouvettes.*

La rigidité de l'éprouvette durant les manipulations est vérifiée en serrant par des boulons le moule cylindre métallique normalisé.

L'éprouvette est ensuite remplie en deux couches nécessaires à la vibration du béton et vibré conformément au temps indiqué.

La dernière couche est remplie jusqu'au bord de l'éprouvette. Elle est ensuite vibrée conformément au temps indiqué.

La vibration contracte le béton. Le volume de béton dans l'éprouvette diminue. Cette diminution de volume est compensée en remplissant l'éprouvette au fur et à mesure afin que le niveau de béton soit maintenu jusqu'au bord supérieur de l'éprouvette.

L'éprouvette est arasée en deux phases. Une phase de dégrossissage consiste à passer un réglé sur le plat de son biseau. Une phase d'affinage consiste à passer le réglé sur le plat.

L'éprouvette est démoulé 24 heures après et stockée par immersion dans un bassin d'eau.

3.1.2- *Aspect des éprouvettes après décoffrage*



Photo 2: Eprouvettes béton témoin



Photo 3: Epreuves en béton dosé aux fibres de coton (1,2 Kg/m³)

L'éprouvette dosée aux fibres de coton a un aspect rosâtre cela peut être dû à la couleur qu'avait le coton.



Photo 4: Epreuves en béton dosé aux fibres de polypropylène (0,6 Kg/m³)

3.1.3- Essai de compression : Essai et résultats.

Les essais de compression sont réalisés sur des éprouvettes de 7 jours d'âge et 28 jours les résultats sont consignés dans les tableaux ci après.

Tableau 19: Résultats résistance à la compression du béton témoin.

Béton témoin

Eprouvettes	Dimensions ϕ x h (cm)	Poids (g)	Forces de rupture (KN)	Résistance ⁽¹⁾ 7jrs (Mpa)	Force de rupture (KN)	Résistance ⁽¹⁾ 28jrs (Mpa)
1	16x32	15579	205	10,20	386,00	19,20
2	16x32	15510	315	15,67	423,00	21,04
3	16x32	15512	250	12,43	436,00	21,68
Moyenne ⁽²⁾ :				12,77		20,64
Ecart type ⁽³⁾ :				2,75		1,29
RDS ⁽⁴⁾ %				21,55		6,25

La variation des résultats (10,20MPa ; 15,67MPa ; 12,43MPa) peut être due aux défauts de mise en œuvre (vibration, durée entre différents coulages) ou à un problème de surfacage des éprouvettes avant l'essai.

Tableau 20: Résultats résistance à la compression du béton avec fibres de polypropylène dosée à 0,6kg/m³.

Béton fibres polypropylène

Eprouvettes	Dimensions ϕ x h (cm)	Poids (g)	Forces de rupture (KN)	Résistance 7jrs (Mpa)
1	16x32	15297	350	17,41
2	16x32	15247	345	17,16
3	16x32	15226	300	14,92
Moyenne:				16,50
Ecart type:				1,37
RDS %				8,30

Tableau 21: Résultats résistance à la compression béton avec fibre de coton dosé à 0,6 Kg/m³

Béton fibre coton dosé à 0.6 Kg/m³

Eprouvettes	Dimensions ϕ x h (cm)	Poids (g)	Forces de rupture (KN)	Résistance 7jrs (Mpa)	Force de rupture (KN)	Résistance 28jrs (Mpa)
1	16x32	15170	355	17,66	545,00	27,11
2	16x32	15237	310	15,42	482,00	23,97
3	16x32	15120	340	16,91	505,00	25,12
Moyenne:				16,66		25,40
Ecart type:				1,14		1,59
RDS %				6,84		6,24

Tableau 22: Résultats résistance à la compression béton avec fibres de coton dosé à 1,2 Kg/ m³

Béton fibre coton dosé à 1.2 Kg/m³

Eprouvettes	Dimensions ø x h (cm)	Poids (g)	Forces de rupture (KN)	Résistance 7jrs (Mpa)
1	16x32	15205	240	11,94
2	16x32	15147	255	12,68
3	16x32	14982	255	12,68
Moyenne:				12,43
Ecart type:				0,43
RDS %				3,46

(1) Calcul de la résistance :

$$R = \frac{F}{S} = \frac{4 * F}{\pi * \Phi^2} \quad \text{Avec } F = \text{force de rupture ; } \Phi = \text{Diamètre de l'éprouvette.}$$

(2) Calcul de la moyenne des résistances :

$$R_m = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} \quad \text{Avec } R_n = \text{Résistance éprouvette } n.$$

(3) Calcul de l'écart type :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n * \bar{X}^2}{n}} \quad \text{Avec } x = \text{valeur des résistances des différent éprouvettes ;}$$

\bar{X} = moyenne des résistances.

(4) Calcul RDS :

$$RDS\% = \frac{100 * \sigma}{R_m}$$

- Calcul des résistances pour vérification selon le BAEL.

$$f_{cj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} f_{c28} \quad \text{Pour } f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$$

$$f_{cj} = \frac{j}{1,40 + 0,95j} f_{c28} \quad \text{Pour } f_{c28} \geq 40 \text{ MPa}$$

3.1.4- Aspect des éprouvettes après rupture : mode de rupture.



Photo 5: Epreuves béton témoin



Photo 6: Epreuves en béton dosé aux fibres de polypropylène (0,6 Kg/m³)



Photo 7: Epreuves en béton dosé aux fibres de coton (0,6 Kg/m³)

Le mode de rupture des éprouvettes polypropylènes est le même que celui du béton dosé avec des fibres de coton : rupture avec une grande fissure longitudinale en partie centrale.



Photo 8: Epreuves en béton dosé aux fibres de coton (1,2 Kg/m³)

La rupture des éprouvettes de béton avec fibres de coton dosée à $1,2 \text{ Kg/m}^3$ se caractérise par de multiples petites fissures longitudinales.

3.2 - Eprouvettes rectangulaires de $10*10*40$ pour essais de traction par flexion.

3.2.1- Réalisation des éprouvettes.

Le moule des éprouvettes est confectionné en bois de coffrage, la rigidité du moule durant les manipulations est assurée par des pointes. Avant le remplissage du moule, nous l'avons badigeonné d'huile afin d'assurer le démoulage et nous donner un bon aspect de l'éprouvette après décoffrage.

L'éprouvette est ensuite remplie en deux couches nécessaires à la vibration du béton et vibré conformément au temps indiqué.

La dernière couche est remplie jusqu'au bord de l'éprouvette. Elle est ensuite vibrée conformément au temps indiqué.

La vibration contracte le béton. Le volume de béton dans l'éprouvette diminue. Cette diminution de volume est compensée en remplissant l'éprouvette au fur et à mesure afin que le niveau de béton soit maintenu jusqu'au bord supérieur de l'éprouvette.

L'éprouvette est arasée en deux phases. Une phase de dégrossissage consiste à passer un réglé sur le plat de son biseau. Une phase d'affinage consiste à passer le réglé sur le plat.

L'éprouvette est démoulé 24 heures après et stockée par immersion dans un bassin d'eau.

3.2.2- Aspect des éprouvettes après décoffrage



Photo 9: Aspect des éprouvettes après décoffrage.

3.2.3- Essai de traction par flexion : Essai et résultats.

Les essais de traction par flexion sont réalisés pour des éprouvettes de 21 jours d'âge les résultats sont consignés dans les tableaux ci après.

Tableau 23: Résistance à la traction par flexion béton témoin.

Béton témoin

Eprouvettes	Dimensions bxhxL (cm)	Forces de rupture (P en KN)	Moment max ⁽¹⁾ . de rupture (KN.m)	Contrainte max ⁽²⁾ . à la rupture à 21jrs (Mpa)
1	10x10x40	10,51	0,79	4,73
2	10x10x40	10,42	0,78	4,69
3	10x10x40	12,06	0,90	5,43
Moyenne ⁽³⁾ :				4,95
Ecart type ⁽⁴⁾ :				0,41
RDS ⁽⁵⁾ %				8,38

Tableau 24: Résistance à la traction par flexion béton avec fibres de polypropylène dosée à 0,6Kg/m³

Béton fibres polypropylène

Eprouvettes	Dimensions bxhxL (cm)	Forces de rupture (KN)	Moment max. de rupture (KN.m)	Contrainte max. à la rupture à 21jrs (Mpa)
1	10x10x40	9,12	0,68	4,10
2	10x10x40	10,05	0,75	4,52
3	10x10x40	10,53	0,79	4,74
Moyenne:				4,46
Ecart type:				0,32
RDS %				7,24

Tableau 25: Résistance à la traction par flexion béton avec fibres de coton dosé à 0,6 Kg/m³

Béton fibre coton dosé à 0.6 Kg/m³

Eprouvettes	Dimensions bxhxL (cm)	Forces de rupture (KN)	Moment max. de rupture (KN.m)	Contrainte max. à la rupture à 21jrs (Mpa)
1	10x10x40	10,19	0,76	4,59
2	10x10x40	9,24	0,69	4,16
3	10x10x40	9,51	0,71	4,28
Moyenne:				4,34
Ecart type:				0,22
RDS %				5,07

Tableau 26: Résistance à la traction par flexion béton avec fibres de coton dosé à 1,2 Kg/m³

Béton fibre coton dosé à 1.2 Kg/m³

Eprouvettes	Dimensions bxhxL (cm)	Forces de rupture (KN)	Moment max. de rupture (KN.m)	Contrainte max. à la rupture à 21jrs (Mpa)
1	10x10x40	10,16	0,76	4,57
2	10x10x40	8,95	0,67	4,03
3	10x10x40	9,66	0,72	4,35
Moyenne:				4,32
Ecart type:				0,27
RDS %				6,34

(1) Calcul du moment maximum à la rupture:



Photo 10: Photo de l'éprouvette sur le portique d'essai universel

✓ Schéma mécanique de l'éprouvette.

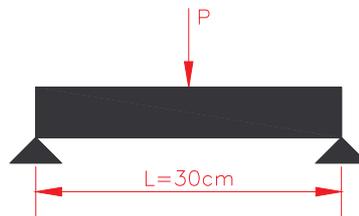


Figure 8: Schéma mécanique de l'éprouvette.

$$M_{\max} = \frac{P * L}{4} \quad \text{Avec } P = \text{force de rupture} ; L = \text{Portée de l'éprouvette.}$$

(2) Calcul de la contrainte de rupture maximum :

$$\sigma_{\max} = \frac{\nu * M_{\max}}{I} \quad \text{Avec } I = \text{moment d'inertie, } I = \frac{b * h^3}{12} \text{ ici } b = h ; \nu = \frac{h}{2}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{6 * M_{\max}}{b^3}$$

(3) Calcul de la moyenne des contraintes de rupture maximum :

$$R_m = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} \quad \text{Avec } R_n = \text{Résistance éprouvette n.}$$

(4) Calcul de l'écart type :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n * \bar{X}^2}{n}} \quad \text{Avec } x = \text{valeur des résistances des différent éprouvettes ;}$$

\bar{X} = moyenne des résistances.

(5) Calcul RDS :

$$RDS\% = \frac{100 * \sigma}{R_m}$$

3.2.4- Aspect des éprouvettes après rupture : mode de rupture.



Photo 11: Mode de rupture des éprouvettes béton témoin.

La rupture des éprouvettes des bétons non fibré (béton témoin) est brusque et brutale.



Photo 12: Mode de rupture des éprouvettes béton dosée aux fibres de coton (0,6 Kg/m³)

La rupture des éprouvettes des bétons dosés aux fibres de coton (0,6 Kg/m³) est moins brutale que le béton témoin.



Photo 13: Mode de rupture des éprouvettes béton dosée aux fibres de coton (1,2 Kg/m³)

La rupture des éprouvettes de béton dosée aux fibres de coton (1,2 Kg/m³) n'est pas soudaine et brutale. Ce béton est beaucoup plus ductile que les autres.

3.3 - *Interprétation des résultats.*

3.3.1- *Interprétation résultats essais de compression.*

Tableau 27: Récapitulatif des résultats d'essai de compression

Tableau récapitulatif des résultats

Types de béton	7jours	RDS (%)	28jours	RDS (%)
Béton témoin	12,77 +/- 2,75	21,55	20,64 +/- 1,29	6,25
Béton fibres polypropylène	16,50 +/-1,37	8,3		
Béton fibres coton dosé 0,6Kg/m ³	16,66 +/- 1,14	6,84	25,40 +/- 1,59	6,24
Béton fibres coton dosé 1,2Kg/m ³	12,43 +/- 0,43	3,46		

✓ **Analyse des résultats expérimentaux.**

Nous remarquons que l'ensemble des résultats paraît assez satisfaisant. En effet, mises à part la valeur pour laquelle le RDS est égal à 21,55 % > 15 % (compression à 7jours pour le béton témoin) la variation importante des résultats du béton témoin peut être dû aux défauts de mise en œuvre (vibration, durée entre différents coulages) ou à un problème de surfacage des éprouvettes avant l'essai. Pour le reste des résultats, le RDS est inférieur à 10 %. Ceci nous semble être une dispersion des résultats assez faible ce qui nous conduit à penser que nos résultats paraissent fiables.

✓ **La résistance à la compression:**

On remarque dans un premier temps que les bétons aux fibres de coton et aux fibres de polypropylène possèdent une grande résistance à la compression à 28 jours.

D'après nos résultats, la résistance du béton aux fibres de coton est augmentée d'environ 4,35 % par rapport au béton non fibré (béton témoin). Cette augmentation de résistance à la compression peut s'expliquer par le fait que l'ajout de fibres de coton crée une sorte de cohésion en s'entrelaçant entre les grains de la matrice de béton, et selon le théorème de CAUCHY qui dit que pour un matériau homogène et isotrope la contrainte tangentielle est la même dans tous les sens [6] donc si les fibres renforcent la cohésion du béton dans le sens de la traction, il renforcera implicitement la contrainte dans le sens de la compression et vice versa.

Au vu du mode de rupture nous pouvons dire que les fibres créent une sorte de cohésion entre les matériaux constituant le béton et confèrent ainsi une résistance ne favorisant pas l'arrachement des grains du béton. Nous ne pouvons pas dire ici que les fibres agissent mécaniquement sur la résistance à la compression.

3.3.2- Interprétation résultats essais de traction par flexion.

Tableau 28: Récapitulatif des résultats d'essai de traction par flexion.

Tableau récapitulatif des résultats

Types de béton	21jours	RDS (%)
Béton témoin	4,95 +/- 0,41	8,38
Béton fibres polypropylène	4,46 +/- 0,32	7,24
Béton fibres coton dosé 0,6Kg/m ³	4,34 +/- 0,22	5,07
Béton fibres coton dosé 1,2Kg/m ³	4,32 +/- 0,27	6,34

Nous remarquons que l'ensemble des résultats paraît satisfaisant car pour tous les résultats, le RSD est inférieur à 10 %. Ceci nous semble être une dispersion des résultats assez faible ce qui nous conduit à penser que nos résultats paraissent fiables.

✓ La résistance à traction:

On remarque que les résistances des trois bétons fibrés sont sensiblement égales à la résistance du béton témoin. Toutefois, la résistance du béton témoin paraît un peu plus élevée. On peut donc penser que l'ajout de fibres de coton ne modifie pas la résistance à la traction des bétons, l'excès pourrait plutôt faire chuter la résistance à la traction du béton (voir résultat béton aux fibres de coton à 1,2 Kg/m³). Vu les résultats de résistance à la compression obtenus, vu le théorème de CAUCHY qui dit que pour un matériau homogène et isotrope la contrainte tangentielle est la même dans tous les sens [6] donc si les fibres augmentent la résistance à la compression du béton il renforcera aussi la contrainte dans le sens de la traction et vice versa. Au théorème de CAUCHY vient s'ajouter la formule donnée par le BAEL : $f_{tj} = 0,6 + 0,06 * f_{cj}$ si $f_{cj} \leq 60 \text{ MPa}$, nous ne pouvons pas dire que les fibres font chuter la résistance à la traction des bétons. D'autres études faites sur les fibres de polypropylène ont montrées que l'ajout des fibres augmente la résistance à la traction des bétons. La perte de résistance observée ici nous emmène à dire que le dispositif

d'essai (portique universel) n'est pas approprié pour la mise en évidence de la résistance à la traction des bétons (fallait soumettre les éprouvettes à la traction pure et non à la traction par flexion car la traction par flexion fait naître dans la section du béton une partie tendue et une partie comprimée). Nous pouvons également chercher à savoir si les dimensions (10x10x40) adoptées pour les éprouvettes sont réglementaires.

NB : On n'aurait pu faire plusieurs éprouvettes de béton aux fibres de coton si les moyens le permettaient avec des dosages variants de $0,6\text{Kg/m}^3$ à $1,2\text{Kg/m}^3$ et pouvoir tracer une courbe (contraintes, dosage) et voir le dosage optimum qu'il faut pour les fibres de coton.

CONCLUSION

Malgré le fait d'avoir rencontré des difficultés lors de cette recherche sur l'influence de l'introduction de coton (fibres) sur les propriétés de bétons et mortiers et donc d'avoir revu à la baisse nos objectifs, nous avons tout de même pu observer toute l'importance de chaque composant d'un béton lors de l'élaboration d'une formulation béton.

Dans la partie matériaux et formulation des bétons, nous avons réalisé des essais sur les matériaux c'est à dire nous ont permis de caractériser les matériaux qui ont constitué notre béton à l'issue de ses essais, il ressort que :

- Le sable constituant le béton est un granulat courant de granularité régulière donc de qualité granulaire excellente avec un module de finesse de $2,20 < M_f = 2,21 < 2,80$ et d'un équivalent de sable E.S. = 87,05 % nous indiquant que le sable est très propre avec une absence presque totale de fines argileuse.

- Le gravier nous a donné un coefficient Los Angeles de 25 % nous indiquant que le gravier se prête bien à la formulation du béton en terme de résistance au choc.

- Le polypropylène provenant de SIKA comportant les qualités requises pour la formulation d'un béton.

- le coton provenant de la SOFITEX et découpé en fibres de 1cm de long par analogie aux fibres de polypropylène.

Une réflexion a été menée sur la formulation des bétons. Cinq méthodes ont été citées, mais nous avons retenu une méthode : la méthode DREUX Gorisse les dosages ont été obtenus pour un mètre cube de béton et les fibres sont incorporées dans la masse du béton.

La partie consacrée aux résultats et à l'interprétation des résultats. Dans cette partie, il est ressorti que l'ajout de fibres de coton n'augmente pas les résistances mécaniques en traction du béton du fait de la non adaptabilité du type d'essai et peut être la non conformité des dimensions adoptées pour l'éprouvette. Par contre, en compression, nous en avons constaté une augmentation de l'ordre de 4,35 % et nous avons remarqué lors du démoulage des éprouvettes que les fibres ont tendance à limiter le retrait. Cette augmentation de la résistance à la compression du béton par les fibres est due au fait que les fibres créées une cohésion en s'entrelaçant entre les grains de la matrice de béton. Nous ne pouvons pas dire avec certitude ici que les fibres de coton participent mécaniquement à la résistance à la compression du béton.

Synthèse

Le béton ayant une résistance insignifiante à la traction nous emmène à croire que l'incorporation des fibres de coton dans le béton peut reprendre les efforts de traction pour lequel le béton est soumis mais suite aux résultats des essais de flexion obtenus nous disons que soit l'essai de traction par flexion n'est pas indiqué pour la mise en évidence de la résistance à la traction, ou soit les dimensions (section) des éprouvettes ne sont pas appropriées. A un pourcentage élevé les fibres ont tendance à faire chuter la résistance du béton. On n'aurait pu faire plusieurs éprouvettes de béton aux fibres de coton si les moyens le permettaient avec des dosages variants de

0,6Kg/m³ à 1,2Kg/m³ et pouvoir tracer une courbe (contraintes, dosage) et voir le dosage optimum qu'il faut pour les fibres de coton.

La présence des fibres améliorent la résistance à la compression du béton de 4,35 % et leur présence limite également les micro fissures. De même nous avons remarqué que l'ajout de fibres de coton impliquait également une augmentation de la quantité d'eau de gâchage cette augmentation n'influence pas sur la résistance du béton ? La réponse à cette question peut entraîner d'éventuelles recherches.

Perspectives de Recherche

Nos résultats sont les fruits d'études sur des bétons particuliers. Leur généralisation n'est pas immédiate. Ce sont néanmoins des résultats obtenus dans un cadre scolaire (laboratoire de l'école). Les bétons testés ont été formulés avec des constituants notamment les ciments, les granulats utilisés pour les travaux pratiques de l'école. D'autres études sont bien sûr nécessaires pour confirmer les résultats et augmenter la base de données sur ces nouveaux bétons.

Les recherches sur des bétons aux fibres de coton et des bétons en général, doivent se poursuivre sur plusieurs niveaux.

- La durabilité du béton constitué de fibres de coton car les fibres de coton sont des fibres textile donc putréscible.
- La perméabilité et la porosité de ces bétons.
- L'amélioration de la qualité des fibres de coton afin quelles soient dispersantes, résistantes, submergent dans l'eau. dans ce cas on pourrait peut être prétendre avoisiner les qualités des fibres de polypropylènes.
- La ductilité des bétons aux fibres de coton.
- L'arrangement des granulats du béton fibré afin de confirmer l'hypothèse pour laquelle la présence des fibres favorise la compacité des grains de granulats améliorant la résistance à la compression.
- L'influence des fibres de coton sur les BAN (Bétons Auto Nivelant) ou les BAP (Bétons Auto Plaçant)
- Variation de la résistance en fonction du dosage en fibres.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] <http://cloche.chez.tiscali.fr>
- [2] - Documents de PlasticsEuropeFrance, Le Diamant A, 92909 Paris La Défense Cedex
- Documents de la Fédération de la Plasturgie, 65 rue de Prony, 75854 Paris Cedex 17
 - Documents de la Confédération Européenne de la Plasturgie, 66 Av de Cortenbergh, B 1040, Bruxelles, Belgique.
 - Techniques de l'Ingénieur, 2004.
 - Information Chimie n° 320, 1990, n°341, n°343, 1992, n° 383, 1996, n° 389, n°392, 1997.
 - L'usine nouvelle. n° 2390, 10 décembre 1992, n°2559, 29 août 1996.
 - Plastique Moderne et Elastomères, 47, 2, 1995
- [3] <http://www.unctad.org/infocomm/francais/coton/Doc/>
- [4] [http://fr.wikipedia.org/wiki/BÃ©ton](http://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A0ton)
- [5] Fiche aide mémoire TP 2Ie formulation complète de béton méthode DREUX GORISSE Mars 2004 pages 1 à 11
- [6] Calcul de structure fascicule n° 2 sollicitations H. FREITAS page 19
- Manuel d'utilisation du portique universel Prolab.
 - Normes NFP 18-560, NFP 18-540
 - Aide mémoire logiciel WINLAB – Module : Essais sur Granulats.
 - Cours mécanique des sols Michel DYSLI Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) 3^{ème} édition mai 1997.
 - Cours BA Samy LEBELLE.

ANNEXES

- Annexes 1 : Courbe granulométrique sable et gravier et détermination des pourcentages des granulats par la méthode DREUX GORISSE.
- Annexes 2 : Protocole : Analyse granulométrique.
- Annexes 3 : Protocole : Propreté des sable (Equivalent de sable).
- Annexes 4 : Classe granulaire.
- Annexes 5 : Protocole : formulation béton méthode DREUX Gorisse.
- Annexes 6 : Compacité des mélanges.
- Annexes 7 : Protocole : Consistance des bétons.
- Annexes 8 : Protocole : Confection béton.
- Annexes 9 : Opération de transformation granulaire.