

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
جامعة عين تموشنت
Institut de Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TECHNOLOGIE
Filière : GENIE CIVIL
Spécialité : STRUCTURES
Thème

Amélioration des performances mécaniques du béton des traverses de chemin de fer : vers une nouvelle formulation moins couteuse.

Présenté Par :

- 1) GHORZI Mohammed El Amine
- 2) BOUDIEB Sara

Devant le jury composé de :

Mr. Aissa Mamoune	Président
Mr. Djellil	Examineur
Mr. Kameche	Encadreur
Mr. Houmadi	Co- Encadreur
Mr. Manaa	Invité

Année universitaire 2019/2020

Résumé

De nos jours, on assiste à une accélération dans l'amélioration des performances mécaniques du béton par des recherches réalisées au niveau des Laboratoires universitaires et autres.

Les entreprises en Algérie consacrer à la formulation des bétons préfabriqués vise à améliorer la qualité et coût de leur produits, à cet effet, des études de recherche y-sont dédiées, pour mettre l'accent sur les aspects liés à la composition des bétons.

Ce travail présente les résultats d'un programme de recherche basé sur l'utilisation de sable de carrière avec ces différents pourcentages de correction par le sable de construction. Pour ce faire, nous avons réalisé un programme expérimental où plus de 84 éprouvettes cylindriques (16x32)cm ont été confectionnées, en utilisant les matériaux locaux de la wilaya d'AIN TEMOUCHENT, à savoir : le ciment de « BENI SAF », ainsi que les granulats de l'Entreprise Nationale Algérienne des Granulats « E.N.G » et l'Entreprise de chemin de fer « INFRARAIL ». Les bétons ont été formulés à l'aide de la méthode de « Dreux-Gorisse », prenant en considération quelques paramètres telle que la rapport (G/S) et le rapport (E/C), ainsi que l'ouvrabilité.

Les propriétés des constituants du béton étudié et particulièrement les sables corrigés, offrent au béton réalisé une amélioration de la résistance. L'ensemble des résultats expérimentaux obtenus ont constitué une banque de données.

En fin après une comparaison des résultats de nos formulations avec celle de l'entreprise de chemin de fer et après une étude de comptabilité réaliser nous avons choisi les formulations les plus adapté pour la réalisation de la « Traverse », concrétisant à l'instar une satisfaction au rapport « qualité / prix », un besoin national et universel de la conservation des ressources naturelles, ainsi la protection de l'environnement.

Mots clés : Béton, sable corrigé, traverse, résistance, le coût, formulation du béton, ouvrabilité.

Abstract

Nowadays, we are witnessing an acceleration in improvin the mechanical performance of concrete according to researches conducted at university laboratories and others, that's way companies in Algeria seek to formulate ready-mix concrete in order to improve the quality and cost of their product. For this purpose, research studies focus on aspects related to concrete the composition.

This work presents the results of an in-depth research program based on the use of quarry sand with these different percentages of correction with construction sand. To achieve that, we have implemented an experimental program where more than 84 cylindrical specimens (16x32) cm, which were manufactured using local materials from the wilaya of AIN TEMOUCHENT: cement from "BENI SAF", and aggregates from the Algerian National Aggregates Company "ENG" and the railway company "INFRARAIL". Concretes was formulated from using the "Dreux-Gorisse" method, taking into consideration some relations such as the (A/ S) ratio and the (W /C) ratio, in addition to that concrete workability. The properties of the studied concrete components especially the corrected sands which give us an improvement in the resistance. All the experimental results obtained have formed a database.

Finally, after comparing our results with railway company results after accounting study carried out, we chose the most appropriate concrete formulas to achieve the "Sleeper concrete " in order to reach "quality / price" relation, in addition to meet national and global needs as well as preserving natural resources and protecting the environment.

Key words: concrete, corrected sand, sleeper concrete, resistance, the cost, concrete formulation, workability.

ملخص

نشهد هذه الايام تسارعا في تحسين الأداء الميكانيكي للخرسانة من خلال البحوث التي أجريت على مستوى المخابر الجامعية وغيرها، ولهذا تسعى المؤسسات في الجزائر لصياغة الخرسانة الجاهزة بهدف تحسين جودة وتكلفة منتجاتها، ولتحقيق هذه الغاية، تركز الدراسات البحثية على الجوانب المتعلقة بتكوين الخرسانة.

يقدم هذا العمل نتائج برنامج بحثي متعمق يعتمد على استخدام رمال المحجر بنسب مختلفة من التصحيح برمال البناء، ولتحقيق ذلك، قمنا بتنفيذ برنامج تجريبي حيث تم إجراء أكثر من 84 عينة أسطوانية (16 x 32) سم، والتي تم تصنيعها باستخدام مواد محلية من ولاية عين تموشنت: الأسمنت من "بني صاف"، اما مواد الركام من الشركة الوطنية الجزائرية للركام "ENG" وشركة السكك الحديدية "INFRARAIL". تم اعداد الخرسانة باستخدام طريقة "Dreux-Gorisse"،

أخذين بعين الاعتبار بعض العلاقات مثل نسبة (الركام / الرمل) ونسبة (الماء / الاسمنت) بالإضافة الى ذلك قابلية الخرسانة للتشغيل. خصائص مكونات الخرسانة المدروسة وخاصة الرمال المصححة التي تعطينا تحسناً في المقاومة، حيث شكلت جميع النتائج التجريبية المتحصل عليها قاعدة بيانات.

أخيراً بعد مقارنة نتائجنا مع نتائج شركة السكك الحديدية بعد إجراء دراسة محاسبية، اخترنا أنسب الصيغ الخرسانية لإنجاز "الراقداات" لبلوغ العلاقة "الجودة / السعر"، بالإضافة الى تلبية الاحتياجات الوطنية والعالمية وكذا الحفاظ على الموارد الطبيعية وحماية البيئة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، رمل مصحح، الراقدة، المقاومة، التكلفة، تشكيل الخرسانة، قابلية التشغيل.

Remerciement

Tout d'abord nous commencerons par remercier dieu tout puissant, de nous avoir donné le courage, l'optimisme et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement les membres du jury qui nous ont honorés de bien vouloir accepter de faire part de ce jury, et nous auront généreusement fait part de leurs remarques qui serviront à perfectionner ce travail.

Nous voudrions également remercier notre encadreur monsieur **KAMECH Zine El Abidine** ainsi le co-encadreur monsieur **HOU MADI Youcef**, qui nous ont fait confiance en acceptant de nous encadrer sur ce sujet, nous eux sommes très reconnaissant de l'opportunité qu'ils nous ont donnée.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, en particulier monsieur **KADDOUR Hakim** et monsieur **MANAA Ghali**, qui ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant notre recherche.

Nos vifs remerciements à tout le personnel l'entreprise **INFRARAIL** pour tous les moyens qu'il a mis à notre disposition, pour que nous puissions effectuer notre recherche dans les meilleures conditions.

Nous voudrions exprimer notre gratitude pour toute l'aide apportée, envers toute l'équipe du laboratoire de Génie Civil, Université **Belhadj Bouchaïb d'AIN TEMOUCHENT**, que nous avons côtoyé quotidiennement.

Nous tenons aussi à remercier vivement le directeur du laboratoire **LTPO** et pareillement l'ensemble des ingénieurs du l'organisme de **CTC**, en particulier l'ingénieur **Bouziane Hassni**, pour leur disponibilité, aides et efforts qui nous ont fournis afin de mettre à terme ce travail.

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à :

A mes chers parents qui ont sacrifiée leur vie pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin avec leur conseils judicieux que dieu les protège

À la mémoire de ma très chère grand-mère décédée trop tôt qui m'a toujours poussée et motivée.

A mon grand-père et ses précieux conseils pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

A mes chères frères « Abdelwahab et Youcef » à qui je souhaite beaucoup de bonheur et de chance.

A ma sœur et ma source de bonheur « Wassila »

A tous les membres de ma famille. Mes amis.

À mon binôme BOUDIEB Sara.

À tous mes enseignants durant les années des études.

À tous mes collègues de la promotion 2019/2020 de spécialité génie civil.

Et pour tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

GHORZI Mohammed El -Amine

Merci infiniment

Dédicace

*Je suis très heureuse de pouvoir dédier cet humble travail à tous qui
me sont plus chers :*

*À mon soutien moral, mon exemple éternel, à celui qui s'est toujours
sacrifié pour me voir grandir et réussir, que dieu te garde et te protège
mon très cher Papa.*

*À la flamme de mon cœur, la source de mes efforts, à ma très chère
maman qui croit en moi et me soutient dans le bonheur comme dans la
douleur, qui me comprend mieux que quiconque.*

*À celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce
projet, par ces conseils, aides, et encouragements, à mon âme sœur ma
frangine Samah.*

À mes deux grandes mères, qui n'ont jamais cessé de prier pour moi.

*À toute mes oncles et mes tantes, cousins et cousines pour leurs
soutiens tout au long de mon parcours universitaire.*

*À Mon cher ami Fethi, je te suis très reconnaissante, pour ton aide
précieuse, tes conseils et encouragements, merci d'être l'épaulé sur
laquelle je peux toujours compter.*

À mon binôme GHORZI Mohammed El Amine.

À tous mes enseignants durant les années des études.

*À tous mes collègues de la promotion 2019/2020 spécialité génie civil et
mes amis en particulier BOULFDAOUI Oussama.*

*À tous ceux qui, directement ou indirectement ont contribué à la
réalisation et l'achèvement de ce travail.*

BOUDIEB Sara

Merci

Liste des figures

Figure I-1: constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire.....	7
Figure I-2: différents types de granulats utiliser dans un béton	10
Figure I-3: Traverse en béton armé	21
Figure I-4: ferrailage des traverses.....	22
Figure I-5: contrôle de position des aciers.....	24
Figure I-6: vérification de l'écartement.	25
Figure I-7: vérification des buttées intérieures.	26
Figure I-8: essais sous charge statique.	26
Figure II-9: sac de ciment BENI SAF.....	30
Figure II-10: le principe de l'essai « la consistance normale de la pâte de ciment ».	31
Figure II-11: évaluation de la consistance d'une pâte de ciment en fonction de E/C.....	31
Figure II-12: la procédure du malaxage de la pâte de ciment.	32
Figure II-13: appareil de Blaine.	34
Figure II-14: la série des tamis utilisé pour l'analyse granulométrique.	37
Figure II-15: sable corrigé.....	40
Figure II-16: masse volumique apparente du sable roulé.	41
Figure II-17: masse volumique apparente du sable de carrière.....	41
Figure II-18: masse volumique apparente du gravier.	42
Figure II-19: essai d'absorption d'eau.....	43
Figure II-20: test VB sur sable roulé INFRARAIL.	47
Figure II-21: test VB sur sable de carrière INFRARAIL.....	47
Figure II22:test VB sur sable roulé TERGA.	47
Figure II-23: test VB sur sable de carrière TERGA.....	48
Figure II-24: la machine de Los Angeles.	51
Figure II-25 : les jarres de l'essai micro deval.....	52
Figure II-26: l'essai d'affaissement.	54
Figure II-27: essai de la teneur en air.	55
Figure II-28: la conservation des éprouvettes pendant 24 h au laboratoire.....	55
Figure II-29: la conservation des éprouvettes dans l'eau (7 et 28 jours).....	56
Figure II-30: mesure de la masse volumique du béton durci après démoulage.	56
Figure II-31: essai de compression	57
Figure II-32: surfaçage des éprouvettes.	58
Figure II-33: mesure de la vitesse de propagation du son.....	59
Figure II-34: les courbes granulométrique des différents sables utiliser	65
Figure II-38: les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 4/8« INFRARAIL ».	67
Figure II-39: les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 8/16 « INFRARAIL ».	68
Figure III-40:abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).....	78
Figure III-41: analyse granulométrique, norme NF P 18-304 {exemple d'étude}.....	79
Figure III- 42: composition granulaire de la « formulation 1 ».....	85
Figure IV-43 : histogramme des variations de la masse volumique des bétons à l'état durci.	90
Figure IV-44: les résultats des essais de résistance à la compression à 7 et 28 jours.....	92
Figure IV45: rapport G/S et E/C.....	93

Figure IV-46: la traverse réalisée à partir de nos formulations étudiées.....	94
Figure IV-47 :montant et bénéfice de nos formulations étudiées avec la formulation de l'entreprise INFRARAI.....	95

La liste des tableaux :

Tableau I-1: classes de résistance à la compression des ciments.....	9
Tableau I-2: valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions.	14
Tableau I-3:récapitulation des principales qualités des bétons en fonction de leur G/S et leur granularité continue et discontinue.....	17
Tableau II-4: la procédure du malaxage de la pâte de ciment.	31
Tableau II-6: analyse chimique du sable roulé [LTPO].....	61
Tableau II-9: analyse granulométrique du sable de roulé « INFRARAIL ».	64
Tableau II-12: Analyse granulométrique du sable de roulé « TERGA ».....	65
Tableau II-13: calcul de cc et cu des sables utilisé et interprétation des résultats.	66
Tableau II-14: les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 4/8« INFRARAIL ».....	67
Tableau II-15: les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 8/16 « INFRARAIL ».....	68
Caractéristiques physiques du sable roulé et sable de carrière « INFRARAIL » et « TERGA ».	
Tableau II-16 : caractéristiques physiques du sable roulé et sable de carrière « INFRARAIL » et « TERGA ».	69
Tableau II-17: caractéristiques physiques du gravier INFRARAIL.....	70
Tableau II-18: caractéristiques Mécaniques du gravier 8/16 INFRARAIL.....	71
Tableau II-19 : les adjuvants utilisé durant notre étude.....	72
Tableau III-20: évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône.	76
Tableau III-19: les dosages minimaux des ciments selon le milieu exposé et le D.....	77
Tableau III-20: valeurs approximatives du coefficient granulaire (G).	77
Tableau III-21: correction en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale des granulats.....	78
Tableau III-22: La valeur du terme correcteur K.	80
Tableau III-23: Valeurs du coefficient de compacité γ	80
Tableau IV-1: les résultats d'essai de la teneur en air.....	89
Tableau IV-2: les résultats de la masse volumique du béton durci.	90
Tableau IV-3: les résultats de l'essai ultrasonique.....	91
Tableau IV- 4: les résultats de l'essai de résistance à la compression.....	92
Tableau IV- 5: rapport G/S et E/C.....	93

Liste des symboles :

N : résistances à court terme normale, ordinaire (indiquée par N = Normal)

R : résistances à court terme élevée (indiquée par R = Rapid)

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d

D : est le diamètre du plus gros granulat

A : coefficient varie entre 8 et 16 en fonction du dosage en ciment.

MFs : module de finesse de sable

MFg : module de finesse gravier

A : valeur tabulée.

B : varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou.

D : est exprimé en dimension de passoire.

R : est le rayon moyen du moule.

E/C : rapport eau / ciment.

G/S : rapport gravier / sable.

m : la masse du liant.

ρ : masse volumique.

V : volume utile de la cellule.

n : porosité.

Sm : surface spécifique (cm^2/g).

k : constante de l'appareil

n : porosité de la couche tassée

t : temps mesuré en secondes

ρ : masse volumique (g/cm^3)

η : viscosité de l'air à la température d'essai

M : la masse sèche du matériau, en (kg).

V : représente le volume du récipient, en (m³)

M1 : Masse de (cellule + Toluène).

M2 : Masse de (cellule + Toluène + ciment).

V1 : Le volume du Toluène initial.

V2 : Le volume du Toluène final (après introduction du ciment).

m : Masse des granulats contenus dans le récipient

V: Volume du récipient

Mh : poids des granulats humides.

Ms : poids des granulats secs.

M0 : la masse du gravier.

M1 : la masse de l'échantillon après lavage (essuyés).

h1 : Mesure de l'ensemble sable plus flocculat.

h 2: Mesure à vue la hauteur du sable.

h' 2 : Mesure de la hauteur du sable au piston.

ESv : (équivalent de sable visuel).

Esp : (équivalent de sable au piston).

Vv : volume de solution de bleu utilisée jusqu'à obtention du test positif (en ml).

M : masse sèche de la prise d'essai (en g).

M1 : est la somme des masses des refus de chaque classe granulaire en grammes

M2 : est la somme des masses de passant sur les grilles à fentes correspondantes d'écartement

$D_i / 2$

M : masse moyenne de 3 éprouvettes (kg)

V : volume de l'éprouvette (m³).

R : La résistance en compression en MPa.

F : La force appliquée sur le cylindre en béton en MN.

S : L'air du cylindre en béton en m².

V : la vitesse de propagation en (m/s) .

L : est la distance entre les transducteurs en (m).

T : est le temps de propagation en (seconde).

fc'28 : Résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPa

Rc28j: Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C : Dosage en ciment (en kg/m³),

E : Dosage en eau totale sur matériau secs (en litre),

G : Coefficient granulaire.

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment.

P1, P2, P3 : Masses déterminées précédemment.

G : Masse totale des granulats.

Liste des formules :

- [I-1] La formule de base de la méthode de Bolomey.
- [I-2] La règle du mélange d'Abrams.
- [I-3] La proportion de gravier (pourcentage du gravier).
- [I-4] La proportion de sable (pourcentage du sable).
- [I-5] La formule γ de la méthode de Faury.
- [II-1] la masse de matière à prendre.
- [II-2] La formule de la surface spécifique du ciment.
- [II-3] La masse volumique apparente.
- [II-4] La masse volumique absolue.
- [II-5] La masse spécifique absolue.
- [II-6] Le coefficient d'uniformité (Cu).
- [II-7] Le coefficient de classement ou de courbure (Cc).
- [II-8] Module de finesse respective du premier sable.
- [II-9] Module de finesse respective du dixième sable.
- [II-10] Formule de la masse volumique apparente.
- [II-11] Formule de la masse volumique absolue.
- [II-12] Formule de la teneur en eau.
- [II-13] Formule du Taux d'absorption d'eau.
- [II-14] la propreté superficielle des gravillons.
- [II-15] Equivalent de sable visuel.
- [II-16] Equivalent de sable au piston.
- [II-17] La formule de L'essai « Bleu de méthylène ».
- [II-18] La formule de L'essai d'aplatissement (A).
- [II-19] Le coefficient Los Angeles LA

[II-20] La formule du coefficient MDE pour chaque cylindre

[II-21] la masse volumique du béton durci

[II-22] La résistance en compression

[II-23] La vitesse de propagation du son à travers le béton

[III-1] Résistance souhaitée à 28 jours.

[III-2] La résistance moyenne désirée $f_c'_{28}$.

[III-3] Formule pour déterminer Y trace la courbe granulaire de référence OAB.

[III-4] Le volume absolue des grains de ciment.

[III-5] Volume absolu des granulats.

[III-6] Les volumes absolus de chaque granulat.

[III-7] Les masses spécifiques de chaque granulat.

[III-8] Formule de la correction X à apporter sûr la masse totale des granulats.

[III-9] Formule de la correction à apporter sur les granulats.

Sommaire

Introduction générale	1
I. Recherche bibliographique.....	4
I.1. Introduction	4
Première partie.....	4
I.2. Définition du béton	4
I.3. Historique de béton	4
I.4. Propriétés du béton	5
I.4.1. À l'état frais.....	5
I.4.2. À l'état durci.....	6
I.4.2.1. La porosité.....	6
I.4.2.2. Gel/dégel.....	6
I.4.2.3. Le retrait.....	6
I.4.2.4. Module d'élasticité	6
I.4.2.5. Durabilité	7
I.5.7.1. Composition d'un béton ordinaire	7
I.5.7.2. Avantages d'un béton ordinaire	8
I.6. Composants d'un béton	8
I.6.1. Ciment	8
I.6.1.1. Historique du ciment	8
I.6.1.2. Classification de ciment en fonction de leur composition.....	9
I.6.1.3. Classification selon la résistance	9
I.6.2. Granulats	10
I.6.2.1. Types de granulats.....	10
I.6.2.2. Propriétés des granulats	11
I.6.3. Adjuvants	12
I.6.3.1. Mode d'action des adjuvants	12
I.6.3.2. Classification.....	12
I.6.3.3. Superplastifiant	12
I.6.4. L'eau de gâchage	13
I.7. Méthodes de formulation du béton	13
I.7.1. Méthode de Bolomey	13
I.7.2. Méthode d'Abrams	14
I.7.3. Méthode de Faury.....	14

I.7.4. Méthode de Valette	15
I.7.5. Méthode Dreux-Gorisse	16
I.8. Rapport de l'eau / ciment (E/C)	16
I.9. Rapport du gravier / sable (G/S)	17
Deuxième partie	18
10. Présentation générale de l'usine INFRARAIL	18
I.10.1. Création de l'entreprise	18
I.10.2. Activités principales et annexes	18
I.10.2.1. UBO (unité de base opérationnelle) de BENI-SAF	18
I.10.3. Implantation.....	19
I.11. La traverse	19
I.11.1. Définition	19
I.11.2. Historique	19
I.11.3. Types de traverses.....	20
I.11.3.1. Traverse en béton.....	20
I.11.4. Avantages des traverses en béton	21
I.12. Processus du contrôle dans la fabrication des traverses a l'usine d'INFRARAIL.....	21
I.12.1. Matière première	21
I.12.1.1. Ciment.....	21
I.12.1.2. Agrégats	22
I.12.1.3. Eau de Gâchage	22
I.12.1.4. Adjuvants du Béton	22
I.12.1.5. Aciers des armatures	22
I.12.1.6. Entretoises	23
I.12.2. Procédé de fabrication	23
I.12.2.1. Relevés des températures.....	23
I.12.2.2. Relevé de la température du ciment	23
I.12.2.3. Vérifications relevées des gâchées.....	23
I.12.2.4. Versifications des résistances du béton.....	23
I.12.2.5. Contrôle de position des aciers	23
I.12.2.6. Vérification visuelle d'état de surface et apparence générale de la TBA « zone de démoulage »	24
I.12.3. Produit fini	24
I.12.3.1. Vérification de l'écartement à 1757,5	24
I.12.3.2. Vérification de l'inclinaison de la table d'appuis	25
I.12.3.3. Vérification des planétés des tables d'appuis	25

I.12.3.4. Vérification des verticalités des gaines.....	25
I.12.3.5. Vérification des butées intérieures (GO / NO GO)	25
I.12.3.6. Vérification des gabarit (grand écartement / petit écartement / inclinaison).....	26
I.12.3.7. Essai sous charge statique.....	26
Selon la norme EN 13230-1 et EN 13230-2	26
I.13. Conclusion	27
II. Caractérisations des matériaux utilisés.....	29
II.1. Introduction	29
La première partie	29
II.2. Les modes opératoires des essais	29
II.3. Le ciment	29
II.3.1. Caractéristiques physiques du ciment.....	30
II.3.1.1. Essai de consistance.....	30
Conduite de l'essai	30
II.3.1.2. Essais de prise.....	32
A / La détermination du temps de début de prise.....	32
B / La détermination du temps de fin de prise	32
II.3.1.3. Surface spécifique du ciment	33
Conduite de l'essai	33
II.3.1.4-La masse volumique apparente	35
Conduite de l'essai	35
II.3.1.5. Masse volumique absolue.....	35
Conduite de l'essai	36
II.4. Les granulats	36
II.4.1. Caractéristiques physiques des granulats.....	36
II.4.1.1. Analyse granulométrique par tamisage.....	37
Conduit de l'essai	37
II.4.1.1.1. Traçage de la courbe granulométrique.....	37
II.4.1.1.2. Calcul des coefficients d'uniformité (Cu)	38
II.4.1.1.3. Le coefficient de classement ou de courbure (Cc)	38
II.4.1.1.4. Module de finesse	39
II.4.1.1.5. La correction des sables	39
II.4.1.2. La masse volumique apparente	40
Mode opératoire.....	40
II.4.1.3. Masse volumique absolue.....	42
Mode opératoire.....	42

II.4.1.4. Teneur en eau	42
II.4.1.5. Taux d'absorption d'eau (Ab %)	43
II.4.1.6. Propreté des granulats.....	44
A / Propreté de gravier.....	44
B / Equivalent de sable	44
Conduit de l'essai	45
C / Essai au bleu de méthylène.....	46
Conduit de l'essai	46
II.4.1.7. Essai d'aplatissement.....	48
Conduit de l'essai	48
II.4.2. Caractéristiques mécaniques des granulats	49
II.4.2.1. Essai de Los-Angeles (LA)	49
Mode opératoire.....	50
II.4.2.2. Essai de Micro-Deval (MDE)	51
Mode opératoire.....	51
II.5. Caractérisation du béton	52
II.5.1. Caractérisation du béton à l'état frais	52
II.5.1.1. Essai d'ouvrabilité du béton (Essai d'affaissement)	53
II.5.1.2. La teneur en air	54
Principe de l'essais	54
Conduite de l'essai	54
II.5.1.3. La conservation des éprouvettes	55
II.5.2. Caractérisation du béton a l'état durci.....	56
II.5.2.1. La masse volumique du béton.....	56
II.5.2.2. Essai de résistance à la compression	57
Conduit de l'essai	57
II.5.2.3. Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique)	58
La deuxième partie	59
II.6. Caractérisation des matériaux utilisés	59
II.6.1. L'eau	59
II.6.2-Le ciment	59
II.6.2.1. Caractéristiques physiques du ciment.....	60
Commentaire	60
II.6.2.2. Caractéristiques chimiques du ciment.....	60
II.6.3. Les granulats	61
1. Sable	61

II.6.3.1. Caractéristiques chimiques du sable roulé de « TERGA ».....	61
II.6.3.2. Caractéristiques physiques des granulats.....	62
II.6.3.2.1-Analyse granulométrique par tamisage.....	62
A / Sable de carrière « INFRARAIL »	62
B / Sable de carrière « TERGA »	62
Commentaire.....	63
C / Sable de roulé « INFRARAIL »	64
Commentaire.....	64
D / Sable de roulé « TERGA ».....	65
Commentaire.....	65
Commentaire.....	66
Correction des sables	66
2. Gravier	66
A /Gravier 4/8 « INFRARAIL »	67
Commentaire.....	67
B / Gravier 8/16 « INFRARAIL ».....	68
Commentaire.....	69
II.6.3.3. Caractéristiques physiques des granulats.....	69
1. Sables.....	69
Sable « INFRARAIL » et « TERGA »	69
Commentaire.....	70
2. Gravier	70
A / Gravier « INFRARAIL ».....	70
Commentaire.....	70
II.6.3.4. Caractéristiques mécaniques du gravier.....	71
Gravier 8/16 « INFRARAIL »	71
Commentaire.....	71
II.6.4. Les adjuvants.....	71
II.7. Conclusion	72
III. FORMULATION ET MISE EN ŒUVRE DES BETONS	75
III.1. Introduction	75
III.2. La méthode de "Dreux Gorisse".....	75
III.2.1. Résistance souhaitée	75
III.2.2. Ouvrabilité désirée	75
III.2.3. Dosage en ciment.....	76
III.2.4. Dosage en eau.....	78

III.2.4.1. Correction du dosage en eau en fonction de D_{max}	78
III.2.5. Analyses granulométriques des granulats	79
III.2.6. Coefficient de compacité (γ)	80
III.2.7. Dosage des granulats.....	81
III.2.8. Correction (d'après DREUX)	82
III.2.8.1. Résistance insuffisante	82
III.2.8.2. Ouvrabilité insuffisante, ségréabilité	82
III.2.8.3. Ajustement de la formule au m^3	83
III.2.8.1. D'autre corrections	83
III.3. Mise en œuvre du béton	84
III.3.1. Malaxage et Vibration	84
III.3.2. La mise en place du béton	84
III.4. Conclusion	87
IV. Résultats et interprétation	89
IV.1. Introduction.....	89
IV.2. Les résultats d'essai de la teneur en air	89
IV.2.1. Interprétation des résultats.....	89
IV.3. Les résultats de la masse volumique du béton durci.....	90
IV.3.1. Interprétation des résultats.....	91
IV.4. Les résultats de l'essai ultrasonique	91
IV.4.1. Interprétation des résultats.....	91
IV.5. Les résultats de l'essai de résistance à la compression	92
IV.5.1. Interprétation des résultats.....	93
IV.6. L'effet du rapport G/S et E/C sur le béton	93
IV.7. Les résultats de la réalisation de la traverse au niveau de l'entreprise INFRARAIL.....	94
Deuxième partie	95
IV.8. Étude comptable.....	95
IV.8.2. Interprétation des résultats.....	96
IV.3. Conclusion	96
Conclusion générale.....	97
Perspective et recommandation	98

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction le plus utilisé au monde, il a trouvé sa place d'application dans les différents types de construction à savoir : la construction civile, industrielle et hydraulique, Le béton reste un matériau moderne, par ses nombreuses qualités il présente une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, ces performances ne cessent de s'améliorer.

La technologie des bétons s'est développée de telle manière à obtenir des bétons de plus en plus performants, écologique avec un faible coût pour les tous les différents types de construction. Hier c'était le béton aujourd'hui ce sont les bétons, grâce au développement Technologique.

Le béton est un matériau de construction élaboré à partir de granulats, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants pour modifier certaines de ses propriétés.

En Algérie, Les organismes de contrôle de la qualité du béton de structure exigent à ce que les agrégats sont constitués à partir des sables alluvionnaires ou de carrière et du gravier concassé, tous ces facteurs incitent les acteurs du secteur du génie civil

Problématique

Les granulats occupent environ les trois quarts du volume du béton, ce qui révèle l'importance accordée à l'approvisionnement par ces matériaux. Dans les dernières années, il est devenu clair que la disponibilité de sable de bonne qualité est en décroissance à travers le monde. Il parait que c'est une tendance mondiale. Les gisements existants du sable naturel sont en voie de disparition.

En Algérie, la demande sans cesse croissante de constructions à provoquer un épuisement rapide des sabliers et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages.

Objectif

Dans ce travail de recherche, nous proposons un sujet défini conjointement avec l'entreprise INFRARAIL d'AIN TEMOUCHENT, sur la faisabilité de formuler des bétons destinés à la fabrication des traverses de chemin de fer, en utilisant le sable de carrière avec des différents pourcentages de correction, de sable roulé pour étudier l'influence de son introduction sur les propriétés physico-mécaniques du béton par l'incorporation des superplastifiants, dans le but d'élaborer un béton résistant et moins coûteux.

Introduction générale

Plan de travail

Dans le but de maîtriser le sujet et arriver aux objectifs précédemment fixés, nous divisons ce présent mémoire en Cinq chapitres de la manière suivante :

- **Le premier chapitre** : est composé de deux parties.
- **Partie 1** : est consacré à la recherche bibliographique en passant par des généralités sur le béton et ces différentes méthodes de formulations.
- **Partie 2** : s'intéresse à une présentation générale de l'usine INFRARAIL ainsi son processus du contrôle dans la fabrication des traverses en béton armé.
- **Le deuxième chapitre** : regroupe deux parties successives
- **Partie 1** : traite les modes opératoires des essais réalisés sur les matériaux utilisés.
- **Partie 2** : expose une caractérisation détaillée des matériaux composants le béton (granulats, ciment, eau, adjuvant).
- **Le troisième chapitre** : est réservé à la partie expérimentale dans laquelle nous avons décrit la méthode de formulation « DREUX GORISSE » utilisé pour la détermination des composants de béton étudié.
- **Le quatrième chapitre** : présent les résultats obtenus des essais expérimentaux sur nos bétons étudiés à l'état frais et durci, y compris leur interprétation.
- **Le cinquième chapitre** : étude de comptabilité et du bénéfice ; une étude comparative sur le coût d'un mètre cube de nos nouvelles formulations de béton et celle de l'entreprise INFRARAIL.
- Enfin, les principaux résultats ont été synthétisés dans une conclusion générale, avec des recommandations et éventuellement des perspectives.

Chapitre I :
Recherche bibliographique.

I. Recherche bibliographique

I.1. Introduction

À travers les différents paragraphes de ce chapitre, la première partie nous procédons à la présentation des divers types, propriétés ainsi que les différents composants du béton et ces différentes méthodes de formulations, ensuite la deuxième partie sera consacrée à la présentation générale de l'usine INFRARAIL ainsi son processus du contrôle dans la fabrication des traverses en béton armé.

Première partie

I.2. Définition du béton

Le béton est un matériau de construction formé par un mélange de granulats, de sable, et d'eau aggloméré par un liant hydraulique (ciment), éventuellement complété par des adjuvants et des additions. Ce mélange, qui est mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est moulable, il durcit progressivement pour former finalement un monolithe. Selon le choix du ciment et son dosage par rapport aux granulats, selon la forme des granulats, selon l'utilisation d'adjuvants, les bétons obtenus peuvent avoir des caractéristiques très diverses. Leur mise en œuvre et leur traitement de surface peuvent également faire varier leurs performances et leur aspect. Le béton est une pierre reconstituée, également appelée « pierre liquide ». [1]

I.3. Historique de béton

Les Romains de l'Antiquité savaient faire du béton. Ils avaient découvert que, pour fabriquer un liant hydraulique qui fasse prise sous l'eau, il fallait mélanger à de la chaux des déchets de fabrication des tuiles et des briques ou des cendres volcaniques (provenant notamment de Pozzuoli, dans la baie de Naples, qui donna son nom à la pouzzolane, roche volcanique). Cette connaissance leur a permis de construire des ports protégés par des jetées en béton qui faisait prise sous l'eau, contrairement à la chaux.

Leur savoir s'est ensuite perdu au Moyen Âge. C'est la mise au point et le développement de la production des ciments artificiels modernes qui a permis l'essor de la construction actuelle en béton.

Chapitre I : Recherche bibliographique.

Aux barques en béton (1848) de Joseph-Louis Lambot (1814-1887) et aux caisses à fleurs (1849) de Joseph Monier (1823-1906) succèdent les réalisations d'entrepreneurs qui développent des « systèmes » de béton armé : François Coignet (1814-1888), qui met au point le béton aggloméré ; Monier, dont les brevets de 1877 et 1878 seront exploités en Allemagne ; François Hennebique (1842-1921), dont la société construira plus de 7 000 ouvrages, parmi lesquels le siège de cette dernière au 1, rue Danton (1900) à Paris et la villa de l'architecte à Bourgl-la-Reine (1903) sont des exemples encore existants ; Armand Considère (1841-1914), qui invente le béton fretté (1901)... En 1906, cette première phase prend fin avec la publication des instructions relatives à l'emploi du béton armé, véritable premier règlement français de calcul des structures en béton armé. Au XXe siècle, c'est l'invention du béton précontraint par Eugène Freyssinet (1879-1962) qui ouvrira de nouveaux horizons au matériau béton.

La précontrainte, qui consiste à garder le béton dans un état comprimé grâce à des câbles en acier tendus, permet d'atteindre de grandes portées avec du béton et a trouvé, notamment, son application dans les ponts. Depuis lors, les progrès dans les sciences des matériaux ont permis d'améliorer encore de manière spectaculaire les propriétés des bétons. [2]

I.4. Propriétés du béton

I.4.1. À l'état frais

La principale propriété du béton à cet état est son ouvrabilité. En effet, le béton offre une facilité de remplissage du coffrage et du ferrailage lors de la mise en œuvre. Pour remplir toutes ses qualités, les constituants du béton doivent être soigneusement mélangés. Cette ouvrabilité est influencée par le dosage et la qualité des composants, la forme, la granulométrie et le type de granulats, le volume d'air mais surtout par la quantité d'eau insérée dans le béton.

Cependant, il faut faire très attention car au-delà d'une certaine quantité, on observera :

- Un ressuage qui est un phénomène de remontée d'une partie de l'eau de gâchage à la surface du béton frais.
- L'augmentation de la porosité et du retrait (phénomène de raccourcissement accompagnant la prise du ciment suite à une baisse de température).
- Une diminution de la résistance et un risque de ségrégation des constituants (les granulats descendent tandis que les liants remontent à la surface). [3]

I.4.2. À l'état durci

I.4.2.1. La porosité

La porosité est une caractéristique extrêmement importante pour un béton. La réduction des vides est essentielle, notamment dans le but de faire face aux agents agressifs extérieurs et de lutter contre les risques de corrosion des armatures. [3]

I.4.2.2. Gel/dégel

Les dégradations par le gel/dégel résultent d'un endommagement progressif, elles dépendent de la température, du nombre de cycles (température positive à température négative) et de la durée du gel. Le gel/dégel cause l'accroissement des pressions hydrauliques dans les capillaires, qui engendre des fissures de la pâte de ciment, si la pression est supérieure à la résistance à la traction de la pâte. [4]

I.4.2.3. Le retrait

Un retrait hydraulique est observé avant et en cours de prise. Il peut être causé soit par évaporation, soit par absorption. Avant et en cours de prise, il peut atteindre un litre d'eau par mètre carré de surface de béton en seulement une heure. Même après le durcissement, il y a encore des retraits observés.

Le retrait thermique est dû à la réduction rapide de la température. Ce retrait est de l'ordre de 200 à 300 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Le retrait diminue considérablement quand le durcissement se fait sous l'eau. C'est la raison pour laquelle on essaie toujours de rendre les pièces humides durant cette phase de durcissement en les arrosant. [3]

I.4.2.4. Module d'élasticité

Sous l'action de charges instantanées, le béton a un comportement élastique. Plus la résistance du béton est élevée, plus le module d'élasticité est grand. [3]

I.4.2.5. Durabilité

La durabilité d'un ouvrage se caractérise par sa capacité à durer dans le temps sans subir de dégradations, tout en conservant son intégrité et en maintenant son niveau de fiabilité. La notion de durabilité d'un ouvrage se traduit par un ensemble de spécifications techniques basées sur des méthodes d'essais directes ou indirectes, sur l'expérience et sur des préconisations de fabrication, et d'entretien avec des frais aussi réduits que possible. La durabilité des bétons dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, la qualité des matériaux et de l'environnement. [5]

I.5.7.1. Composition d'un béton ordinaire

Dans les bétons les plus simples, le squelette granulaire est composé de deux coupures seulement, un sable et un gravier. Le ciment et l'eau de gâchage, dont les proportions relatives en masse sont fixées par le rapport E/C, vont former, avec les adjuvants éventuels, la pâte de ciment qui constituera le liant du béton. Ce rapport E/C joue un rôle primordial durant les étapes de vie du béton, l'eau en excès le rend plus fluide à l'état frais mais diminue les résistances du béton durci. Des additions minérales (cendres volantes, fumées de silice, laitiers, fillers,) peuvent être rajoutés dans le but de modifier les propriétés du béton.

L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de superplastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à l'atteinte d'une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans lequel chacun de ces composants joue un rôle bien précis dans le mélange. [11]

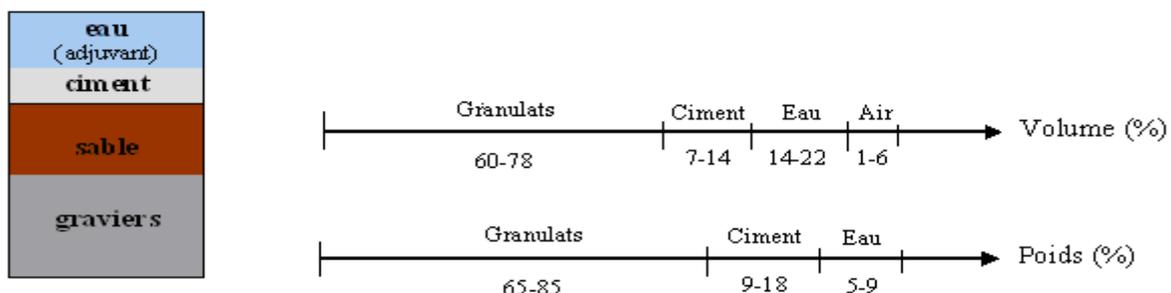


Figure I-1: constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire. [11]

I.5.7.2. Avantages d'un béton ordinaire

- C'est une construction solide et stable qui résiste très bien au temps.
- Il permet une construction rapide. Après sept semaines à peine, l'habitation est étanche à l'air et à l'eau.
- Le niveau d'isolation et l'étanchéité sont excellents grâce au fait que le revêtement complet est fabriqué par une entreprise. En outre, on utilise de grands éléments qui s'assemblent parfaitement.
- Il procure un confort agréable à l'intérieur, grâce à une inertie thermique inégalée.

- Le béton préfabriqué offre une grande liberté d'aménagement intérieur, associée à une grande ouverture vers l'extérieur et une portée relativement grande des éléments en bétons autoportants. [12]

I.6. Composants d'un béton

I.6.1. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui est gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau.

Le ciment portland est composé de clinker moulu auquel on ajoute une quantité de gypse, destiné à régulariser la prise. Pour modifier les propriétés du ciment, on ajoute les autres constituants associés au clinker grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques. Les constituants les plus utilisés sont : calcaires, Laitier granulé de haut fourneau, cendres volantes, fumée de silice et fillers. [13]

I.6.1.1. Historique du ciment

Les Romains furent sans doute les premiers à fabriquer des liants hydrauliques susceptibles de durcir sous l'eau. Pour cela, ils mélangeaient de la chaux et des cendres volcaniques de la région de pouzzoles. C'est de là qu'est venu le terme bien connu de « pouzzolanique », qui se dit d'un matériau capable, en présence d'eau, de fixer la chaux. En revanche, cette propriété d'hydraulicité du mélange ainsi constitué est restée totalement inexploitée jusqu'aux travaux de Louis Vicat qui élabore, en 1817, la théorie de l'hydraulicité et fait connaître le résultat de ses recherches. Il donne des indications précises sur les proportions de calcaire et de silice nécessaires pour constituer le

Chapitre I : Recherche bibliographique.

mélange qui, après cuisson à la température convenable et broyage, sera un véritable liant hydraulique fabriqué industriellement : le ciment artificiel.

L'industrie du ciment était née. Quelques années plus tard, en 1824, l'écossais Aspdin donnait le nom de Portland au ciment qu'il fabriquait et qui égalait les performances de la pierre de cette région. [14]

I.6.1.2. Classification de ciment en fonction de leur composition

Les ciments constitués de clinker et des constituants énumérés le, sont classés, en fonction de leur composition, en cinq types principaux, ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffre romains dans leur notation européenne (sols, granulats...) :

- CEM I: Ciment Portland (CPA).
- CEM II: Ciment Portland compose (CPJ).
- CEM III : Ciment haut Fournaux (CHF).
- CEM V : Ciment compose ou ciment au laitier et au cendres (CLC).
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ). [12]

I.6.1.3. Classification selon la résistance

C'est la norme NF EN 196-1 qui permet de déterminer la résistance mécanique d'un ciment, mesurée en fait par des essais de compressions sur des éprouvettes de mortier. Cette résistance augmente avec le temps depuis le début de la prise : elle est mesurée à 2 jours, 7 jours et 28 jours. Les résistances à 2 et 7 jours sont les résistances à court terme, et la résistance à 28 jours est la résistance courante $R_{c 28}$. Le tableau permet de retrouver les résistances à attendre (en mégapascals) selon les désignations employées. [15]

Tableau I-1: classes de résistance à la compression des ciments. [16]

Classe	$R_{c 2}$ (Mpa)	$R_{c 7}$ (Mpa)	$R_{c 28}$ (Mpa)	$R_{c 28}$ maxi (Mpa)
32.5N		16(minimum14)	32.5(Minimum30)	52.5
32.5R	10(minimum8)			
42.5N	10(minimum8)		42.5(Minimum40)	62.5
42.5R	20(minimum18)			
52.5N	20(minimum18)		52.5(Minimum50)	

Avec :

N : résistances à court terme normale, ordinaire (indiquée par N = Normal)

R : résistances à court terme élevée (indiquée par R = Rapid) [16]

I.6.2. Granulats



Figure I-2: différents types de granulats utilisés dans un béton . [17]

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux, qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

- fillers
- sablons
- sables
- graves
- gravillons
- ballast

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production. [14]

I.6.2.1. Types de granulats

Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée :

- « Naturels », lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions).
- « Artificiels », lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais.
- « Recyclés », lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés. [18]

I.6.2.2. Propriétés des granulats

Les propriétés des granulats sont intimement liées aux propriétés du massif rocheux d'origine, c.-à-d. la composition chimique et minéralogique, les caractéristiques pétrographiques, la densité, la dureté, la résistance, la stabilité physique et chimique, la structure des pores et la couleur. Par ailleurs, les granulats présentent un certain nombre de propriétés intrinsèque qui ne sont pas reliées à la nature du massif rocheux d'origine, telles la forme et la dimension des grains, la texture de surface et l'absorption, or toutes ces propriétés peuvent avoir une influence considérable sur la qualité du béton, autant à l'état frais qu'à l'état durci. [19] [20]

D'après leur nature minéralogique, on distingue trois grandes classes :

- Les granulats siliceux.
- Les granulats calcaires.
- Les granulats granitiques (argileux ou schisteux).

Les granulats ont des effets sur les propriétés mécaniques et sur la consistance du béton de plusieurs manières.

- ✚ Par leurs propriétés de résistances mécaniques.
- ✚ Par leur capacité d'adhérence à la pâte liante (pâte de ciment durcie).
- ✚ Par leur forme (roulés, concassés et semi-concassés).
- ✚ Par leur distribution granulaire et donc la compacité du mélange granulaire formé.
- ✚ Par leur diamètre maximal, et leur volume par rapport au volume total du béton.

Dans une composition de béton, la dimension des granulats à utiliser passe des micromètres à quelques centimètres. La dimension maximale est variable, elle dépend du confinement des armatures et des dimensions des coffrages. On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoires (trous circulaires). Les principales classes granulaires caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats selon (Norme XP P 18-540) :

- ❖ Fillers 0/D \Rightarrow pour $D < 2$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm.
- ❖ Sablon 0/D \Rightarrow pour $D < 1$ mm et avec moins de 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm
- ❖ Sable 0/D \Rightarrow Pour $1 \text{ mm} < D \leq 6,3$ mm
- ❖ Gravies 0/D \Rightarrow Pour $D > 6,3$ mm
- ❖ Gravillons d/D \Rightarrow Pour $d \geq 1$ mm et $D \leq 125$ mm
- ❖ Ballast d/D \Rightarrow Pour $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm. [9]

Chapitre I : Recherche bibliographique.

I.6.3. Adjuvants

Par définition, les adjuvants sont des produits dosés en faible quantité dans les bétons moins de 5 % de la masse de ciment. Ce sont souvent des composés organiques, spécialement formulés pour les applications béton, et disponibles commercialement sous forme de solutions aqueuses. Ils ont pour but d'améliorer certaines propriétés du matériau. C'est surtout la rhéologie du béton frais et la cinétique de prise et de durcissement que l'on peut espérer modifier directement. Parfois, les adjuvants commerciaux sont des mélanges de molécules de base, ce qui leur confère une certaine poly fonctionnalité. [21]

I.6.3.1. Mode d'action des adjuvants

- ✚ Soit mécanique : en modifiant la consistance du mélange.
- ✚ Soit physique : en agissant sur la tension superficielle des composants.
- ✚ Soit chimique : en modifiant la vitesse de prise du ciment. [22]

I.6.3.2. Classification

La norme [NF EN 934-2] classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- ✚ Adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiant- réducteur d'eau, super-plastifiant haut réducteur d'eau.
- ✚ Adjuvants qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise.
- ✚ Adjuvants qui modifient certaines propriétés particulières : entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse. [5]

I.6.3.3. Superplastifiant

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. [23]

Ils permettent :

- De réduire très fortement la quantité d'eau de gâchage tout en maintenant la maniabilité.
- D'augmenter la maniabilité tout en conservant les performances.
- De réaliser des bétons à compacité élevée, permettant des gains de performance très importants en termes de :

Chapitre I : Recherche bibliographique.

- Résistances mécaniques initiales et finales élevées.
- Diminution de la porosité.
- Accroissement de la durabilité. [24]

I.6.4. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage est un ingrédient essentiel du béton et joue deux fonctions principales confère au béton sa maniabilité à l'état frais et assure l'hydratation des grains de ciment.

La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau /ciment a une forte influence sur la porosité, la perméabilité, la résistance mécanique, la durabilité, la microstructure du béton et la cinétique d'hydratation du ciment. L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences de la norme NF EN 1008, les autres eaux comme l'eau de mer ou les eaux naturelle de surface et eaux de rejet industriel, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaires. [25]

I.7. Méthodes de formulation du béton

Il existe plusieurs méthodes pour la composition du béton. Elles aboutissent à des dosages volumétriques ou de préférence pondéraux, mais le passage de l'une à l'autre peut toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac.

On distingue en fonction de la granularité du mélange constituant le béton deux types de méthodes de composition du béton :

- Granularité continue : lorsque l'analyse du mélange constituant le béton donne sur le graphique granulométrique une courbe s'élevant d'une façon continue du plus petit grain de ciment au plus gros grain des graviers, toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées.
- Granularité discontinue : lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires. [26] [19]

I.7.1. Méthode de Bolomey

Par une formule appropriée on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe granulométrique soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique. La formule de base est la suivante :

Chapitre I : Recherche bibliographique.

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d / D} \quad \dots [I-1]$$

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d

D : est le diamètre du plus gros granulat

A : coefficient varie entre 8 et 16 en fonction du dosage en ciment, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort. Cette méthode aboutit, théoriquement tout au moins, à une granularité continue.

I.7.2. Méthode d'Abrams

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse globale pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Le module de finesse du mélange est choisi de telle manière que les vides dans ce mélange soient, en principe, réduits au minimum. Les modules optimaux pour béton de granulats roulés sont déterminés expérimentalement par Abrams et sont indiqués dans des valeurs tabulées en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du plus gros granulat.

Tableau I-2: valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions.

Dosage en ciment kg/m ³	Dimension maximale D des granulats						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4.05	4.45	4.85	5.25	5.60	5.80	6.00
300	4.25	4.60	5.00	5.40	5.65	5.85	6.20
350	4.30	4.70	5.10	5.50	5.73	5.88	6.30
400	4.40	4.80	5.20	5.60	5.80	5.90	6.40

La règle du mélange d'Abrams permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de module de finesse MF_s et MF_G pour obtenir un module de finesse MF choisi pour le mélange.

$$S_s = MF_G - MF \quad \text{et} \quad S_g = MF - MF_s \quad \dots [I-2]$$

La proportion de gravier est : pourcentage du gravier = $\frac{S_g}{S} \times 100 \quad \dots [I-3]$

La proportion de sable est : pourcentage du sable = $\frac{S_s}{S} \times 100 \quad \dots [I-4]$

Où : $S = S_s + S_g$

I.7.3. Méthode de Faury

Faury proposa une nouvelle loi de granulation de type continu, il s'est inspiré pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

Chapitre I : Recherche bibliographique.

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[5]{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury à distinguer les grains fins et moyens ($<D/2$), des gros grains ($>D/2$) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories. On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en $\sqrt[5]{d}$.

L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est une valeur tabulée en fonction de types des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense).

Y se calcule par la formule suivante :

$$y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad \dots [I-5]$$

A : valeur tabulée.

B : varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou.

D : est exprimé en dimension de passoire.

R : est le rayon moyen du moule.

I.7.4. Méthode de Valette

Valette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

La méthode Valette proprement dite est quelquefois utilisée avec certaines variantes. Dans les cas les plus courants on parlera en général d'un béton binaire : un sable et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité (par exemple : sable 0/5 et gravier 16/25).

On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment. On ajoute en suite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment.

Chapitre I : Recherche bibliographique.

I.7.5. Méthode Dreux-Gorisse

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton plus pragmatique. Elle consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats(D). La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport C/E, C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats.

I.8. Rapport de l'eau / ciment (E/C)

La résistance croît en même temps que le dosage en ciment C et elle décroît en fonction du dosage en eau E et c'est pourquoi on a tendance à prendre en compte le rapport C/E comme facteur global intervenant dans la résistance du béton .il est également d'usage pour certains d'adopter le facteur inverse E/C. Dans sa forme C/E. il permet d'exprimer la valeur de la résistance par une simple fonction linéaire et croissante.

Dans la pratique, un rapport E/C le plus bas possible revient grosso modo à un demi-litre d'eau par kilo de ciment, y compris l'humidité des granulats (sable) et l'eau contenue par les adjuvants éventuels. Toutefois, environ seule la moitié de cette eau sera liée chimiquement au ciment, le reste étant nécessaire pour faciliter le malaxage et la mise en œuvre du béton frais.

Tout excédent d'eau enfermée dans le béton lors du durcissement entraîne une structure moins compacte du matériau, et donc à une réduction de ses performances mécaniques et de sa résistance aux agents agressifs.

Il est difficile d'obtenir un rapport E/C faible en diminuant la quantité d'eau lorsque le sable contient beaucoup de fines. En effet, il faut plus d'eau pour mouiller du sable fin qu'une même masse de sable gros.

Il n'est possible d'obtenir un rapport E/C faible en augmentant la quantité de ciment que dans une certaine mesure, parce qu'un béton à teneur en ciment très élevée est plus sensible au retrait.
[19]

En général les valeurs pour obtenir la relation entre la résistance à la compression du béton et le rapport E/C sont suivantes :

$$E/C = 0.33.....fc 28 = 60MPa$$

Chapitre I : Recherche bibliographique.

E/C = 0.40.....fc 28 = 50MPa

E/C = 0.50.....fc 28 = 40MPa

E/C = 0.60.....fc 28 = 30MPa

E/C = 0.70.....fc 28 = 22MPa

I.9. Rapport du gravier / sable (G/S)

Le rapport (G/S) correspond à celui des volumes absolus du gravier sur sable. La coupure entre sable et gravier se fait au tamis de module 38(5mm). Pour G/S = 2.2 (valeurs les plus courantes) l'influence de G/S est faible. Mais, la résistance augmente sensiblement pour des valeurs élevées de G/S surtout pour les bétons fermes. Le tableau suivant présente une récapitulation des qualités principales des bétons en fonction de leurs G/S. [19]

Tableau I-3:récapitulation des principales qualités des bétons en fonction de leur G/S et leur granularité continue et discontinue. [19]

Caractéristiques	Appréciation concernant les bétons	
	À G/S élevé par rapport à ceux a G/S faible	À granularité discontinue par rapport à ceux a granularité continue
Ouvrabilité	Moins bonne surtout pour G/S > 2,2	Moins bonne surtout si G/S >2,2
Résistance en compression	Meilleur surtout pour G/S ≥2 ,2	Très légèrement supérieure
Résistance en traction	Sans corrélation apparente	Très légèrement inférieure
Module d'élasticité	Sans corrélation très nette sauf pour le module statique un peu plus élevé en fonction de G/S	Un peu plus élevé
Vitesse du son	Sans corrélation très nette	Légèrement supérieure
Indice sclérométrique	Un peu supérieur	Très légèrement supérieur
Retrait	Sans corrélation très nette	Moins élevé surtout si G/S >2 ,2
Compacité densité	Légèrement plus élevée pour G/S > 2 ,2	Un peu plus élevée

Deuxième partie

10. Présentation générale de l'usine INFRARAIL

I.10.1. Création de l'entreprise

Initialement l'usine a été créée pour produire les traverses bi bloc en béton armé destinées à la desserte ferroviaire AIN TEMOUCHENT – BENI-SAF.

Elle a été construite en 1983 dans le cadre du projet SNTF-IRCON - INDIA relatif à la construction de desserte ferroviaire.

À la livraison du projet par IRCON, il a été décidé de poursuivre la production de traverses en béton armé pour les besoins de divers projets de voie ferrée. La filiale INFRA RAIL OUEST a été créée en 1989.

En 1998 il a été procédé à la fusion de trois filiales en une filiale unique INFRA RAIL SPA. En décembre 2006 dans le cadre du projet de certification qualité, hygiène, sécurité et environnement si organisé en direction unité de base opérationnelle.

Celle de BENI-SAF comporte deux établissements :

- Unité de préfabrication de BENI SAF.
- Carrière de TERGA.

I.10.2. Activités principales et annexes

I.10.2.1. UBO (unité de base opérationnelle) de BENI-SAF

La principale activité de l'UBO de BENI-SAF est la production de traverses mixtes en béton armé servant de support aux rails de chemin de fer.

L'UBO de BENI-SAF se compose de deux établissements :

➤ **Unité de préfabriqué de traverses en béton armé de BENI SAF**

La production est assurée par une chaîne semi-automatique appelé CAROUSEL ; pour rappel le premier schéma technologique a produit un autre type de traverse dénommée TBA RSSL.

Chapitre I : Recherche bibliographique.

Actuellement La production concerne un autre type de traverse appelée VAX U31 NAG.

➤ **La carrière de D'HAR EL MENDJEL**

Assure la production du gravier destiné en presque totalité à la préfabrication de la traverse de BENI-SAF ; les granulométries sont les suivantes :

✚ **G 0/4**

✚ **G 4/8**

✚ **G 8/16**

✚ **G 16/25**

✚ **G 25/50** ou BALLAST (Destiné au projet ferroviaire).

I.10.3. Implantation

Le siège de l'UBO préfabrication est implanté à la zone industrielle commune SIDI SAFI, limitée à l'Est par la ferme KRIBI, à l'Ouest par la cimenterie SCIBS de BENI-SAF et se trouve sur la RN N 93 reliant AIN TEMOUCHENT à BENI- SAF.

La carrière de d'HAR EL MENDJEL est située dans la commune de TERGA et se trouve sur le chemin de wilaya N 67 reliant. AIN TEMOUCHENT à TERGA.

I.11. La traverse

I.11.1. Définition

Les traverses ¹ ferroviaires sont des pièces posées perpendiculairement à l'axe des voies sous les rails, elles jouent un rôle dans la Transmission des charges du rail au ballast ainsi que le maintien de l'écartement des deux files de rails.

I.11.2. Historique

Le chemin de fer, à ses débuts, utilisait des blocs de pierres comme support de rails, mais rapidement, les chercheurs conclurent qu'ils devaient apporter une solution qui supporte les rails, mais qui, de plus maintient l'écart des rails avec exactitude. Tout ceci a donné naissance à la traverse, traverse en bois à cette époque. Les traverses représentent un coût important, ceci est dû à son amortissement et à sa conservation. Dans ce sens, depuis le début de l'invention de la traverse, l'objectif était de trouver un matériel capable de résister aux effets du temps, du trafic et des intempéries. Dans les premières années du chemin de fer, la traverse en bois avait une vie très courte, toutefois, le traitement du bois avec des produits spéciaux a permis d'augmenter sa durée

¹ Voir tableau **annexe [A]**

Chapitre I : Recherche bibliographique.

de vie. Malgré le succès de ces processus de traitement des traverses en bois, qui ont multiplié sa durée de vie par cinq, un certain nombre de pays ont débuté leurs tests pour l'emploi des traverses métalliques, lesquelles ont été freinées par la première guerre mondiale. Néanmoins, peu avant la deuxième guerre mondiale, les chemins de fer allemands avaient plus de 35 % de sa voie équipée de traverses métalliques, une grande partie a été employée comme ferraille, pour la production de matériel militaire au cours de la guerre. À l'heure actuelle, les traverses métalliques sont employées essentiellement dans les pays d'Afrique et en Asie, dont l'Inde est le plus grand consommateur.

L'expérimentation de traverses en béton armé a commencé il y a soixante ans. En Angleterre, France, Italie et ensuite en Allemagne, des recherches ont débuté en laboratoire et in situ, avec des traverses en béton, soit simplement armées, soit précontraintes. Le développement des traverses en béton a apporté une vraie concurrence à celles en bois, principalement sur les lignes à grande vitesse.

Enfin, à l'heure actuelle et depuis environ huit ans, ont débuté des recherches qui pourraient donner vie à des traverses faites de plastiques ou de matériaux synthétiques, bien que les essais réalisés jusqu'ici, ceux sont limités uniquement à des domaines d'utilisation très réduits et spécifiques.

I.11.3. Types de traverses

Les matériaux qui peuvent être employés dans la fabrication des traverses sont les suivants. :

- Bois
- Acier
- Fonte
- Béton armé
- Béton précontraint
- Matériaux synthétiques

I.11.3.1. Traverse en béton

Du point de vue structurel, on distingue deux types de traverses en béton armé

-Les traverses monobloc sont en béton précontraint.

-Les traverses bi-blocs sont en béton armé reliés par une entretoise métallique.

Chapitre I : Recherche bibliographique.

I.11.4. Avantages des traverses en béton

L'avantage incontestable de la traverse en béton est sa durée de vie qui est de 40 ans, elle fut introduite pour remédier aux inconvénients du vieillissement naturel du bois. De plus, par leur poids important, garantissent un bon ancrage de la voie dans le ballast. Elles sont en particulier utilisées pour les lignes à grande vitesse.

- Leur coût initial est élevé mais s'avère économique à long terme.
- Inflammable et résistant au feu.

I.12. Processus du contrôle dans la fabrication des traverses à l'usine d'INFRARAIL

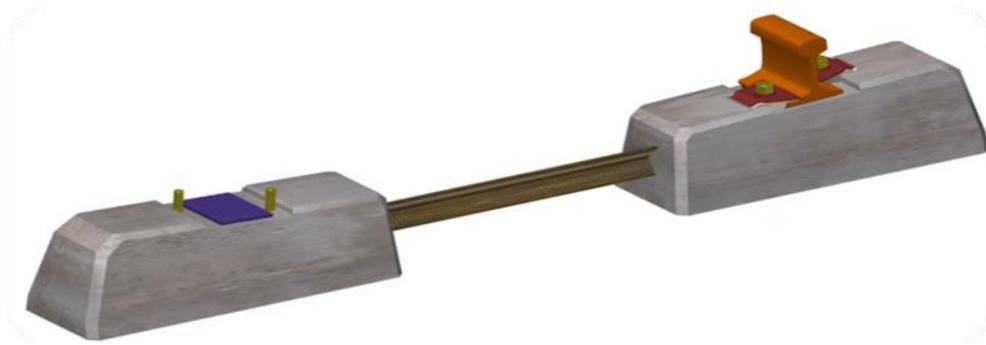


Figure I-3: Traverse en béton armé .

I.12.1. Matière première

Pour la préfabrication de la traverse en béton armé VAX U31 NAG on utilise les matières suivantes :

I.12.1.1. Ciment

Les ciments utilisés sont des ciments Portland artificiels de classe minimale 42,5 suivant la norme Européenne EN 197-1.

Chapitre I : Recherche bibliographique.

I.12.1.2. Agrégats

Les agrégats doivent être conformes aux spécifications de la norme française XP P 18-545. La dimension maximale des granulats sera de 15 mm maximum La dureté Los Angeles des graviers sera inférieure à 30.

I.12.1.3. Eau de Gâchage

L'eau de gâchage doit satisfaire la norme Européenne EN 1008.

I.12.1.4. Adjuvants du Béton

L'emploi d'adjuvants superplastifiants réducteurs d'eau conforme à la norme Européenne 934.2.

I.12.1.5. Aciers des armatures

Les armatures en rond lisse doivent être de la nuance FeE 235 définie par la norme NF A 35015.

Les armatures en fil haute adhérence FeE 500 doivent être conformes aux prescriptions des normes françaises NF A 35-16 ou NF A 35-018 et NF A 35-019 ou de la norme Européenne EN 10080.

-Le Contrôle du ferrailage se fait visuellement par la qualité de soudage et avec un gabarit spécial pour le dimensionnement des spires.



Figure I-4: ferrailage des traverses.

Chapitre I : Recherche bibliographique.

I.12.1.6. Entretoises

Elles sont conformées aux exigences de la norme Européenne EN 13230-3 ou NF F 51-105.

I.12.2. Procédé de fabrication

I.12.2.1. Relevés des températures

Température extérieure > -5°C

Température intérieure > 5°C

Température de l'eau > 5°C

I.12.2.2. Relevé de la température du ciment

La prise de la température du ciment se fait deux fois par semaines et l'or d'un éventuel constat d'un béton trop sec, alors sa température soit < 30°C.

I.12.2.3. Vérifications relevées des gâchées

Laboratoire contrôle les pesées du gâchées :

-Pour le gravier 4/8, 8/16 et sable \mp 3%.

-pour le ciment et adjuvant \mp 2%.

I.12.2.4. Versifications des résistances du béton

La vérification selon la norme EN 206-1, NF P 18-406 / NF P 18-408.

-remplissage des éprouvettes.

-écrasement des éprouvettes a 7 et 28 jours (compression et fendage).

La résistance à la compression pour 28 jours doit être \geq 45 Mpa selon NF13230.

I.12.2.5. Contrôle de position des aciers

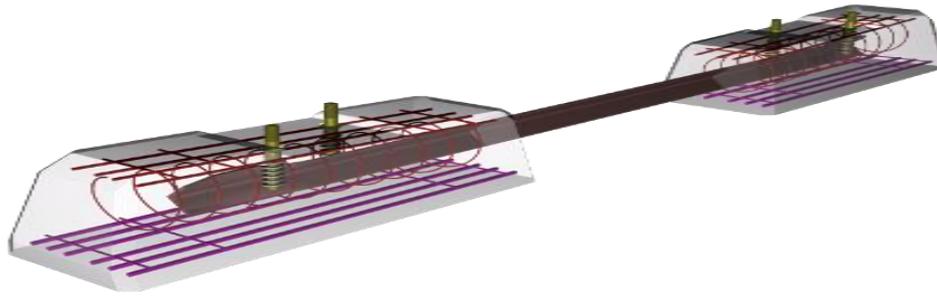


Figure I-5: contrôle de position des aciers.

Le contrôle des aciers dans la TBA :

- l'enrobage >20mm.
- les grilles bien centrées.

I.12.2.6. Vérification visuelle d'état de surface et apparence générale de la TBA « zone de démoulage »

Table d'appuis

- fissuration aux niveaux de position des GI / GS entretoise et apparition de spire.
- propriété du tour d'entretoise.
- rebouche des trous de drageoir et les lirettes.
- propriété et vérifications des gaines.

I.12.3. Produit fini

I.12.3.1. Vérification de l'écartement à 1757,5

Chapitre I : Recherche bibliographique.



Figure I-6: vérification de l'écartement.

Le control se fait sur 48 TBA par lot de production.

I.12.3.2. Vérification de l'inclinaison de la table d'appuis

Le control se fait sur 12 TBA par lot soit 1 par N° de moule.

-critère d'acceptation : le repère d'inclinaison se situe entre les deux traits repaire

$$I=2.86 \mp 0.25$$

I.12.3.3. Vérification des planétés des tables d'appuis

Le contrôle se fait sur 12 TBA par lot.

-critère d'acceptation : $f < 1\text{mm}$ entre le point distant de 150mm.

I.12.3.4. Vérification des verticalités des gaines

Le contrôle se fait sur 12 TBA par lot.

-critère d'acceptation : $H1-H2 < 4.5\text{mm}$.

I.12.3.5. Vérification des buttées intérieures (GO / NO GO)

Chapitre I : Recherche bibliographique.

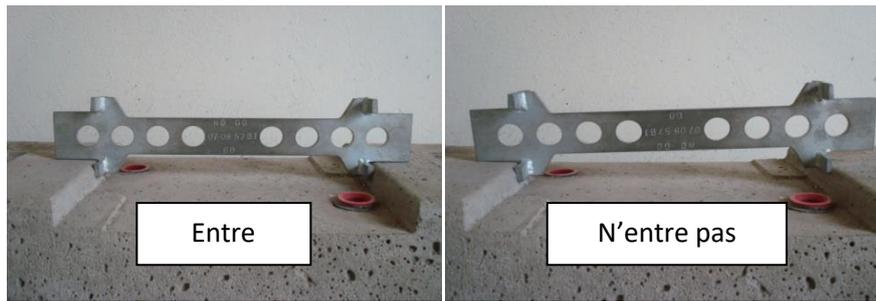


Figure I-7: vérification des butées intérieures.

Le contrôle se fait sur 12 TBA par lot.

I.12.3.6. Vérification des gabarit (grand écartement / petit écartement / inclinaison)

-une TBA étalonné.

I.12.3.7. Essai sous charge statique

Selon la norme EN 13230-1 et EN 13230-2



Figure I-8: essais sous charge statique.

1 TBA par lot de 200 après 28 jours. [27]

- Critères acceptation:

$$Fr_{0.05mm} > K_{1s} \times Fr_0$$

$$Fr_{0.05n\ mm} > 0.5K_{1s} \times Fr_0$$

$$Fr_B > K_{2s} \times Fr_0$$

I.13. Conclusion

Nous avons passé en revue dans la première partie de cette synthèse bibliographique, les différents types de béton ainsi que quelques généralités sur les constituants principaux d'un béton ordinaire et ces diverses méthodes de formulations ainsi que les critères à demander pour assurer un bon comportement du béton à l'état frais et à l'état durci car de nos jours, la formulation de bétons devient spécifiquement adaptée à la problématique de chaque ouvrage, que ce soit en termes de fluidité, de comportement mécanique à jeune âge ou à long terme ou de durabilité.

Toutefois, la connaissance de l'influence de chaque constituant devient nécessaire pour avoir des bétons ayant des caractéristiques recherchées.

En deuxième partie nous avons présenté l'entreprise INFRARAIL ainsi que le processus de contrôle dans la fabrication des traverses en béton armé, de la matière première jusqu'au produit final.

Dans le chapitre qui suit, nous exposons des différentes caractérisations pour les matériaux utilisés dans la composition du béton.

Chapitre II :

Caractérisation des matériaux utilisés.

II. Caractérisations des matériaux utilisés

II.1. Introduction

De manière générale le matériau béton, est un composite dans lequel on distingue deux phases : la matrice ou pâte de ciment durcie (ciment et eau) et les granulats (gravillons et sable).

Dont Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton.

Alors avant la détermination des dosages des constituants qui rentrent dans la formulation du béton, il est recommandé de vérifier certaines propriétés et caractéristiques des matériaux composants le béton (granulats, ciment, eau, adjuvant), en les mesurant, par des méthodes et essais normalisés.

Dans ce chapitre deux parties successives seront présentées :

- ✓ La première partie traite les modes opératoires des essais réalisés selon les normes AFNOR.
- ✓ La deuxième partie expose les différentes caractéristiques des matériaux utilisés.

La première partie

II.2. Les modes opératoires des essais

La connaissance des diverses propriétés : physiques, chimiques et mécaniques des matériaux, est une exigence primordiale dans toute opération de construction ou de réparation, dont le but tout d'abord l'emploi judicieux de ces matériaux, ensuite pour faire un choix répondant à leur destination, et en fin pour que ces matériaux soient malaxés d'une façon correcte pour but de produire un mélange homogène à grande échelle possédant par conséquent des propriétés uniformes.

II.3. Le ciment

Le ciment que nous avons utilisé, dans ce travail expérimental de recherche, est le ciment portland composé de classe CEM II 42.5, fabriqué par la cimenterie de Béni-Saf Wilaya d'AIN-TEMOUCHENT.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.



Figure II-9: sac de ciment BENI SAF.

II.3.1. Caractéristiques physiques du ciment

II.3.1.1. Essai de consistance

Cet essai est réalisé à l'aide de l'appareil de Vicat équipé d'une sonde de diamètre de 10 mm, selon la norme NF EN 196-3 son but est de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour le ciment. La consistance normale est atteinte lorsque la distance entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule atteint 6 ± 1 mm.

Conduite de l'essai

L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Tout d'abord il faut introduire une quantité d'eau choisie en fonction E/C ($E/C=0.27=135\text{g}$ d'eau) ensuite Préparer 500g de ciment et les verser dans la cuve du malaxeur, puis Mettre le malaxeur en marche (voir le tableau qui suit).

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Tableau II-4: la procédure du malaxage de la pâte de ciment.

Operations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	Malaxage	Raclage de la cure	Malaxage
Durée	5 < t < 10 sec		90 sec	15 sec	90 sec
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt	Vitesse lente

Introduire rapidement la pâte dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessive. Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.

La sonde est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans vitesse. La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée, relever la distance séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base. La pâte sera à consistance normale si $d = 6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. [28]

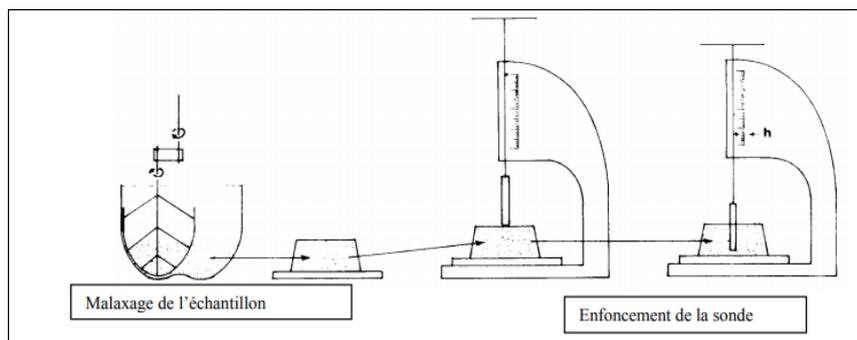


Figure II-10: le principe de l'essai « la consistance normale de la pâte de ciment ». [28]

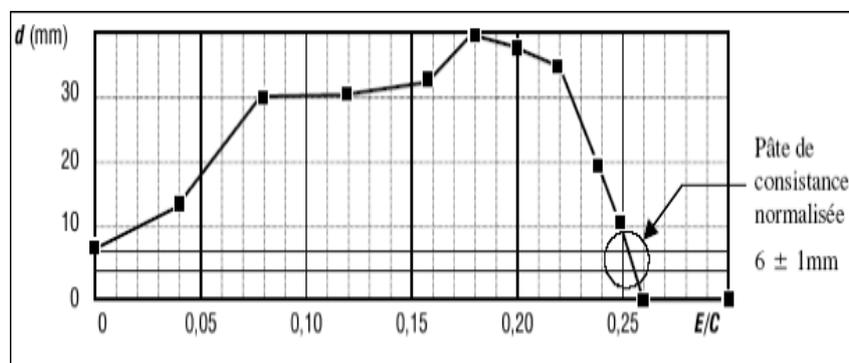


Figure II-11: évaluation de la consistance d'une pâte de ciment en fonction de E/C. [28]

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.



Figure II-12: la procédure du malaxage de la pâte de ciment.

II.3.1.2. Essais de prise

Des phénomènes chimiques, physico-chimiques et mécaniques interviennent dans les premières heures qui suivent le gâchage. Leur manifestation la plus importante est la prise : c'est la propriété qu'ont les liants hydrauliques de passer d'une consistance fluide à une consistance solide quand ils sont associés à l'eau. Le temps de prise, qui est le temps écoulé entre la fin de gâchage et le début de prise, est mesuré à l'aide de l'aiguille de Vicat. On dit qu'il y a « début de prise » lorsque l'aiguille n'est pas capable de transpercer la totalité de la pâte mais s'arrête au moins à 2,5 mm du fond du moule. La fin de prise se situe au moment où l'aiguille de Vicat s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur. [29]

A / La détermination du temps de début de prise

Une fois la pâte de l'essai précédent obtenu (essai de consistance normale), nous procédons au changement de la sonde de Vicat par l'aiguille de Vicat. Ensuite nous introduisons rapidement la pâte dans le moule tronconique sans tassement excessif, le moule étant placé sur la plaque de base plane.

Conduite de l'essai selon la **Norme EN 196-3** :

- Abaisser l'aiguille avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte.
- Lâcher l'aiguille sur la pâte et noter ce moment comme temps zéro.
- Noter la distance « d » entre l'extrémité de l'aiguille et la plaque de base plane.
- Nettoyer l'aiguille après chaque pénétration.
- Renouveler la mesure de "d" toutes les 10 minutes jusqu'à obtention de $d = 4 \text{ mm} + 1 \text{ mm}$.

B / La détermination du temps de fin de prise

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

- retourner le moule tronconique rempli sur la plaque de base plane.
- adapter l'accessoire annulaire sur l'aiguille.
 - abaisser l'aiguille et l'accessoire annulaire avec précaution jusqu'à ce qu'ils arrivent au contact de la pâte.
 - lâcher l'aiguille et l'accessoire annulaire sur la pâte.
 - observer la trace de l'accessoire annulaire sur la pâte : le temps de fin de prise est atteint si l'accessoire annulaire cesse de laisser une trace sur l'éprouvette.
 - nettoyer l'aiguille et l'accessoire annulaire après chaque pénétration.
 - renouveler la mesure de d toutes les 20 à 30 minutes jusqu'à obtention du résultat.
- noter le temps de fin de prise. [30]

II.3.1.3. Surface spécifique du ciment

La finesse d'un ciment peut être caractérisée par sa surface massique : c'est la surface totale des grains contenus dans une unité de masse exprimée en m^2 / kg de poudre ou (cm^2 / g). Elle est calculée en fonction du temps au moyen de l'appareil appelé (perméabilimètre de Blaine), Suivant le type de ciment, cette valeur est généralement comprise entre 2800 et 5000 m^2/g selon la norme **NF EN 196-6**. [31] [5]

Conduite de l'essai

Une masse « m » de liant telle que, compte tenu de son volume « V » après tassement dans la cellule, sa porosité soit égale à 0,5.

- La masse de matière à prendre s'écrit :

$$m = (1 - n) \rho \times v \quad \dots \text{ [II-1]}$$

$m = 2.46g$

ρ : masse volumique soit égale à 3.03.

V : volume utile de la cellule soit égale à 1.63

n : porosité soit égale à 0,5.

- Placer la grille au fond de la cellule. Appliquer sur cette grille, au moyen d'une tige à face inférieure plane et d'une équerre, un disque neuf de papier-filtre.
- Verser le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir.
- Donner quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant, puis placer sur celui-ci un autre disque neuf de papier filtre.
- Tasser avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne buter contre le haut de la cellule.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

- Retirer le piston lentement.
- Vérifier le niveau du liquide du manomètre qui doit affleurer au trait inférieur.
- Enduire de vaseline la partie ronde de la cellule et la placer sur son ajustage en lui imprimant un léger mouvement de rotation pour répartir la vaseline.
- Aspirer lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que le niveau du liquide atteigne le trait supérieur. Fermer le robinet. Mettre en marche un chronomètre sensible au cinquième de seconde quand le niveau de liquide atteint le deuxième trait.
- L'arrêter quand le niveau de liquide atteint le troisième trait.
- Noter le temps écoulé « t » ainsi que la température de la pièce.
- Faire trois mesures et prendre la moyenne arithmétique des trois temps. [31]
- La surface spécifique est calculée par la formule :

$$S_m = \frac{k}{\rho} \times \frac{\sqrt{n^3}}{1-n} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0.1 \times n}} \text{ cm}^2/\text{g} \dots [\text{II-2}]$$

S_m : Surface spécifique (cm²/g).

k : Constante de l'appareil ²=30.817 (g/cm²)

n : Porosité de la couche tassée=0.5

t - Temps mesuré en secondes=32.96

ρ - Masse volumique (g/cm³)=3.03

η : Viscosité de l'air à la température d'essai (en poises)³ =0.001356 (Pa.s)



Figure II-13: appareil de Blaine.

² Est calculable après la préparation d'un lit de ciment compacté avec une surface spécifique connue, et une mesure de sa perméabilité.

³ Voir le tableau **annexe [A]**

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

II.3.1.4-La masse volumique apparente

Selon la norme **NF P 18-558** l'essai consiste à remplir en matériau sec (ciment) un récipient vide de volume (V) du matériau sec (ciment) sans le tasser et le peser ensuite (M), pour en déduire la masse volumique. Cet essai a été réalisé selon la norme

$$\rho_{app} = \frac{M}{V} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \dots \text{ [II-3]}$$

Où :

M : La masse sèche du matériau, en (kg).

V : représente le volume du récipient, en (m³)

Conduite de l'essai

Placer l'entonnoir au-dessus de la mesure de 1 litre.

- Fermer l'opercule.
- Verser la quantité du liant sur la passoire et la faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule.
- Ouvrir l'opercule, le liant tombe dans la mesure. Refermer l'opercule
- Recommencer avec de nouvelles quantités du liant, jusqu'à ce que le bol déborde.
- Araser à la règle et peser le contenu. Soit M.
- La masse volumique apparente est : (V = 1 litre)
- Faire trois mesures et prendre la moyenne des trois résultats. [32]

II.3.1.5. Masse volumique absolue

Selon la norme **NF P 18-558 et NF EN 196-6** la méthode de mesure du poids spécifique ou masse volumique absolue est la même qu'il s'agisse d'un ciment, d'un gravier ou d'un sable. Le ciment est pesé et son volume est déterminé par déplacement d'un liquide. Avec le ciment on utilise un liquide qui ne réagit pas lui, et qui a un faible coefficient de dilatation (Toluène). La masse volumique absolue est déterminée en utilisant le dispositif Le Chatelier représenté sur la figure. [33]

La masse volumique absolue est donnée par :

$$\rho_{abs} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \quad \dots \text{ [II-4]}$$

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

A noter :

La masse volumique est comprise entre 2,90 et 3,20 g/cm³ suivant la nature du ciment

Conduite de l'essai

Densitomètre Le Chatelier

Remplir l'appareil de Toluène jusqu'à un volume voisin du zéro soit V 1.

- Peser le tout soit M 1.
- Introduire environ 60 g de ciment jusqu'à ce que le liquide soit dans la partie utile de la graduation supérieure.
- Bien chasser les bulles d'air, noter V 2.
- Peser soit M 2.
- La masse spécifique est donnée par : [28]

$$\rho_{\text{abs}} = (M 2 - M 1) / (V 1 - V 2) \dots \text{[II-5]}$$

Où :

M1 : Masse de (cellule + Toluène).

M2 : Masse de (cellule + Toluène + ciment).

V1 : Le volume du Toluène initial.

V2 : Le volume du Toluène final (après introduction du ciment).

II.4. Les granulats

Pour pouvoir réaliser notre étude, nous avons choisi d'utiliser des agrégats locaux de wilaya D'Ain TEMOUCHEN.

Alors les agrégats utilisés sont les suivants :

Sable concassé et sable roulé de fraction 0/4, gravier de roche naturel concassée : 4/8 et 8/15 Provenant du gisement de la carrière INFRARAI.

Sable concassé et sable roulé de fraction 0/4 provenant du gisement de la carrière TERGA.

II.4.1. Caractéristiques physiques des granulats

Dans le but d'une bonne formulation de différents bétons, plusieurs essais de caractérisation physique ont été effectués, dans cette étude, sur les matériaux granulaires utilisés (constituant le béton), dont plusieurs modes opératoires sont présentés ci-dessous.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

II.4.1.1. Analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique par tamisage est une méthode d'essai qui consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Nous traçons ensuite la Courbe Granulométrique, courbe exprimant les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs, l'analyse a été effectuée conformément à la norme européenne **NF EN 933 -1**, en utilisant les tamis préconisés par la norme européenne **NF EN 933 - 2**. [34]

Conduit de l'essai

Pour la détermination de l'analyse granulométrique, nous avons utilisé une masse de 1000 g de sable de sable et de 3500 g de gravier 8/15 et 3000 g de gravier 4/8 préalablement conservées dans un four 105°C pendant 24heures, en utilisant la série des tamis suivant :

0,08-0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm pour le sable.

16 - 12,5 - 10 - 8 - 6,3 - 5 - 2.5 mm. Pour le gravier



Figure II-14: la série des tamis utilisé pour l'analyse granulométrique.

II.4.1.1.1. Traçage de la courbe granulométrique

Il Suffit de porter les divers pourcentages des tamisats cumulés sur une feuille semi logarithmique :

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

- En abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique
- En ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

La courbe doit être tracée de manière continue.

II.4.1.1.2. Calcul des coefficients d'uniformité (Cu)

Les courbes granulométriques obtenues et leurs pentes moyennes permettent de caractériser le degré d'uniformité de la taille des éléments minéraux des agrégats. D'où la définition de deux caractéristiques. Il s'agit du rapport de Hazan ou coefficient d'uniformité de Hazan (Cu).

Le Cu est le rapport entre deux diamètres apparents, définis de telle sorte que la taille de 60%, et respectivement 10% des particules soit inférieure.

Le coefficient d'uniformité de Hazen est un indice d'irrégularité de la distribution de la taille des particules. Il est obtenu **selon la Norme Française (NFP 18-540)** par la Formule suivante :

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \dots \text{ [II-6]}$$

D60 et D10 étant les valeurs lues en abscisse pour les points de la courbe granulométrique correspondant aux ordonnées de 60% et 10%. Par conséquent, la référence suivante permet de déterminer l'uniformité de la courbe.

Si $Cu < 3$, alors la granulométrie est uniforme ou encore serrée.

Si $Cu > 3$, alors la granulométrie est variée ou encore étalée.

II.4.1.1.3. Le coefficient de classement ou de courbure (Cc)

Le coefficient de classement ou de courbure (Cc) **selon la Norme Française (NFP 18-540)** quant à lui, permet de décrire la forme de la courbe granulométrique entre D10 et D60. Le coefficient de classement fait appel à la notion de diamètre effectif correspondant au pourcentage (%) de passants placés en indice déterminé à l'aide de la courbe granulométrique. D60 est le diamètre effectif des particules qui correspond à 60% de passants, D10 est le diamètre effectif des particules qui correspond à 10% de passants et D30 le diamètre effectif des particules qui correspond à 30% du passant. Ainsi, si le granulat est bien gradué, on a la présence d'une grande variété de diamètres.

Lorsque $1 < Cc < 3$, la courbe granulométrique descend d'une façon assez régulière, indiquant ainsi la présence d'une grande variété de diamètres.

Un Cc trop grand ou trop petit indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D10 et D60, la granulométrie est alors mal graduée. La détermination du coefficient de classement est donnée par la Formule suivante : [35]

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad \dots \text{ [II-7]}$$

II.4.1.1.4. Module de finesse

Cet essai nous permet le calcul du module de finesse équivalent au 1/100 e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm selon **NFP 18-540** [28]

Lorsque le module de finesse est compris entre :

1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,

2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel.

2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables. [36]

II.4.1.1.5. La correction des sables

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8 ; au-dessus, le sable à une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

Il n'est pas rare d'avoir un sable disponible présentant un "Mf" non satisfaisant. Une façon de le rendre convenable consiste à le mélanger à un autre sable de telle sorte que la combinaison des deux "Mf" permette l'obtention du "Mf" escompté. On utilise pour cela la méthode d'ABRAMS. C'est une règle de mélange de granulats basée sur l'obtention d'un module de finesse global à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à mélanger.

On dispose de deux sables "S1" et "S2" de module de finesse respective "Mf1" et "MF2". On désire obtenir un mélange granulaire "S" de module de finesse "Mf". Les pourcentages de "S1" et "S2" nécessaires pour obtenir le mélange S sont tels: [37]

$$s_1 = \frac{MF - MF_2}{MF_1 - MF_2} \times 100 \quad (\%) \quad \dots \text{ [II-8]}$$

$$s_2 = \frac{MF_1 - MF}{MF_1 - MF_2} \times 100 \quad (\%) \quad \dots \text{ [II-9]}$$



Figure II-15: sable corrigé

II.4.1.2. La masse volumique apparente

Selon la norme **NF P 18-554** pour le gravier et **NF P 18-555** pour le sable.

La masse volumique apparente est la masse du granulat occupant l'unité de volume, tous vides inclus.

Cette manipulation a pour but de déterminer la masse volumique d'un granulat avec la méthode d'un récipient jaugé. [38]

Et pour plus de précision dans notre calcul de cette masse volumique ; nous avons effectué cette essai 3 fois de suite.

Mode opératoire

Pesé le récipient vide

Remplir le récipient avec le granulat à ras bord, on s'aidera de l'entonnoir pour verser le granulat sans déborder ; il est muni d'une sorte de vanne pour maîtriser le débit de granulat qu'on verse Avec la règle à araser, arasé de sorte à remplir exactement le récipient de 1L.

Pesé l'ensemble, récipient + granulat.

La masse volumique apparente de granulat sera calculer avec cette formule

$$\rho_{app} = \frac{m}{V} \dots [II-10]$$

m: Masse des granulats contenus dans le récipient

V : Volume du récipient.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.



Figure II-16: masse volumique apparente du sable roulé.



Figure II-17: masse volumique apparente du sable de carrière.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.



Figure II-18: masse volumique apparente du gravier.

II.4.1.3. Masse volumique absolue

La masse volumique absolue d'un sable ou d'un gravier est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. [34]

Nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée quelle est très simple et rapide Selon la norme **NF P 18-554** pour le gravier et **NF P 18-555** pour le sable.

Mode opératoire

Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.

Peser un échantillon sec M et introduire l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le niveau volume V_2 . [12]

La masse volumique est alors :

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad \dots \text{ [II-11]}$$

II.4.1.4. Teneur en eau

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

NF P 18-554 pour les graviers et NF P 18- 555 pour les sables

La teneur en eau est le rapport de la masse d'eau contenue dans un granulat sur Sa masse sèche, de faire évaporer cette eau et de peser la quantité de granulat sec. La différence de ces deux pesées définit la quantité d'eau évaporée. La teneur en eau notée « ω » est exprimée en (%). [39] [40]

$$\omega = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad \dots \text{ [II-12]}$$

Avec :

M_h = poids des granulats humides.

M_s = poids des granulats secs.

II.4.1.5. Taux d'absorption d'eau (Ab %)

Selon la norme NF P 18-554 pour les graviers et NF P 18- 555 pour les sables

Le coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20 °C.

Il est déterminé selon la formule suivante :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} \times 100 \quad (\%) \quad \dots \text{ [II-13]}$$

Ma en (g): la masse du l'échantillon immergé pendant 24h dans l'eau après avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant l'eau à la surface des granulats ou plus connue sous le nom SSS (Saturé à Surface Sèche).

Ms en (g): la masse de l'échantillon séché à 105°C. [41]



Figure II-19: essai d'absorption d'eau.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

II.4.1.6. Propreté des granulats

D'une part, la teneur en fines argileuses ou autres particules adhérentes à la surface des grains, ce qui se vérifie sur le chantier par les traces qu'elles laissent lorsqu'on frotte les granulats entre les mains. D'autre part, les impuretés susceptibles de nuire à la qualité du béton, c'est pour cela Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment. [28]

A / Propreté de gravier

Propreté superficielle selon la norme **NF P 18 -591**, l'essai consiste à déterminer la propreté superficielle des granulats supérieurs à 2 mm par élimination des poussières et des particules argileuses inférieures à 0,5 mm qui doit être < 1.5 %. L'élimination est réalisée par lavage de l'échantillon sur le tamis correspondant. Le rapport du passant à 0,5 mm au poids total de l'échantillon représente la propreté superficielle des gravillons.

$$.P(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \quad \dots [II-14]$$

Le gravier est propre si P (quantité d'éléments fins) $\leq 1.5\%$.

M₀ : la masse du gravier.

M₁ : la masse du l'enchantions après lavage (essuyés). [42] [43]

B / Equivalent de sable

Selon la norme **NF EN 933-8** équivalents de sable⁴ qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage. L'essai est fait uniquement sur la fraction de sable 0/2 mm.

Le lavage à l'eau ne donnerait pas des résultats précis et fidèles lors de l'essai. On utilise une solution spéciale ⁵ qui permet la floculation des éléments fins et en régularise la sédimentation. [44]

⁴ Voir annexe [B]

⁵ C'est une solution lavante, obtenus en diluant 125ml de solution concentrée (219g de chlorure de calcium,450g déglycérine ,12.5g formaldéhyde,350ml eau distillée) dans 5L de l'eau distillée.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Tableau II-2 : Classes de propreté d'après les valeurs de l'équivalent de sable. [44]

ESV (%)	ESP (%)	Interprétations
$ESV < 65$	$ESP < 60$	Sable argileux ; non convenable pour des bétons de qualité.
$65 \leq ESV < 75$	$60 \leq ESP < 70$	Sable légèrement argileux ; convenable pour des bétons courants.
$75 \leq ESV < 85$	$70 \leq ESP < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses ; parfaitement convenable pour des bétons de qualité.
$ESV \geq 85$	$ESP \geq 80$	Sable très propre ; risque d'un défaut de plasticité du béton.

Conduit de l'essai

- après le passage de l'échantillon à l'étuve tamiser une quantité de 120g de sable.
- Remplir les 2 éprouvettes de solution lavante jusqu'au 1 er trait inférieur, ensuite verser le sable.
- éliminer les bulles d'air en frappant chaque éprouvette contre la paume de la main et laisser reposer 10 minutes.
- boucher les éprouvettes et les agiter d'un mouvement rectiligne, horizontal, l'aide d'une machine à secouer (90 cycles en 30 secondes).
- laver et remplir les éprouvettes avec le tube laveur en rinçant les bouchons, lavant les parois intérieures de toutes les éprouvettes et laver la masse du sable en y faisant remonter et descendre lentement le tube ainsi les fines remontent en surface, ferme le robinet lorsque la solution atteint le 2eme trait supérieur, et laisse reposer 20 minutes.
- mesure à vue les hauteurs h_1 et h_2 .
- pour effectuer la mesure de façon plus précise, introduit le piston taré à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette et l'immobilise au contact du sable, mesuré $h' 2$. [28]

Il est déterminé selon la formule suivante :

Avec :

h_1 : Mesure de l'ensemble sable plus floculat

h_2 : Mesure à vue la hauteur du sable

$h' 2$: Mesure de la hauteur du sable au piston

ESv : (équivalent de sable visuel).

Esp : (équivalent de sable au piston)

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

$$\text{ESV} = \frac{h_2}{h_1} \quad (\%) \quad \dots \text{ [II-15]}$$

$$\text{ESP} = \frac{h'_2}{h_1} \quad (\%) \quad \dots \text{ [II-16]}$$

C / Essai au bleu de méthylène

Selon la norme **NF EN 933-9** Il consiste à introduire, dans le bain contenant la prise d'essai, des quantités croissantes de bleu de méthylène⁶, par doses successives, et à contrôler après chaque ajout l'absorption du bleu du test « de la tâche » jusqu'à ce que les particules argileuses du matériau soient saturées de bleu (test de la tache devenant positif).

Conduit de l'essai

Tamiser une quantité de sable de fraction 0/2mm au moins 200g, noter M.

Ajouter 500ml d'eau distillée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché.

Démarrer l'agitation a la vitesse de 600tr/min pendant 5 min puis ajouter une dose de 5ml de bleu, ensuite démarrer l'agitation continuellement à 400tr/min pendant la poursuite de l'essai.

Effectuer les tests prélever sur papier filtre après chaque injection de colorant (5ml toutes les minutes).

Enregistrer le volume total de solution de colorant ajouté pour obtenir une auréole qui est restée visible pendant 5 min et le noter Vv.

Le test est considéré comme positif si la goutte centrale bleue est cerclée d'une zone teintée de bleu plus claire d'environ 1mm (Fin du dosage).

Si le test est négatif répéter l'opération jusqu'à l'obtention d'un test positif. [45]

La valeur au bleu des fines (VB) est donnée par la formule suivante :

$$\text{VB} = \frac{V_v}{M} \times 10 \quad \dots \text{ [II-17]}$$

Avec :

Vv : volume de solution de bleu utilisée jusqu'à obtention du test positif (en ml).

M : masse sèche de la prise d'essai (en g).

⁶ Voir l'annexe [B]

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

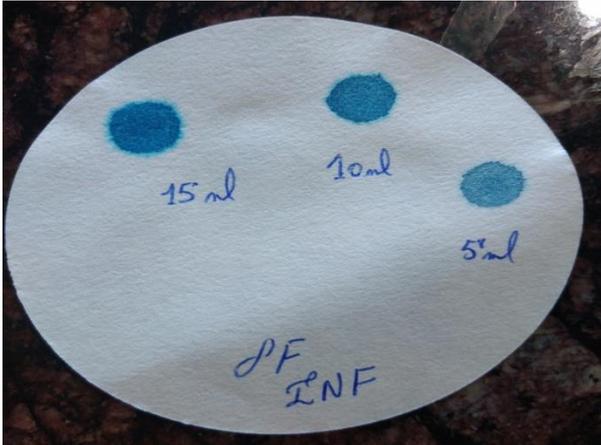


Figure II-20: test VB sur sable roulé INFRARAIL.

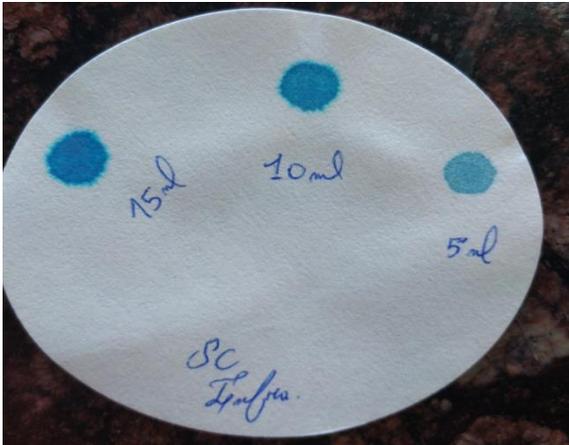


Figure II-21: test VB sur sable de carrière INFRARAIL.

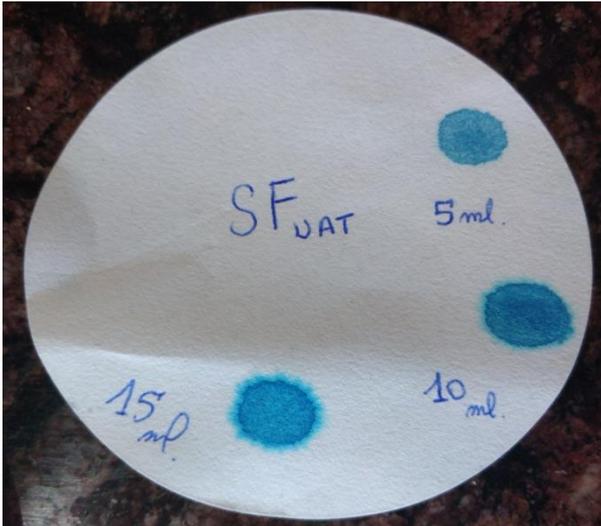


Figure II22:test VB sur sable roulé TERGA.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

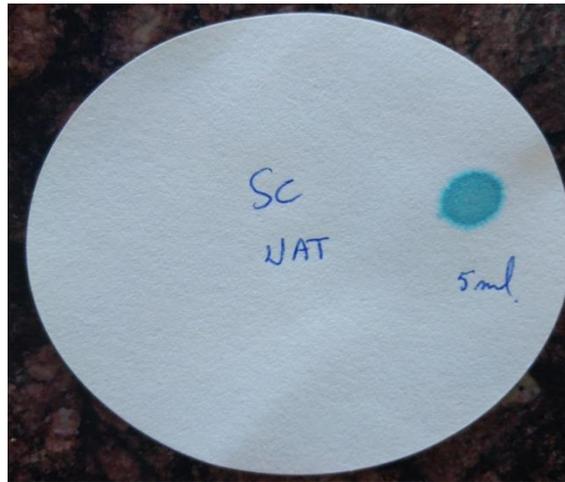


Figure II-23: test VB sur sable de carrière TERGA.

II.4.1.7. Essai d'aplatissement

L'essai selon la **norme EN NF 933-3** consiste à un double tamisage tout d'abord, au moyen de tamis d'essai ensuite en moyen grilles à fentes parallèles le coefficient d'aplatissement (A) caractérise la forme des granulats.

Conduit de l'essai

- Les échantillons doivent être prélevé conformément par EN 933-2.
- La masse de la prise d'essais doit être celle spécifié par la norme EN 933-1.
- Séchage de la prise d'essai a (110 ± 5) pour obtenir une masse constante, la laissé refroidir, la peser et enregistré la masse comme étant M_0 .
- Elimination et la peser de tous les graines de la fraction inferieurs à 4mm et supérieur à 80 mm.
- Calcule de la somme des masses des refus de chaque classe granulaire et la noté M_1
- Tamisage du refus de chaque classes granulaire d_i/D_i à l'aide d'une grille à fente parallèles d'écartement $E = D_i/2$.
- Calcule de la somme des masses des passants sur grilles à fente correspondantes et la noté M_2 . [46]
- La série des tamis (20 16 12.5 10 8 6.3 5 4).
- La série des grilles (10 8 6.3 5 4 3.15).

Avec :

$$A = (M_2/M_1) \times 100 \quad \dots \text{ [II-18]}$$

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

M_1 : est la somme des masses des refus de chaque classe granulaire en grammes

M_2 : est la somme des masses de passant sur les grilles à fentes correspondantes d'écartement $D_i / 2$

II.4.2. Caractéristiques mécaniques des granulats

Pour une caractérisation mécanique des granulats utilisés dans nos béton étudiés, deux essais ont été effectués sur nos graviers qui sont l'essai Los-Angeles et l'essai micro-Deval.

II.4.2.1. Essai de Los-Angeles (LA)

L'essai selon la norme NF EN 1097-2 permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée, y compris les couches de roulement. Le matériau évolue pendant l'essai, d'une part par suite du choc des boulets sur le granulat (rupture fragile des éléments), d'autre part par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine et sur les boulets.

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. [28]

Tableau II-3 : la charge de boulets relatifs à la classe granulaire choisie . [28]

Classe granulaire	Fraction	Nombre de boules	Poids totaux de la charge (g)	Poids des fractions (g)
4 - 6.3		7	3080 ±20	5000 ±2
6.3 - 10		9	3960 ±25	5000 ±2
10 - 14		11	4840 ±25	5000 ±2
10 - 25	10-16	11	4840 ±25	3000 ±2
	16-25	11	4840 ±25	2000 ±2
16 - 31.5	16 -25	12	5280 ±25	2000 ±2
	25-31.5	12	5280 ±25	3000 ±2
25 - 50	25-40	12	5280 ±25	3000 ±2
	40-50	12	5280 ±25	2000 ±2

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Mode opératoire

Tamisage de l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie 8/16.

Lavage du matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à une masse constante.

La masse d'échantillon pour l'essai sera de 5000g ±5g.

Introduction avec précaution la charge de boulet correspondant à la classe granulaire choisie puis l'échantillon pour essai.

Faire effectuer à la machine 500 rotation à une vitesse régulière 30 à 33 tr/min.

Tamisage le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm.

Lavage le refus au tamis de 1.6 mm, égoutter et sécher à 105 °C jusqu'à masse constantes.

Prendre la masse de ce refus une fois sécher, soit m_1 le résultat de la peser. [12]

Le coefficient Los Angeles LA :

$$LA = \frac{(5000 - m_1)}{5000} \dots [II-19]$$

La norme **XP P 18-545** classe les matériaux suivant un code tenant compte de la friabilité et de la dureté des matériaux pour l'utilisation en couche de base, de liaison et fondation.

Tableau II-4 : classe des matériaux selon le coefficient Los Angeles. [17]

Valeurs repères	
L_A	Appréciation
< 15	Tré bon a bon
15 à 25	Bon a moyen
25 à 40	Moyen a faible
> 40	Médiocre



Figure II-24: la machine de Los Angeles.

II.4.2.2. Essai de Micro-Deval (MDE)

L'essai selon la norme **NF EN 1097-1** permet de déterminer la résistance à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Le matériau évolue pendant l'essai par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive) à sec ou en présence d'eau. [28]

Mode opératoire

Préparation de l'échantillon :

L'essai doit être effectué sur un lot de granulat 8/16.

Lavage de l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention d'une masse constante.

La masse de l'échantillon pour essai sera de 500g ± 2g soit M.

Introduire dans chaque jarre 500g de l'échantillon en ajoutant 5000 ± 5g de billes métalliques.

Pour effectuer un essai en présence d'eau on ajoutera 2.5litre.

Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100 ± 5) tr/min pendant 2heures ou 12000 tr.

Après essai, la récolte du granulat et la charge abrasive dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulat.

Lavage de l'ensemble sous un jet d'eau sur le tamis de 1.6mm.

Séchage du refus à 1.6mm à 105°C jusqu'à masse constante soit m prendre la masse de ce refus au gramme près. [12]

Alors le coefficient MDE pour chaque cylindre de cette façon :

$$M_{DE} = \frac{(M-m)}{5} \dots [II-20]$$

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Tableau II-5: classe des matériaux selon le coefficient MDE. [17]

Valeurs repères	
Micro deval en présence d'eau	Appréciation
<10	Tré bon a bon
10 à 20	Bon a moyen
20 à 35	Moyen a faible
>35	Médiocre



Figure II-25 : les jarres de l'essai micro deval.

II.5. Caractérisation du béton

II.5.1. Caractérisation du béton à l'état frais

Pour chaque formulation étudiée et pour les différentes gâchées Plusieurs essais sont effectués pour évaluer les propriétés et la qualité du béton à l'état frais, Car la consistance du béton est un facteur important pour la mise en œuvre du béton.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

II.5.1.1. Essai d'ouvrabilité du béton (Essai d'affaissement)

L'essai d'affaissement est un moyen d'évaluer la consistance du béton frais. Il est utilisé, indirectement, comme moyen de vérifier que la bonne quantité d'eau a été ajoutée au mélange.

L'essai est réalisé conformément selon la norme **NF EN 12350-2**. Le cône d'Abrams en acier est placé sur une base solide, imperméable et nivelée, et rempli de béton frais en trois couches égales. Pour un béton ordinaire, chaque couche est rodée 25 fois pour assurer le compactage. (Moule stable en forme de tronc de cône de 300 mm de haut, avec diamètre inférieur à 200 mm et diamètre supérieur de 100 mm et une tige de piquage métallique de 600 mm de long et 16 mm de diamètre).

La troisième couche est terminée au niveau du sommet du cône, le cône est soigneusement soulevé, laissant un tas de béton qui se dépose ou s'affaisse légèrement. Lorsque le cône est retiré, l'affaissement peut prendre l'une des deux formes suivantes :

-Dans un vrai effondrement, le béton se résorbe tout simplement, gardant plus ou moins de forme.

-Dans un affaissement de cisaillement, la partie supérieure du béton se détache et glisse latéralement. [47]

Tableau II-6 : classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams norme (NF EN 206-1).

Classe	Affaissement [mm]	Propriété du béton frais
S1	10 - 40	Ferme, très sec et peut maniable
S2	50 - 90	Plastique, à humidité moyenne et à maniabilité moyenne.
S3	100 - 150	Très plastique, très humide et à maniabilité élevée.
S4	160 - 220	Fluide, très humide et à maniabilité élevée.
S5	≥ 220	Très fluide, très humide et à maniabilité élevée



Figure II-26: l'essai d'affaissement.

II.5.1.2. La teneur en air

Remplissage du récipient et serrage du béton : selon la norme **NF EN 12350-7**

Principe de l'essais

Cette méthode consiste à introduire de l'eau sur une hauteur prédéfinie au-dessus d'un échantillon de béton compacté de volume connu se trouvant dans une enceinte hermétique et à appliqué sur l'eau une pression d'air prédéterminée, on mesure la diminution du volume d'air contenu dans l'échantillon de béton en observant la valeur de la baisse du niveau d'eau

La limite supérieure maximale de teneur en air est égale à la valeur minimale spécifiée augmentée de 4 % en valeur absolue (voir § 5.4.3 de la norme NF EN 206-1). [48]

Conduite de l'essai

- Placé le béton dans le récipient en trois couches en serrant chaque une par un nombre de coupe suffisant (25 coups) de manier à éliminer autant d'air occlus que possible.
- Nettoyer soigneusement les rebords du récipient et de l'ensemble couvercle.
- Positionner et fixé ensemble couvercle.
- Remplir l'appareillage d'eau et tapoter légèrement à l'aide du maillet.
- Amener le niveau d'eau à zéro dans le tube vertical en purgeant par le petit robinet.
- Fermer l'orifice et appliquer la pression d'essai, P , à l'aide de la pompe à air.
- Enregistrer la valeur lue sur le tube gradué, h_1 , et relâcher la pression.
- Lire à nouveau le tube gradué h_2 . [49]

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.



Figure II-27: essai de la teneur en air.

II.5.1.3. La conservation des éprouvettes

L'arasement terminé, les éprouvettes sont conservées, sans être déplacées pendant 24 heures \pm 1 heure, au sein de notre laboratoire à la température d'environ $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ et chacune d'entre elles numérotée (température de laboratoire), selon la norme NF EN 12390-2.

Après le démoulage, les éprouvettes seront immergées sous l'eau à température ambiante.



Figure II-28: la conservation des éprouvettes pendant 24 h au laboratoire.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.



Figure II-29: la conservation des éprouvettes dans l'eau (7 et 28 jours).

II.5.2. Caractérisation du béton a l'état durci

II.5.2.1. La masse volumique du béton

Avant de commencer les essais sur le béton durci, on mesure la masse volumique selon **NF EN 12390-7** comme suite :

$$M_v = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \dots \text{ [II-21]}$$

M : masse moyenne de 3 éprouvettes (kg).

V : volume de l'éprouvette (m³). [50]



Figure II-30: mesure de la masse volumique du béton durci après démoulage.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

II.5.2.2. Essai de résistance à la compression

L'une des caractéristiques principales du béton durci est sa résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Elle est désignée par f_{c28} et se mesure par compression axiale d'une éprouvette à 28 jours selon la norme [NF EN 12390-3]. [5]

Conduit de l'essai

Centrage de l'éprouvette sur la presse d'essai.

La mise en place qui s'effectue avec une vitesse de chargement constante.

Application d'une charge croissante jusqu'à la rupture.

La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes pour chaque béton et pour chaque âge, elle est donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{F}{S} \text{ (MPa)} \quad \dots \text{ [II-22]}$$

Avec :

R : La résistance en compression en MPa.

F : La force appliquée sur le cylindre en béton en MN.

S : L'air du cylindre en béton en m^2 . [47]



Figure II-31: essai de compression



Figure II-32: surfaçage des éprouvettes.

II.5.2.3. Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique)

L'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton ; cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc à priori une résistance plus importante.

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées « Transmission directe », sur des faces adjacentes « Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton. [51]

La vitesse de propagation du son à travers le béton est déterminée par la formule suivante :

$$V = \frac{L}{T} \quad \dots \text{ [II-23]}$$

Où :

V : la vitesse de propagation en (m/s).

L : est la distance entre les transducteurs en (m).

T : est le temps de propagation en (seconde).

L'essai de la vitesse de propagation doit être réalisé selon la norme **NF EN 12504-4**.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Tableau II-7 classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation . [52]

Vitesse de propagation (m/s)	Qualité du béton
$2500 \leq V < 3200$	Béton de faible résistance
$3200 \leq V < 3700$	Béton de moyenne résistance
$3700 \leq V < 4200$	Béton à haute résistance
$V \geq 4200$	Béton à très haute résistance



Figure II-33: mesure de la vitesse de propagation du son.

La deuxième partie

II.6. Caractérisation des matériaux utilisés

L'objet principal visé dans cette partie expérimentale est d'élaborer les diverses propriétés (physiques, mécaniques, chimiques) des matériaux utilisés de la région de la wilaya d'AIN TEMOUCHENT afin d'établir un choix répondant à leur utilisation.

II.6.1. L'eau

L'eau de gâchage utilisé dans notre étude est une eau potable eau de robinet fourni au laboratoire de génie civil de l'Université de AIN TEMOUCHENT alors Cette eau est considérée comme approprié pour la fabrication du béton et ne nécessite aucun essai selon la norme **NF EN 1008**.

II.6.2-Le ciment

Dans le cadre de cette confection des différents bétons étudiés dans ce travail expérimental, le ciment utilisé est un produit de GICA (Groupe industriel du ciment Algérien). Nous avons alors utilisé dans cette étude un ciment portland composé, de classe CEM II 42,5, fabriqué par la société

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

des ciments de BENI SAF (S.C.I.B.S.)⁷ Wilaya d'AIN-TEMOUCHENT, dont les spécifications Physico-chimiques sont étudiées conformément à la norme algérienne (NA 442 éditions 2000).

II.6.2.1. Caractéristiques physiques du ciment

Tableau II-8 : Caractéristiques physique du ciment.

Masse volumique apparente [g/m³]	1.22
Masse volumique absolue [g/m³]	3.03
Début de prise (h)	1h 40 min
Fin de prise (h)	2h 40 min
Consistance Normale (E/C)	0.27
La surface spécifique blinde (cm²/g)	3045

Commentaire

Le ciment satisfait à diverses exigences physiques des normes (EN 196-6 et NF EN 197-1) telles que le temps de début de prise est supérieur à 60 minutes, Ainsi la valeur de la surface spécifique blinde qui est comprise entre 2800 et 5000 cm²/g, et La masse volumique absolue entre 2,90 et 3,20 g/cm³.

II.6.2.2. Caractéristiques chimiques du ciment

Le tableau ci-dessous représente les résultats de l'analyse chimique⁸ du ciment utilisé dans notre recherche réalisée par laboratoire de la cimenterie de BENI SAF :

⁷ Voir la fiche technique **annexe [A]**

⁸ Pour plus de détail sur l'analyse chimique du ciment voir **annexe [A]**

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Tableau II-9: composition chimique de ciments [laboratoire de la cimenterie de BENI SAF].

Elément (%)	CPJ CEM II /A 42.5
SiO ₂	20.39
CaO	4.91
Al ₂ O ₃	3.14
Fe ₂ O ₃	62.00
MgO	1.13
SO ₃	2.57
Perte au feu	1.84
Totale	95.98
Insolubles (SiO ₂ non combinée)	0.50
Insolubles (CaO ₂ libre)	1.63

II.6.3. Les granulats

L'analyse granulométrique des trois fractions du granulat sont représentées aux tableaux respectivement :

1. Sable

Les sables utilisés (sable de carrière et sable roulé), provenant d'un gisement de la carrière de « TERGA » ainsi du gisement de la carrière de l'entreprise « INFRARAIL ».

II.6.3.1. Caractéristiques chimiques du sable roulé de « TERGA »

Tableau II-5: analyse chimique du sable roulé [LTPO]. [53]

Composition chimique.	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	CaCO ₃	CO ₂
Teneur en %	55.43	25.56	0.61	0.07	0.00	42.05	18.50

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

II.6.3.2. Caractéristiques physiques des granulats

II.6.3.2.1-Analyse granulométrique par tamisage

Après traitement des quatre sables, nous avons obtenu les résultats des essais physiques et d'analyse granulométrique qui sont donnés aux tableaux suivants respectivement :

A / Sable de carrière « INFRARAIL »

Les résultats d'analyse granulométrique du sable de carrière « INFRARAIL » :

Tableau II-10:analyse granulométrique du sable de carrière « INFRARAIL ».

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Tamisât cumulés %
5	6.4	0.64	99
2.5	367.6	36.76	63
1.25	602.2	60.22	40
0.63	733.9	73.39	27
0.315	804.5	80.45	20
0.16	851.1	85.11	15
0.08	896.5	89.65	10
Fond	900.5	90.05	10

Le module de finesse

$$M_f = \sum \text{des refus en \% des tamis (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5)} / 100 = 3.4$$

B / Sable de carrière « TERGA »

Les résultats d'analyse granulométrique du sable de carrière « TERGA » :

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Tableau II-11: analyse granulométrique du sable de carrière « TERGA».

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Tamisât cumulés %
5	2.9	0.29	100
2.5	274.7	27.47	73
1.25	587.9	58.79	41
0.63	795	79.5	21
0.315	900.3	90.03	10
0.16	956	95.6	4
0.08	993.4	99.34	1
Fond	998.3	99.83	0

Le module de finesse

$$M_f = \sum \text{des refus en \% des tamis (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5)} / 100 = 3.5$$

Commentaire

Selon Norme Française **NFP 18-540** et d'après les résultats nous pouvons dire que les deux sables analysés sont des sables trop grossiers qui peuvent être utilisés dans des grands bétons pour favoriser des résistances élevées, mais le béton ne sera pas bien ouvrable, donc un risque de ségrégation existe, d'où la nécessité de faire une correction aux sables en ajoutant des fines.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

C / Sable de roulé « INFRARAIL »

Les résultats d'analyse granulométrique du sable de roulé « INFRARAIL » :

Tableau II-6: analyse granulométrique du sable de roulé « INFRARAIL ».

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Tamisât cumulés %
5	81.3	8.13	92
2.5	145.5	14.55	85
1.25	178.8	17.88	82
0.63	213	21.3	79
0.315	522.5	52.25	48
0.16	973.3	97.33	3
0.08	991.8	99.18	1
Fond	994.4	99.44	1

Le module de finesse

$$M_f = \sum \text{des refus en \% des tamis (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5)} / 100 = 2.1$$

Commentaire

D'après le résultat obtenu nous pouvons dire que le sable analysé « INFRARAIL » est à majorité des grains fins mais aussi proche d'être un sable préférentiel d'où la nécessité de faire une correction.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

D / Sable de roulé « TERGA »

Les résultats d'analyse granulométrique du sable de roulé « TERGA » :

Tableau II-7: Analyse granulométrique du sable de roulé « TERGA ».

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Tamisât cumulés %
5	10.3	1.03	99
2.5	30.3	3.03	97
1.25	51.8	5.18	95
0.63	73.2	7.32	93
0.315	219.4	21.94	78
0.16	911	91.1	9
0.08	988.3	98.83	1
Fond	998.2	99.82	0

Le module de finesse

$$M_f = \sum \text{des refus en \% des tamis (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5)} / 100 = 1.3$$

Commentaire

Nous pouvons dire d'après le résultat obtenu que le sable analysé « TERGA » est un sable très fin, donc il est nécessaire de faire une correction aux sables en diminuant des fines.

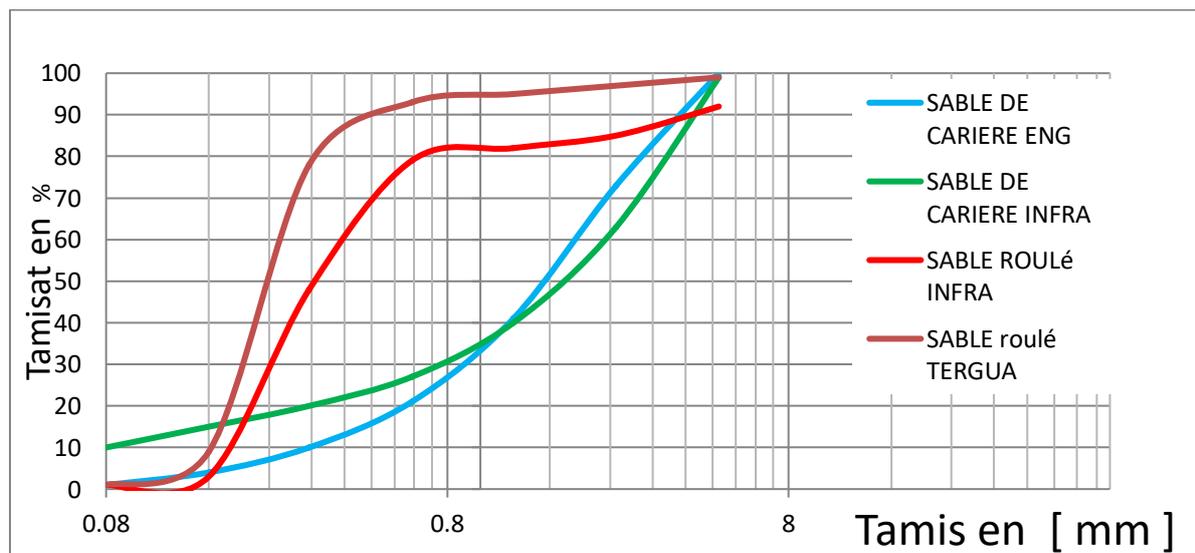


Figure II-34: les courbes granulométrique des différents sables utiliser .

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Commentaire

Tableau II-8: calcul de cu et cc des sables utilisés et interprétation des résultats.

Sable	Cu	Cc	Interprétation
Sable de carrière TERGA	5.9	1.3	Cu >3 veut dire que la granulométrie est variée. 1 < CC < 3 indiquant la présence d'une grande variété de diamètres
Sable de carrière INFRARAIL	30	3.3	Cu >3 veut dire que la granulométrie est variée. CC >3 la granularité dite mal graduée indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D10 et D60.
Sable roulé INFRARAIL	2.1	0.8	Cu <3 la granulométrie est uniforme. CC <3 la granularité dite mal graduée indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D10 et D60.
Sable roulé TERGA	1.6	0.9	Cu <3 la granulométrie est uniforme. CC <3 la granularité dite mal graduée indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D10 et D60.

Correction des sables

Dans cette partie nous présentons la correction du sable concassé de l'entreprise INFRARAILS qui a été effectuée à l'aide d'un sable correcteur provenant de gisement de TERGA. La correction appliquée était donc une combinaison entre les deux sables (concassé de la carrière et celui roulé de gisement. Cette combinaison est représentée par différents pourcentage entre les deux sables utilisés.

2. Gravier

L'analyse granulométrique du gravier prélevé de la carrière INFRARAIL selon la norme **NF EN 933-1**, permet de connaître et de déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant le granulat et de réaliser les tableaux et les courbes suivantes.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

A /Gravier 4/8 « INFRARAIL »

Les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 4/8« INFRARAIL »

Tableau II-9: les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 4/8« INFRARAIL ».

Ouvertures des tamis [mm]	Refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Tamisa cumulées %
10	0	0	100
8	303,3	15,17	85
6,3	1154	57,70	42
5	1795,9	89,80	10
2,5	1996,4	99,82	0
Fond	1998,6	99,93	0

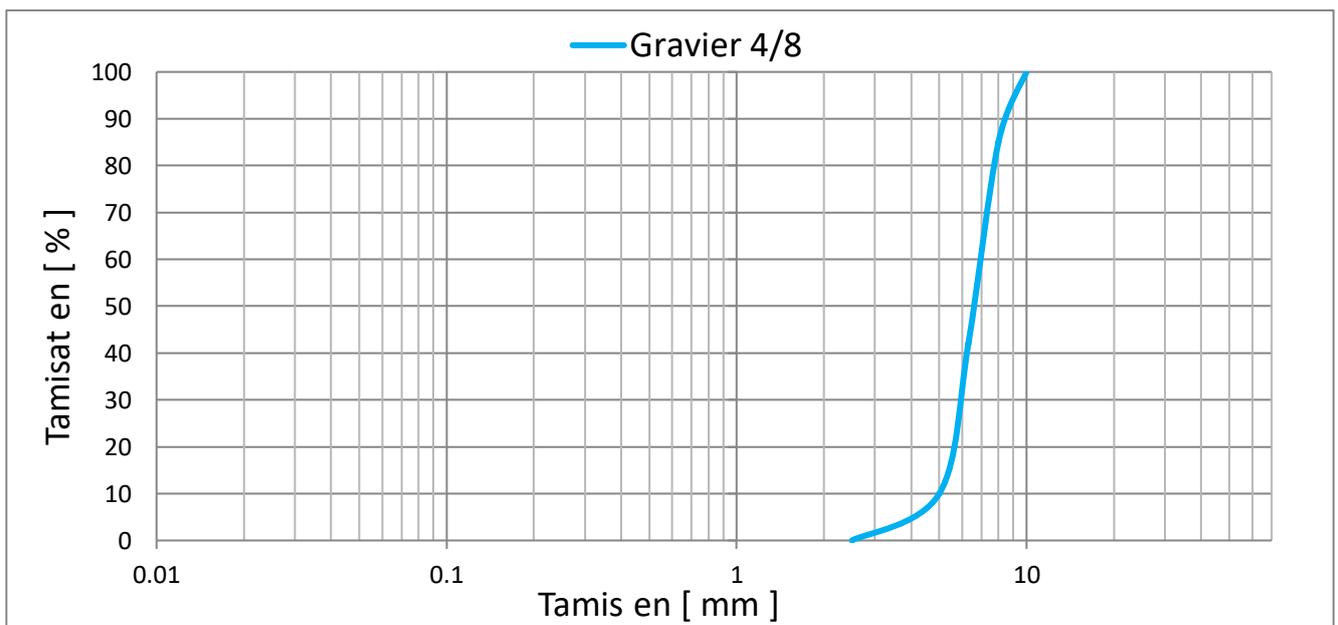


Figure II-35: les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 4/8« INFRARAIL ».

Les résultats des coefficients de courbue et d'uniformité pour ce gravier sont comme suit:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 1.4$$

$$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1.03$$

Commentaire

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

D'après la figure nous remarquons que la courbe du gravier de classe 4/8 du INFRARAIL est continue donc elle ne présente pas de discontinuité dans la répartition granulaire, comme elle est uniforme $C_u = 1.4 < 3$ et la courbe est assez régulier indiquant ainsi la présence d'une grande variété de diamètres $1 < c_c = 1.3 < 3$ selon la Norme Française (NFP 18-540) qui nous montre la bonne distribution de différentes dimensions des granulats.

B / Gravier 8/16 « INFRARAIL »

Les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 8/16 « INFRARAIL »

Tableau II-10: les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 8/16 « INFRARAIL ».

Ouvertures des tamis [mm]	Refus cumulés (g)	Refus cumulés %	Tamisa cumulées %
16	26,5	0,88	99
12,5	1223,7	40,79	59
10	2331,8	77,73	22
8	2963,1	98,77	1
6,3	2992,1	99,74	0
5	2992,1	99,74	0
Fond	2999,5	99,98	0

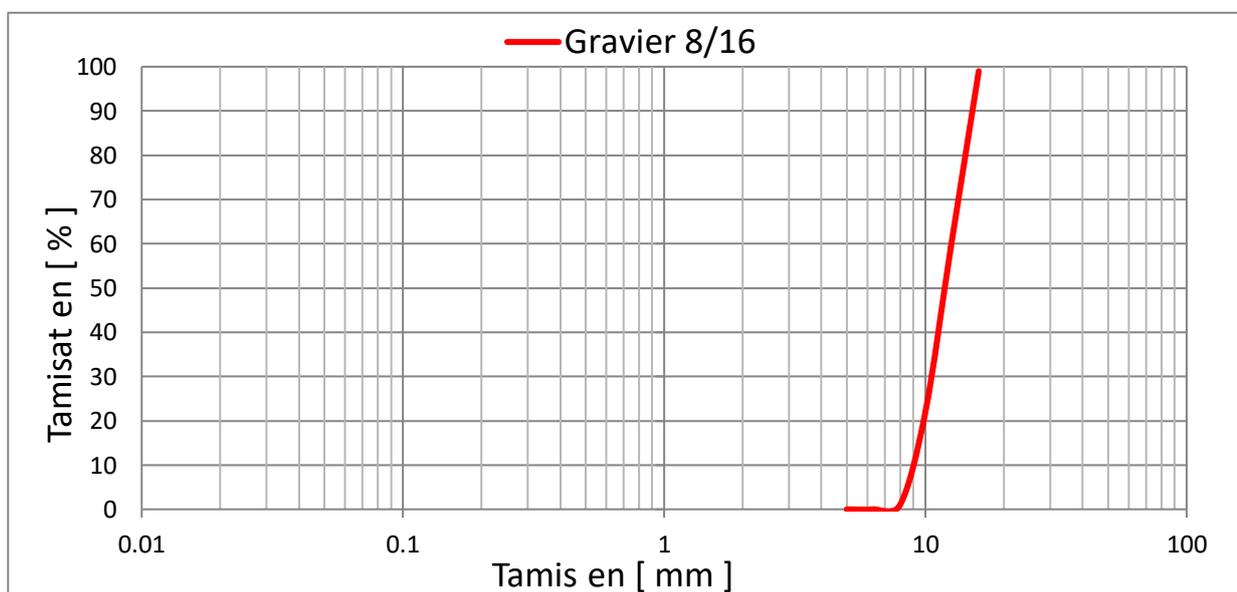


Figure II-36: les résultats de l'analyse granulométrique du gravier 8/16 « INFRARAIL ».

Les résultats des coefficients de courbue et d'uniformité pour ce gravier sont comme suit:

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

$$CC = \frac{D30^2}{D10 \times D60} = 0.9$$

$$Cu = \frac{D60}{D10} = 1.44$$

Commentaire

La figure nous montre que la courbe de gravier 8/16 prélevé du carrière INFRARAIL est continue c.à.d. elle ne présente pas de discontinuité dans la répartition granulaire, comme elle est uniforme $Cu = 1.44 < 3$ la granulométrie est uniforme et $cc = 0.9 < 1$ la granulométrie est alors mal graduée ce qui indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D10 et D60 selon la Norme Française (NFP 18-540) qui nous assure la bonne répartition des granulats.

II.6.3.3. Caractéristiques physiques des granulats

Une série d'essais a été effectuée afin de déterminer les caractéristiques physiques des matériaux utilisées (sable, gravier), qui sont représentés aux tableaux ci-dessous.

1. Sables

Sable « INFRARAIL » et « TERGA »

Caractéristiques physiques du sable roulé et sable de carrière « INFRARAIL » et « TERGA ».

Tableau II-11 : caractéristiques physiques du sable roulé et sable de carrière « INFRARAIL » et « TERGA ».

Caractéristiques physiques	Sables	Résultats	Résultats
		INFRARAIL	TERGA
Masse volumique apparente (Kg/m ³)	Sable de carrière	1782	1627
	Sable roulé	1548	1441
Masse volumique absolue (Kg/m ³)	Sable de carrière	2500	2220
	Sable roulé	2500	2350
La teneur en eau (%)	Sable de carrière	3	3
	Sable roulé	2	2

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

L'équivalent de sable (%) ESV	Sable de carrière	70	75
	Sable roulé	86	95
L'absorption d'eau (%)	Sable de carrière	2.7	2.5
	Sable roulé	3.8	3.6
Valeurs au bleu de méthylène (VB)	Sable de carrière	0.5	0.3
	Sable roulé	0.8	0.5

Commentaire

D'après les résultats obtenus nous constatons que :

- Concernant la propreté des sables utilisés, nous remarquons que les sables de carrière sont des sables légèrement argileux, par contre les deux sables roulés sont des sables très propres.

- Le coefficient d'absorption d'eau < 5%.

- la valeur du bleu des sables est inférieure à 1.

$VB \leq 1$ —————> sable non argileux et insensible à l'eau.

2. Gravier

A / Gravier « INFRARAIL »

Tableau II-12: caractéristiques physiques du gravier INFRARAIL.

Caractéristiques	Unité	Gravier INFRARAIL	
		4/8	8/16
d/D	mm	4/8	8/16
Coefficient d'aplatissement	--	14	6
Absorption d'eau	%	0.6	0.5
Masse volumique apparente	Kg/m ³	1466	1522
Masse volumique absolue	Kg/m ³	2860	2500
La teneur en eau	%	1	1.4
Propreté du gravier	%	1.2	1.3

Commentaire

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

- Le coefficient d'aplatissement du gravier relevé de la carrière INFRARAIL est < 40 donc on a un très bon gravier selon la norme
- Le coefficient d'absorption d'eau $< 5\%$
- Les valeurs obtenues des masses volumiques apparentes et absolues pour les deux graviers sont dans la norme.
- Les deux graviers sont propres car nous avons obtenu des résultats $< 1.5\%$, donc il est acceptable pour la fabrication du béton.

II.6.3.4. Caractéristiques mécaniques du gravier

Les Tableaux suivants récapitulent les différents résultats obtenus lors des essais de caractérisation mécanique des granulats.

Gravier 8/16 « INFRARAIL »

Tableau II-13: caractéristiques Mécaniques du gravier 8/16 INFRARAIL.

Granulat /Essai	MDE	LA
8/16	9.4	23.31
Appréciation	Très bon à bon	Dur

Commentaire

D'après les résultats obtenus de l'essai MDE et LA nous avons déterminé que le gravier 8/16 prélevé de la carrière d'INFRARAIL présente une très bonne résistance à l'usure MDE < 10 d'après la norme (NF EN 1097-1) et une bonne résistance à la fragmentation (au choc) LA < 15 d'après la norme (NF EN 1097-2).

II.6.4. Les adjuvants

Le tableau ci-dessous indique certaines caractéristiques physiques des adjuvants testés dans cette étude.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés.

Tableau II-14 : les adjuvants utilisé durant notre étude.

Adjuvant	Densité	Couleur
SIKA® VISCOCRETE® 3045 ⁹	1.115	Marron/vert
CHRYSO® Quad 820 ¹⁰	1.075 ± 0.020	Brun vert

II.7. Conclusion

Nous avons exposé dans ce chapitre, les modes opératoires des divers essais, et les différentes analyses pour la caractérisation des matériaux utilisés dans l'intention de la confection du béton, tel que les essais physiques, chimiques et mécaniques, dont la plupart ont été effectués au niveau de notre laboratoire des matériaux au département de génie civil.

Ces analyses montrent que le ciment, l'eau de gâchage ainsi que les graviers sont appropriées pour la confection du béton. Ainsi que les sables qui peuvent être combinés pour avoir un bon sable qui s'insère presque parfaitement dans le fuseau idéal pour avoir un bon béton.

Les résultats obtenus dans ce chapitre permettent donc d'avoir une idée générale sur les caractéristiques principales du béton objet de notre étude, principalement, les analyses granulométriques qui peuvent nous servir comme données essentielles pour la méthode de Dreux Gorisse afin de formuler un béton que nous allons développer en détails dans le prochain chapitre.

⁹ Voir la fiche technique de l'adjuvant (SIKA® VISCOCRETE® 3045) **annexe [B]**

¹⁰ Voir la fiche technique de l'adjuvant (CHRYSO® Quad 820) **annexe [B]**

Chapitre III

Méthode de formulation du béton.

III. FORMULATION ET MISE EN ŒUVRE DES BETONS

III.1. Introduction

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées.

Plusieurs méthodes sont proposées mais quelques-unes sont plus utilisées que d'autres, notamment :

- La méthode de Bolomey
- La méthode de Faury
- La méthode de Valette
- La méthode d'Abrams

Et enfin la méthode pratique simplifiée dite méthode "**Dreux Gorisse**", c'est cette dernière méthode que nous allons développer.

La formulation de " Dreux-Gorisse" permet de déterminer les quantités optimales des matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton. [54]

III.2. La méthode de "Dreux Gorisse"

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton.

III.2.1. Résistance souhaitée

On demandera en général, une résistance nominale f_c à la compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique, il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours.

$$f_{c28} = 15\% \times f_{c28j} \quad \dots \text{ [III-1]}$$

III.2.2. Ouvrabilité désirée

Elle est en fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massifs ou plus ou moins ferrailé), de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc..., elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône comme indiqué le tableau suivant :

Chapitre III: Méthode de formulation du béton.

Tableau III-15: évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône.

Plasticité	Serrage	Affaissement A En cm	Nombre de chocs test
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	> 60
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	< 10

III.2.3. Dosage en ciment

On commencera par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne désirée f'_{28} .

$$f'_{28} = G \times R_{c28j} \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \dots \text{[III-2]}$$

Avec :

f'_{28} : Résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPa

R_{c28j} : Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C : Dosage en ciment (en kg/m³),

E : Dosage en eau totale sur matériau secs (en litre),

G : Coefficient granulaire

En fonction de l'environnement, les dosages minimaux prescrit par le fascicule 65 A qui, nous le rappelons, est le cahier des clauses techniques générales appliquées aux marches publics pour l'exécution des ouvrages en béton arme ou précontraint, sont les suivants :

- En béton armé exposé à un milieu sans agressivité particulière : $C \geq \frac{550}{5\sqrt{D}}$, ce qui revient à faire varier le dosage minimal entre 315 et 250kg de ciment par m³, lorsque D varie de 16 à 50mm.
- En béton armé exposé a un milieu sans agressivité particulière mais comportant un parement fin : $C \geq \frac{600}{5\sqrt{D}}$, soit un dosage minimal en ciment variant de 345 à 275 kg/m³, lorsque D varie de 16 à 50mm.
- En béton arme exposé à des conditions agressives sévères ou coulé sous l'eau, ainsi qu'en béton précontraint : $C \geq \frac{700}{5\sqrt{D}}$, correspondant à un dosage minimal variant de 400 à 320 kg/m³, lorsque D varie de 16 à 50mm.

Chapitre III: Méthode de formulation du béton.

Plusieurs autres textes réglementaires donnent également des indications sur les dosages, notamment la norme AFNOR P18 011, mais les valeurs précédentes représentant pratiquement la synthèse des différents documents, on peut se limiter à ces spécifications.

D(mm)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
$5\sqrt{D}$	1.38	1.45	1.52	1.59	1.66	1.74	1.82	1.90	2	2.09	2.19	2.29	2.4	2.51
$\frac{550}{5\sqrt{D}}$	400	380	362	346	332	316	302	390	275	263	251	240	230	220
$\frac{600}{5\sqrt{D}}$	435	415	395	378	362	345	330	315	300	288	275	262	250	240
$\frac{700}{5\sqrt{D}}$	500	480	460	440	420	400	385	370	350	335	320	305	290	280

Tableau III-16: les dosages minimaux des ciments selon le milieu exposé et le D.

Qualité des granulats	Dimensions D des granulats		
	Fin ($D \leq 16mm$)	Moyen ($25 \leq D \leq 40mm$)	Gros ($D \geq 63mm$)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Tableau III-17: valeurs approximatives du coefficient granulaire (G).

Le dosage en ciment est en fonction de C/E, mais également du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. L'abaque de la figure permet d'évaluer approximativement C en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée qui doit être considérée comme une donnée au problème.

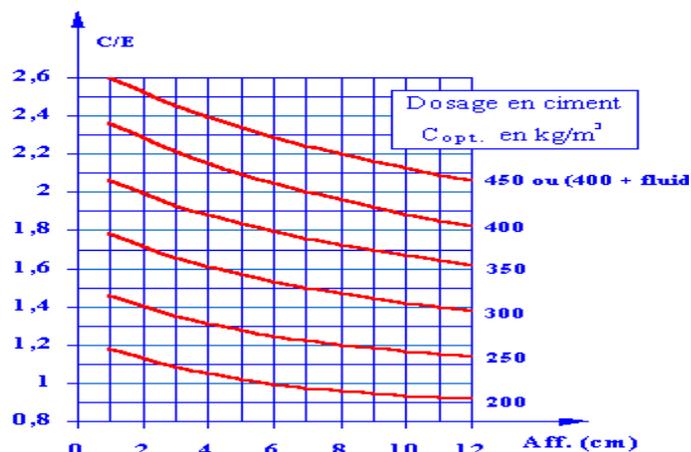


Figure III-37:abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

III.2.4. Dosage en eau

L'abaque de la figure (III-1), donne l'allure générale de la variation du dosage en eau en fonction de l'affaissement au cône et du test d'ouvrabilité C.E.S. Il ne s'agit bien entendu que d'ordre de grandeur pour des bétons courants et permettant de dégrossir rapidement une

Formule de composition mais comme pour tous les facteurs de cette composition c'est à notre avis par des essais sur des éprouvettes que les divers éléments constitutifs, et l'eau tout particulièrement, peuvent être définitivement dosée.

III.2.4.1. Correction du dosage en eau en fonction de Dmax

Si l'on a $D < 25$ mm, la surface spécifique des granulats augmente et à plasticité équivalente, il faudra légèrement majorer le dosage en eau, et vice-versa. La correction sur le dosage en eau correspond à $D = 25$ mm, peut être approximativement évaluée d'après les valeurs du tableau (III-4) en fonction de D.

Tableau III-18: correction en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale des granulats.

Dimension maximale des granulats D en mm	5	10	16	25	40	63	100
Correction du dosage en eau (%)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

Chapitre III: Méthode de formulation du béton.

III.2.5. Analyses granulométriques des granulats

Sur un graphique d'analyse granulométrique, on trace la courbe granulaire de référence OAB.

- Point B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat.

- Point de brisure A à pour coordonnées :

· En abscisse

Si $D \leq 25 \text{ mm}$ $X = D/2$.

Si $D > 25 \text{ mm}$ X est située au milieu du segment limité par le Module 38 (5mm) et le module correspond à D ;

En ordonnée :

$$Y = 50 - (D \text{ max})^{1/2} + K \dots \text{ [III-3]}$$

Avec K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de serrage, de la forme des granulats (roulés ou concassés) et également de module de finesse du sable.

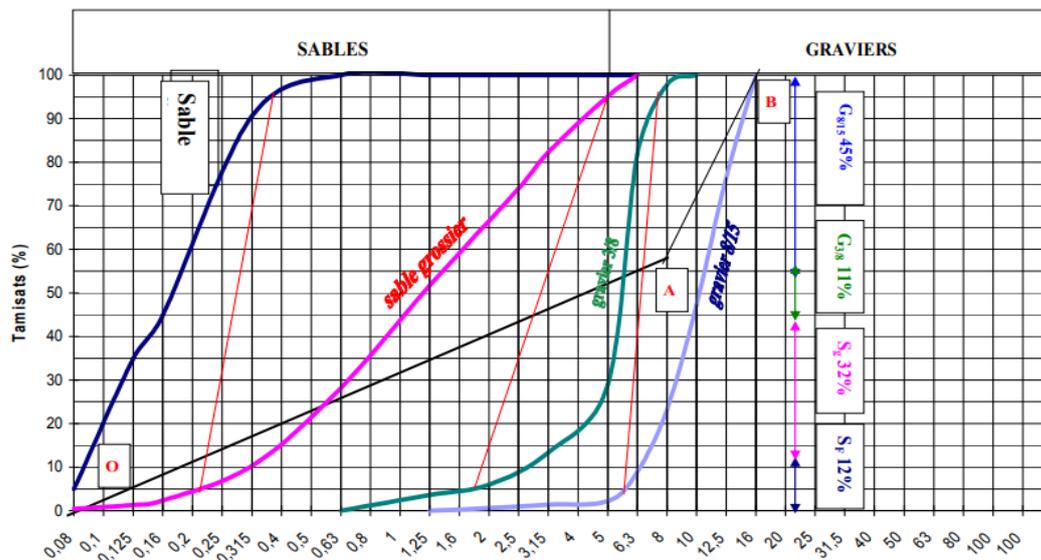


Figure III-38: analyse granulométrique, norme NF P 18-304 {exemple d'étude}.

Les valeurs de K est donnée sur le tableau (III-5) :

Tableau III-19: La valeur du terme correcteur K.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400+fluidif	-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

III.2.6. Coefficient de compacité (γ)

C'est le rapport à un mètre cube du volume absolu des matériaux solides (ciment et granulats) réellement contenus dans un mètre cube de béton frais en œuvre. On choisira une valeur approximative de γ dans le tableau (III-6) :

Tableau III-20: Valeurs du coefficient de compacité γ .

Consistance	Compactage (Serrage)	Coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=40	D=63	D=100
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.819	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.829	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830

Chapitre III: Méthode de formulation du béton.

	Vibration faible	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	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 = - 0.03
- pour les granulats légers, on pourra diminuer de 0.03 les valeurs de g qui correspondent ici à des granulats denses ordinaires.

III.2.7. Dosage des granulats

La courbe granululaire de référence OAB doit être tracée sur la même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granululaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g_1, g_2, g_3 , par exemple.

Si c'est le dosage en ciment, le volume absolue des grains de ciment est :

$$C1 = C/3.1 \dots [III-4]$$

En admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment, valeur moyenne habituellement admise).

On choisira dans le tableau (III-6), une valeur convenable du coefficient de compacité γ en fonction de D, de la consistance et de l'efficacité du serrage.

$$V = 1000 \gamma - C1 \dots [III-5]$$

Chapitre III: Méthode de formulation du béton.

Si g_1, g_2, g_3 sont les pourcentages en volume absolu des granulats. Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite : ... [III-6]

$$V_1 = g_1 V$$

$$V_2 = g_2 V$$

$$V_3 = g_3 V$$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont v_1, v_2, v_3 les masses de chacun deux sont : ... [III-7]

$$P_1 = V_1 v_1$$

$$P_2 = V_2 v_2$$

$$P_3 = V_3 v_3$$

$$\Sigma P_1 + P_2 + P_3 = G = \text{masse totale du granulat}$$

Après avoir obtenu les résultats du calcul on fera les essais d'études en préparant des gâchées d'essais et en fonctionnant des éprouvettes afin de vérifier la consistance et la résistance du béton.

III.2.8. Correction (d'après DREUX)

III.2.8.1. Résistance insuffisante

Si la résistance mécanique est insuffisante on peut :

Augmenter le dosage en ciment.

Diminuer le dosage en eau mais il est impératif de maintenir une plasticité suffisante,

Faire appel à un adjuvant fluidifiant.

On peut également augmenter la résistance en diminuant le dosage en élément fin du sable au profit des éléments plus gros (augmenter du module de finesse) ; mais dans ce cas, il faut faire attention à la diminution de l'ouvrabilité.

On peut également augmenter le rapport G/S en diminuant un peu de la qualité de sable au profit du gravier, il suffit d'abaisser un peu le point A de la courbe de référence.

Si l'on retenu par le temps, on pourra effectuer quelques écrasements d'éprouvettes à 7 jours en adoptant $R_{28}/R_7 = 1.45$.

III.2.8.2. Ouvrabilité insuffisante, ségrégabilité

- Soit ajouter un sable (ou faire appel à un adjuvant plastifiant).
- Soit augmenter le dosage en eau (mais on risque des chutes de résistance).

Chapitre III: Méthode de formulation du béton.

- Soit augmenter le dosage des éléments fins, il suffit de relever le point A de la courbe de référence.

III.2.8.3. Ajustement de la formule au m³

Pour ajuster la formule au m³, on pèse plusieurs éprouvettes de béton frais en œuvre. Soit Δ la densité réelle ainsi mesurée. Si Δ_0 est la densité théorique, la correction X à apporter sur la masse totale des granulats est :

$$X = \pm 1000 (\Delta - \Delta_0) \text{ kg ... [III-8]}$$

Sur la masse de chacun des granulats, la correction à apporter est :

$$\pm X P1/G, \pm X P2/G, \pm X P3/G \text{ ... [III-9]}$$

Avec :

P1, P2, P3 : Masses déterminées précédemment,

G : Masse totale des granulats.

III.2.8.1. D'autres corrections

En fonction des observations, des mesures faites lors de l'essai de gâchage et des résistances mécaniques obtenues, il sera nécessaire d'effectuer des corrections.

a) Consistance : Lors de l'essai de gâchage, il est recommandé de ne pas ajouter tout de suite la quantité d'eau totale E prévue. Il est préférable d'ajouter seulement 95 % de E, de mesurer la consistance, puis d'ajouter de l'eau jusqu'à obtention de la consistance prescrite.

b) Résistances mécaniques : Si les résistances mécaniques sont insuffisantes, il faudra avoir recours à l'une ou plusieurs des possibilités suivantes :

- Augmenter le dosage en ciment (au-delà de 400 kg/m³, une augmentation de dosage en ciment n'a plus qu'une très faible influence sur l'accroissement de résistance).
- Diminuer le dosage en eau sans changer la granulométrie.
- Corriger la granulométrie et réduire la quantité d'eau.
- Utiliser un autre type de granulats.
- Utiliser un adjuvant et réduire la quantité d'eau.
- Utiliser un ciment à durcissement plus rapide.

On devra en tous cas toujours veiller à ce que la consistance du béton permette une mise en œuvre correcte. [19]

III.3. Mise en œuvre du béton

III.3.1. Malaxage et Vibration

Le malaxage des bétons a été fait dans une bétonnière électrique à axe inclinée, Le temps de malaxage est de 05 minutes dont 01 minutes de malaxage à sec. La mise en place du béton est réalisée sur une table vibrante (vibration externe), selon la norme **NF P18 421**

III.3.2. La mise en place du béton

Le béton est ensuite coulé dans des moules cylindriques PVC 16×32 cm soigneusement remplis, vibrés et arasés, et nettoyés préalablement numérotés

Les éprouvettes ont été démoulées à 24 heures à l'aide d'un compresseur. Chaque éprouvette porte le même numéro du moule, la référence du mélange et la date de sa fabrication. Les éprouvettes ont été pesées pour connaître la masse volumique expérimentale des différents bétons à 1 jour. Elles ont été placées ensuite sous eau à 20°C jusqu'au moment des essais à 7 et 28 jours. Enfin les éprouvettes seront destinées aux essais mécaniques qui sont représenté dans le chapitre qui suit.

Durant notre recherche nous avons confectionner plusieurs formulations du béton avec des différents pourcentages de correction par le sable de construction Pour ce faire, nous avons réalisé un programme expérimental où plus de 84 éprouvettes cylindriques (16x32) cm ont été confectionnées, par la suite nous avons choisi les trois meilleures formulations du béton selon leurs performances mécaniques et qui seront présentées dans ce chapitre.

Composition granulair de la « formulation 1 »

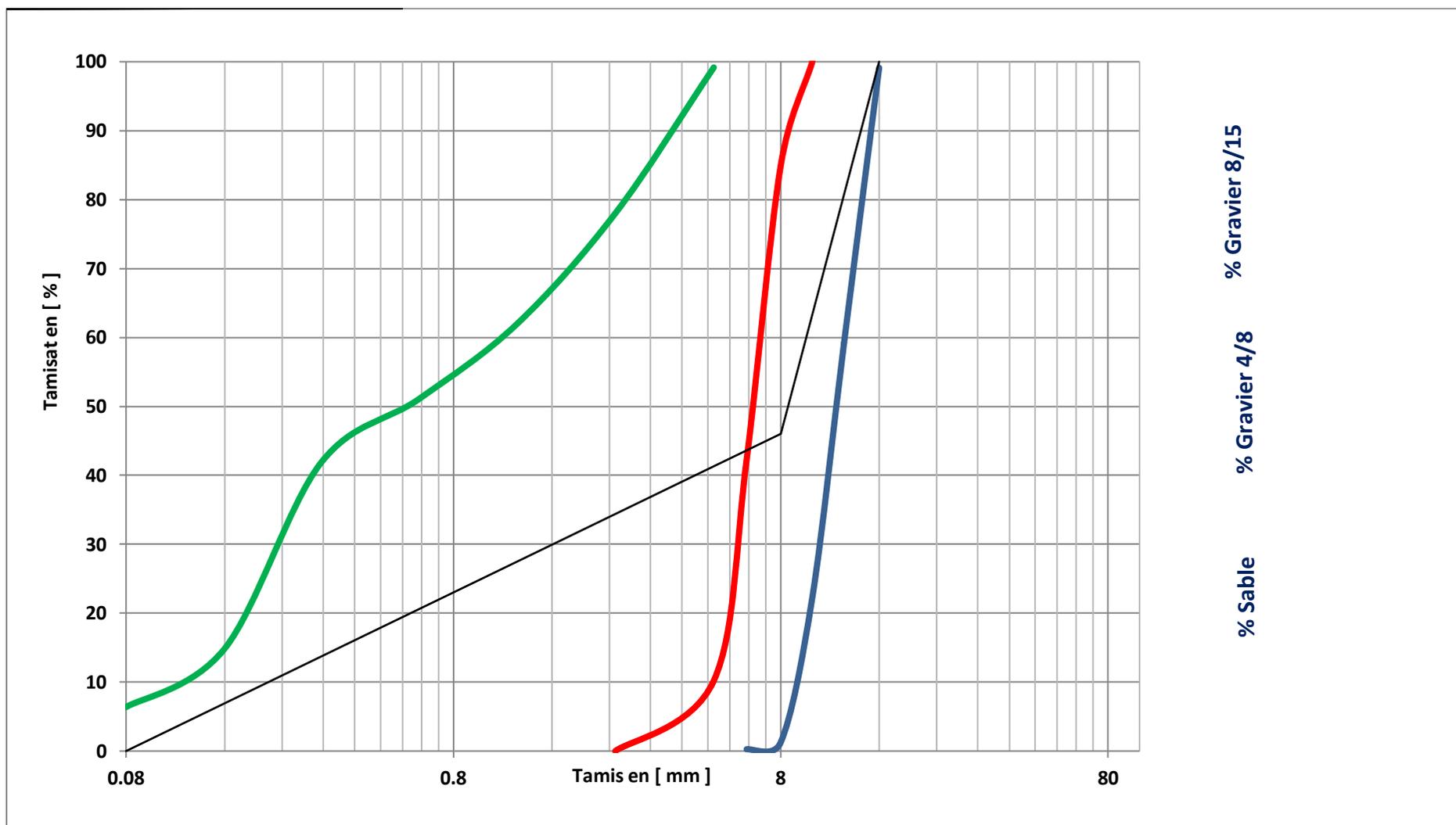


Figure III- 39: composition granulair de la « formulation 1 ».

Chapitre III: Méthode de formulation du béton.

Remarque

La formulation théorique de béton recherchée est définie par les quantités d'eau E, ciment C, des sables S, des graviers G. La masse totale d'un mètre cube de béton $\Delta o=(E+C+S+g+G)$ est pour un béton courant comprise entre 2,3 t/m³ et 2,5 t/m³.

La formulation obtenue reste théorique et il convient de la tester et de la corriger par des essais de laboratoire avant d'être utilisée.

III.4. Conclusion

Les méthodes de calcul de la composition du béton sont nombreuses, Une composition de béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences, elle pourra être considéré comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant à quelque exigences (la résistance ,ouvrabilité , faible retrait et fluage, le coup..etc.) pour cela nous avons utilisé la méthode de "**Dreux Gorisse**", une méthode a pour but de déterminer d'une façon simple et rapide une formulation adapté à notre étude par Plusieurs étapes de calcul successives qui nous à permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment , sable et gravier) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément à notre objectif.

Dans le chapitre qui suit nous présentons nos résultats des essais expérimentaux sur nos formulations.

Chapitre IV

- 1. Résultats et interprétation.**
- 2. Une étude comptable.**

Chapitre IV: 1-Résultats et interprétation

2- Etude comptable

IV. Résultats et interprétation

IV.1. Introduction

Les études et recherches concernant la résistance du béton connaissent un engouement et un développement accru, notamment à travers les effets résultants de l'exposition des ouvrages en béton aux actions climatiques et environnementales.

Dans le chapitre précédent nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la formulation du béton étudié.

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats des essais expérimentaux sur ce béton à savoir (l'essai de résistance à la compression, essai d'auscultation sonore (Essai Ultrasonique), essai de teneur en air, masse volumique et affaissement au cône d'Abrams), Ces essais ont pour but de juger la validité de la qualité de notre béton, par la suite nous allons faire une étude comptable pour toutes les formulations du béton réalisé.

IV.2. Les résultats d'essai de la teneur en air

Tableau IV-21: les résultats d'essai de la teneur en air.

Formulations	Mélange sec (%)	Béton frais (%)	Air occlus (%)
Formulation 1	4.4	2.8	1.6
Formulation 2	4	2.3	1.7
Formulation 3	3.9	2.4	1.5

IV.2.1. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus d'essais de la teneur en air qui sont présentés dans le tableau ci-dessus, nous constatons que les trois formulations nous donnent des résultats inférieurs à 4%, selon la norme (NF EN 206-1) donc nos résultats sont acceptables, d'où nous pouvons déduire que nous avons un béton de bonne qualité.

IV.3. Les résultats de la masse volumique du béton durci

Tableau IV-22: les résultats de la masse volumique du béton durci.

Formulations	Masse volumique (Kg /m ³)	
	Résultats	La moyenne
Formulation 1	2566	2569
	2572	
	2569	
Formulation 2	2540	2536
	2531	
	2537	
Formulation 3	2557	2562
	2566	
	2563	

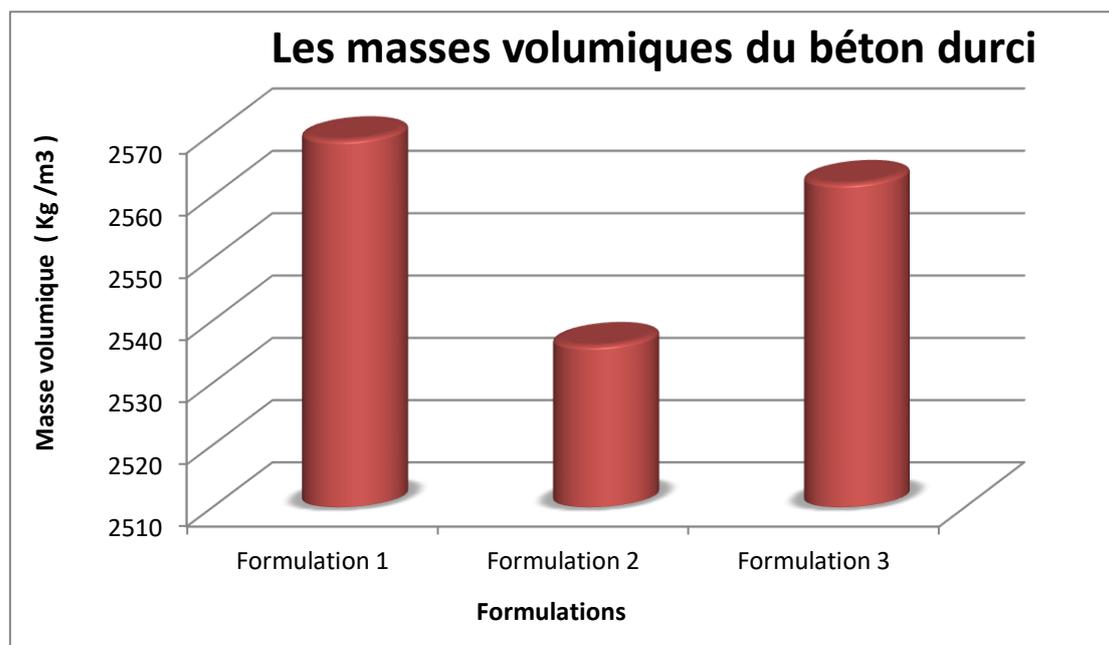


Figure IV-40 : histogramme des variation de la masse volumique des bétons à l'état durci.

Chapitre IV: 1-Résultats et interprétation

2- Etude comptable

IV.3.1. Interprétation des résultats

L'histogramme montre une variation de la masse volumique des bétons étudiés à l'état durci. D'après les résultats obtenus nous remarquons que la masse volumique de la première formulation est élevée par rapport aux deux autres formulations, Ceci s'explique par la continuité des diamètres des granulats utilisés dans chaque béton.

IV.4. Les résultats de l'essai ultrasonique

Tableau IV-23: les résultats de l'essai ultrasonique.

Formulations	La vitesse de propagation (m/s)	
	Résultats	La moyenne
Formulation 1	6994	7003
	7005	
	7010	
Formulation 2	6833	6831
	6828	
	6832	
Formulation 3	6865	6865
	6862	
	6868	

IV.4.1. Interprétation des résultats

La figure illustre les résultats des vitesses de propagation du son à travers les trois formulations élaborées.

Nous remarquons que la vitesse de propagation est supérieure à 4200 (m/s) pour les trois formulations, ce qui correspond à un béton de très haute résistance, selon la norme [NF EN 12504-4].

Chapitre IV: 1-Résultats et interprétation

2- Etude comptable

IV.5. Les résultats de l'essai de résistance à la compression

Tableau IV- 24: les résultats de l'essai de résistance à la compression.

Formulations	Affaissement (Cm)	Résistance à 7 jours (Mpa)		Résistance à 28 jours (Mpa)	
		Résultats	La moyenne	Résultats	La moyenne
Formulation 1	0	50	47	61	62
		44			
		46			
Formulation 2	0	52	54	62	64
		56			
		54			
Formulation 3	0	57	58	71	68
		58			
		58			

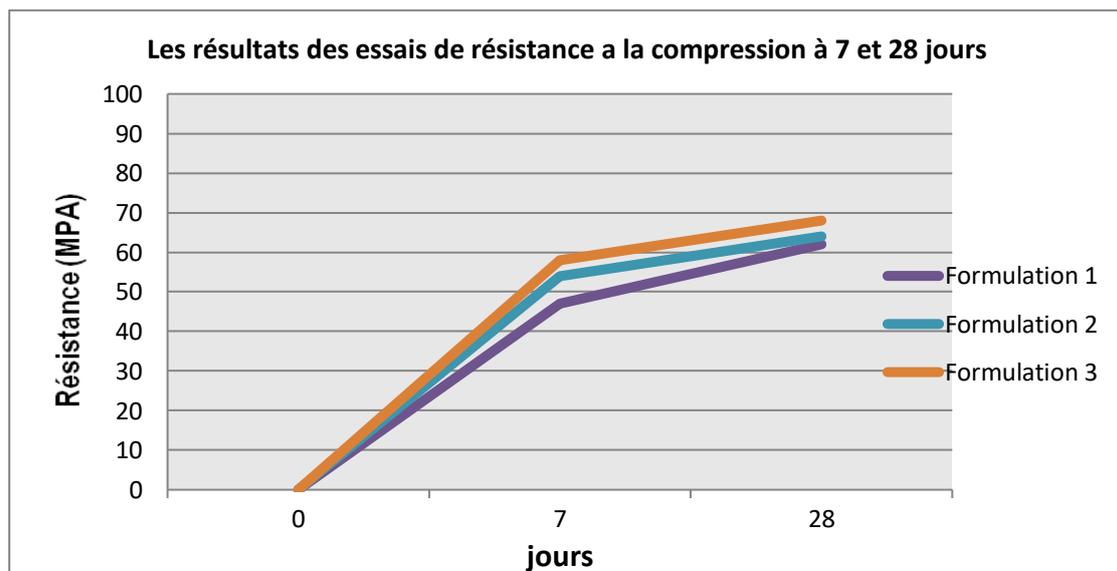


Figure IV-41:les résultats des essais de résistance à la compression à 7 et 28 jours.

Chapitre IV: 1-Résultats et interprétation

2- Etude comptable

IV.5.1. Interprétation des résultats

La courbe ci-dessus, représente les résultats de la résistance à la compression des éprouvettes pour chaque âge (7 et 28 jours), nous remarquons que la résistance mécanique augmente en fonction de l'âge de durcissement.

Nous constatons que la résistance à la compression est plus importante dans la dernière formulation par rapport aux autres formulations étudiés.

IV.6. L'effet du rapport G/S et E/C sur le béton

Tableau IV- 25: rapport G/S et E/C.

Formulations	G/S	E/C
Formulation 1	1.6	0.34
Formulation 2	1.7	0.37
Formulation 3	1.9	0.33

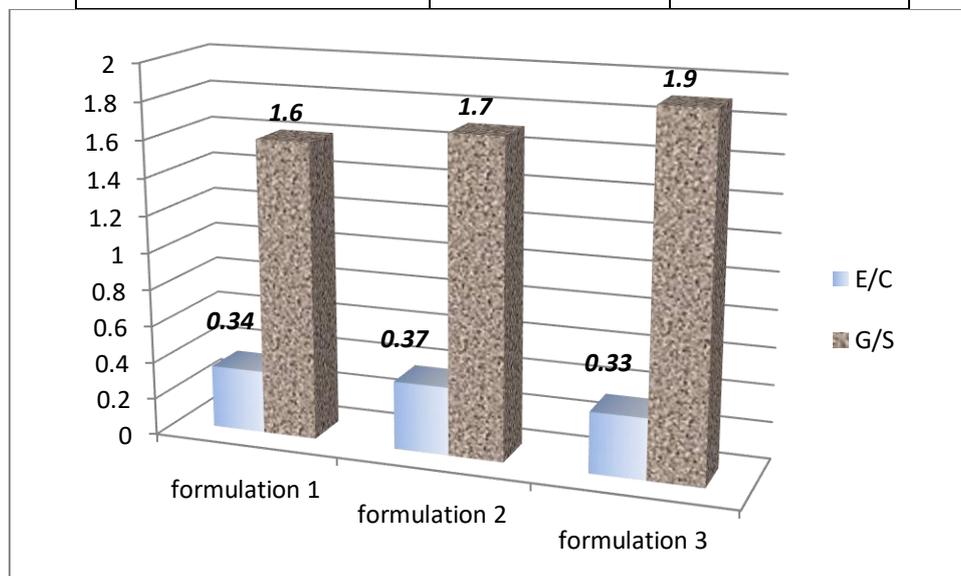


Figure IV42: rapport G/S et E/C.

D'après les valeurs obtenues nous observons qu'il y a une augmentation de la résistance à la compression en fonction de l'augmentation du rapport G/S (gravier/sable), ce phénomène est dû essentiellement à la présence d'une quantité importante du gravier qui offre au béton une résistance très remarquable.

Chapitre IV: 1-Résultats et interprétation

2- Etude comptable

D'autre part nous constatons qu'il y a aussi une augmentation de la résistance à la compression en fonction de la diminution du rapport E/C (eau/ciment), cependant l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais, malgré son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation.

IV.7. Les résultats de la réalisation de la traverse au niveau de l'entreprise INFRARAIL



Figure IV-43: la traverse réalisée à partir de nos formulations étudiées.

Après un parcours d'étude des formulations des bétons et de caractérisation des matériaux au niveau du laboratoire, nous avons pu réaliser nos prototypes de traverses au niveau de l'entreprise INFRARAIL, ainsi après un processus de fabrication ¹¹ de ces derniers, nous avons obtenue des excellents résultats du côté visuel et technique.

¹¹ Voir l'annexe [C]

Chapitre IV: 1-Résultats et interprétation

2- Etude comptable

Deuxième partie

IV.8. Étude comptable

Après avoir obtenue et classé nos résultats dans le chapitre qui précède une étude comptable est indispensable pour évaluer le coup de notre nouvelle formulation conçue pour le domaine de préfabriqué.

Le bilan comptable est un document normalisé qui permet de connaître la situation financière d'une entreprise, une comparaison avec la formulation de l'entreprise INFRARAIL et nécessaire pour évaluer cette situation.

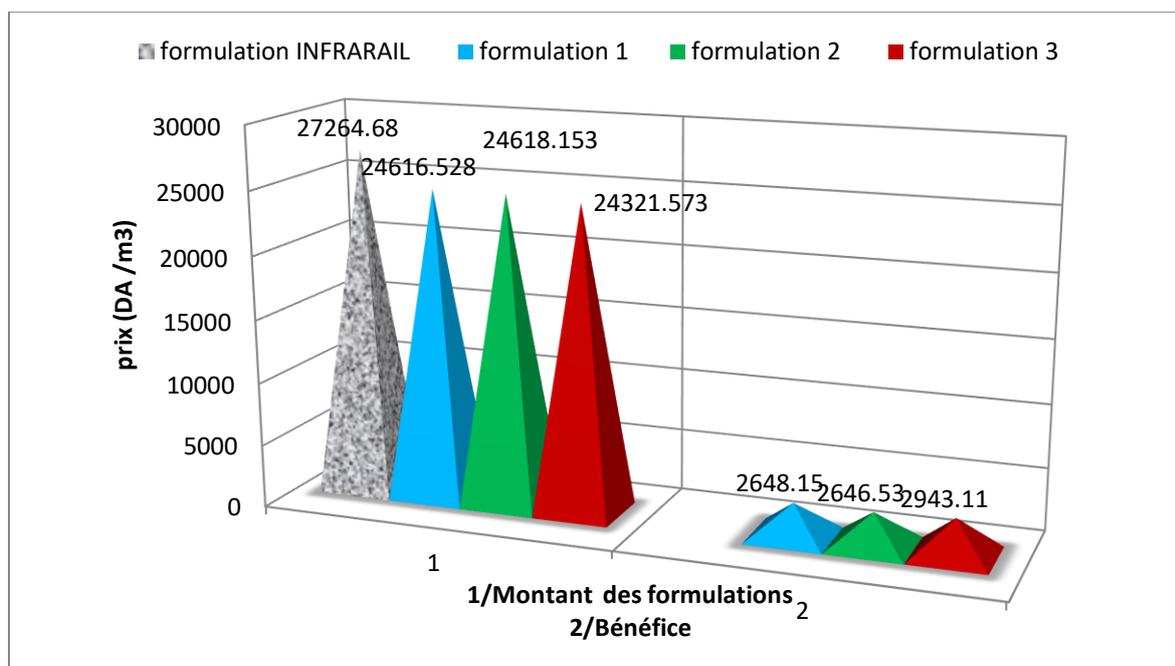


Figure IV-44 :montant et bénéfice de nos formulations étudiées avec la formulation de l'entreprise INFRARAI.

Chapitre IV: 1-Résultats et interprétation

2- Etude comptable

IV.8.2. Interprétation des résultats

D'après l'histogramme illustré ci-dessus, nous remarquons que la formulation du béton actuel de l'entreprise INFRARAIL est fixé 27264.68 DA, en revanche les trois formulations des bétons étudiées coûtent moins cher que cette dernière avec un bénéfice aux environs de 3000(DA).

IV.3. Conclusion

D'après la collecte des résultats obtenus lors des essais expérimentaux sur nos bétons à l'état frais et durci, nous pouvons faire les conclusions suivantes :

- ✓ L'ajout des deux l'adjuvant superplastifiants ont amélioré le comportement des différents bétons au jeune âge et leur permet de dépasser la résistance visée à 28 jours.
- ✓ Nous avons remarqué qu'il existe une relation proportionnelle entre le rapport G/S et la résistance du béton, c'est à dire à chaque augmentation du rapport G/S, nous constatons une augmentation concomitante de la résistance mécanique et c'est l'inverse pour le rapport E/C et la teneur en air.
- ✓ La présence des fines dans le sable de carrière utilisé a diminué les pores et les vides dans le béton, ce qui influe positivement sur la qualité de ce dernier.
- ✓ L'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrasons dans les bétons élaborés donne une meilleure résistance mécanique, cela s'explique par la continuité de la granulométrie des agrégats, qui assure au béton un bon remplissage et une bonne compacité.

Donc nous pouvons faire une conclusion que tous les résultats obtenus affirment que les bétons étudiés sont de très haute qualité.

Finalement, une étude comparative sur le coût d'un mètre cube de nos nouvelles formulations et la formulation actuel de l'entreprise INFRARAIL, nous a permis d'évaluer un gain lucratif pouvant atteindre 3000 DA par mètre cube, ce qui implique que nous avons pu réaliser un produit compétitif offrant une satisfaction au rapport « qualité /prix ».

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce sujet d'étude nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la technologie des bétons Ordinaires et béton adjuvanté à base de sable corrigé (sable roulé et sable de carrière) ainsi l'utilisation de la méthode de formulation « Dreux **Gorisse** » une méthode qui nous a permis de déterminer d'une façon simple et rapide une formulation adaptée à notre étude, nous avons aussi eu l'occasion d'élaborer au sein de l'entreprise le processus de fabrication de la traverse en béton armé de la matière première jusqu'au produit final « La **traverse** ».

L'obtention d'un béton ordinaire et béton adjuvanté de bonne qualité consiste à optimiser sa formulation pour avoir une fluidité désirée, sans ségrégation ni ressuage, et une stabilité suffisante avec un prix de revient réduit.

À travers cette recherche nous avons élaboré des différentes formulations réalisées par la correction des sables de carrières, en caractérisant leurs comportements physico-mécaniques par des essais à l'état frais et durcis, leurs résultats obtenus nous ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- ✓ La connaissance de l'influence de chaque constituant est nécessaire pour avoir des bétons ayant des caractéristiques recherchées.
- ✓ L'usage du béton étudié dans la fabrication de la traverse au niveau de INFRARAIL nous a permis d'atteindre avec satisfaction Les objectifs visés.
- ✓ Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8 et une combinaison de deux sables utilisés permettent d'obtenir un module de finesse parfait.
- ✓ Ce travail nous a permis de mettre en valeur l'utilisation des sables combiné.
- ✓ La méthode de formulation « Dreux **Gorisse** » permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée.
- ✓ Tous les bétons étudiés, présentent des valeurs de vitesse de propagation sonore supérieure à 4200 m/s, ce qui correspond à un béton de de très haute résistance.
- ✓ La résistance à la compression augmente lorsque le rapport E/C (eau/ciment) diminue, et la meilleure résistance obtenue avec un E/C=0.33.
- ✓ La résistance à la compression augmente, en fonction du rapport G/S (gravier/sable), et la meilleure résistance obtenue avec G/S=1.9.

Conclusion générale

- ✓ La présence des fines dans le sable de carrière utilisé a diminué les pores et les vides dans le béton, ce qui influe positivement sur la qualité de ce dernier.
- ✓ La continuité de la granulométrie des granulats utilisés, assure au béton un bon remplissage et une bonne compacité par conséquent une meilleure résistance mécanique.
- ✓ L'ajout des deux l'adjuvant superplastifiants ont amélioré le comportement des différents bétons au jeune âge, permettant ainsi d'atteindre une résistance de 68 Mpa à 28 jours.
- ✓ Les sables de carrière utilisés peuvent être corrigés par les sables roulés provenant du carrière TERGA et INFRARAIL, pour une formulation des bétons de qualité surtout avec le problème d'épuisement en ressources naturelles.

Au terme de ces études expérimentale, nous pouvons conclure d'avoir obtenu des bétons de très haute qualité, et par conséquent pouvoir réaliser un gain pouvant atteindre 3000 DA par mètre cube, concrétisant ainsi une satisfaction au rapport « qualité /prix ».

Perspective et recommandation

Nous suggérons l'utilisation de l'adjuvant CHRYSO ® Quad 820 car c'est l'adjuvant parfait pour l'obtention d'un béton de bonne qualité avec des intérêts très importants du point de vue technique et économique

Aussi nous recommandons l'utilisation des graviers dont leurs diamètres sont de la classe 15/25, compatibles avec le ferrailage utilisé, ainsi une introduction d'une combinaison des adjuvants dans la formulation du béton.

En perspective, pour continuer d'avancer sur cet axe de recherche il serait intéressant d'étaler cette étude sur d'autres types d'additions comme la pouzzolane, pour étudier leurs influences sur le comportement physico-mécanique du béton, il serait aussi judicieux d'étudier l'influence de la température sur le développement des résistances et de chercher d'autres techniques qui permettent d'améliorer les performances du béton.

D'autre part il est passionnant d'étudier le comportement mécanique du béton en appliquant la mécanique de rupture comme le fluage, le choc, la traction et d'autres essais mécaniques en ce qui concerne les propriétés intrinsèques du béton comme le module de Young.

Enfin, il serait utile de réaliser des essais de durabilité à long terme notamment dans les milieux agressifs.

Références

- [1] «INFOCUMENTS,» [En ligne]. Available: <https://www.infociments.fr/glossaire/beton>.
- [2] B. S. e. B. Fatouma, *La valorisation de sable de dune (sable de Naama) -Durabilité et comportement mécanique*, 2017.
- [3] «Maconnerie BILP,» [En ligne]. Available: <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel-materiaux/beton/standard>.
- [4] Durabilité des ouvrages en béton. Tome 1, 2005, pp. p.7-30.
- [5] D. Mounsif, *Comportement des bétons : expérimentation et modélisation des paramètres technologiques influant les propriétés physico-chimiques, mécaniques et rhéologiques des bétons frais et durcis*, 2018.
- [6] B. I. e. B. Abdessamie, *Etude de la durabilité des bétons léger fibrés à base des granulats pouzzolaniques sous l'effet de la température*, 2017.
- [7] M. –. Khelifa, *ormulation et caractérisation déco –bétons renforcés aux fibres d'alfa pour des bâtiments verts et durables*, Université Ferhat Abbas Sétif / Université Paris Seine – Université Cergy-Pontoise, 2017.
- [8] M. z. e. a. kameche, *Béton à Haute Performance (B.H.P.)*, Aïn Temouchent, 2018.
- [9] M. T. KARINA, *Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers*.
- [10] Aggarwal L.K,*Bagasse-reinforced Cenent Compsites Cenent and concret composite*, 1995.
- [11] S. M. E. A. B. HACENE, *CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RESISTANCE CARACTERISTIQUE DES BETONS DE LA REGION DE TLEMCCEN*, 2009.
- [12] A. M. M. A. e. A. ABDARROUF, *Elaboration et caractérisation physico-mécanique du béton (ordinaire et adjuvanté) dont les matières premières sont de différentes provenances*, 2017.
- [13] M. B. CHERIF, *Influence des particules fines sur les caractéristiques mécaniques et le retrait d'un béton ordinaire*, 2011.
- [14] TOME 1-Les constituants des bétons et des mortiers collection technique C I M BETON, La Défense 92974 Paris.
- [15] B. Zeyneb, *Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux (calcaire) sur le comportement mécanique du mortier*.
- [16] C. L, *mise en oeuvre et emploi des matériaux de construction*, paris: eyrolles 61-bd saint-germain.

- [17] «wikitp,» [En ligne]. Available: <https://www.wikitp.fr/essais-mateacuteriaux-granulaires/essai-los-angeles>.
- [18] B. Layachi, *le recyclage du bétons , solution pour le développement durable ,formulation et comportement physiques et mecaniques desbétons a bases de ces recyclés*, 2009.
- [19] F. J. DREUX G, « Nouveau guide du béton et de ses constituants» Huitième édition, 1998.
- [20] S. A. J. DUPAIN R., « granulats, sols, ciments et bétons », 4ème édition , 2009.
- [21] B. J. e. O. J.P, Tome 2 les Bétons : bases et données pour leur formulation., Paris: Edition Eyrolles, 1997.
- [22] F. d. Larrard, *Construire en béton : l'essentiel sur les matériaux.*, Paris.: Edition Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 2002, p. p.197.
- [23] K. ABIR, *l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriété des bétons auto- plaçant à l'état frais et durci*, Msila, Université Mohamed Boudiaf , 2015-2016.
- [24] R. L. e. D. M. amine, *influence des differentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire*, boumerdes, Université de M'hamed bougera, 2016/2017.
- [25] Boutiba.A, *accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci*, Boumerdes. , Université M'hand Bougarra.Physique et mécanique des matériaux. , p. 136p.
- [26] M. B. B. Ahmed, *influence de la granularité (classe granulaires 4/22.4) sur les caractéristiques des granulats et sur les propriété des béton ordinaires*, CONSTANTINE, UNIVERSITE MENTOURI , 2011.
- [27] Entreprise INFRARAIL, AIN TEMOUCHENT, 2020.
- [28] M. G. F. & M. B.-O. A., *Travaux pratiques*, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID .GENIE CIVIL SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION, 2007 - 2008.
- [29] R. Salima, *Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux*, Biskra, Génie Civil Option : MODELISATION DES MATERIAUX ET STRUCTURES Université Mohamed Khider.
- [30] *TP N 7: etude des ciments*, Saint pierre, I.U.T .de génie civil .
- [31] N. BOUALLA, *l'influence de l'ajout de la pouzzolane sur les caractéristiques physico- chimiques des ciments .*, Oran, Université des sciences et de la technologie , 2011.
- [32] M. G. F. & M. B.-O. A, *Travaux pratiques masses_volumiques_liant*, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION, 2007 – 2008.

- [33] M. CALLAUD, Les matériaux de construction.version n°2 Tome III, 2003 .
- [34] B. Y. -. G. Abdelhak, *Etude de l'effet cyclique de l'immersion dans le milieu agressif sur la durabilité du béton (cas de la nappe phréatique de Ouargla)*, Ouargla, Université KASDI Merbah –Faculté des Sciences Appliquées Département de Génie Civil et d'Hydraulique , 2013 /2014.
- [35] M. T. e. al, *CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES ETDYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ENTRE LES DIFFERENTES UNITES GEOMORPHOLOGIQUESDU LITTORAL DE LA C ASAMANCE (SENEGAL)*, 2019.
- [36] S. S. M. Imane, *Etude des caractéristiques physicochimiques du sable des dunes (cas sitesd'Adrar)*, Adrar, Université Ahmed Draïa .Faculté des Sciences et de la Technologie.Génie Civil Spécialité : Matériaux en Génie Civil, 2018-2019.
- [37] A. W. a. G. Abdelmalek, *Valorisation des sables locaux dans la formulation de béton ordinaire*, BOUMERDES, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA–Génie des Matériaux Option : Sciences des matériaux-pour la construction durable , 2015 / 2016.
- [38] A. D. H. BELKHIRI, *Contribution à l'étude des comportement mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses*, Djelfa, Université Ziane Achour , 2016.
- [39] AFNOR, *Norme Française P 18-555"Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables"*, 1990.
- [40] AFNOR, *Norme Française P 18 554, "Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux"*, 1990.
- [41] I. Siliana, *tp Série N°1 : Les propriétés physiques des granulats/ Coefficient d'absorption d'eau*, Département Génie Civil , 2017.
- [42] G. Y. e. T. Said, *ETUDE COMPARATIVE DE LA RESISTANCE ET DELA DURABILITE DES DIFFERENTS BETONS A BASE DE SABLE MODIFIE*, 2019.
- [43] M. B. CHERIF, *Influence des particules fines sur les caractéristiques mécaniques et le retrait d'un béton ordinaire*, Université A.Mira-BEJAIA, 2010/2011.
- [44] I. JOUDI-BAHRI, *(Influence des sables fillérisés calcaires sur les propriétés des bétons courants et superplastifiés. Un exemple tunisien)*, Université de lorraine, 2012.
- [45] AFNOR, *NF EN 933-9-Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 9 : Qualification des fines – Essai au bleu de méthylène.*
- [46] AFNOR, *NF EN 933-3-Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 3 : détermination de la forme des granulats - Coefficient d'aplatissement.*
- [47] A. A. K. N. Fadia, *AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES BPE À JEUNE ÂGE*, 2018.

- [48] H. B. –. POUDEVIGNE, *CERIB fiche 406*, 2004.
- [49] AFNOR, *NF EN 12350-7 -Essais pour béton frais - Partie 7 : teneur en air - Méthode de la compressibilité.*
- [50] AFNOR, *NF EN12390-7. Essai pour béton durci – Partie 7: Masse volumique du béton : indice de classement P 18-435.*
- [51] M. A. KORTEBY, *ESSAIS NON-DESTRUCTIFS TP N° 05*, Médéa, Université Dr Yahia Farès de Laboratoire de Béton Chargé de TP.
- [52] AFNOR, *EN 1250-4 : Détermination de la vitesse de propagation du Ultra Son –Partie 4 : indice de classement P18-418*, 1989.
- [53] K. b. h. wissam, *Effet de la carbonatation sur les mortiers à base de la pouzzolane et la poudre de marbre.*, AIN TMOUCHENT , Centre universitaire , 2019.
- [54] *FICHE AIDE MEMOIRE . Formulation complète de béton Méthode de DREUX GORISSE*, groupe des écoles . EIER – ETSHER .Laboratoire Génie Civil, 2004 .
- [55] M.-R. KHELIFA, *Formulation et caractérisation d'éco-bétons renforcés aux fibres d'alfa pour des bâtiments verts et durables*, 2017.
- [56] B. A. H. Nafissa, *ETUDE DE L'INFLUENCE DES GRANULATS POUZZOLANIQUES SUR LES CARACTERISTIQUES MECANIQUE DES BETONS LEGERS*, d'Ain-Temouchent, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib, 2017/2018.
- [57] AFNOR, *NF EN 12350-7: essais pour beton frais-partie 7:teneur en air-methode de compressibilité..*

ANNEXE [A]

Le domaine d'application de la traverse VAX U31 NAG est caractérisé par les paramètres suivants :

Ecartement normale De Avec combinaison de butées suivantes :	1435 mm (8 – 6 = 6 –8 pour rail UIC 54) (5 – 5 = 5 – 5 pour rail UIC 60).
Vitesse maximale théorique	160 Km/h
Charge à l'essieu	20 Tonnes
Travelage entre traverses	600 mm
Epaisseur de ballast sous la traverse	300 mm
Rail	UIC 54 / UIC 60

Viscosité de l'air à la température d'essai :

température	Masse volumique du mercure p hg	Viscosité de l'air n	$\sqrt{10} \times n \times 10$
c	g/cm ³	Pa.s	
16	13.560	0.00001800	0.0013416
17	13.560	0.00001805	0.0013435
18	13.550	0.00001810	0.0013454
19	13.550	0.00001815	0.0013472
20	13.550	0.00001819	0.0013487
21	13.540	0.00001824	0.0013506
22	13.540	0.00001829	0.0013524
23	13.540	0.00001834	0.0013543
24	13.540	0.00001839	0.0013561

Fiche technique du ciment de BENI SAF :



Groupe Industriel des Ciments d'Algérie

Société des Ciments de Béni Saf "S.C.I.B.S"

Gérée au titre d'un mandat de gestion par le Groupe Pharaon Commercial Investment Group Limited

Spa au capital social : 1.800.000.000 DA ش.ذ.ا. - رأسمالها الاجتماعي

RC N° 0969420B05 I.F N° 099846084203346 N° Article d'imposition : 46232600011

Fiche technique

DESIGNATION : Ciment CEM II/A-P 42.5N

REFERENCE : Ciment expédié durant le mois du Janvier 2019

1. SPECIFICATION

Essais physico Mécanique	Valeurs Mesurées	Norme NA 442/2013
SS Blaine Cm ² /g	3466	-
Consistance %	25.98	-
Début de prise (mn)	168	≥ 60 mn
Compression 02 jours (N/mm ²)	14.33	≥10.0
Compression 07 jours (N/mm ²)	30.51	-
Compression 28 jours (N/mm ²)	45.68	≥ 42.5
Flexion 02 jours (N/mm ²)	3.29	-
Flexion 07 jours (N/mm ²)	5.49	-
Flexion 28 jours (N/mm ²)	7.09	-
Expansion à chaud sur pâte (mm)	0.70	≤ 10 mm

Composition chimique ciment (%)	Valeurs Mesurées	Norme NA 442/2013
Perte au feu	1.83	-
CaO libre	1.03	-
SiO ₂	28.68	-
Al ₂ O ₃	5.56	-
Fe ₂ O ₃	3.11	-
CaO	56.64	-
MgO	1.08	-
SO ₃	1.98	≤ 3.5
Chlorures	0.035	≤ 0.1
Insolubles	8.56	-

2. DOMAINE D'UTILISATION LE CIMENT

CEM II/A-P 42.5N :

Ce ciment est plus couramment utilisé dans :

- Travaux nécessitant une résistance initiale élevée (Décoffrage rapide).
- Béton en élévation, armé ou d'ouvrage courant.
- Fondations ou travaux souterrains en milieux non agressifs.
- Dallages, sols industriels.
- Maçonneries
- Stabilisation des sols

3. DISPOSITION PARTICULIERE :

Mode de Stockage du ciment

Le ciment est conservé dans des silos en béton étanches à des températures comprises entre 40 et 50 °C quand le ciment est frais.

Mode de livraison :

- En sacs de 50 kg par camions et wagons scellés
- En vrac par camions citernes (cocottes) et wagons citernes scellés

Emballage :

Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis munis d'une valve permettant le remplissage du ciment par injection. Le système de fermeture garantit l'inviolabilité du sac

4. RECOMMANDATIONS POUR L'EMPLOI :

- Il est recommandé de stocker le ciment dans des endroits étanches secs.
- Lors des travaux en saisons chaudes, arroser régulièrement le béton.
- Utiliser des agrégats propres (sable, gravier)
- Respecter le dosage ciment - eau - agrégats.
- Utiliser un vibreur ou (toute autre machine) lors des coulées de grande masse.



Directeur Général de la SCIBS
 LE DIRECTEUR GÉNÉRAL
 SCIBS
 SIMON Basile Pierre

Adresse Siège social : Sidi-Sohbi Beni Saf Wilaya de Ain Témouchent Algérie
 Tél. : (213) 43.64.59.71 & (213) 43.64.59.76 / Fax : (213) 43.64.39.74
 Site Web : www.scibs-dz.com / E-mail : dg.scibs@scibs-dz

ANNEXE [B]

L'essai de l'équivalent de sable



L'essai de bleu de méthylène



La fiche technique de l'adjuvant SIKA® VISCOCRETE® 3045

Construction	pH	5 ± 1
	Teneur en ions Cl⁻	≤ 0,1 %
	Teneur en Na₂O Eq.	≤ 2,5 %
	Extrait sec	36,4 ± 1,8 %
	Conditions d'application	
	Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,25 à 2,5 % du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel du SIKA VISCOCRETE 3045 : 0,3 % à 0,8 %.
	Mise en œuvre	SIKA VISCOCRETE 3045 est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
	Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.
	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 correctement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre les substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. 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.»

Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08



La fiche technique de l'adjuvant CHRYSO® Quad 820

Fiche technique

CHRYSO® Quad 820 Superplastifiant haut Réducteur d'eau



CHRYSO® Quad 820 est un Superplastifiant haut réducteur d'eau de dernière génération. Cet adjuvant fait appel à nos avancées les plus récentes dans la synthèse des molécules afin d'apporter :

- une large plage de dosage,
- un fort potentiel de réduction d'eau,
- du maintien d'ouvrabilité,
- une cohésion du béton.

CHRYSO® Quad 820 permet l'utilisation de sables difficiles. Cet adjuvant peut également être utilisé en combinaison avec d'autres produits de la gamme CHRYSO®.

Informations indicatives

- Nature : liquide
- Couleur : Brun vert
- Densité (20° C) : 1.075 ± 0.020
- pH : 4.50 ± 2.00
- Extrait sec (halogène) : 32.70 % ± 1.50 %
- Extrait sec (EN 480-8) : 32.70 % ± 1.50 %
- Durée de vie : 18 mois

Informations normatives et réglementaires

- Ce produit satisfait aux exigences de la norme NF EN 934-2 « ADJUVANTS DU BETON ».

Domaines d'application

- Tous types de ciments
- BHP et BTHP
- Bétons plastiques, très plastiques, fluides
- Bétons pour ouvrages très ferrailés
- Bétons précontraints
- Dallages, sols industriels
- Coulis d'injection

Précautions

Stocker à l'abri du gel.
Eviter l'exposition prolongée à de fortes chaleurs. En cas de gel, ce produit conserve ses propriétés. Après dégel, une agitation efficace est nécessaire jusqu'à l'obtention d'un produit totalement homogène.

Mode d'emploi

Plage de dosage : 0.2 à 2.0 kg pour 100 kg de ciment.
Il est courant de doser ce produit à 0.8 % du poids du ciment.
Ce produit doit être incorporé de préférence dans l'eau de gâchage ou en fin de malaxage.
Dans le cas d'un ajout différé sur béton frais, dans un camion toupie, il est nécessaire de malaxer à grande vitesse puis à vitesse lente (avec un minimum de 3 minutes, pour chaque régime).
L'efficacité maximale de ce produit doit être déterminée après des essais de convenance prenant en compte les caractéristiques rhéologiques et les performances mécaniques souhaitées pour le béton.

Sécurité

Ce produit est classé « sans danger ». En cas d'exposition, le port d'équipements de protection individuelle est recommandé.
Avant toute utilisation, consulter la fiche de données de sécurité (sur le site internet www.chryso.dz).

Les informations contenues dans la présente fiche technique sont l'expression de nos connaissances et de nos résultats d'essais effectués dans un souci constant d'objectivité. Elles ne peuvent cependant, en aucun cas, être considérées comme garantissant une garantie ou comme impliquant une responsabilité en cas d'application défectueuse ou d'utilisation de nos produits en dehors des stipulations du paragraphe « Application » de la présente fiche technique. Des essais préalables à chaque application doivent être effectués par les utilisateurs et permettre ainsi de vérifier que les modes d'emploi et les conditions d'application données sont satisfaisantes. Notre assistance technique se tient à la disposition des utilisateurs. Consulter la version la plus récente de la fiche technique, disponible sur www.chryso.dz

SPA CHRYSO HYDRIFO – Lot N°68 Zone Industrielle Oued Smar – 16° 12' Alger – A. G. S. R. E.
Tel : +213 (0)23 91 03 00 – Fax : +213 (0)23 93 02 76 – email : chryso@chryso.com

Page 1/1



23/05/2019

ANNEXE [C]

Processus de fabrication de la traverse



La pesé des constituants



malaxage



Préparation du ferrailage



Remplissage des moules



Vibreux



Démoulage



Produit finale « La travers »

ANNEXE [D]

Le prix des matériaux utilisés (DA)/1m³ :

Sable roulé	700
Sable de carrière	565
Gravier 4/8	1100
Gravier 8/16	1400
Adjuvant (L)	145 (sika3045) 220 (quad820)
Ciment (kg)	56.48
L'eau de gâchage (L)	85,5