

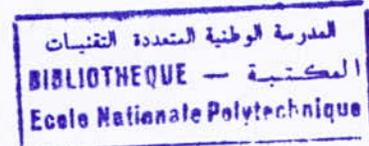
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département : Génie Civil



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Projet de Fin D'Etudes

*Présenté pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en Génie civil*

Thème

L'influence du Granulat sur
la Résistance
à la Compression des Bétons

Etudié Par :

*Mr LABIOD Mohamed
Mr HINANA Mohamed*

Encadré Par :

*Mme A. CHEIKH
Mr R. BOUTEMEUR*

Promotion 2000

ENP – 10 Avenue Hacène Badi – EL HARRACH - ALGER

ملخص :

إن الغاية المنشودة من هذا المشروع هي الدراسة النظرية و التجريبية لتأثير الحبيبات (حصيات، رمل) على مقاومة الخرسانة للضغط.
يثبت منشأ أحد المكونات، و يغير الآخر لتوضيح تأثيره على المقاومة.
كخاتمة لهذا المشروع أعطيت مناقشات و تفسيرات للنتائج المحصل عليها.

Résumé :

L'objectif de ce projet est l'étude théorique et expérimentale de l'influence des granulats (gravier, sable) sur la résistance à la compression du béton.

L'origine d'un constituant étant fixée, le deuxième est variée pour mettre en évidence son influence.

Des discussions et des interprétations des résultats obtenus sont ensuite rapportées.

Abstract :

The objective of this project is the theoretical and experimental study influence of the aggregates (gravel, sand) on the compressive strength of the concrete.

The origin of a component being fixed, second is varied to highlight its influence.

Discussions and interpretations of the results obtained are then reported.

Mots clés :

Béton — Essais — Résistance — Compression — Granulats — Ciment — Adhésivité.

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère et mon père

Mes frères et mes sœurs et leurs enfants

Toute la famille HINANA

*Mes amis à Bouraui, sur tous : mon binôme Mohamed, Abderrahmen , Salim, , Amine,
Lotfi, Yacine, Djalel, Abdelhamid, Bachir.*

Mes amis à METLILI, sur tous : Nadir, Merzek, Mohamed, Salim, Abdelhamid.

Tous les enseignants et les étudiants du département génie civil

Tous les travailleurs de l'ENP

HINANA Mohamed



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mon père pour ses sacrifices et précieux conseils.

A ma mère pour sa présence et son assistance.

A la mémoire de mon grand-père Slimane

A mes sœurs Sakina, Sabah, Houria et Safia

A mes frères Abdrachide, Abd el ghani et Ali

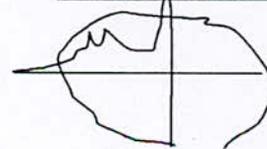
A toute la famille LABIOD.

*A tous mes amis surtout : Mohamed, Abderrahmane, Salime, Mounir, Yassine, Farouk,
Soufiane, Abdeldjalel, Djelloul, Lotfi, Amine, Boubakeur, Salah, Ayyache.*

A toute la Promotion de 5^{ème} année Génie Civil

Et à tous ceux qui aiment l'ALGERIE.

Mohamed LABIOD





Remerciements

Nous tenant à remercier Mme **A. Cheikh** et **M. R. Boutemour** pour leurs suivis, aides et conseils durant l'élaboration de ce modeste travail.

Le capitaine **A. Kouloughli** pour son aide précieuse qui nous a permis d'utiliser le laboratoire du CETIM.

Les techniciens : **Bouzaher, Ariouat, Derbal**, pour leurs aides et conseils.

Les ingénieurs : **Abdi Mohamed, Saad, Ben Mehdi Abdesselem, Hedj Abdelkader** et **Ghrieb Abderrahmane** pour leurs aides.

Ainsi qu'à tous ceux qui ont aidé à la réalisation de ce travail, qu'ils soient assurés de notre immense gratitude.

Nos exprimons notre profonde reconnaissance à nos enseignants d'avoir accepté de faire parti de ce jury.

Nous remercions sincèrement, enfin, tous les enseignants au sein de notre département Génie Civil qui ont contribué à notre formation.

LABIOD Mohamed
HINANA Mohamed

Sommaire

Chapitre I- Introduction	01
Objectif de l'étude	01
Chapitre II- Contrôle de qualité des constituants du béton	
I Introduction	03
II Le ciment	03
II.1. Définition.....	03
II.2. Analyse chimique.....	03
II.3. Analyse physique.....	04
II.4. Résistance mécanique.....	04
II.5. Conclusion.....	04
III Les granulats	05
III.1. Le rôle des granulats.....	05
III.2. Les caractéristiques des granulats.....	05
III.2.1 Les caractéristiques géométriques.....	05
III.2.2 Les caractéristiques physiques.....	06
III.2.3 Les caractéristiques mécaniques.....	09
III.3. les différents types de granulats.....	10
III.3.1 Les granulats naturels.....	10
III.3.2 Les granulats artificiels.....	10
III.3.3 Les granulats très légers.....	11
III.4. L'adéquation granulats / béton.....	11
IV Eau de gâchage	12
IV.1. Caractéristiques physiques.....	12
IV.2. Caractéristiques chimiques.....	12

Chapitre III- Méthodes de composition des bétons

I Introduction	14
II Quelques méthodes de composition des bétons	14
II.1. Méthode de Bolomey.....	14
II.2. Méthode d'Abrams.....	15
II.3. Méthode de Valette.....	16
II.4. Méthode de Joisel.....	17
II.5. Méthode de Dreux-Gorisse.....	17
II.6. Méthode de Faury.....	20
III. Conclusion	22

Chapitre IV- Paramètres influençant la résistance à la compression

I Introduction	23
II Paramètres influençant la résistance à la compression	23
II.1. Influence des granulats.....	23
II.1.1 La propreté.....	23
II.1.2 La granularité.....	24
II.1.3 Epaisseur maximale de la pâte.....	25
II.1.4 Adhérence mortier-gravier.....	29
II.2 Influence d'autres paramètres.....	30
II.2.1 La qualité du ciment.....	30
II.2.2 Le rapport C/E.....	30
II.2.3 L'air entraîné.....	31
II.2.4 La conservation des éprouvettes.....	31

Chapitre V : Etude expérimentale de l'influence des granulats sur la résistance à la compression

I. Introduction	33
II. Procédure du travail	33
II.1. Méthode de composition.....	33
II.2. Le malaxage.....	34

II.3. Mesure et contrôle de l'ouvrabilité	34
II.4. Mise en œuvre des éprouvettes.....	34
II.5. Conservation des éprouvettes.....	34
II.6. surfaçage des éprouvettes.....	34
II.7. Essai de compression.....	34
III. Etude expérimentale sur l'influence des graviers.....	35
III.1. Etude des mélanges.....	35
III.1.1 Etude de l'influence de l'épaisseur maximale de la pâte.....	51
III.1.2 Etude de l'influence de l'adhérence mortier-granulats.....	52
III.2. Résultats et discussions.....	55
III.3. Conclusion.....	58
IV. Etude expérimentale sur l'influence du sable.....	58
IV.1. Etude des mélanges.....	58
IV.1.1 Mélanges 1 et 2.....	59
IV.1.2 Mélanges 3, 4 et 5.....	67
IV. 2. Résultats et discussions.....	74
IV. 3. Conclusion.....	76
Chapitre VI :Conclusion générale.....	77

Annexes

- Annexe -A-
- Annexe -B-

Références bibliographiques

الجامعة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Chapitre I :

Introduction

Introduction :

Durant ces dernières années, la connaissance approfondie des propriétés des matériaux ainsi que leurs comportements, revenant essentiellement au développement des techniques expérimentales et des méthodes de calcul, a conduit à l'amélioration de la qualité du béton.

Pour cela et dans le but d'améliorer la résistance du béton à la compression (qui est la qualité essentielle, pour ne pas dire la seule à rechercher), il convient de connaître avec précision le rôle que joue chaque constituant, sa participation ainsi que son influence sur la résistance finale du béton.

Parmi ces constituants, les granulats dont le béton tire une grande partie de sa résistance, ont une influence considérable sur la résistance en fonction de leurs aspects topologiques (forme, dimension, volume occupé par le granulat) et mécaniques (liaison de la matrice avec les granulats et propriétés mécaniques du granulat lui-même)

Ces granulats qui sont le sable et les graviers doivent s'associer pour donner un béton durable et de bonne qualité.

Objectif de l'étude :

Notre étude consiste en l'étude théorique et expérimentale des paramètres pouvant avoir une influence sur la résistance du béton à la compression.

Notre intérêt s'est porté sur les granulats (gravier + sable) pour les quels on veut mettre en évidence :

- L'influence des graviers seuls sur la résistance à la compression du béton, en particulier l'influence de l'adhérence mortier - gravier et l'influence de l'épaisseur maximale de la pâte du ciment (la distance moyenne entre deux gros granulats adjacents).

- L'influence du sable seul, en particulier l'influence du module de finesse (M_f) et de l'équivalent de sable (ES).

Pour estimer ces paramètres et mettre en évidence l'importance de chacun d'entre eux, nous avons, après le premier chapitre «introduction générale», abordé dans le chapitre II «Contrôle de qualité des constituants du béton» les notions, définitions de base des constituants du béton (ciment + graviers + eau) ainsi que leurs essais d'identification.

Le chapitre III : « Méthodes de composition du béton » est une synthèse des différentes méthodes de composition de béton.

Le chapitre IV : « Paramètres influençant la résistance du béton » est une étude théorique qui permet de rappeler les principaux paramètres susceptibles de modifier la résistance du béton.

Le chapitre V : « Etude expérimentale de l'influence des granulats sur la résistance du béton » qui est le plus important de notre travail, résume l'étude expérimentale qui a été effectuée sur l'influence de chacun des granulats (gravier et sable) sur la résistance de

l'ensemble, il rapporte les résultats obtenus ainsi que certaines interprétations que l'on a pu faire.

Notre travail s'achève par une « conclusion générale » qui permet de faire une synthèse du travail effectué, des résultats obtenus et des perspectives futures.

Chapitre II :

*Contrôle de qualité
des constituants du
béton*

I. Introduction :

Les granulats constituent le squelette granulaire, en principe inerte, du béton est agglomérés par le liant, qui doit être le plus compact et le plus durable possible.

II. Le Ciment :

II.1. Définition :

C'est un liant qui a la caractéristique d'être constitué par des poudres fines formant avec l'eau une pâte capable par hydratation de faire prise, puis de durcir progressivement d'où le nom de liant hydraulique.

Dans le cadre de notre étude, nous utiliserons un ciment CPJ 45 à base de Clinker qui est obtenu par cuisson à haute température (1450 °C) et broyage d'un mélange minéral. (Calcaire + Argile).

Le Clinker que nous utilisons et qui est obtenu par broyage avec un peu de Sulfate de chaux (le gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des portlands qui confèrent au ciment de ce groupe leurs propriétés et caractéristiques.

Nous utiliserons pour notre étude un ciment CPJ 45 qui contient au moins 73% de Clinker, 7% de gypse, 14 à 20% d'ajout et dont les caractéristiques chimiques et physique sont données dans les tableaux ci-dessous :

II. 2. Analyse chimique :

Eléments	Pourcentage	Eléments	Pourcentage
SiO ₂	21.13	SO ₃	2.44
CaO	62.90	Na ₂ O	//
MgO	1.11	P.A.F	2.44
Fe ₂ O ₃	3.04	Ca.OL	0.27
Al ₂ O ₃	5.43	R.I	0.97

II.3. Analyse physique :

Densité (g/l)	1064	
SSB (cm ² /g)	3032	
Expans (mm)	0.68	
Temps de prise (h)	début	2.16
	fin	4.02

II.4. Résistances mécaniques :

	Flexion (MPa)	Compression (MPa)
02 jours	3.50	12.45
07 jours	6.30	30.83
28 jours	7.80	47.27

II.5. Conclusion:

Le choix du ciment en fonction de la destination du béton de l'ouvrage est très important, et il portera principalement sur :

- ✓ Sa nature, sa teinte
- ✓ Ses résistances
- ✓ Son temps de prise
- ✓ Sa composition chimique
- ✓ Sa chaleur d'hydratation... etc.

III. Les Granulats :

III.1. Le rôle des granulats :

Le granulat, terme qui a remplacé celui d'agrégat dans les normes depuis 1983- norme de définition, NF P 18 301 – est constitué par un ensemble de grains minéraux appelés fines, sables, gravillons, ou cailloux, suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 80 mm.

Les granulats, qui sont généralement moins déformables que la matrice de ciment, s'opposent à la propagation des microfissures provoquées dans la pâte par le retrait. Ils améliorent ainsi la résistance de la matrice.

La nature des liaisons qui se manifestent à l'interface granulat/ pâte du ciment, conditionne les résistances mécaniques du béton.

Le choix d'un granulat est donc un facteur important de la compression du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

III. 2. Les caractéristiques des granulats :

III.2.1. Les caractéristiques géométriques :

a. Granulométrie :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.

Elle consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à maille carrée, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0.08 mm à 80 mm.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

Voir appareillage photos N°02, N°04

b. Classes granulaires :

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D , d et D étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains. Lorsque d est inférieure à 0.5 mm, le granulat est désigné 0/D.

La norme NF P 18 101 indique la terminologie usuelle des granulats selon leurs dimensions :

Fines (fillers) : dimensions inférieures ou égales à 0.08 mm ;
Sables : - plus petite dimension : $d < 1$ mm ;

- plus grande dimension : $0.08 < D < 6.3$ mm ;
- Gravillons : $d \geq 1$ mm ; $D \leq 31.5$ mm ;
- Cailloux : $d \geq 20$ mm ; $D \leq 80$ mm ;
- Graves : $6.3 < D < 80$ mm ;

De façon pratique, la composition du béton peut faire appel à une granulométrie discontinue (par exemple un sable 0/5 et un gravillon 15/25).

Cette formule permet de limiter les stockages d'un trop grand nombre de classes granulaires, en ne nécessitant que deux classes faciles à trouver chez les distributeurs de granulats.

La granulométrie continue (par exemple à partir de trois granulats 0/5, 5/15, 15/25) nécessite des dosages plus précis et des installations qui ne peuvent se concevoir que pour des chantiers importants ou des centrales de fabrication de béton.

c. Module de finesse :

La norme NF P 18 304 le définit de la façon suivante : « le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus, exprimé en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante : 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 5 – 10 – 20 – 40 et 80 ».

Le module de finesse utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Pour un sable 0/5, il est recommandé d'avoir un module de finesse voisin de 2.5.

d. Coefficient d'aplatissement :

Il caractérise la forme des granulats à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. La norme NF P 18 561 définit les modalités de sa mesure.

III. 2.2. Les caractéristiques physiques :

a. Masse volumique en vrac, encore appelée masse volumique apparente :

C'est la masse de granulat sec occupant l'unité du volume. Elle dépend du tassement des grains, et elle se mesure conformément à un mode opératoire précis (normes NF P 18 554 et 18 555).

Elle est comprise entre 1400 kg/m^3 et 1600 kg/m^3 pour les granulats roulés silico-calcaires.

La masse volumique réelle du granulat (vides entre grains exclus) est nettement plus élevée : de 2500 à 2600 kg/m^3 pour les mêmes granulats.

Sur chantier, les granulats contiennent un certain pourcentage d'humidité, d'autant plus importante que le granulat est fin.

La conséquence en est, pour les sables une expansion en volume désignée sous le nom de « foisonnement ». Il peut atteindre 20 à 25 % pour des teneurs en eau de 4 à 5 %, ce qui fausse les dosages lorsqu'on raisonne en volume.

Il est donc important de connaître la teneur en eau des granulats ; on peut l'obtenir rapidement sur chantier, par séchage et pesée.

Voir appareillage photo N°01.

b. Porosité :

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimée en pourcentage (%). La porosité des granulats courants est en général très faible. Cependant, la porosité est importante dans le cas des granulats légers.

c. Propreté des granulats :

Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses, dont la valeur limite acceptable est comprise entre 2 et 5 % selon le type de béton.

Dans le cas de cailloux et de gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0.5 mm (tamisage effectué sous eau). Dans le cas de granulats concassés, lorsque la valeur du passant à 0.5 mm est supérieure à 2%, il est nécessaire d'effectuer un essai complémentaire, appelé essai au bleu de méthylène.

Dans le cas des sables, la propreté est fournie par l'essai appelé « équivalent de sable » qui consiste à séparer le sable des matières argileuses ou fines, qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage. Elle peut également être évaluée par l'essai au bleu de méthylène.

La valeur limite inférieure de l'équivalent de sable (ES_V) prévue par la norme NF P 18 301 est de 75. Pour les sables de concassage et de broyage, cette valeur limite est de 65. Pour des sables très propres, on peut être amené à exiger un ES_V au moins égal à 80.

D'autres impuretés sont susceptibles de nuire aux qualités du béton. Il s'agit de particules organiques qui peuvent perturber son durcissement, de sels tels que les sulfates ou les sulfures, qui sont à l'origine de phénomènes de gonflement ou de taches.

Il faut souligner l'importance de la propreté des granulats sur la qualité du béton.

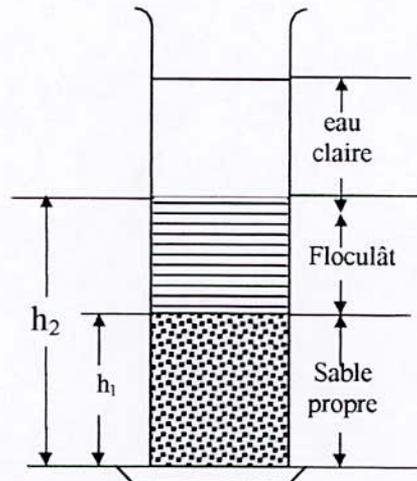
La présence de particules argileuses est en effet défavorable, autant à la mise en œuvre du béton qu'à ses performances finales, en abaissant l'adhérence de la pâte de ciment sur les granulats. Il faudra donc être particulièrement exigeant sur cette caractéristique, et au respect des spécifications la concernant.

Pour les sables, la propreté peut être contrôlée comme pour les graviers, mais de préférence par l'essai dit « Equivalent de sable » (ES). On agite une certaine quantité de sable dans une solution lavante (cette solution contient 11 g de chlorure de calcium anhydre, 480 de glycérine et 12 g de formaldéhyde pour 40 l d'eau) (l'opération se fait suivant un processus très exactement défini par la norme NFP 18-598); puis on laisse reposer.

La hauteur du dépôt de sable visible étant h_1 celle de la hauteur totale y compris le flocculat h_2 (fines en suspension), l'équivalent de sable est : $ES = 100 \cdot \frac{h_1}{h_2}$

La hauteur du dépôt de sable h_1 peut se mesurer à l'aide d'un piston lesté que l'on dépose doucement sur le sable après avoir lu la hauteur h_2 du flocculat. Mais dans le cas des

sables à béton relativement propres, la limite flocculat-sable se repère toujours facilement et on peut se contenter d'une lecture à vue pour h_1 comme pour h_2 .



Théoriquement les limites extrêmes des valeurs de ES. seraient :

- ◆ Pour le sable pur (pas de flocculat) $h_1 = h_2 \rightarrow ES = 100$
- ◆ Pour l'argile pure (pas de dépôt de sable) $h_1 = 0 \rightarrow ES = 0$

La valeur optimale de l'équivalent de sable (mesurée à vue sans l'aide d'un piston) est comprise entre 70 et 80, dans le cas des sables silico-calcaires tout au moins et ne contenant que peu de fines argileuses nocives dont la faible importance doit alors être confirmée par l'essai «au bleu» (norme NF-P 18.592).

La norme P18 541 spécifie les valeurs suivantes:

- ◆ $ES_V \geq 75$ valeur ramenée à 65 pour les sables broyés ou concassés.
- ◆ $ES_P \geq 70$ valeur ramenée à 60 pour les sables broyés ou concassés.

De même pour la construction d'ouvrages d'art pour lesquels la résistance caractéristique du béton est supérieure à 36 MPa ou pour des bétons de $R_c > 60$ MPa les valeurs exigées pour l'équivalent de sable sont respectivement :

- ◆ $ES_V \geq 80$ valeur ramenée à 75 pour les sables broyés ou concassés.
- ◆ $ES_P \geq 75$ valeur ramenée à 70 pour les sables broyés ou concassés.

Sur un plan pratique et comparatif, on peut estimer qu'un ES visuel inférieur à 65 ou ES piston inférieur à 60, correspond à un sable argileux présentant des risques de retrait ou de gonflement et devant être rejeté pour l'exécution de béton de qualité.

Un sable pour lequel on a ES visuel supérieur à 65 mais inférieur à 75 est très légèrement argileux mais permet la réalisation de béton de qualité courante pouvant présenter un retrait légèrement plus fort.

Les sables dont l'ES visuel est compris entre 75 et 85 (ou ES piston compris entre 70 et 80) conviennent parfaitement pour des bétons de haute qualité. Enfin pour les sables présentant des valeurs supérieures, signe d'un manque presque total de fines argileuses, on peut craindre un défaut de plasticité du béton qui devra compensé, de préférence sans majoration de E/C.

Voir appareillage photo N°03

III. 2.3. Les caractéristiques mécaniques :

Les caractéristiques mécaniques des granulats ne sont pas déterminées par des essais habituels de traction ou de compression. Par contre, il existe des essais tentant de reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats, par exemple le degré d'usure pour les granulats utilisés pour les bétons routiers.

a. Essai Micro Deval :

C'est un essai d'attrition qui se pratique sur des gravillons 4/6.3, 6.3/10 et 10/16, 500 gr de gravillons sont placés avec une charge de 2 à 5 Kg dans une jarre cylindrique, on fait tourner pendant 15 min. et on récupère le refus à 1.6 mm.

Le coefficient MDE = $100 \cdot (500 - p) / 500$.

Selon la norme NF P 18 572 le seuil est fixé à 35%.

Voir appareillage photo N°06.

b. Essai de Los Angeles :

Cet essai estime la résistance à la fragmentation par chocs et l'usure par frottements réciproques. Il se pratique sur les classes granulaires 4/6.3 ou 6.3/10 ou 10/16. On place un échantillon de 5 Kg de granulats et 7 à 11 boulets de 417 gr dans un tambour qui tourne selon un mode opératoire précis. On récupère ensuite le refus P au tamis 1.6 mm.

Le coefficient LA = $100 \cdot (5000 - P) / 5000$

Selon la norme NF P 18 573, le seuil est fixé à 40%

Voir appareillage photo N°05.

III. 3. Les différents types de granulats :

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificielle.

III.3.1. Les granulats naturels :

- **Origine minéralogique :**

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires, siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartz et les quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

- **Granulats roulés et granulats de carrières :**

Indépendamment de leurs origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories.

Les granulats alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion.

Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimensions.

Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.

Les granulats de carrières sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires.

Une phase de précriblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées.

Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage ..., La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon.

III.3.2. Les granulats artificiels :

a. **Sous-produits industriels, concassés ou non :**

Les plus employés sont le laitier concassé et le laitier granulé obtenu par refroidissement à l'eau.

La masse volumique apparente est supérieure à 1250 kg/m^3 pour le laitier concassé, 800 kg/m^3 pour le granulé.

Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers ou pour les béton réfractaires. Les différentes caractéristiques des granulats de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18 302 et 18 306.

b. Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, carborundum,...) ou granulats réfractaires.

D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granulométrie, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique.

Les gains de poids sont intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³.

III.3.3. Les granulats très légers :

Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé).

Très légers –20 à 100 kg/m³ – ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³.

On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolations, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrants, blocs de remplissage, dalles ainsi que des chapes sur planchers peu résistants.

III. 4. L'adéquation granulats / béton :

Les granulats présentent des caractéristiques très différentes selon leur origine.

Ces caractéristiques influant sur celles du béton, il importe de bien les connaître et de veiller au respect des spécification prévues par la réglementation.

On peut présenter sous forme de tableau l'influence que peuvent avoir sur le béton un certain nombre de caractéristiques géométriques et physiques des granulats .

Caractère du granulat	Influence sur le béton
Nature minéralogique	La plupart des granulats conviennent pour le béton. Influence défavorable des argiles, des calcaires marneux (gonflement et altération à terme)
Présence de matières organiques	Influence défavorable sur la prise et le durcissement. Chute de résistances.
Teneur élevée en sulfates sulfures, chlorures.	Réaction avec le ciment, fissuration, corrosion des armatures
Propreté des granulats.	Critère important. Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence granulats/pâte.
Forme des grains, angularité.	Peu importante généralement ; certains sables concassés peuvent parfois être défavorables à la mise en œuvre du béton et à sa compacité finale.
Granulométrie	Importante pour la bonne composition du béton.

IV. Eau de gâchage :

Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont normalisées par la norme AFNOR P 18 303.

IV. 1. Caractéristiques physiques :

L'eau doit être propre, elle ne doit pas contenir de matières en suspension au-delà de :

- 2 g/l pour les bétons de types A et B
- 5 g/l pour les bétons du type C

Béton A : béton de haute qualité à fortes résistances.

Béton B : béton à grande imperméabilité .

Béton C : béton courant peu ou non armé.

IV. 2. Caractéristiques chimiques :

L'eau ne doit pas contenir de sels dissous au-delà de :

- 15 g/l pour les bétons des types A et B

- 30 g/l pour les bétons du types C

à condition que ces sels dissous ne puissent nuire à la conservation des bétons (acides, sulfates, matières organiques, etc....). Toute eau douteuse doit être soumise à l'analyse chimique.

Chapitre III :

*Méthodes de
composition des bétons*

I. 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 recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause.

Les méthodes proposées sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes ; elles aboutissent à des dosages « volumétriques » ou de préférence « pondéraux », le passage de l'un à l'autre pouvant se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac.

Ces méthodes sont dites à « granularité continue » lorsque l'analyse du mélange constituant le béton donne, sur le graphique granulométrique, une courbe s'élevant d'une façon continue ; autrement dit du plus petit grain de ciment ($d_c \approx 6.3$ microns) aux plus gros grains (D) des graviers, toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées.

Exemple : béton constitué d'un sable 0/5 mm et de deux graviers 5/25 mm et 20/40 mm.

On dit par contre que l'on a une « granularité discontinue » lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires.

Exemple : béton constitué d'un sable 0/5 mm et d'un gravier 20/40 mm.

Ces deux types de béton, « continu » ou « discontinu », ont chacun leurs chauds partisans ou détracteurs. En fait, il n'y a pas entre ces deux types de granularité, et malgré les apparences, de profondes différences justifiant la querelle encore persistante à leur égard. D'ailleurs dans la plupart des cas la continuité ou la discontinuité conduit à des bétons à maximum de gros éléments et minimum de sable présentant en général des résistances en compression un peu supérieure mais parfois au détriment de l'ouvrabilité. cependant, on peut estimer que pratiquement la plupart des bétons actuellement utilisés sont à granularité continue.

II. Quelques méthodes de composition des bétons : (1)

II.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 soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

La formule de base est la suivante :

$$p = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

p est le pourcentage de grains passant à passoire de diamètre d ;
 D est le diamètre du plus gros grains ;

A varie de 8 à 16, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins une granularité continue.

II. 2. Méthode d'Abrams :

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse global 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 manière que les vides dans ce mélange soient, en principe, réduits au minimum.

Les modules optimaux pour béton de granulats roulés, déterminés expérimentalement par Abrams, sont indiqués dans le tableau ci-dessus, en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du granulat le plus gros.

Tableau :
Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions granulaires des bétons courants

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	4.20	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	5.50	5.60	5.80	5.90	6.40

Nous rappelons ici la règle du mélange d'Abrams : elle permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de modules de finesse Mf_1 et Mf_2 pour obtenir un module Mf choisi pour le mélange.

A partir d'exemple, prenons un gravier 5/20 mm de module $Mf_1 = 6.50$ et un sable 0/5 de module de finesse $Mf_2 = 2.60$; choisissant pour le mélange de sable et gravier un module de finesse $Mf = 5.00$ par exemple (dosage en ciment 300 kg/m³).

$$\text{Soit : } S_1 = Mf_1 - Mf = 6.50 - 5.00 = 1.50$$

$$S_2 = Mf - Mf_2 = 5.00 - 2.60 = 2.40$$

$$S = S_1 + S_2 = 3.90$$

Proportion de gravier $S_2/S = 2.40/3.90 = 62 \%$.

Proportion de sable $S_1/S = 1.50/3.90 = 38 \%$

Tout réside donc, dans cette méthode, sur le choix judicieux du module de finesse du mélange à réaliser (avec les granulats seuls). Ce module dépend évidemment de nombreux paramètres tels que : forme, nature et dimension des granulats, dosage en ciment, résistance et plasticité désirée, etc.

Nous nous inspirerons de cette méthode mais plus particulièrement pour l'étude de la granularité des sables ($D \leq 5$ mm en principe).

II. 3. Méthode de Valette :

R. 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 de 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.

Voici sommairement résumé le principe de cette méthode.

Dans le cas le plus courants, on part en général de deux granulats (bétons binaires) : un sable 0/5 mm et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité avec le sable, un 16/25 mm par exemple.

On calcul d'abord le dosage de sable et ciment devant donner en principe le mortier plein à 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 égale de pâte pure de ciment.

On ajoute ensuite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. C'est la partie essentiellement expérimentale de la méthode et elle repose sur l'appréciation de l'opérateur sur la « convenance » du béton ; il doit donc être un praticien connaisseur en la matière. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé (en ciment). Les dosages en ciment auxquels on abouti ainsi sont presque toujours très nettement au-dessous des dosages nécessaires pour obtenir les résistances souhaitées, la plasticité nécessaire, l'étanchéité ou autres qualités. Pour déterminer la composition du béton de dosage en ciment suffisant pour la résistance à obtenir, on fixe a priori, dans certains cas, ou on évalue par un calcul approprié, le volume de pâte pure compensatrice à substituer à un égal volume plein mouillé de sable.

Nous nous inspirons de cette méthode quant à son côté expérimental, la formule de composition que nous aurons calculée devant être nécessairement testée par des essais d'études et de convenance.

II. 4. Méthode de Joisel :

S'inspirant comme Faury de la théorie de Caquot en généralisant, A.Joisel propose de considérer que la loi de granulation conduisant à la compacité maximale est fonction de $\sqrt[m]{d}$, m dépendant de la compacité avec laquelle se serre un granulat de dimension uniforme selon les moyens de serrage ; m peut alors varier de 3 à 10.

Afin d'obtenir une courbe granulométrique de référence qui se réduit à une simple droite, l'échelle des abscisses n'est plus systématiquement proportionnelle à $\sqrt[3]{d}$ (Faury) mais à $\sqrt[m]{d}$, m varie avec le serrage des matériaux.

Comme dans la méthode de Faury, on aboutit donc en principe à une granularité continue sauf, bien étendue, si les granulats dont on dispose en pratique présentent une discontinuité. Toute fois, pour éviter la cassure de la droite de référence au point d'abscisse $D/2$, Joisel a déterminé l'échelle de l'intervalle $\frac{D}{2}/D$ de façon à n'avoir qu'une simple et unique droite, c'est l'avantage de cette méthode mais, en revanche, il faut employer un graphique dont l'échelle de abscisse est variable d'une étude à l'autre, d'un type de granulat à un autre. Si ensuite par une méthode graphique dont nous nous inspirons que se détermine les pourcentages des divers granulats.

Comme pour les méthodes Faury et Valette le dosage en ciment déterminé par cette méthode est le dosage minimal correspondant théoriquement – sur le plan granulométrique- à la compacité maximale ; ce dosage est en général nettement inférieur (150 à 200 kg/m³) au dosage nécessaire ou exigé (250 à 400 kg/m³ dans la plupart des cas). Une correction doit donc être apportée dans ce sens.

II. 5. Méthode Dreux - Gorisse : (2)

Cette méthode a pour seul but de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais que seules quelques gâchées d'essai et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés.

Pour cette méthode il faut avoir des données de base comme :

- Nature de l'ouvrage : la connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferrillé.
- Résistance souhaitée : il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours : f_c supérieure à f_{c28}

car : $f_{c28} = f_c - 0.8 s$.

où s est l'écart quadratique.

Si l'on admet un coefficient de variation moyen de l'ordre de 20 %, on pourra adopter la règle approximative pour la résistance moyenne à viser :

$$f_c \approx f_{c28} + 15 \%$$

- Consistance désirée : elle est fonction de la nature de l'ouvrage, 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 d'Abrams.

1. Tracé de la courbe granulaire de référence :

Sur un graphique d'analyse granulométrique (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), on trace une composition granulaire de référence O A B : le point B (à l'ordonnée 100 %) correspond à la dimension D du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies :

- En abscisse (à partir de la dimension D tamis)

Si $D \leq 20$ mm, l'abscisse est $D/2$.

Si $D \geq 20$ mm, l'abscisse est située au milieu du « segment gravier » limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

- En ordonnée :

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

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 du module de finesse du sable.

Les valeurs de K sont données dans le tableaux ci-dessous :

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	concassé	Roulé	concassé	Roulé	concassé
Dosage en ciment	400	-2	0	-4	-2	-6	-4
	+superplastifiants	0	+2	-2	0	-4	-2
	400	+2	+4	0	+2	-2	0
	350	+4	+6	+2	+4	0	+2
	300	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	250	+8	+10	+6	+8	+4	+6
	200						

Nota 1 : correction supplémentaire K_s : si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apporté de façon à relever le point A . La correction supplémentaire sur K peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_s = 6 M_f - 15$ (M_f étant le module de finesse du sable).

Nota 2 : correction supplémentaire K_p : si la qualité du béton est précisée « pompable » il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courante ». on pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur $K_p = +5$ à plus 10 environ, selon le degré de plasticité désiré.

2. Coefficient de compacité γ :

Ce coefficient est le rapport à un mètre cube du volume absolue des matières solides (ciment et granulats) réellement contenues dans un mètre cube de béton frais en œuvre. Les valeurs de γ sont données dans le tableau ci-dessous :

Consistance	Serrage	γ coefficient de compacité				
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5
molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820
Plastique	Piquage	0.730	0.790	0.805	0.815	0.820
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés si non il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- sable roulé et gravier concassé = -0.01,
- sable et gravier concassé = -0.03.

II.6. Méthode de Faury :

C'est un perfectionnement de la méthode de Bolomey. Faury tient compte des travaux de Caquot relatifs à l'effet de paroi et à la proportion des vides laissés par les granulats. De plus, cette méthode tient compte du mode de serrage du béton.

Faury définit une courbe granulométrique de référence qui est une loi fonction de $\sqrt[3]{d}$ (c'est pour cela, que Faury adopte une échelle des abscisses graduées en $\sqrt[3]{d}$).

Cette courbe conduit à la compacité maximale et se compose de deux tronçons droits dus au fait que cette méthode distingue les rayons des grains fins ($< D/2$), et les rayons des gros grains ($> D/2$).

Cette courbe de référence du mélange donne le pourcentage en volumes absolus (ciment + granulats) en fonction des diamètres « D » des grains.

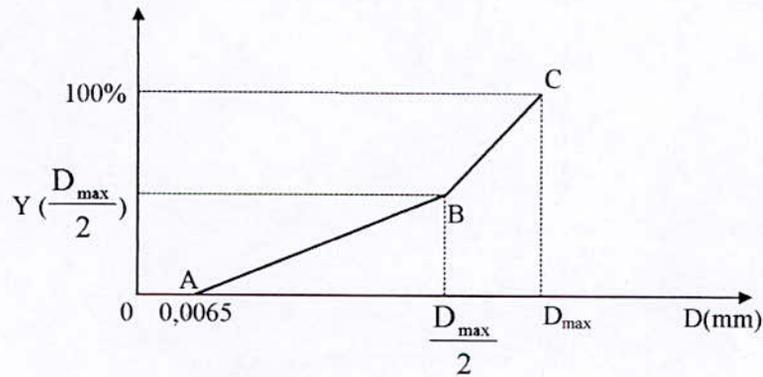


fig. Tracé de la courbe granulométrique de référence

La courbe de référence se définit comme suit:

$$\text{Point A : } \begin{cases} X = 0.065 \text{ mm (à traduire en } \sqrt[3]{d} \text{)} \\ y = 0 \end{cases}$$

$$\text{Point B : } \begin{cases} X = D / 2 \\ Y = A + 17 \sqrt[3]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75} \end{cases}$$

$$\text{Point C : } \begin{cases} X = D_{\max} \\ Y = 100\% \end{cases}$$

Le traçons AB correspond aux grains dont les dimensions sont comprises entre 0 et $D/2$; alors que le traçons BC correspond aux gros diamètres ($> D/2$)

1. Définition des coefficients :

R= rayon moyen du moule

B=1,5 pour les bétons mis en place par piquage

B=1 dans tous les autres cas

A est un coefficient fonction de la nature des granulats et des moyens de serrage du béton (voir le tableau ci-dessous) :

Valeurs de A :

Moyen de mise en place du béton	Matériaux utilisés		
	Sable roulé grains roulé	sable roulé gravier roulé	sable concassé gravier concassé
Mise en place par piquage	28 et plus	30 et plus	32 et plus
Vibrations moyennes: • table vibrante 50 cycles/sec Amplitude 0,8 • pervibration 200 cycle/sec Amplitude 0,3	24-25 24	27-28 27-28	28-29 28-29
Vibrations poussées: • table vibrante 50 cycles/sec Amplitude 0,8 • pervibration 200 cycle/sec Amplitude 0,3	23-24 23-24	23-24 24-25	23-24 23
Vibrations puissantes: • table vibrante 100 cycles/sec Amplitude 0,8 • Vibreur de coffrage , 200 cycles/sec Amplitude 0,3	19-20 20-21	19-21 21-22	19-22 24-25

2. Compacité :

La compacité d'un tel béton sera donc :

$$\lambda = 1 - \frac{h}{\sqrt[3]{D}} + \frac{h'}{R/D - 0,75}$$

En pratique, le dosage en ciment est composé (ou bien déduit de la relation de Bolomey en fonction de); il ne reste plus qu'à déterminer les proportions des granulats que la courbe de mélange solide soit la plus proche possible de courbe de référence.

III. Conclusion :

La diversité de ces méthodes est les nombreux paramètres à choisir en fonction de divers autre différents appréciés fatalement pour conséquence de faire varier à l'infini les compositions utilisées et les résultats trouvés comme le montre le tableau suivant pour 1m^3 de béton dosé à 300 kg

Méthode	sable 0/2	sable 2/10	graviers 10/30
Bolomey	510 kg	640 kg	85 kg
Valette	100	670	1280
Faury	335	505	1060

C'est pourquoi, il ne faut pas attacher un certain caractère intangible aux résultats donnés pour une méthode ou pour une autre.

Pour la plupart des bétons utilisés dans les cas normaux et courants, une méthode, simplifiée pour être pratique, tenant le plus grand compte de l'expérience acquise d'après ce qui se fait en général aujourd'hui, nous paraît de voir être satisfaisante et suffisante l'essentiel est de vérifier pour des essais de convenance que la formule choisie (quitte à la modifier en conséquence) convient bien pour le béton désiré en lui conférant les qualités souhaitées: ouvrabilité et résistance en particulier. Ces deux qualités sont étroitement liées l'une à l'autre, quant aux facteurs dont elles dépendent, mais elles varient en sens inverse comme indiqué dans le tableau suivant :

Facteur de compression du béton	Pour une donnée ouvrabilité	Pour une donnée résistance
Finesse du sable	plutôt fin	plutôt grossier
Rapport G/S	à éliminer	à augmenter
Dosage en eau	à augmenter	à éliminer
Granularité	continue préférable	discontinue légèrement préférable
Dimension maximale des granulats D	plutôt petite	plutôt forte

Chapitre IV :

*Paramètres influençants
la résistance à la
compression*

I. Introduction :

Les paramètres dont nous traitons maintenant sont ceux qui peuvent modifier la résistance à la compression du béton. Leur connaissance permet d'expliquer les anomalies qui peuvent se présenter.

Lorsque la valeur mesurée de la résistance n'est pas celle attendue, il faut envisager l'influence de paramètres tels que la propreté des granulats, la granularité des granulats, la classe du ciment, l'adhérence mortier- granulat, la conservation des éprouvettes, l'excès d'air entraîné, etc..

II. Paramètres influençant la résistance à la compression :

II .1. Influence des granulats : (2)

II .1.1. La propreté des granulats :

Une variation de la propreté des granulats, par interruption momentanée de lavage par exemple, peut s'accompagner d'une diminution de la résistance de l'ordre de 10 à 15 %

Le fait qu'un lavage insuffisant des granulats puisse provoquer une baisse de résistance n'est pas en contradiction avec l'existence d'une valeur optimale de l'équivalent de sable, autour de 75 % «Dreux, 1964 ».

Le tableau suivant indique l'influence de la propreté des granulats sur la résistance des bétons :

Ciment	Origine et état de granulat		f_{c28} (MPa)	$f_{cLavé} - f_{cNon lavé}$ (MPa)
CPA-CEM I 42.5	A	Lavé	33.9	4 (-12 %)
		Non lavé	29.9	
CPJ-CEM II 32.5	A	Lavé	35.2	5.9 (-17 %)
		Non lavé	29.3	
CPA-CEM I 42.5	B	Lavé	34.7	3.4 (-10 %)
		Non lavé	31.3	
CPJ-CEM II 32.5	B	Lavé	36.0	4.4 (-13 %)
		Non lavé	31.6	

Les bétons ont été fabriqués avec sables et gravillons de même origine A ou B. La formulation du béton est la même quel que soit le granulat utilisé, qu'il soit lavé ou non. Le dosage en ciment est de 325 kg/m^3 (CPA-CEM I 42.5) ou de 375 kg/m^3 (CPJ-CEM II 32.5), pour une dimension maximale du plus gros granulat $D=20 \text{ mm}$; et un rapport E/C d'environ 0.60 et 0.52 respectivement.

II .1.2. Influence de la granularité :

Les appréciations concernant cette influence sur les différentes qualités des bétons sont résumées dans le tableau ci-après récapitulant les principales qualités des bétons en fonction de leur G/S dont les indications sont tirées en partie des courbes expérimentales de la fig. (1).

Tableau récapitulatif des principales qualités des bétons en fonction de leur G/S et leur granularité continue ou discontinue

caractéristiques	Appréciations concernant les bétons	
	à G/S élevé par rapport à ceux à faible	à granularité discontinue par rapport à ceux à granularité continue
Ouvrabilité	Moins bonne surtout pour $G/S > 2,2$	Moins bonne si $G/S > 2,2$
Résistance en compression	Meilleure, surtout $G/S \geq 2,2$	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 supérieure
Retrait	Sans corrélation très nette	Moins élevé si $G/S > 2,2$
Compacité, densité	Légèrement plus élevé pour $G/S > 2,2$	Un peu plus élevé

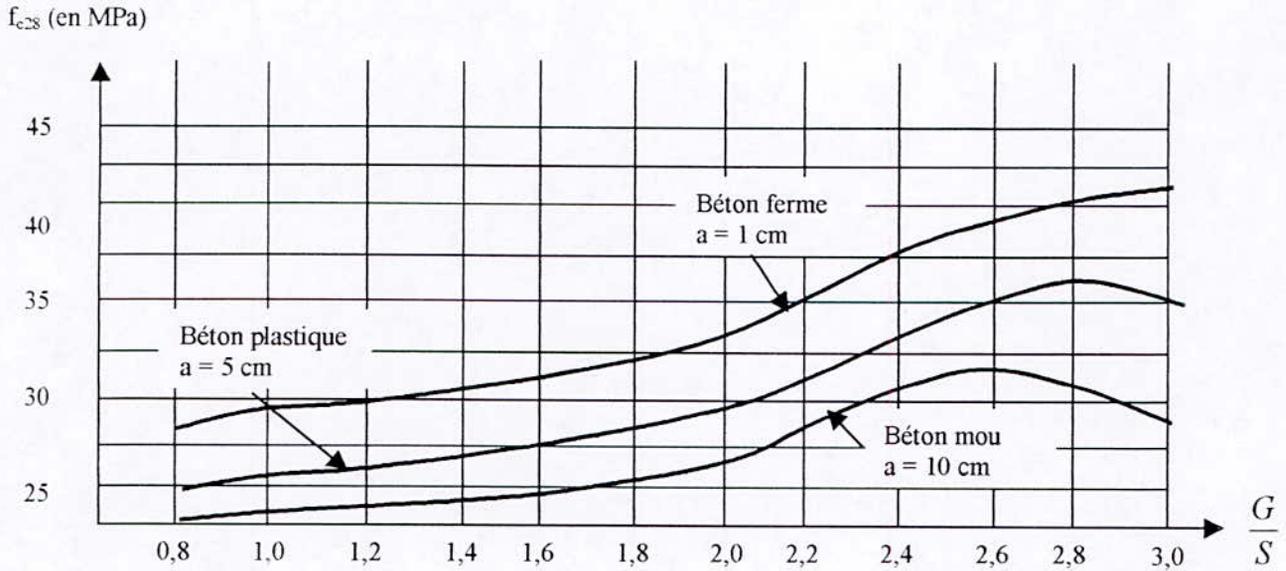


Fig. 1. Exemple de variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction de G/S et pour trois plasticités différentes.

Béton à 350 Kg de ciment par mètre cube – granularité continue $D = 25$ mm.

II. 1.3. Effet de l'épaisseur maximale de la pâte : (3)

Dans une série de bétons, produits avec les mêmes constituants (granulats, ciment et eau) toutes choses égales par ailleurs, on peut s'attendre à certaines tendances systématiques, présentées dans les deux paragraphes suivants :

1. Effet du volume du granulat :

Stock et al ont publié une étude concernant l'effet du volume des granulats sur la résistance à la compression, cette étude montre que l'assertion selon laquelle la résistance diminue quand le volume de pâte augmente (à nature de pâte constante). Ces auteurs ont aussi publié quelques expériences originales dans lesquelles ils ont réalisé une série de bétons avec différents volumes de granulats de même granulométrie, liés par la même matrice.

Notants que l'effet du granulat, qui n'est pas monotone, peut être modifié par une augmentation de l'air occlus quand la maniabilité diminue.

Les résultats de cette étude ont donné le graphe ci-dessous :

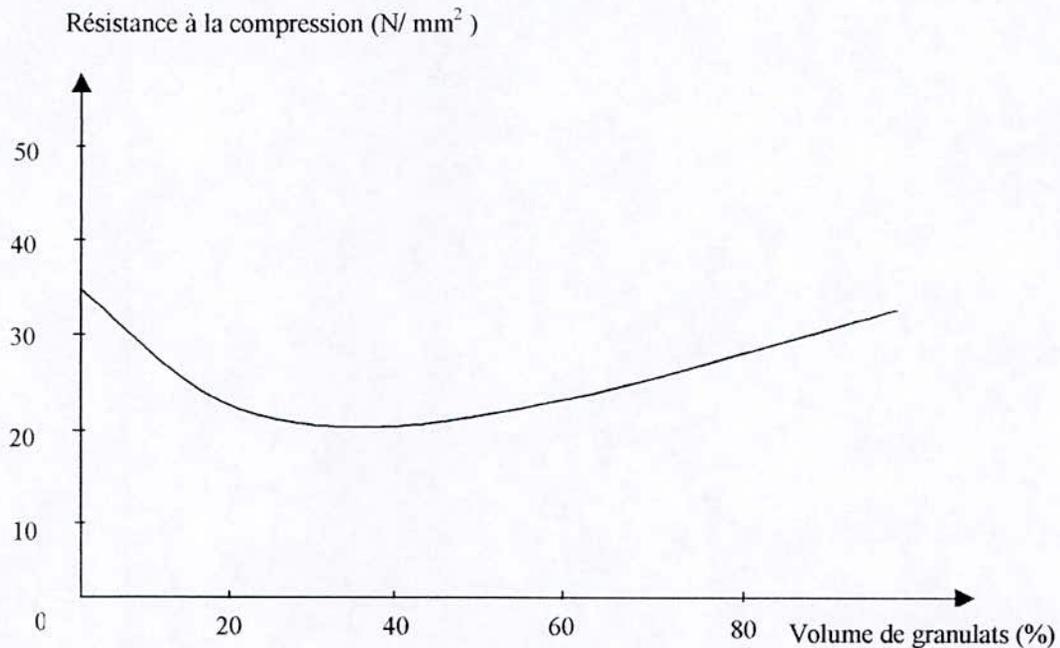


Fig. Effet de volume de granulat d'après Stock et al.

2. Effet de la taille maximale du granulat :

Dans les années 1960, Walker et Bloem ont publié un article qui suscita à l'époque beaucoup de discussion : la majorité des résultats présentés montraient un effet négatif de la dimension maximale du granulat (D) sur la résistance à la compression, à rapport E/C constant.

Deux causes exercent des effets contradictoires : pour une quantité donnée de ciment, en augmentant D , on tend vers une réduction de la demande en eau, tandis que la résistance obtenue à rapport E/C donné diminue.

Par conséquent, quand le volume du ciment et la maniabilité restent constant, on a un effet du D sur la résistance à la compression qui n'est pas monotone.

Une valeur optimale de la dimension du granulat existe, qui décroît quand la quantité de ciment augmente.

3. Effet de l'épaisseur maximale de la pâte :

Bien que les deux effets précédents soient maintenant bien connus, ils n'ont pas cependant été décrits quantitativement. Ils sont les deux faces d'un paramètre physique

unique, en rapport avec la topologie du granulat, considéré comme une inclusion dans la matrice que constitue la pâte de ciment.

Dans un empilement sec de particules chargé en compression, il est connu que les particules grossières tendent à capter les contraintes. Elles jouent ainsi le rôle de points durs dans le milieu mou constitué du mélange poreux des particules plus fines.

Certains couples de ces granulats grossiers peuvent être en contact direct, ces points de contact seront alors le siège de fortes concentrations de contraintes (fig. 2). Si à présent on considère le même squelette rempli avec de la pâte de ciment venant occuper la porosité interstitielle des grains, avec un volume plus grand que cette dernière pour obtenir une certaine maniabilité, on peut penser que la pâte placée entre deux gros granulats préalablement en contact sera fortement sollicitée (fig. 3).

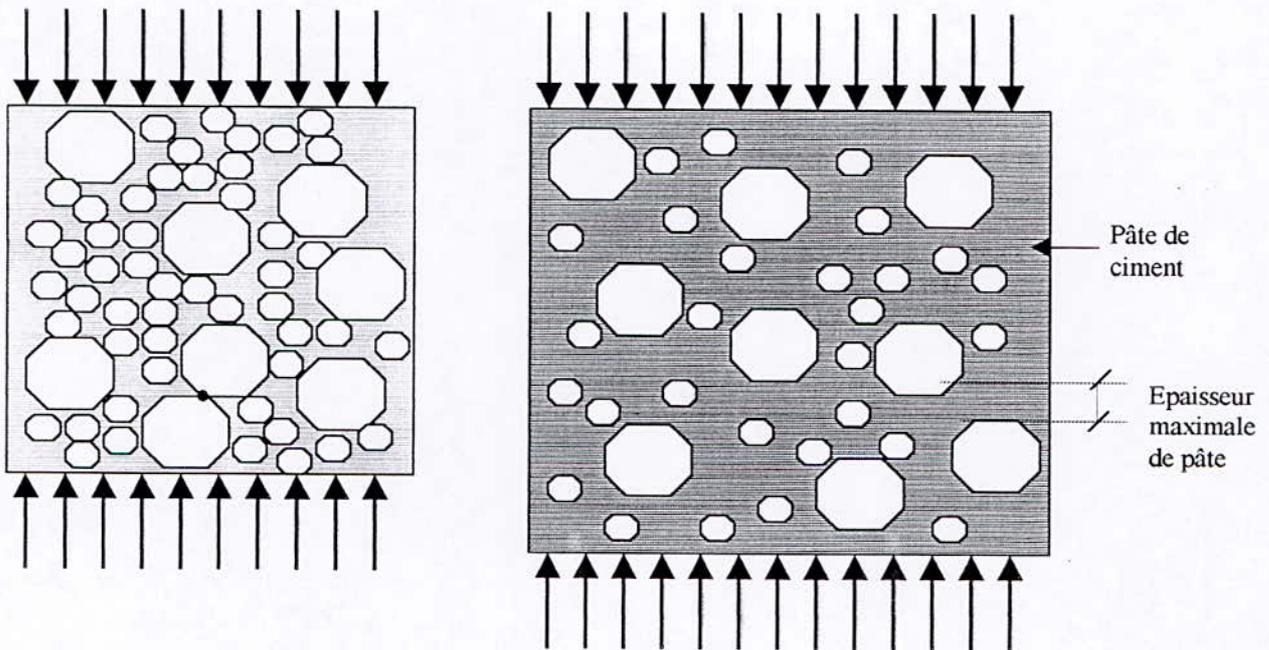


Fig.2. Empilement sec de particules soumis à un chargement uni-axial.

Fig.3. Béton vu comme un empilement «injecté» de pâte de ciment.

Elle constituera en fait le premier «fusible» lorsque le matériau composite sera chargé en compression.

La distance entre ces granulats est appelée l'épaisseur maximale de pâte e_{pmax} par ce qu'elle est, dans un tel processus de dilatation uniforme, le plus grand intervalle existant entre deux particules adjacentes.

Nous présentons à présent une méthode simple pour l'évaluation de l'épaisseur maximale de pâte : si nous appliquons une dilatation uniforme sur les grains du granulat (fig.

3) (avec un rapport égal à λ), chaque centre de gravité de grain demeurant à la même place, le volume de granulat va devenir :

$$g^* = \lambda^3 g \quad (1)$$

Où g est le volume du granulat par unité de volume de béton (avant dilatation).

Quand les grains sont en contact avec leurs voisins, le granulat devient un empilement de particules ; g^* est égal à la compacité de cet empilement, considéré comme mélange sec.

Mais cette compacité est aussi celle de granulat original (avant dilatation), car une homothétie, multipliant toutes les distances par un même coefficient, ne modifie pas la porosité d'un empilement granulaire.

D'autre part nous avons :

$$\lambda = \frac{e_{p\max} + D}{D} \quad (2)$$

Où D est la taille maximale du granulat et $e_{p\max}$ l'épaisseur maximale de pâte. Donc nous déduisons l'équation pour calculer l'épaisseur maximale de pâte :

$$e_{p\max} = D \left(\sqrt[3]{\frac{g^*}{g}} - 1 \right) \quad (3)$$

Comme on pouvait s'y attendre, l'épaisseur maximale de pâte est à la fois fonction de la taille maximale du granulat, et du degré d'écartement des grains par la pâte de ciment.

D et g peuvent être facilement déduits de la composition du béton.

Quant au paramètre g^* , il peut être soit mesuré, soit calculé en utilisant un modèle récent (tel que le modèle de suspension solide), soit encore évalué en utilisant une formule simplifiée proposée par Caquot :

$$g^* = 1 - 0.47 \sqrt[3]{\frac{d}{D}} \quad (4)$$

Où d , D sont le minimum et le maximum des dimensions du granulat correspondant à 10 et 90% de passant, respectivement. Nous avons affiné les versions de cette formule, proposant respectivement les expressions :

$$g^* = 1 - 0.39 \left(\frac{d}{D} \right)^{0.22} \quad (5)$$

Pour des granulats roulés et

$$g^* = 1 - 0.45 \left(\frac{d}{D} \right)^{0.19} \quad (6)$$

Pour des granulats concassés

II. 1.4. Influence de l'adhérence mortier – gravier : (1)

La résistance du composite a été affichée en fonction de la résistance de la matrice. Ici, la résistance de la matrice f_{cm} est définie comme la résistance de la pâte f_{cp} multipliée par un terme décrivant l'effet de l'épaisseur maximale de pâte :

$$f_{cm} = f_{cp} \cdot e_{p_{max}}^{-0.13} \quad (7)$$

L'épaisseur maximale de pâte est calculée par l'équation (3).

D'après les études qui sont faites sur l'influence de ce paramètre (3), la résistance du composite est donnée par la relation suivante :

$$f_{cc} = \frac{a \times f_{cm}}{b \times f_{cm} + 1} \quad (8)$$

Où f_{cc} , est la résistance du composite, a et b deux constantes empiriques dépendant du type du granulat.

Pour les très hautes résistances de la matrice, la résistance du composite tend vers a/b. Aussi, on s'attend à ce que ce rapport soit contrôlé par la résistance intrinsèque de la roche.

D'autre part, pour les basses résistances de la matrice, l'équation (8) est réductible à l'expression suivante :

$$f_{cc} = a \cdot f_{cm} \quad (9)$$

Dans ce dernier cas, où la contrainte supportée par le granulat est petite devant sa propre résistance, le paramètre a ne peut que décrire la liaison entre la pâte et granulat.

Une part importante de la résistance est fonction de la plus ou moins bonne adhérence du mortier sur la surface des graviers. Cette qualité peut même être plus importante que la résistance et la dureté de gravier lui-même.

L'importance de l'adhérence mortier – graviers illustre la nécessité de disposer de granulats propres, ce qui dans la plupart des cas ne peut s'obtenir que par un lavage efficace car, outre une demande en eau plus élevée nécessitée par l'emploi de granulats pollués, d'où chute de résistance, s'ajoute le mauvais collage pâte – granulats qui entraîne à son tour une diminution des caractéristiques pouvant dépasser 10%.

II. 2. Influence d'autres paramètres : (1)

II. 2.1. La qualité du ciment :

L'une des caractéristiques essentielles de la qualité d'un ciment est sa «classe de résistance», un ciment de classe 45 par exemple présente une résistance comprise entre 35 et 55 MPa, en sorte que le béton fabriqué avec ce ciment présentera donc lui-même une résistance plus au moins importante fonction de la «classe vraie» de ce ciment.

Si on désigne par f_{CE} la résistance moyenne à la compression obtenue sur trois éprouvettes, la valeur trouvée doit répondre simultanément aux deux conditions suivantes :

$$(1) \quad f_{CE} \geq f_{c28} + \lambda (C_E - C_{\min})$$

$$(2) \quad f_{CE} \geq 1.1 f_{c28}$$

Où :

- f_{c28} est la résistance caractéristique spécifiée du béton à 28 jours ;
- C_E est la résistance à la compression du ciment à 28 jours ;
- C_{\min} est la valeur minimale de résistance à compression à 28 jours du ciment (classe minimale garantie à 90 %) ;
- λ est un coefficient pris égal à 1 sauf justification de la relation entre la résistance du béton et celle du ciment utilisé.

II. 2.2. Influence du rapport C/E :

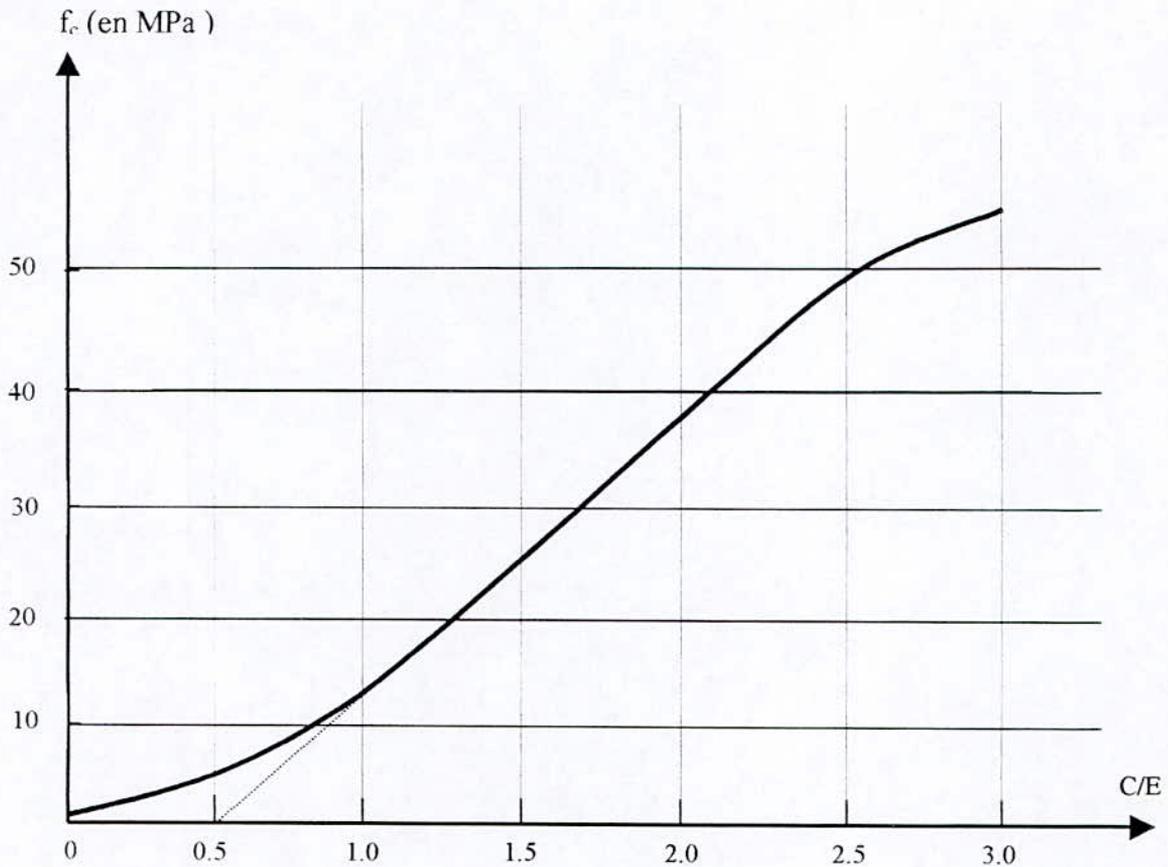
La résistance croît en même temps que le dosage en ciment C et elle décroît en fonction du dosage en eau E, c'est pourquoi on a tendance à prendre en compte le rapport C/E comme facteur global intervenant dans la résistance du béton.

Dans sa forme C/E, il permet d'exprimer la valeur de la résistance par une simple fonction linéaire et croissante comme celle de Bolomey :

$$f_{c28} = G.C_E \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

Où :

- f_{c28} = résistance du béton en compression à 28 jours (en valeur moyenne)
- C_E = classe vraie du ciment à 28 jours,
- C = dosage en ciment (en Kg/m³),
- E = dosage en eau total sur matériaux secs (en l/m³),
- G = coefficient granulaire.



*Fig. Forme de la relation entre le rapport C/E et la résistance en compression f_c .
La figure correspond au cas particulier $G.C_E = 25$ soit par exemple : $G = 0.5$ et $C_E = 50$ MPa*

II. 2.3. L'air entraîné :

La présence d'air entraîné, recherchée pour la tenue du béton au gel et aux sels fondants, doit être prise en compte, au moment de la formulation du béton, pour l'obtention de la résistance garantie. Mais un surcroît d'air peut aussi résulter de l'effet secondaire d'un adjuvant, un plastifiant par exemple. On retiendra que 1 % d'air a exactement le même effet sur la résistance à la compression que dix litres d'eau, soit une baisse de 4 à 6 %.

II.2.4. La conservation des éprouvettes :

La norme NF P18 404 «béton. Essai d'étude, de convenue et de contrôle. Confection et conservation des éprouvettes » fixe les conditions de conservation des éprouvettes destinées à être essayées à la compression : d'abord pendant vingt-quatre heures dans un local maintenu à 20°C, puis dans l'eau à la même température ou en chambre humide, d'humidité relative supérieure ou égale à 95 %. Toutes ces indications sont importantes et doivent être suivies à la lettre. C'est parfois difficile sur les chantiers et cela peut conduire à des valeurs de résistance différentes de celles attendues.

La norme NF P 18 404 spécifie que l'éprouvette doit constamment être protégée contre la dessiccation de son eau interne, dès à la fin du moulage et pendant le transport. Ces précautions sont indispensables ; une dessiccation précoce pendant les cinq premiers jours peut faire chuter la résistance de 10%.

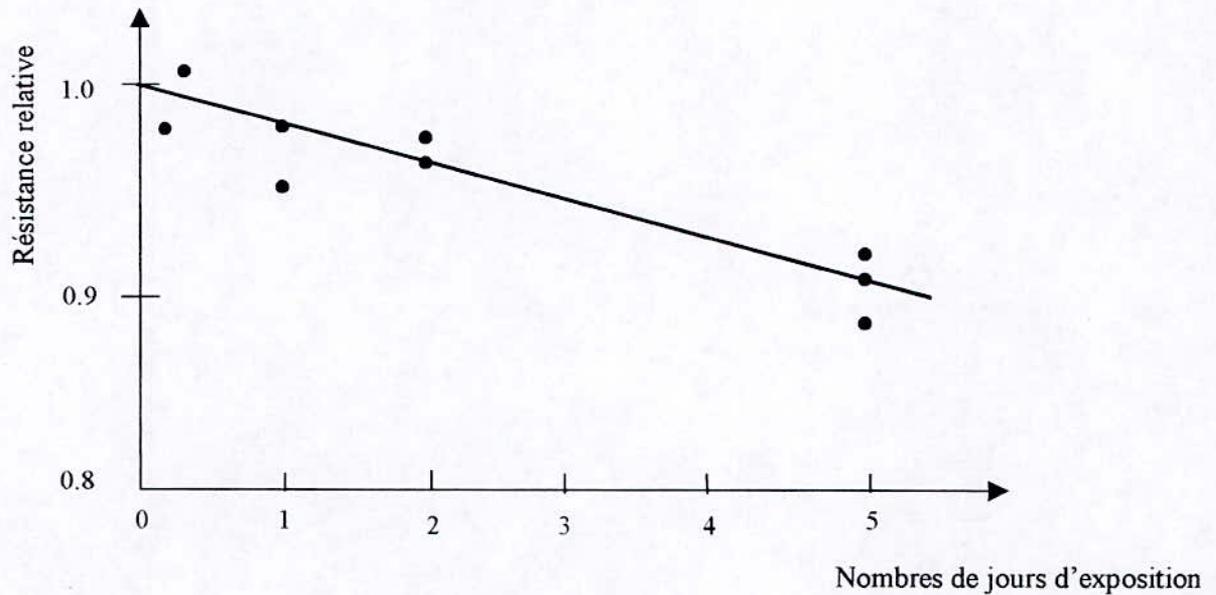


fig. Réduction de la résistance à la compression à vingt-huit jours due à une dessiccation des éprouvettes pendant les premiers jours de conservation, d'après Byfors, 1980

Chapitre V :

*Etude expérimentale
de l'influence des granulats sur
la résistance à la compression*

I. Introduction :

A travers une étude expérimentale, nous allons vérifier et quantifier cet état de fait, en utilisant des agrégats, fabriqués et disponibles localement.

En se basant sur l'étude faite au laboratoire des ponts et chaussées par François de LARRARD et Albert BELLOC, publiée en janvier 1999.

Notre étude portera essentiellement sur l'influence de la nature, la granulométrie, la qualité, et la propreté des agrégats (sable et gravier) utilisés.

Après des essais d'identification des matériaux que nous avons pu recueillir, nous avons partagé notre travail en deux parties ; relatives aux deux composants gravier et sable.

I.1. Etude de l'influence du gravier :

Cette étude conduite de manière à savoir l'influence de l'origine du gravier en fonction du diamètre maximale(ou épaisseur maximale de la pâte) et de l'adhérence au liant hydraulique sur la résistance, en utilisant un même sable.

I.2. Etude de l'influence du sable :

L'étude à menée de manière à faire varier les caractéristiques du sable notamment le module de finesse et l'équivalent de sable tout en maintenant le même type de gravier.

Tous le long de notre étude et afin d'éviter leurs influences, les paramètres E/C, G/S et le ciment et son dosage ont été fixés comme suit :

$$E/C \approx 0.55 ;$$

$$G/S \approx 2.55 ;$$

$$\text{Ciment CPJ 45 dosé à } 350 \text{ Kg/m}^3.$$

Tout notre travail a été fait au laboratoire du CETIM (Hussein Dey).

II. Procédure du travail :

II.1. Méthode de composition :

Dans le cadre de notre étude nous avons choisi deux méthodes :

- La méthode de Faury pour les mélanges ayant une continuité dans les classes granulaires des granulats.
- La méthode de Dreux – Gorisse pour les mélanges ayant une discontinuité dans les classes granulaires des granulats.

Le choix de ces deux méthodes à pour but d'avoir une idée sur leur application dans la pratique.

II.2. Le malaxage :

L'homogénéisation des constituants est faite au moyen d'un mélangeur dont les caractéristiques sont :

- Position de travail : axe vertical.
- Dispositif de malaxage : bras à palettes.
- Contenance du malaxeur : 50 litres.
- Vitesse de malaxage : 50 tours par minute.
(Voir annexe B photos N°11).

II.3. Mesure et contrôle de l'ouvrabilité :

La mesure de l'ouvrabilité se fera à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams «c'est un moule en tôle tronconique, $D = 20$ cm, $d = 10$ cm et $h = 30$ cm, rempli de béton, nous attendons une minute après avoir soulevé le moule pour mesurer l'affaissement ».

(Voir annexe B photos N°10).

II. 4. Mise en œuvre des éprouvettes :

Nous confectionnons des éprouvettes de type cylindrique $\Phi 16 \times 32$ cm.

Après que les moules avaient été préparés et graissés, nous coulons le béton en trois couches avec vibration de 15 secondes sur table vibrante pour chaque couche.

(Voir annexe B photos N°07).

II.5. Conservation des éprouvettes :

Après 24 heures on démoule les éprouvettes, ensuite on les plonge dans un bassin d'eau à température ambiante afin de minimiser le phénomène de retrait.

(Voir annexe B photos N°08).

II.6. Surfaçage des éprouvettes :

Le surfaçage des extrémités d'une éprouvette cylindrique en employant le soufre est une opération nécessaire lors de l'essai de compression et ceci dans le but d'obtenir une planéité parfaite des faces de chargement ainsi que l'orthogonalité de celles-ci par rapport aux génératrices du cylindre. (Voir annexe B photos N°13).

II.7. Essais de compression simple :

Tous les essais que nous effectuons sont considérés comme étant des essais de recherche.

L'écrasement des éprouvettes se fait avec une vitesse de chargement lente et constante au moyen d'une presse hydraulique étalonnée. (Voir annexe B photos N°14).

III. Etude expérimentale de l'influence des graviers :

Les mélanges qu'on a cités précédemment et leurs résultats d'écrasement sont les suivants :

III.1. Etude des mélanges :

1. Mélange 01 :

Les composants de ce mélange sont :

- Sable 0/3 de ZEMOURI
- Gravillon 3/8 de la carrière JOBERT
- Gravier 8/15 de la carrière JOBERT.

1.1. Tableaux récapitulatifs :

Tableau 01 : Analyse granulométrique et caractéristiques du mélange 01.

Mailles de tamis en (mm)	% Passant		
	0/3	3/8	8/15
20	-	-	-
16	-	-	100
12.5	-	100	93.43
10	-	98.75	48.9
8	-	95	14.33
6.3	-	70.125	0
5	100	43.875	-
2.5	98.5	3.625	-
1.25	97.1	0	-
0.63	95.2	-	-
0.315	61.5	-	-
0.16	4	-	-
0.08	0	-	-
Densité apparente	1.39	1.40	1.42
Densité absolue	2.74	2.74	2.79
% Impuretés	-	1.3	0.26
Equivalent de sable	72.44%	-	-
Module de finesse	1.25	-	-
Los Angeles	-	24 %	24.44 %
Micro Deval	Humide	-	5.9 %
	Sec	-	3.5 %

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON Mr. FAURY

N° Dossier :

ESSAI N° : 01

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT : 350

Kg/m³

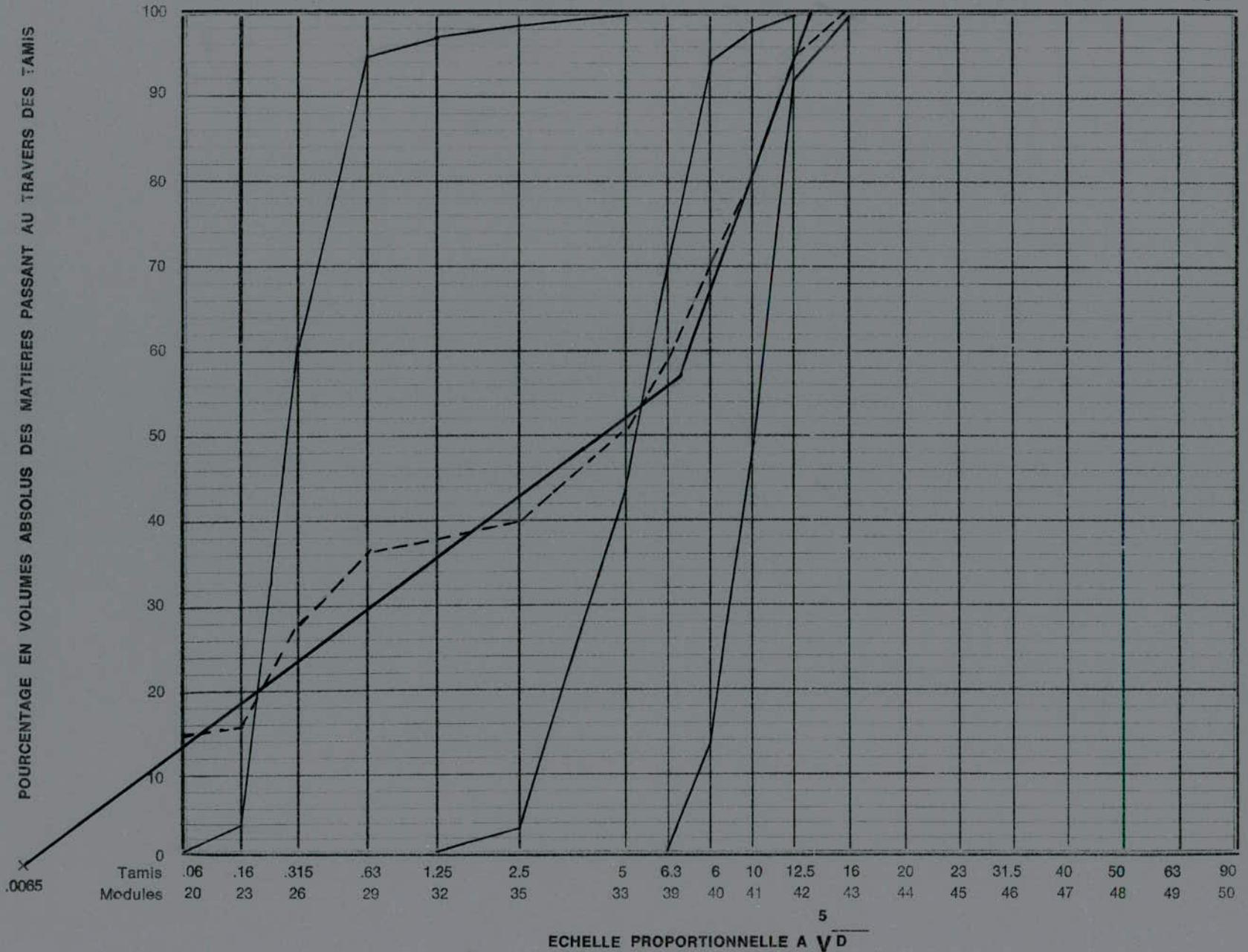


Tableau 02 : Courbe du mélange 01.

Mailles de tamis en (mm)	% Passant				
	Ciment	Sable 0/3	Gravillon 3/8	Gravier 8/15	Mélange
31.5	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
16	14	24	30	32	100
12.5	14	24	30	29.89	97.89
10	14	24	29.625	15.65	83.275
8	14	24	28.5	4.58	71.08
6.3	14	24	21	-	59
5	14	24	13.16	-	51.
2.5	14	23.64	1.08	-	38.72
1.25	14	23.30	-	-	37.3
0.63	14	22.85	-	-	36.85
0.315	14	14.76	-	-	28.76
0.16	14	0.96	-	-	14.96
0.08	14	-	-	-	14

1.2. Etude de béton selon Faury :

$$X = 100 - 93.43 = 6.57 \%$$

$$Y = 93.43 - 48.9 = 44.53 \%$$

$$A = 29 ; K = 0.355$$

- Calcul de D :

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \times \frac{X}{Y} = 12.5 + (12.5 - 10) * 6.57/44.53 = 12.86 \text{ mm}$$

- Calcul de $Y_{D/2}$:

$$D/2 = 6.43 \text{ mm}$$

$$Y_{D/2} = A + 17 \times \sqrt[3]{D} = 57.3 \%$$

- Calcul du pourcentage de ciment :

$$\text{Dosage en ciment : } 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume absolu de ciment} = 350/3.1 = 112.9 \text{ l}$$

Eau de gâchage :

$$I = \frac{K}{\sqrt[3]{D}} = 213 \text{ l}$$

Volume absolu des éléments secs : $1000 - 213 = 787 \text{ l}$

Pourcentage du ciment : 14 %

• **Calcul de la composition d'un mètre cube de béton :**

Composants	%	V. A totale des M. sèches	V. A des composants	Masse V.A des Composants	Composants en kg/m ³
Gravier 8/15	32	787	251.84	2.79	702.63
Gravillon 3/8	30	787	236.1	2.74	647
Sable 0/5	24	787	188.88	2.74	517.53
Ciment	14	787	113	3.1	350
Eau	—	—	213	—	213
Totaux	100	—	1000	—	2430

G/S	2.6
E/C	0.60

1.3. Procès verbal d'essais mécaniques sur éprouvettes de béton :

Destination du béton : Recherche

Mode de mise en place : Vibration

Composition d'un m³ de béton :

Ciment 350 Kg
 Eau 213 litres
 Sable 0 / 3 518 Kg
 Gravillons 3 / 8 647 Kg
 Gravier 8 / 15 703 Kg

Densité théorique du béton frais 2217 Kg/ m³

Densité réelle du béton frais 2340 Kg/ m³

Forme et dimension des éprouvettes : 160 × 320 mm

Affaissement au cône d'Abrams : 5 cm

Composition du mélange 01	Age (jours)	Poids (Kg)	Résistance à la compression		RC moy (MPa)
			Charge totale (KN)	RC en MPa	
<ul style="list-style-type: none"> • Sable 0/3 de ZEMOURI • Gravillon 3/8 de la carrière JOBERT 	07	15.5	515	25.75	26.16
		15.3	520	26	
		15.5	535	26.75	
<ul style="list-style-type: none"> • Gravier 8/15 de la carrière JOBERT. 	28	15.2	650	32.5	32
		15.3	610	30.5	
		15.2	660	33	

2. Mélange 02 :

Les composants de ce mélange sont :

- Sable 0/3 de ZEMOURI
- Gravillon 3/8 de la carrière JOBERT
- Gravier 8/15 de la carrière JOBERT.
- Gravier 15/25 de la carrière JOBERT.

2.1. Tableaux récapitulatifs du mélange 02 :

Tableau 03 : Analyse granulométrique et caractéristique des composants du mélange 02.

Mailles de tamis en (mm)	% Passant			
	0/5	3/8	8/15	15/25
31.5	-	-	-	-
25	-	-	-	100
20	-	-	-	49.2
16	-	-	100	12.2
12.5	-	100	93.43	2
10	-	98.75	48.9	-
8	-	95	14.33	-
6.3	-	70.125	0	-
5	100	43.875	-	-
2.5	98.5	3.625	-	-
1.25	97.1	0	-	-
0.63	95.2	-	-	-
0.315	61.5	-	-	-
0.16	4	-	-	-
0.08		-	-	-
Densité apparente	1.39	1.40	1.42	1.43
Densité absolue	2.74	2.74	2.79	2.68
% Impuretés	-	1.3	0.26	0.23
Equivalent de	72.44%	-	-	-
Module de finesse	1.25	-	-	-
Los Angeles	-	24%	24.44%	26.2%
Micro Deval	Humide	-	5.9%	5.4%
	Sec	-	3.5%	3%

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON Mr. FAURY

N° Dossier :

ESSAI N° :

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT :

Kg/m³

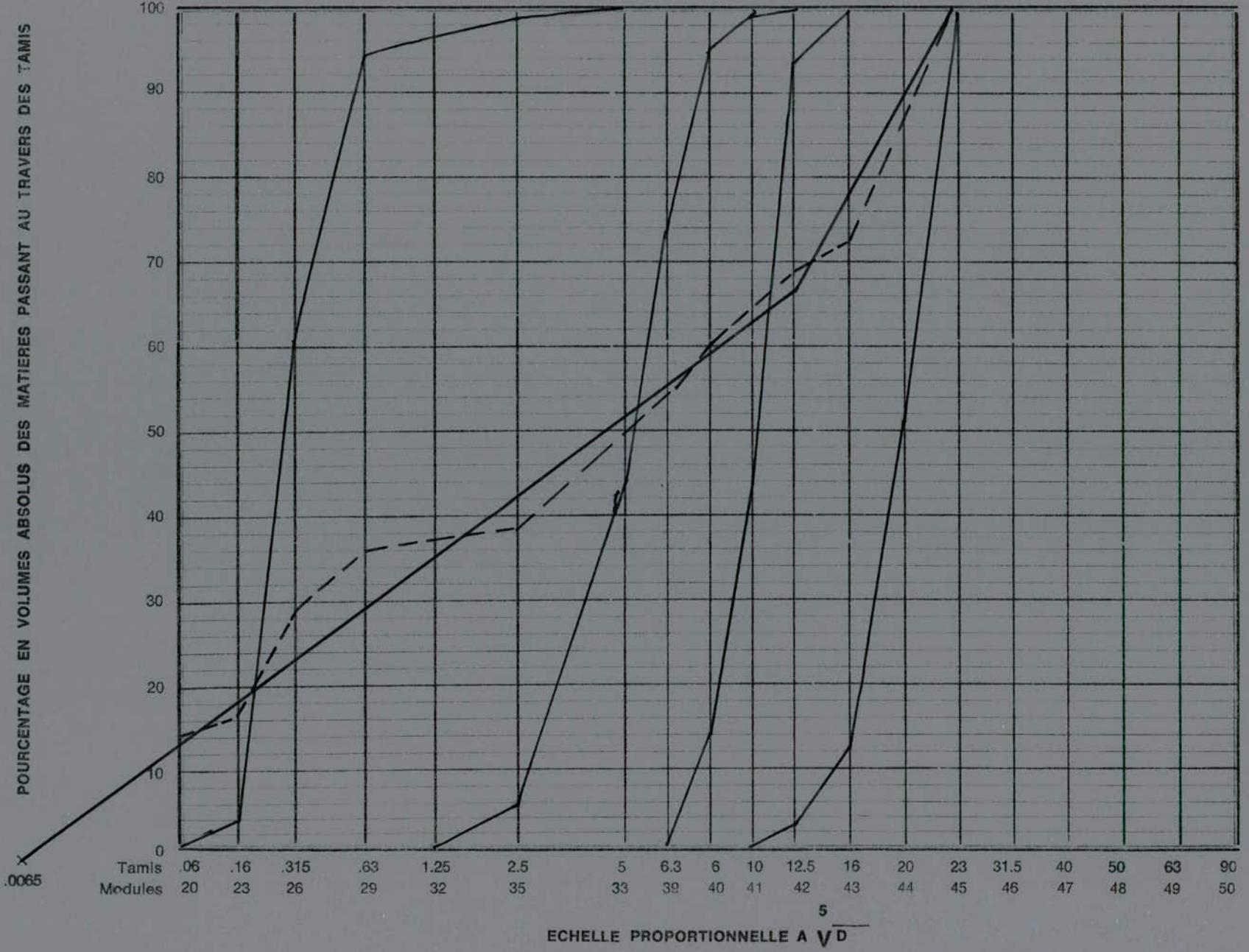


Tableau 04 : Courbe du mélange 02.

Mailles de tamis en (mm)	% Passants					
	Ciment	Sable 0/5	Gravillon 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Mélange
31.5	-	-	-	-	-	-
25	14	24	20	10	32	100
20	14	24	20	10	15.74	83.74
16	14	24	20	10	3.9	71.9
12.5	14	24	20	9.3	0.64	67.94
10	14	24	19.75	4.9	-	62.65
8	14	24	19	1.43	-	58.43
6.3	14	24	14.025	-	-	52.025
5	14	24	8.775	-	-	46.775
2.5	14	23.64	0.725	-	-	38.365
1.25	14	23.3	-	-	-	37.3
0.63	14	22.85	-	-	-	36.85
0.315	14	14.76	-	-	-	28.76
0.16	14	0.96	-	-	-	14.96
0.08	14	-	-	-	-	14

2.2. Etude de béton selon Faury :

$$X = 100 - 49.2 = 50.8 \%$$

$$Y = 49.2 - 12.2 = 37 \%$$

$$A = 33 ; K = 0.355$$

- Calcul de D :

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \times \frac{X}{Y} = 20 + (20 - 16) \times \frac{50.8}{37} = 25.49 \text{ mm}$$

- Calcul de $Y_{D/2}$:

$$D/2 = 12.745 \text{ mm}$$

$$Y_{D/2} = A + 17 \times \sqrt[3]{D} = 65.5 \%$$

- Calcul du pourcentage de ciment :

$$\text{Dosage en ciment : } 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume absolu de ciment} = 350/3.1 = 112.91$$

Eau de gâchage :

$$I = \frac{K}{\sqrt[3]{D}} = 186 \text{ l}$$

Volume absolu des éléments secs : $1000 - 186 = 814 \text{ l}$

Pourcentage de ciment : 14 %

- Calcul de la composition d'un mètre cube de béton :

Composants	%	V. A totale des M. sèches	V. A des composants	Masse V.A des Composants	Composants kg/m ³
Gravier 15/25	32	814	260.55	2.68	698.3
Gravier 8/15	10	814	81.424	2.79	227.17
Gravillon 3/8	20	814	162.85	2.74	446.2
Sable 0/5	24	814	195.41	2.74	535.44
Ciment	14	814	113	3.1	350
Eau	–	–	186	–	186
Totaux	100	–	1000	–	2442.87

G/S	2.56
E/C	0.53

2.3. Procès verbal d'essais mécaniques sur éprouvettes de béton :

Destination du béton : Recherche

Mode de mise en place : Vibration

Composition d'un m³ de béton :

Ciment	350 Kg
Eau	186 litres
Sable 0 / 3	535 Kg
Gravillons 3 / 8	446 Kg
Gravier 8 / 15	227 Kg
Gravier 15 / 25	698 Kg
Densité théorique du béton frais	2442 Kg/ m ³
Densité réelle du béton frais	2145 Kg/ m ³
Forme et dimension des éprouvettes :	160 × 320 mm
Affaissement au cône d'Abrams :	6 cm

Composition du Mélange 02	Age (jours)	Poids (Kg)	Résistance à la compression		R _c moy (MPa)
			Charge totale (KN)	RC en MPa	
<ul style="list-style-type: none"> • Sable 0/3 de ZEMOURI • Gravillon 3/8 de la carrière JOBERT 	07	15.4	520	26	24.5
		15.5	470	23.5	
		15.5	480	24	
<ul style="list-style-type: none"> • Gravier 8/15 de la carrière JOBERT • Gravier 15/25 de la carrière JOBERT. 	28	15.3	610	30.5	30
		15.2	580	29	
		15.3	610	30.5	

3. Mélange 03 :

Les composants de ce mélange sont :

- Sable 0/3 de ZEMOURI
- Gravillon 3/8 de METLILI
- Gravier 8/15 de METLILI

3.1. Tableaux récapitulatifs du mélange 03 :

Tableau 05 : Analyse granulométrique et caractéristiques des composants du mélange 03.

Mailles de tamis en (mm)	% Passants		
	0/3	3/8	8/15
31.5	-	-	-
25	-	-	-
20	-	-	100
16	-	-	97.86
12.5	-	100	87.7
10	-	98.81	50.53
8	-	96.25	15.4
6.3	-	75.06	0.73
5	100	55.38	-
2.5	98.5	8.13	-
1.25	97.1	-	-
0.63	95.2	-	-
0.315	61.5	-	-
0.16	4	-	-
0.08	0	-	-
Densité apparente	1.39	1.34	1.37
Densité absolue	2.74	2.67	2.70
% Impuretés	-	1.45	0.114
Equivalent de sable	72.44%	-	-
Module de finesse	1.25	-	-
Los Angeles	-	21 %	22.3 %
Micro Deval	Humide	-	8 %
	Sec	-	6 %

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON Mr. FAURY

N° Dossier :

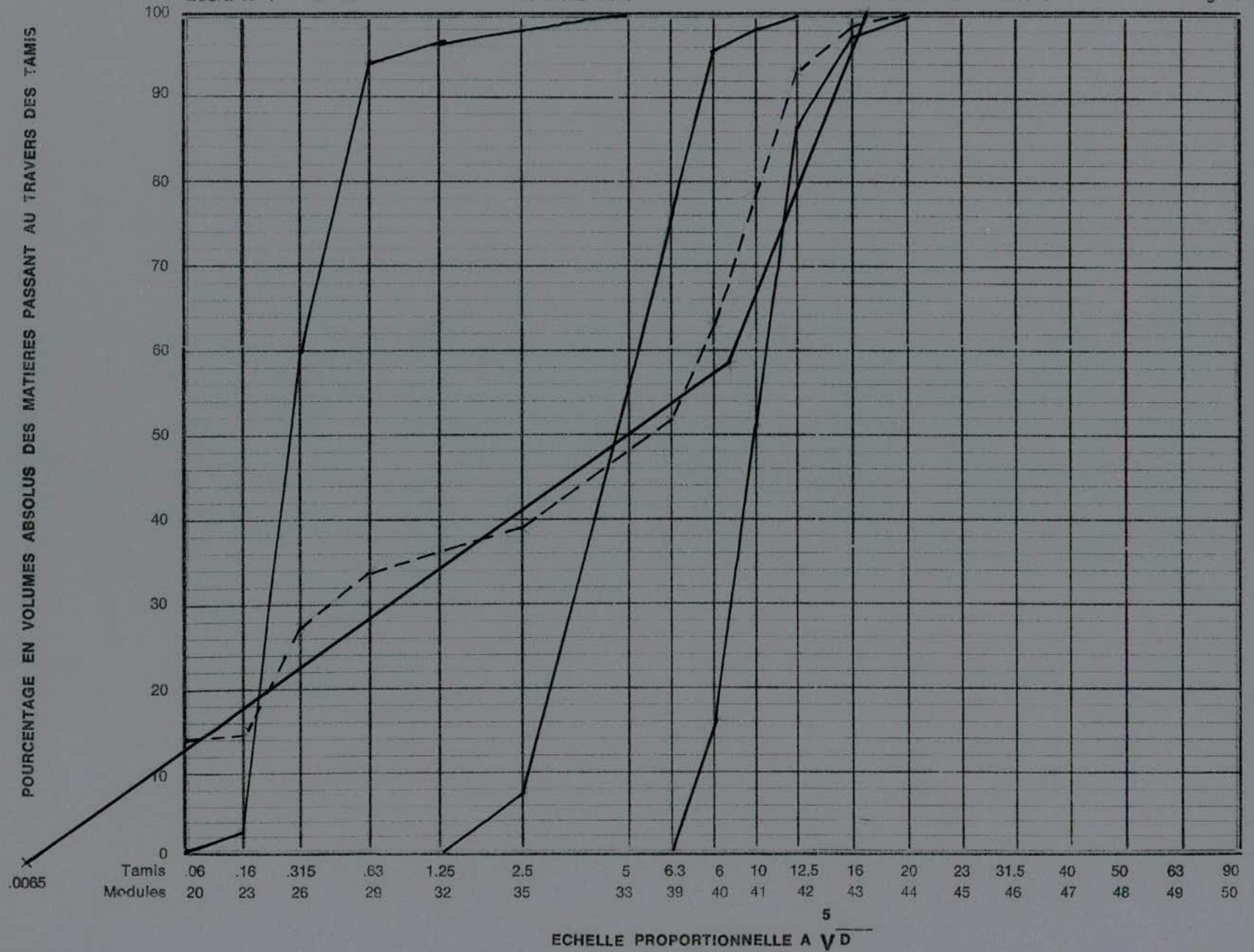
ESSAI N° : 03

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT :

Kg/m³

POURCENTAGE EN VOLUMES ABSOLUS DES MATIERES PASSANT AU TRAVERS DES TAMIS



5
ECHELLE PROPORTIONNELLE A \sqrt{D}

Tableau 06 : Courbe du mélange 03.

Mailles de tamis en (mm)	% Passants				
	Ciment	Sable 0/3	Gravillon 2/0	Gravier 0/45	Mélange
31.5	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
20	14	24	19	43	100
16	14	24	19	42.07	99.07
12.5	14	24	19	37.71	94.71
10	14	24	18.77	21.72	78.49
8	14	24	18.28	6.62	62.9
6.3	14	24	14.25	0.314	52.56
5	14	24	10.52	-	48.52
2.5	14	23.64	1.54	-	39.18
1.25	14	23.3	-	-	37.30
0.63	14	22.84	-	-	36.84
0.315	14	14.76	-	-	28.76
0.16	14	0.96	-	-	14.96
0.08	14	-	-	-	14

3.2 Etude de béton selon Faury :

$$X = 100 - 97.86 = 2.14 \%$$

$$Y = 97.86 - 87.7 = 10.16 \%$$

$$A = 29 ; K = 0.355$$

- Calcul de D :

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \times \frac{X}{Y} = 16 + (16 - 12.5) \times \frac{2.14}{10.16} = 16.73 \text{ mm}$$

- Calcul de $Y_{D/2}$:

$$D/2 = 8.365 \text{ mm}$$

$$Y_{D/2} = A + 17 \times \sqrt[3]{D} = 58.86 \%$$

- Calcul du pourcentage de ciment :

$$\text{Dosage en ciment : } 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume absolu de ciment} = 350/3.1 = 112.9 \text{ l}$$

Eau de gâchage :

$$I = \frac{K}{\sqrt[3]{D}} = 202 \text{ l}$$

$$\text{Volume absolu des éléments secs : } 1000 - 202 = 798 \text{ l}$$

$$\text{Pourcentage de ciment : } 14 \%$$

- Calcul de la composition d'un mètre cube de béton :

Composants	%	V. A totale des M. sèches	V. A des composants	Masse V.A des Composants	Composants kg/m ³
Gravier 8/15	43	798	343.14	2.7	926.478
Gravillon 3/8	19	798	151.62	2.67	404.825
Sable 0/5	24	798	191.52	2.74	524.76
Ciment	14	798	113	3.1	350
Eau	–	–	202	–	202
Totaux	100	–	1000	–	2408

G/S	2.53
E/C	0.58

3.3. Procès verbal d'essais mécanique sur éprouvettes de béton :

Destination du béton : Recherche

Mode de mise en place : Vibration

Composition d'un m³ de béton :

Ciment	350 Kg
Eau	202 litres
Sable 0 / 3	525 Kg
Gravillons 3 / 8	405 Kg
Gravier 8 / 15	926 Kg

Densité théorique du béton frais 2394 Kg/ m³

Densité réelle du béton frais 2405 Kg/ m³

Forme et dimension des éprouvettes : 160 × 320 mm

Affaissement au cône d'Abrams : 4 cm

Composition du Mélange 03	Age (jours)	Poids (Kg)	Résistance à la compression		RC moy (MPa)
			Charge totale (KN)	RC en MPa	
<ul style="list-style-type: none"> • Sable 0/3 de ZEMOURI • Gravillon 3/8 de METLILI 	07	15.5	510	25.5	25.5
		15.3	515	25.75	
		15.5	505	25.25	
<ul style="list-style-type: none"> • Gravier 8/15 de METLILI 	28	15.2	600	30	31
		15.2	650	32.5	
		15.1	610	30.5	

4. Mélange 04 :

Les composants de ce mélange sont :

- Sable 0/3 de ZEMOURI
- Gravillon 3/8 de TIZI OUZOU
- Gravier 8/15 de TIZI OUZOU

4.1. Tableaux récapitulatifs du mélange 04 :

Tableau 07 : Analyse granulométrique et caractéristiques des composants du mélange 04.

Mailles de tamis en (mm)	% Passants		
	0/3	3/8	8/15
31.5	-	-	-
25	-	-	-
20	-	-	100
16	-	-	89.5
12.5	-	-	73.67
10	-	100	52.17
8	-	95.75	31.83
6.3	-	61.62	19.83
5	100	34.13	-
2.5	98.5	4.13	-
1.25	97.1	0	-
0.63	95.2	-	-
0.315	61.5	-	-
0.16	4	-	-
0.08	-	-	-
Densité apparente	1.39	1.47	1.56
Densité absolue	2.74	2.68	2.64
% Impuretés	-	0.47	0.23
Equivalent de sable	72.44%	-	-
Module de finesse	1.25	-	-
Los Angeles	-	22.72%	26.9%
Micro Deval	Humid	-	6.2%
	Sec	-	1.6%

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON FAURY

N° Dossier :

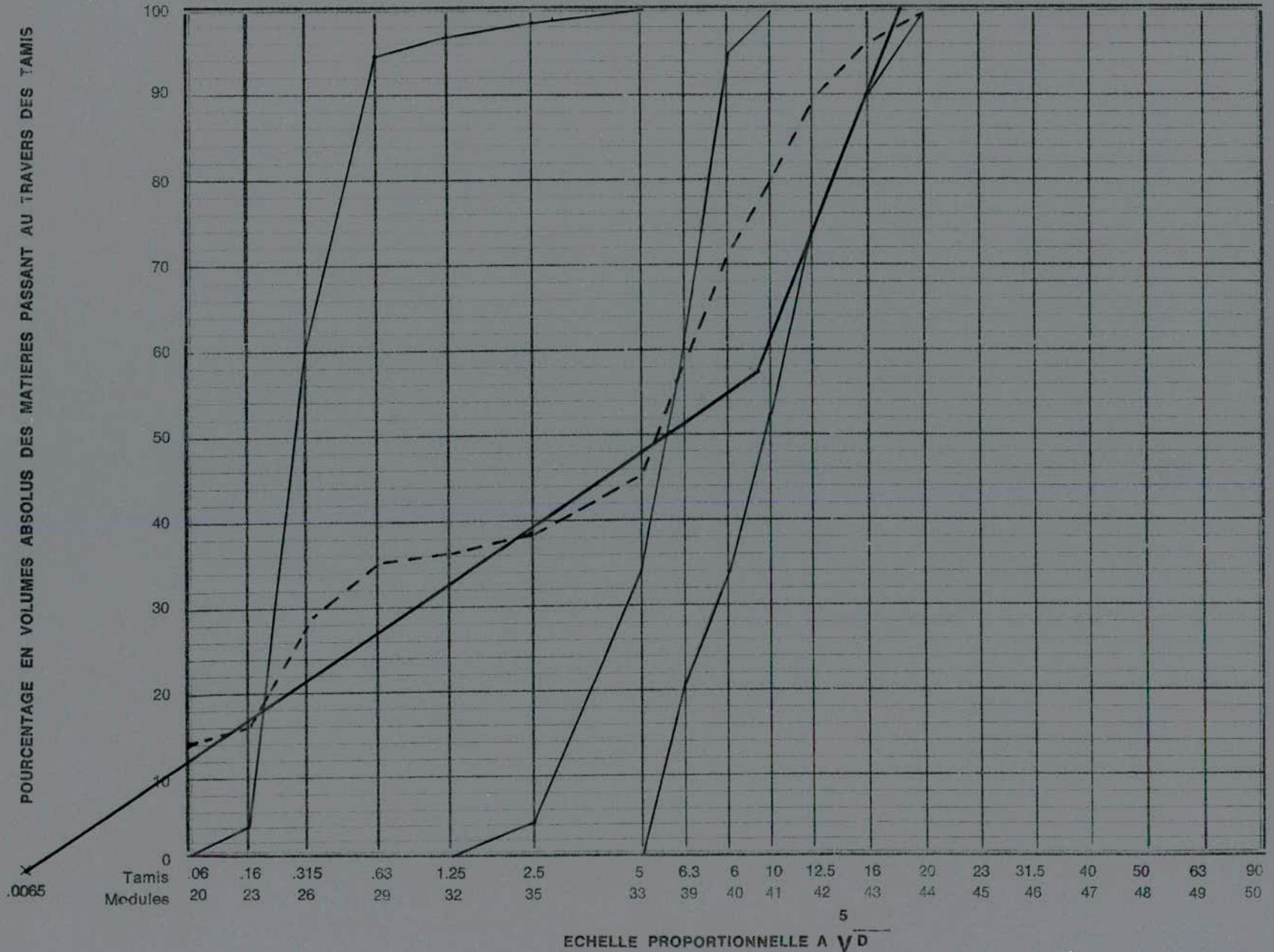
ESSAI N° : 04

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT : 350

Kg/m³

POURCENTAGE EN VOLUMES ABSOLUS DES MATIERES PASSANT AU TRAVERS DES TAMIS



ECHELLE PROPORTIONNELLE A \sqrt{D}

Tableau 08 : Courbe du mélange 04 :

Mailles de tamis en (mm)	% Passants				
	Ciment	Sable 0/5	Gravillon 3/8	Gravier 8/15	Mélange
31.5	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
20	14	23.5	22.5	40	100
16	14	23.5	22.5	35.8	95.8
12.5	14	23.5	22.5	29.46	89.47
10	14	23.5	22.5	20.86	80.86
8	14	23.5	21.54	12.73	71.77
6.3	14	23.5	13.86	7.93	59.29
5	14	23.5	7.68	-	45.18
2.5	14	23.14	0.93	-	38.07
1.25	14	22.82	-	-	36.82
0.63	14	22.37	-	-	36.37
0.315	14	14.45	-	-	28.45
0.16	14	0.94	-	-	14.94
0.08	14	-	-	-	14

4.2 Etude de béton selon Faury :

$$X = 100 - 89.5 = 10.5 \%$$

$$Y = 89.5 - 73.67 = 15.83 \%$$

$$A = 27 \text{ (béton ferme) ; } K = 0.355$$

- Calcul de D :

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \times \frac{X}{Y} = 16 + (16 - 12.5) \times \frac{10.5}{15.83} = 18.38 \text{ mm}$$

- Calcul de $Y_{D/2}$:

$$D/2 = 9.16 \text{ mm}$$

$$Y_{D/2} = A + 17 \times \sqrt[3]{D} = 57.41 \%$$

- Calcul de pourcentage de ciment :

$$\text{Dosage en ciment : } 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume absolu de ciment} = 350/3.1 = 112.91$$

Eau de gâchage :

$$I = \frac{K}{\sqrt[3]{D}} = 198 \text{ l}$$

$$\text{Volume absolu des éléments secs : } 1000 - I = 1000 - 198 = 802 \text{ l}$$

$$\text{Pourcentage de ciment : } 113/802 = 14 \%$$

- Calcul de la composition d'un mètre cube de béton :

Composants	%	V. A totale des M. sèches	V. A des composants	Masse V.A des Composants	Composants kg/m ³
Gravier 8/15	40	802	320.62	2.64	846.4
Gravillon 3/8	22.5	802	180.35	2.68	483.34
Sable 0/5	23.5	802	188.36	2.74	516.12
Ciment	14	802	113	3.1	350
Eau	–	–	198	–	198
Totaux	100	–	1000	–	2394.34

G/S	2.57
E/C	0.56

4.3. Procès verbal d'essais mécanique sur éprouvettes de béton :

Destination du béton : Recherche

Mode de mise en place : Vibration

Composition d'un m³ de béton :

Ciment	350	Kg
Eau	198	litres
Sable 0 / 3	516	Kg
Gravillons 3 / 8	483	Kg
Gravier 8 / 15	846	Kg

Densité théorique du béton frais 2394 Kg/ m³

Densité réelle du béton frais 2405 Kg/ m³

Forme et dimension des éprouvettes : 160 × 320 mm

Affaissement au cône d'Abrams : 4 cm

Composition du mélange 04	Age (jours)	Poids (Kg)	Résistance à la compression		RC moy (MPa)
			Charge totale (KN)	RC en MPa	
<ul style="list-style-type: none"> Sable 0/3 de ZEMOURI Gravillon 3/8 de TIZI OUZOU 	07	15.4	490	24.5	24
		15.5	450	22.5	
<ul style="list-style-type: none"> Gravier 8/15 de TIZI OUZOU 	28	15.4	500	25	30.5
		15.3	620	31	
		15.2	600	30	
		15.2	430	21.5	

Tableau récapitulatif des résistances des différents mélanges avec leur composition

N° de mélange	Composition	R _c (moy) à 7 j (MPa)	R _c (moy) à 28 j (MPa)
01	<ul style="list-style-type: none"> Sable 0/3 de ZEMOURI Gravillon 3/8 de la carrière JOBERT Gravier 8/15 de la carrière JOBERT. 	26.6	32
02	<ul style="list-style-type: none"> Sable 0/3 de ZEMOURI Gravillon 3/8 de la carrière JOBERT Gravier 8/15 de la carrière JOBERT. Gravier 15/25 de la carrière JOBERT. 	24.5	30
03	<ul style="list-style-type: none"> Sable 0/3 de ZEMOURI Gravillon 3/8 de METLILI Gravier 8/15 de METLILI 	25.5	31
04	<ul style="list-style-type: none"> Sable 0/3 de ZEMOURI Gravillon 3/8 de TIZI OUZOU Gravier 8/15 de TIZI OUZOU 	24	30.5

III.2. Données expérimentales sur l'influence de l'épaisseur maximale de la pâte :

Pour estimer l'influence de l'épaisseur maximale de pâte sur la résistance, nous avons calculé e_{pmax} pour chaque mélange par la relation suivante :

$$e_{pmax} = D \left(\sqrt[3]{\frac{g^*}{g}} - 1 \right)$$

tel que :

D : dimension maximale de granulats ;

g : volume de granulats (avant dilatation) ;

g^* : volume de granulats (après dilatation) .

$$g^* = 1 - 0.47 \sqrt[3]{\frac{d}{D}}$$

Où d, D sont le minimum et le maximum des dimensions du granulat correspondant à 10 et 90% de passant, respectivement. Nous avons affiné les versions de cette formule, proposant respectivement les expressions

$$g^* = 1 - 0.39 \left(\frac{d}{D} \right)^{0.22} \quad \text{Pour les granulats roulés}$$

$$g^* = 1 - 0.45 \left(\frac{d}{D} \right)^{0.19} \quad \text{Pour les granulats concassés}$$

III.2.1 Calcul de l'épaisseur maximale de la pâte pour chaque mélange :

1. Mélange 01 :

$$g = 677 \text{ l}$$

$$D = 12.5 \text{ mm}$$

$$d = 0.315 \text{ mm}$$

$$g^* = 1 - 0.45 \left(\frac{0.315}{12.5} \right)^{0.19} \Rightarrow g^* = 776 \text{ l}$$

$$e_{pmax} = 12.5 \left(\sqrt[3]{\frac{776}{677}} - 1 \right) \Rightarrow e_{pmax} = 0.584 \text{ mm}$$

2. Mélange 02 :

$$\begin{aligned}g &= 700 \text{ l} \\D &= 20 \text{ mm} \\d &= 0.315 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$g^* = 1 - 0.45 \left(\frac{0.315}{20} \right)^{0.19} \Rightarrow g^* = 795 \text{ l}$$

$$e_{p\max} = 20 \text{ (} e_{p\max} = 0.871 \text{ mm)}$$

3. Mélange 03 :

$$\begin{aligned}g &= 687 \text{ l} \\D &= 12.5 \text{ mm} \\d &= 0.315 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$g^* = 1 - 0.45 \left(\frac{0.315}{12.5} \right)^{0.19} \Rightarrow g^* = 776 \text{ l}$$

$$e_{p\max} = 16 \text{ (} e_{p\max} = 0.663 \text{ mm)}$$

4. Mélange 04 :

$$\begin{aligned}g &= 689 \text{ l} \\D &= 16 \text{ mm} \\d &= 0.315 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$g^* = 1 - 0.39 \left(\frac{0.315}{16} \right)^{0.22} \Rightarrow g^* = 835 \text{ l}$$

$$e_{p\max} = 16 \text{ (} e_{p\max} = 1.06 \text{ mm)}$$

III. 3. Données expérimentales sur l'influence de l'adhérence mortier- gravier :

L'influence de l'adhérence gravier- mortier peut être quantifiée par la relation (1) qui met en évidence l'évolution de la résistance obtenue pour la matrice tenant compte de la résistance de la pâte et de son épaisseur maximale.

La résistance à la compression du composite est calculée par la relation (3) qui montre grâce aux paramètres a et b l'adhérence plus ou moins bonne des granulats.

$$f_{cm} = f_{cp} \cdot e_{p\max}^{-0.13} \quad (1)$$

$$e_{p\max} = D \left(\sqrt[3]{\frac{g^*}{g}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$f'_{cc} = \frac{a \times f'_{cm}}{b \times f'_{cm} + 1} \quad (3)$$

On veut calculer a et b pour chaque type de granulats ;
on a un système d'équations de deux inconnues a et b, on fixe f'_{cc} et f'_{cm} à sept et vingt-huit jours et on calcul a et b.

Alors à sept jours on a une équation et à vingt-huit jours on a une autre équation d'où :

$$f'_{cc7} = \frac{a \times f'_{cm7}}{b \times f'_{cm7} + 1} \quad (*)$$

$$f'_{cc28} = \frac{a \times f'_{cm28}}{b \times f'_{cm28} + 1} \quad (**)$$

à partir de (*) et (**) on déduit a et b

III.3.1. Calcul de a et b pour chaque mélange :

1. Mélange 01 :

$$f'_{cm7} = f'_{cp7} \cdot e_{p\max}^{-0.13} \quad \text{où :}$$

$$f'_{cp7} = 30.83 \text{ MPa}, f'_{cp28} = 47.27 \text{ MPa} \quad \text{et } e_{p\max} = 0.584 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f'_{cm7} = 30.83 \cdot (0.584)^{-0.13} = 33.06 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow f'_{cm28} = 47.27 \cdot (0.584)^{-0.13} = 50.69 \text{ MPa.}$$

$$\text{Et on a : } f'_{cc7} = 26.16 \text{ MPa}$$

$$f'_{cc28} = 32 \text{ MPa}$$

$$f'_{cc} = \frac{a \times f'_{cm}}{b \times f'_{cm} + 1} \Rightarrow$$

- a = 1.50
- b = 0.0273
- a/b = 55.17

2. Mélange 02 :

$$f'_{cm7} = f'_{cp7} \cdot e_{p\max}^{-0.13} \quad \text{où :}$$

$$f'_{cp7} = 30.83 \text{ MPa}, f'_{cp28} = 47.27 \text{ MPa} \quad \text{et } e_{p\max} = 0.871 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{cm7} = 30.83 \cdot (0.871)^{-0.13} = 31.38 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow f'_{cm28} = 47.27 \cdot (0.871)^{-0.13} = 48.12 \text{ MPa.}$$

Et on a : $f_{cc7} = 24.5 \text{ MPa}$

$$f_{cc28} = 30 \text{ MPa}$$

$$f'_{cc} = \frac{a \times f'_{cm}}{b \times f'_{cm} + 1} \Rightarrow$$

- $a = 1.49$
- $b = 0.029$
- $a/b = 51.37$

3. Mélange 03 :

$$f_{cm7} = f'_{cp7} \cdot e_{p_{\max}}^{-0.13} \quad \text{où :}$$

$$f'_{cp7} = 30.83 \text{ MPa, } f'_{cp28} = 47.27 \text{ MPa} \quad \text{et } e_{p_{\max}} = 0.663 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{cm7} = 30.83 \cdot (0.663)^{-0.13} = 32.52 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow f'_{cm28} = 47.27 \cdot (0.663)^{-0.13} = 49.86 \text{ MPa.}$$

Et on a : $f_{cc7} = 25.5 \text{ MPa}$

$$f_{cc28} = 31 \text{ MPa}$$

$$f'_{cc} = \frac{a \times f'_{cm}}{b \times f'_{cm} + 1} \Rightarrow$$

- $a = 1.53$
- $b = 0.029$
- $a/b = 52.55$

4. Mélange 04 :

$$f_{cm7} = f'_{cp7} \cdot e_{p_{\max}}^{-0.13} \quad \text{où :}$$

$$f'_{cp7} = 30.83 \text{ MPa, } f'_{cp28} = 47.27 \text{ MPa} \quad \text{et } e_{p_{\max}} = 1.06 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{cm7} = 30.83 \cdot (1.06)^{-0.13} = 30.59 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow f'_{cm28} = 47.27 \cdot (1.06)^{-0.13} = 46.61 \text{ MPa.}$$

Et on a : $f_{cc7} = 24 \text{ MPa}$

$$f_{cc28} = 30.5 \text{ MPa}$$

$$f'_{cc} = \frac{a \times f'_{cm}}{b \times f'_{cm} + 1} \Rightarrow$$

- $a = 1.26$
- $b = 0.0198$
- $a/b = 63.65$

III. 4. Résultats et discussions

Tableau récapitulatif des résultats

	g^* (l)	g (l)	D (m)	e_{pmax} (mm)	R_{C7j} (MPa)	R_{C28j} (MPa)
Pâte de ciment	-	-	-	-	30.83	47.27
Mélange N°01 JOBERT	776	677	12.5	0.584	26.6	32
Mélange N°02 JOBERT	795	700	20	0.871	24.5	30
Mélange N°03 METLILI	776	687	16	0.663	25.5	31
Mélange N°04 TIZI OUZOU	835	689	16	1.06	24	30.5

Où :

- g : le volume de granulat avant dilatation ;
- g^* : le volume de granulat après dilatation ;
- D : le diamètre maximal de granulat ;
- e_{pmax} : l'épaisseur maximale de pâte ;
- R_c : la résistance à la compression.

Remarque :

Les résultats des essais mécaniques sur la pâte de ciment sont tirés de la fiche technique mentionné dans le paragraphe 2 du chapitre II.

Les écrasements des éprouvettes issues des mélanges 01, 02, 03, et 04 ont donné les résultats regroupés dans le tableau ci-dessus.

L'analyse de ces résultats portera essentiellement sur l'influence des graviers sur la résistance du béton, à travers des deux effets qui sont :

- l'effet de l'épaisseur maximal de pâte ;
- l'effet de l'adhérence.

1. Effet de l'épaisseur maximale de la pâte :

Cet effet est mis en évidence pour les mélanges 01 et 02 qui sont réalisés avec le même type de granulats mais de diamètre maximal (D_{max}) différents.

Les résultats concernant ces deux mélanges montrent l'effet négatif de l'épaisseur maximale de la pâte sur la résistance à la compression du béton. En effet quand le diamètre maximal augmente on a une augmentation de l'épaisseur maximale de la pâte, ce qui fait chuter la résistance du béton.

Cette tendance a été obtenue par Larrard dans son étude qui a donné les résultats suivants :

	Granulats roulés de Crotoy (France)			Granulats concassés de Boulonnais (France)		
	mortier	Micro béton	Béton	Mortier	Micro béton	béton
Epaisseur maximale de la pâte	0.246	0.839	1.32	0.513	1.39	2.22
Résistance à la compression f_{c28} (MPa)	106.3	90.5	86.8	112.1	109.5	107.7

2. Effet d'adhérence :

Cet effet concerne les mélanges 01, 03, et 04, réalisés par trois graviers d'origines différentes (JOBERT, METLILI, TIZI OUZOU). Et il sera matérialisé par l'analyse des paramètres (a, b, a/b) mentionnés dans la partie théorique tels que :

a : terme qui décrit la liaison pâte- granulat

a/b : terme qui contrôle la résistance intrinsèque de la roche

En ce qui concerne cet effet on a obtenu les résultats suivants :

	a	b	a/b	Granulats décollés	f_{c28} (MPa)
Mélange 01 JOBERT	1.50	0.0273	55.17	0 %	32
Mélange 03 METLILI	1.53	0.029	52.17	0 %	31
Mélange 04 TIZI OUZOU	1.26	0.0198	63.65	16 %	30.5

La résistance à la compression du béton est meilleure lorsque l'adhérence est bonne, et cela correspond à une valeur élevée du paramètre a .

Pour avoir confirmation de ce constat une quantification systématique de la proportion de granulats décollés au niveau de la surface de rupture des éprouvettes a été entreprise, de manière visuelle.

Ces observations ont montré que seuls les granulats roulés subissent des déchaussements de granulats, caractérisés aussi par une valeur basse de a (paramètre qui caractérise l'adhérence mortier – gravier).

L'écart obtenu pour les résistances avec les graviers concassés (JOBERT, METLILI) est ceux roulés de TIZI OUZOU, n'est pas important car ces derniers ne présentent pas une forme nettement roulée.

Bien que la dureté des granulats roulés soit supérieure à celle des concassées, on obtient toujours une résistance plus élevée pour ces derniers. Par l'examen de plan de ruptures des éprouvettes on se rend compte que la rupture du béton de gravier roulé se fait par décollement de ces derniers, tandis que pour le béton de gravier concassé, la très bonne adhérence du mortier sur les graviers entraîne la rupture des graviers eux-même.

Pour les hautes résistances de la matrice la résistance du composite tend vers a/b .

On a :

$$f_{cc} = \frac{a \times f_{cm}}{b \times f_{cm} + 1}$$

Lorsque f_{cm} tend vers ∞ , f_{cc} tend vers a/b .

Aussi, on s'attend à ce que ce rapport soit contrôlé par la résistance intrinsèque de la roche.

Pour confirmer ce fait, il aurait fallu réaliser l'essai, mais cet essai demande des moyens que nous n'avons pas, mais on peut l'estimer par l'étude du rapport a/b dont le classement entre les types des granulats donnerait: TIZI OUZOU > JOBERT > METLILI.

Cette tendance a été aussi obtenu par Larrard dans son étude, tel que les résultats obtenus sont les suivants :

	a	b	a/b	Granulats décollés	f_{c28} (MPa)
Crotoy	0.583	0	∞	13 %	86.8
Bolonnais	1.11	0.0033	337	0 %	107.7
Arlaut	0.96	0.00398	241	0 %	89
Raun	0.651	0	∞	13.6 %	90.9
Cherbourg	1.145	0.00469	244	0 %	101.8

III. 5. Conclusion :

L'étude réalisée a montré que l'origine et la forme des graviers rentrant dans la composition des bétons ont une influence sur leur résistance. Ces résultats nous ont permis aussi de conclure que :

- La résistance de la pâte est toujours plus élevée quel que soit le composite ;
- A un âge donné et pour un type de granulat donné (roulé ou concassé), la résistance décroît quand le diamètre maximal D (et l'épaisseur maximale de la pâte e_{\max}) augmente.
- Le paramètre (a) ne peut que décrire la liaison pâte- granulats, or il est depuis longtemps reconnu que les granulats calcaires procurent une excellente liaison avec le ciment de la matrice, ceci est cohérent avec les hautes valeurs du paramètre a .

IV. Etude expérimentale de l'influence du sable :

Les mélanges qu'on a cités précédemment et leurs résultats d'écrasement sont les suivants :

IV.1. Etude des mélanges :

IV.1.1. Mélanges 1 et 2 :

1. analyse des composants :

Gravier concassé 8/15
Gravillon concassé 3/8
Sable jaune roulé 0/3
Sable de mer 0/5

- **Sable jaune roulé (ZEMOURI) :**

Ce sable ne rentre pas dans le fuseau granulaire, et à un module de finesse égal à $1.25 \leq 1.8$, on peut dire que c'est un sable peu trop fin, et qu'il est propre avec un équivalent de sable de 72%.

Ce sable est utilisé si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

- **Sable noir de mer (AKBOU) :**

Ce sable est très propre avec un équivalent de sable de 93%, et de module de finesse de $2.93 \geq 2.2$, il entre dans la partie inférieure du fuseau granulaire, donc il est un peu trop grossier.

Ce sable est utilisé pour la recherche de résistances élevées, mais on aura, en général une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

- **Gravier 8/15 et gravillon 3/8 :**

Ces graviers sont de la carrière JOBERT.
Après analyses granulométrique, mesure des impuretés et densités, on constate que le gravier est dense, très propre.

2. Formulation de béton :

La méthode utilisée dans cette formulation de béton est celle de Faury.
Nous avons réalisé deux mélanges :

- **Mélange 01 :**

sable jaune 0/3 + gravillon 3/8 + gravier 8/15.

Ce mélange présente une courbe ayant un écartement vers le haut au niveau de la partie fine, c'est un mélange riche en éléments fins.

Les résultats des analyses granulométriques et caractéristiques, courbe de mélange sont donnés dans les tableaux 01 et 02 respectivement.

- **Mélange 02 :**

sable de mer 0/5 + gravillon 3/8 + gravier 8/15.

Pour ce mélange la courbe se rapproche de la courbe de référence.

Les résultats des analyses granulométriques et caractéristiques, courbe de mélange sont donnés dans les tableaux 03 et 04 respectivement.

3. Tableaux récapitulatifs des mélanges :

A- Composition avec le sable jaune :

1. Tableaux :

Tableau01 : Analyse granulométrique et caractéristique des composants du mélange 01

Mailles des tamis (mm)	% Passant		
	0/3	3/8	8/15
20	-	-	-
16	-	-	100
12.5	-	100	93.43
10	-	98.75	48.9
8	-	95	14.33
6.3	-	70.125	0
5	100	43.875	-
2.5	98.5	3.625	-
1.25	97.1	0	-
0.63	95.2	-	-
0.315	61.5	-	-
0.16	4	-	-
0.08	0	-	-
Densité apparente	1.39	1.40	1.42
Densité absolue	2.74	2.74	2.79
% Impuretés	-	1.3	0.26
Equivalent de sable	72.44%	-	-
Module de finesse	1.25	-	-
Los Angeles	-	24 %	24.44 %
Micro Deval	Humide	-	5.9 %
	Sec	-	3.5 %

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON Mr. FAURY

N° Dossier :

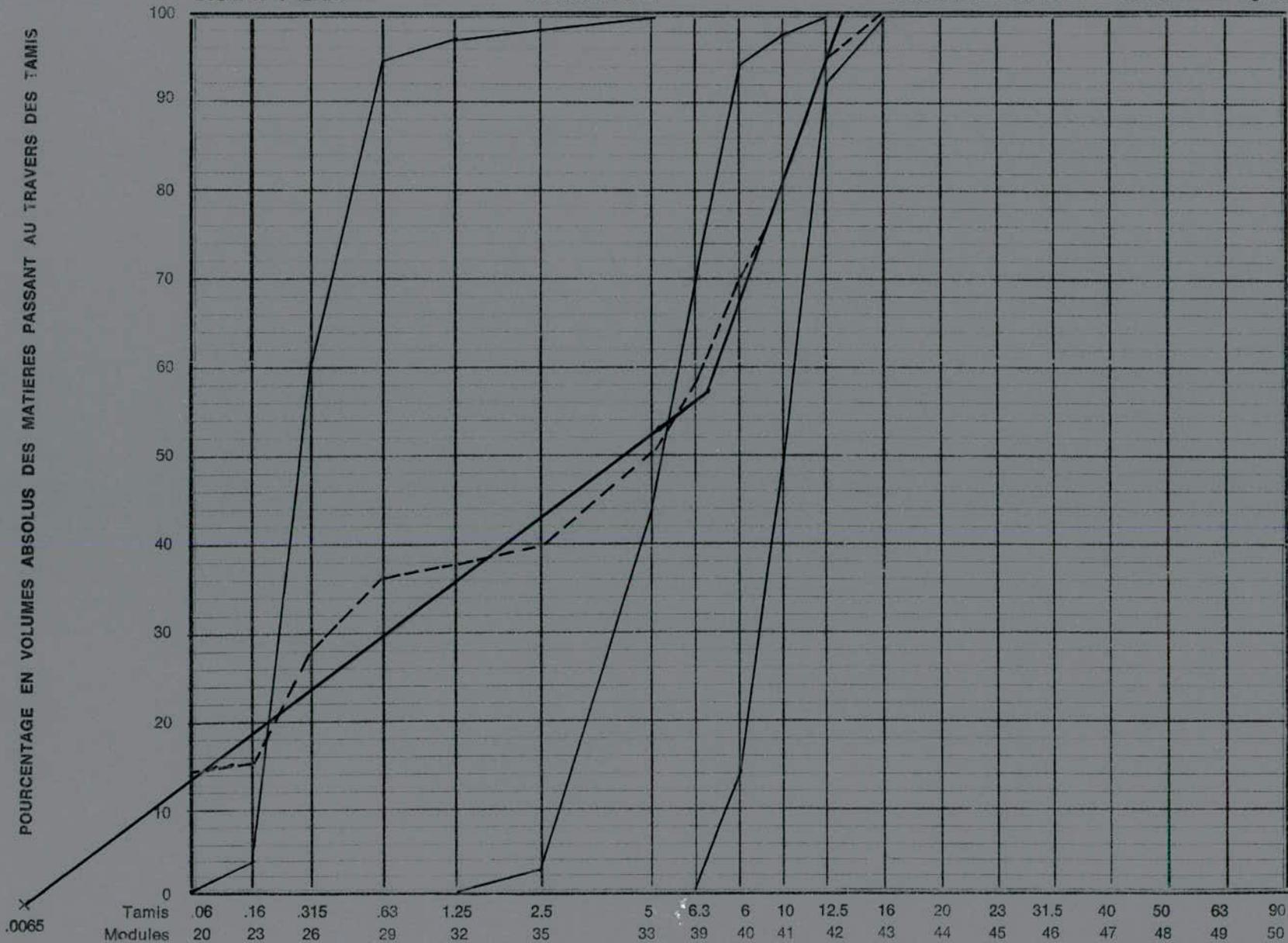
ESSAI N° : 01

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT : 350

Kg/m³

POURCENTAGE EN VOLUMES ABSOLUS DES MATIERES PASSANT AU TRAVERS DES TAMIS



5
ECHELLE PROPORTIONNELLE A \sqrt{D}

Tableau 02 : Courbe du mélange 01 :

Mailles des tamis en (mm)	% Passant				
	Ciment	Sable 0/3	Gravillon 3/8	Gravier 8/15	Mélange
31.5	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
16	14	24	30	32	100
12.5	14	24	30	29.89	97.89
10	14	24	29.625	15.65	83.275
8	14	24	28.5	4.58	71.08
6.3	14	24	21	-	59
5	14	24	13.16	-	51.16
2.5	14	23.64	1.08	-	38.72
1.25	14	23.30	-	-	37.3
0.63	14	22.85	-	-	36.85
0.315	14	14.76	-	-	28.76
0.16	14	0.96	-	-	14.96
0.08	14	-	-	-	14

2. Etude de béton Selon Faury :

$$X = 100 - 93.43 = 6.57 \%$$

$$Y = 93.43 - 48.9 = 44.53 \%$$

$$A = 29 ; K = 0.355$$

- Calcul de D :

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \times \frac{X}{Y} = 12.5 + (12.5 - 10) \times \frac{6.57}{44.53} = 12.86 \text{ mm}$$

- Calcul de $Y_{D/2}$:

$$D/2 = 6.43 \text{ mm}$$

$$Y_{D/2} = A + 17 \times \sqrt[3]{D} = 57.3 \%$$

- Calcul du pourcentage de ciment :

$$\text{Dosage en ciment : } 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume absolu du ciment} = 350/3.1 = 112.9 \text{ l}$$

Eau de gâchage :

$$I = \frac{K}{\sqrt[3]{D}} = 213 \text{ l}$$

Volume absolu des éléments secs : $1000 - 213 = 787$ l

Pourcentage du ciment : 14 %

- Calcul de la composition d'un mètre cube de béton :

Composants	%	V. A. Totale des m. sèche	V. A Des composants	Masse V.A des composants	Composants en kg/m^3
Gravier 8/15	32	787	251.84	2.79	702.63
Gravillon 3/8	30	787	236.1	2.74	647
Sable 0/5	24	787	188.88	2.74	517.53
Ciment	14	787	113	3.1	350
Eau	–	–	213	–	213
Totaux	100	–	1000	–	2430

G/S	2.6
E/C	0.60

3. Procès verbal d'essais mécaniques sur éprouvettes de béton :

Destination du béton : Recherche

Mode de mise en place : Vibration

Composition d'un m^3 de béton :

Ciment	350 Kg
Eau	213 litres
Sable 0 / 3	518 Kg
Gravillons 3 / 8	647 Kg
Gravier 8 / 15	703 Kg
Densité théorique du béton frais	2217 Kg/ m^3
Densité réelle du béton frais	2340 Kg/ m^3

Forme et dimension des éprouvettes : 160×320 mm

Affaissement au cône d'Abrams : 5 cm

Composition	Age (jours)	Poids (Kg)	Résistance à la compression		RC moy (MPa)
			Charge totale (KN)	RC en MPa	
<ul style="list-style-type: none"> • sable jaune 0/3 • gravillon 3/8 • gravier 8/15. 	07	15.5	515	25.75	26.16
		15.3	520	26	
		15.5	535	26.75	
	28	15.2	650	32.5	32
		15.3	610	30.5	
		15.2	660	33	

B- Composition avec sable noir de mer :

1. Tableaux :

Tableau.03 : Analyses granulométrique et caractéristiques des composants du mélange 02.

Mailles des tamis (mm)	% Passant		
	0/5	3/8	8/15
20	-	-	-
16	-	-	100
12.5	-	100	93.43
10	-	98.75	48.9
8	-	95	14.33
6.3	-	70.125	0
5	100	43.875	-
2.5	86.4	3.625	-
1.25	60.4	0	-
0.63	41.4	-	-
0.315	15.6	-	-
0.16	2.6	-	-
0.08	0	-	-
Densité apparente	1.50	1.40	1.42
Densité absolue	2.38	2.74	2.79
% Impuretés	-	-	-
Equivalent de sable	93%	-	-
Module de finesse	2.93	-	-
Los Angeles	-	24 %	24.44 %
Micro Deval	Humide	-	5.9 %
	Sec	-	3.5 %

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON FAURY

N° Dossier :

ESSAI N° : 02

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT : 350

Kg/m³

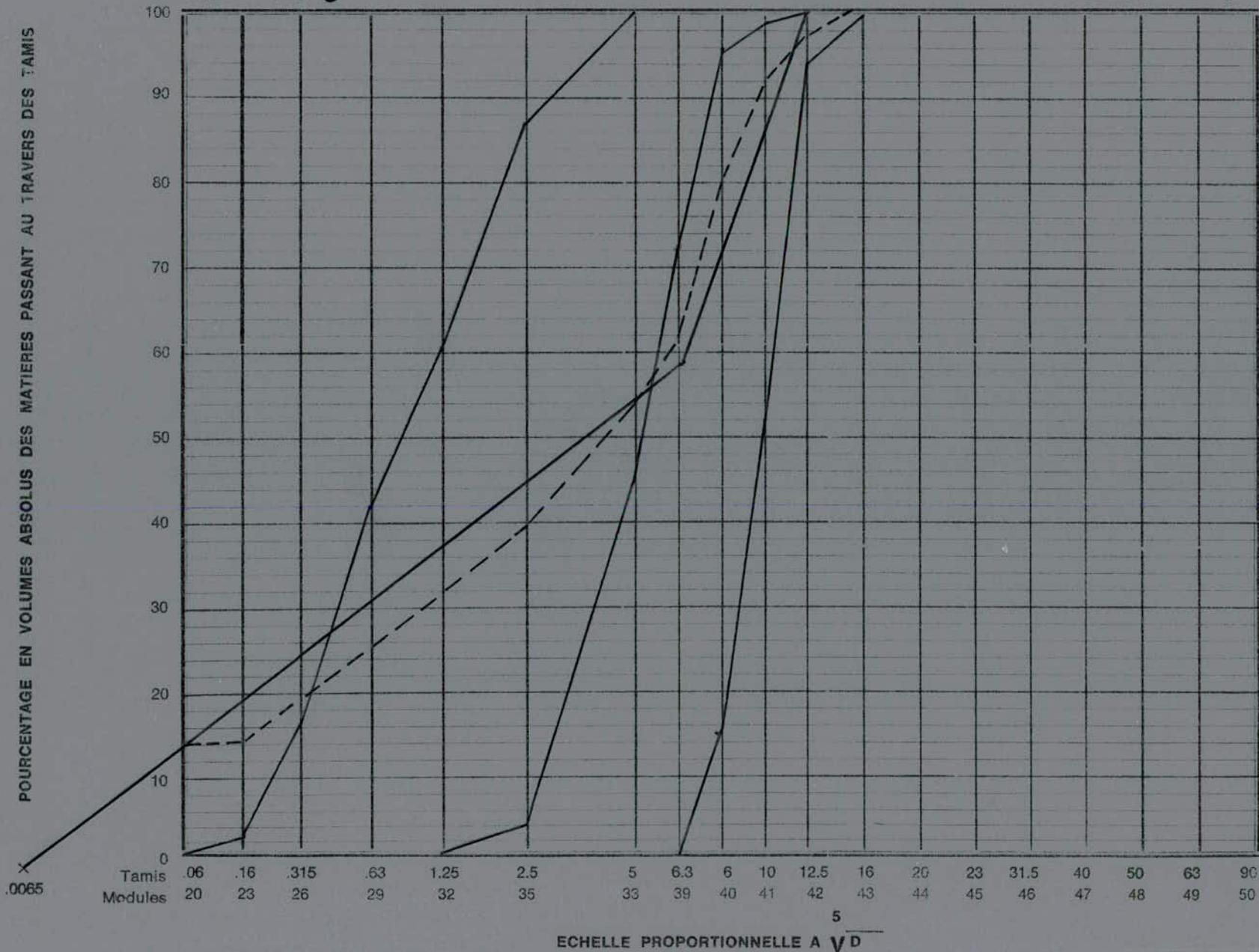


Tableau.04 : Courbe du mélange 02.

Mailles des tamis (mm)	% Passants				
	Ciment	Sable 0/5	Gravillon 3/8	Gravier 8/15	Mélange
20	-	-	-	-	-
16	14	28	25	33	100
12.5	14	28	25	30.83	97.83
10	14	28	24.68	16.13	82.81
8	14	28	23.75	4.73	70.48
6.3	14	28	17.53	-	59.53
5	14	28	10.76	-	52.96
2.5	14	24.192	0.9	-	39.09
1.25	14	166.9	-	-	30.9
0.63	14	11.6	-	-	25.6
0.315	14	4.36	-	-	18.36
0.16	14	0.72	-	-	14.72
0.08	14	-	-	-	14

2. Etude de béton selon Faury :

$$X = 100 - 93.43 = 6.57 \%$$

$$Y = 93.43 - 48.9 = 44.53 \%$$

$$A = 29 ; K = 0.355$$

- Calcul de D :

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \times \frac{X}{Y} = 12.5 + (12.5 - 10) \times \frac{6.57}{44.53} = 12.86 \text{ mm}$$

- Calcul de $Y_{D/2}$:

$$D/2 = 6.43 \text{ mm}$$

$$Y_{D/2} = A + 17 \times \sqrt[3]{D} = 57.33 \%$$

- Calcul de pourcentage de ciment :

$$\text{Dosage en ciment : } 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume absolu de ciment} = 350/3.1 = 112.91$$

Eau de gâchage :

$$I = \frac{K}{\sqrt[3]{D}} = 213 \text{ l}$$

Volume absolu des éléments secs : $1000 - 213 = 787 \text{ l}$

Pourcentage de ciment : 14 %

- Calcul de la composition d'un mètre cube de béton :

Composants	%	V. A total des m. sèches	V. A des composants	Masses V.A des composants	Composants en kg/m^3
Gravier 8/15	33	787	259.71	2.79	724.6
Gravillon	25	787	196.75	2.74	539
Sable 0/5	28	787	220.36	2.38	524.4
Ciment	14	787	113	3.1	350
Eau	–	–	213	–	213
Totaux	100	–	1000	–	2351

G/S	2.4
E/C	0.60

3. Procès verbal d'essais mécaniques sur éprouvettes de béton :

Destination du béton : Recherche

Mode de mise en place : Vibration

Composition d'un m^3 de béton :

Ciment	350 Kg
Eau	213 litres
Sable 0 / 3	524 Kg
Gravillons 3 / 8	539 Kg
Gravier 8 / 15	725 Kg

Densité théorique du béton frais 2351 Kg/m^3

Densité réelle du béton frais 2430 Kg/m^3

Forme et dimension des éprouvettes : 160 × 320 mm

Affaissement au cône d'Abrams : 6 cm

Composition	Age (jours)	Poids (Kg)	Résistance à la compression		RC moy (MPa)
			Charge totale (KN)	RC en MPa	
<ul style="list-style-type: none"> • sable de mer 0/5 • gravillon 3/8 • gravier 8/15. 	07	15.5	545	27.25	27.41
		15.3	535	26.75	
	28	15.5	565	28.25	34.16
		15.2	700	35	
		15.3	700	35	
		15.2	650	32.5	

IV.1.2. Mélange 3, 4 et 5 :

1. Analyse des composants :

Les composants sont :

- Gravier concassé 15/25
- Gravier concassé 8/15
- Sable noir concassé 0/8
- Sable jaune roulé 0/5

- **Sable jaune»roulé » ZEMOURI :**

Ce sable ne rentre pas dans le fuseau granulaire, de module de finesse égal à $1,25 < 2,2$ on peut dire que c'est un sable peu trop fin, et il est très propre avec un équivalent de sable (ES) de 82%.

- **Sable noir «concassé » SIDI EL KEBIR :**

C'est un sable un peu trop grossier dont le module de finesse est égal à 3,1. et il est propre avec un équivalent de sable de 87%.

Ce sable est à utiliser de préférence dans le béton si on veut obtenir une résistance élevée.

- **Gravier concassé 15/25 et 8/15**

Après analyse granulométrique, mesure des impuretés et densités ; on constate que le Gravier est dense, propre, de forme et de granulométrie satisfaisante.

2. Formulation du béton :

La méthode utilisée dans cette formulation de béton est celle de DREUX GORISSE

Afin d'avoir la composition idéale, nous avons réalisé trois «03 » mélanges différents :

- **Mélange 03** : Sable Jaune + Gravier 15/25 et 8/15
- **Mélange 04** : Sable Noir + Gravier 15/25 et 8/15
- **Mélange 05** : Sable (Jaune + Noir) + Gravier 15/25 et 8/15

4. Interprétation :

- **Mélange 03** :

Ce mélange présente une courbe ayant un écartement vers le haut au niveau de la partie fine. C'est un mélange riche en éléments fins.

- **Mélange 04** :

Se caractérise par une courbe présentant un écartement très important vers le bas pour la partie fine «à partir du tamis 2.5 »

Pour ce mélange, il y a un manque de fine qu'il faut rattraper par un rajout d'éléments fins.

- **Mélange 05** :

Pour ce troisième mélange, la courbe se rapproche de la courbe de référence et la courbe de l'association des deux sables «jaune + Noir », montre une discontinuité et une tendance de se rapprocher de la courbe de référence.

4. Tableaux récapitulatifs des mélanges :

A- Composition avec le sable jaune :

1. Tableaux :

Tableau 05 : Analyses granulométrique et caractéristiques des composants du mélange 03.

Mailles des tamis (mm)	% Passants		
	0/5	8/15	15/25
25	-	-	100
20	-	100	81.68
16	-	95.83	49.58
12.5	-	76.97	7.52
10	-	50.5	3
8	-	30.5	0.3
6.3	100	14.27	0
5	99.17	8.8	-
2.5	97.2	0	-
1.25	95.5	-	-
0.63	93.9	-	-
0.315	81.8	-	-
0.16	7	-	-
0.08	1.7	-	-
Reste	0	-	-
Densité apparente	-	-	-
Densité absolue	2.71	2.68	2.77
% Impuretés	-	0.20	0.13
Equivalent de sable	82 %	-	-
Module de finesse	1.254	-	-
Los Angeles	-	22 %	23 %
Micro Deval	Humid	-	8 %
	Sec	-	6 %

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON FAURY

N° Dossier :

ESSAI N° : 04

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT :

Kg/m³

POURCENTAGE EN VOLUMES ABSOLUS DES MATIERES PASSANT AU TRAVERS DES TAMIS



X
.0065

Tamis Modules: .06 20, .16 23, .315 26, .63 29, 1.25 32, 2.5 35, 5 33, 6.3 39, 6 40, 10 41, 12.5 42, 16 43, 20 44, 23 45, 31.5 46, 40 47, 50 48, 63 49, 90 50

5
ECHELLE PROPORTIONNELLE A \sqrt{D}

Tableau 06 : Courbe du mélange 03.

Mailles des tamis (mm)	% Passants			
	Sable 0/5	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Mélange
25	24.5	13.9	61.6	100
20	24.5	13.9	50.31	88.71
16	24.5	13.32	24.38	62.2
12.5	24.5	10.69	4.63	36.82
10	24.5	7.02	1.85	33.37
8	24.5	4.24	0.18	28.92
6.3	24.5	1.98	0	26.48
5	24.3	1.22	-	25.52
2.5	23.81	0	-	23.81
1.25	23.39	-	-	263.39
0.63	23	-	-	23
0.315	20	-	-	20
0.16	1.715	-	-	1.71
0.08	0.41	-	-	0.41
Reste	0	-	-	0

1. Composition pondérale du béton (méthode Dreux - Gorisse) :

• Paramètres de calcul :

Résistance souhaitée	30 MPa
Ouvrabilité	8 cm
Coefficient K	-2
Coefficient granulaire	0.5
Coefficient de compacité	0.825
Classe de ciment	45 MPa
Masse volumique du ciment	3.1 Kg/l
Module de finesse du sable	1.254
MV Sable 0/5	2.71 Kg/l
MV Gravier 8/15	2.68 Kg/l
MV Gravier 15/25	2.77 Kg/l

• Proportions volumiques des granulats :

Sable 0/5	24.6 %
Gravier 8/15	13.9 %
Gravier 15/25	61.6 %

• **Composition pondérale théorique :**

Ciment	350 Kg
Eau	200 l
Sable 0/5	467 Kg
Gravier 8/15	260 Kg
Gravier 15/25	1195 Kg
Densité du béton frais	2502

B. Composition avec le sable noir :

1. Tableaux:

Tableau 07. Analyses granulométrique et caractéristiques des composants du mélange 04.

Mailles des tamis (mm)	% Passants		
	0/5	8/15	15/25
25	-	-	100
20	-	100	81.68
16	-	95.83	49.58
12.5	-	76.97	7.52
10	-	50.5	3
8	100	30.5	0.3
6.3	98.3	14.27	0
5	95.7	8.8	-
2.5	86.3	0	-
1.25	52.13	-	-
0.63	30.6	-	-
0.315	16.1	-	-
0.16	7.7	-	-
0.08	2.7	-	-
RESTE	0	-	-
Densité apparente	-	-	-
Densité absolue	2.74	2.68	2.77
% Impuretés	-	0.20	0.13
Equivalent de sable	87 %	-	-
Module de finesse	3.1	-	-
Los Angeles	-	22 %	23 %
Micro Deval	Humide	-	8 %
	Sec	-	6 %

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON Mr. FAURY

N° Dossier :

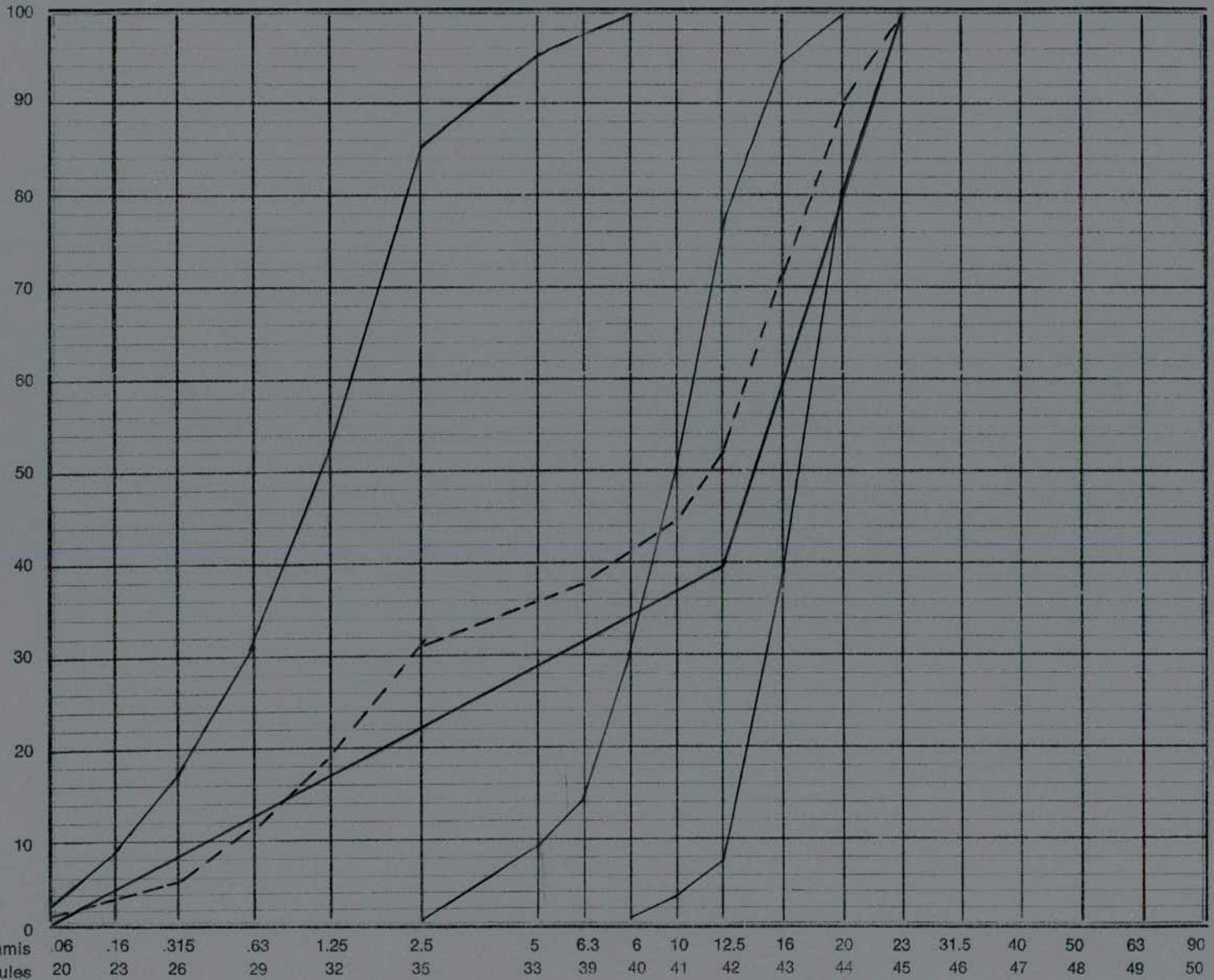
ESSAI N° : 03

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT :

Kg/m³

POURCENTAGE EN VOLUMES ABSOLUS DES MATIERES PASSANT AU TRAVERS DES TAMIS



X
.0065

5
ECHELLE PROPORTIONNELLE A \sqrt{D}



Tableau.08. Courbe du mélange 04.

Mailles des tamis (mm)	% Passants			
	Sable 0/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Mélange
25	35.9	16.9	47.2	100
20	35.9	16.9	38.55	91.35
16	35.9	16.19	18.68	70.77
12.5	35.9	13	3.55	52.45
10	35.9	8.53	0.14	44.57
8	35.9	5.15	0	41.05
6.3	35.29	2.41	-	37.7
5	34.35	1.48	-	35.83
2.5	30.98	0	-	30.98
1.25	18.71	-	-	18.71
0.63	10.98	-	-	10.98
0.315	5.78	-	-	5.78
0.16	2.76	-	-	2.76
0.08	0.96	-	-	0.96
Reste	0	-	-	0

2. Composition pondérale du béton (méthode Dreux - Gorisse) :

• Paramètres de calcul :

Résistance souhaitée	30 MPa
Ouvrabilité	8 cm
Coefficient K	-2
Coefficient granulaire	0.5
Coefficient de compacité	0.825
Classe de ciment	45 MPa
Masse volumique du ciment	3.0 Kg/l
Module de finesse du sable	3.1
MV Sable 0/8	2.74Kg/l
MV Gravier 8/15	2.68Kg/l
MV Gravier 15/25	2.77Kg/l

• Proportions volumiques des granulats :

Sable 0/8	35.9 %
Gravier 8/15	16.9%
Gravier 15/25	47.2 %

- **Composition pondérale théorique :**

Ciment	350 Kg
Eau	200 l
Sable 0/8	689 Kg
Gravier 8/15	317 Kg
Gravier 15/25	917 Kg

Densité du béton frais 2503 Kg/m³

B- Composition avec le sable (jaune + noir) :

1. Tableaux :

Tableau.09. Analyse granulométrique et caractéristiques des composants du mélange 05.

Mailles des tamis (mm)	% Passants		
	0/8	8/15	15/25
25	-	-	100
20	-	100	81.68
16	-	95.83	49.58
12.5	-	76.97	7.52
10	-	50.5	3
8	100	30.5	0.3
6.3	99.43	14.27	0
5	98	8.8	-
2.5	93.59	0	-
1.25	81.4	-	-
0.63	73	-	-
0.315	60.11	-	-
0.16	7.22	-	-
0.08	2.03	-	-
Reste	0	-	-
Densité apparente	-	-	-
Densité absolue	2.72	2.68	2.77
% Impuretés	-	0.20	0.13
Equivalent de sable	-	-	-
Module de finesses	1.866	-	-
Los Angeles	-	22 %	23 %
Micro Deval	Humide	-	8 %
	Sec	-	6 %

COURBE GRANULOMETRIQUE SELON FAURY

N° Dossier :

ESSAI N° : 05

EN DATE DU :

DOSAGE EN CIMENT :

Kg/m³

POURCENTAGE EN VOLUMES ABSOLUS DES MATIERES PASSANT AU TRAVERS DES TAMIS

×
.0065

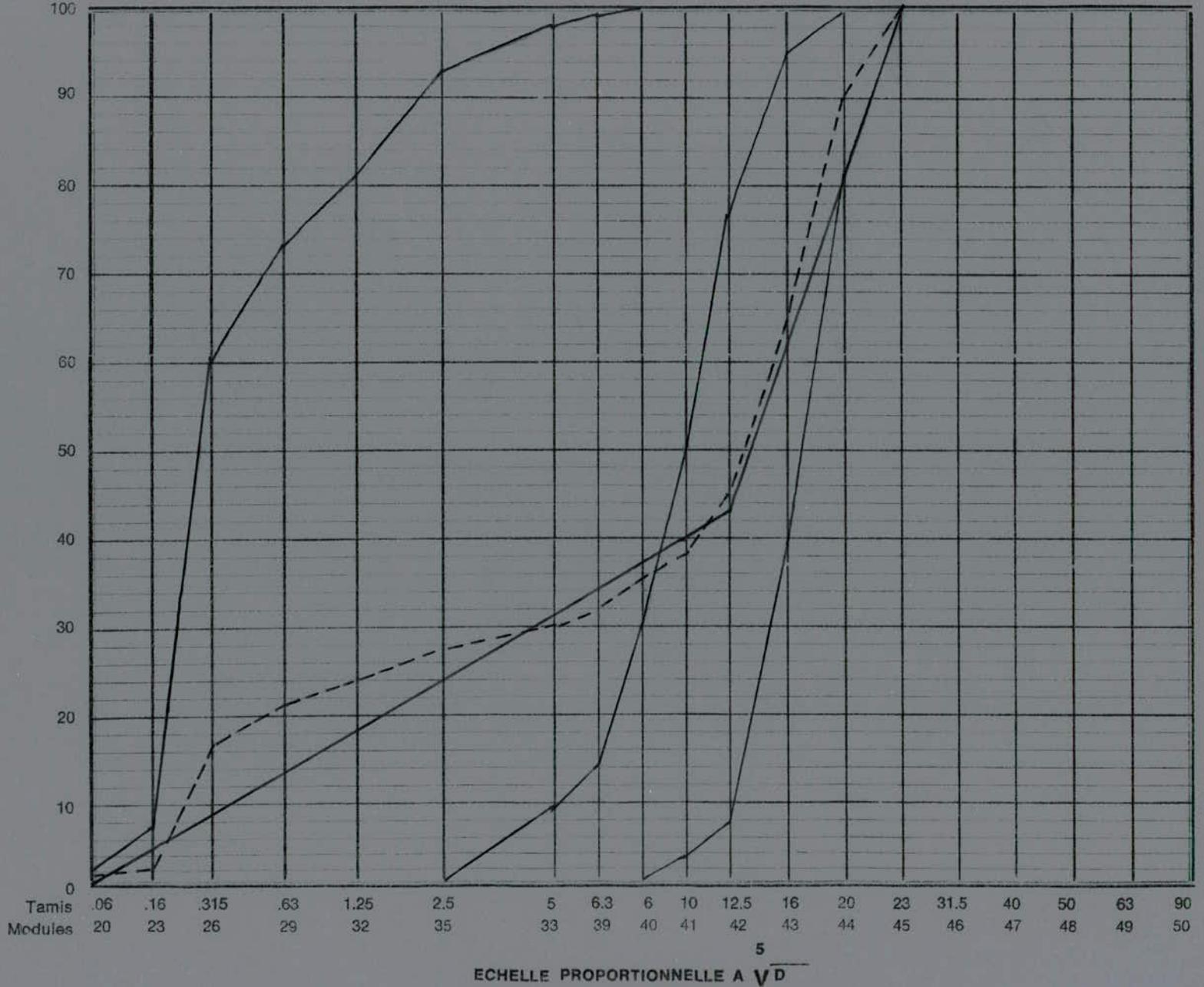


Tableau.10. Courbe du mélange 05.

Mailles des tamis (mm)	% Passants			
	Sable 0/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25	Mélange
25	29	14.4	56.6	100
20	29	14.4	46.23	89.63
16	29	13.8	22.4	65.2
12.5	29	11.08	4.25	44.33
10	29	7.27	1.69	37.96
8	29	4.39	0.17	33.56
6.3	28.83	2.05	0	30.88
5	28.42	1.26	-	29.68
2.5	27.14	0	-	27.14
1.25	23.6	-	-	23.6
0.63	21.17	-	-	21.17
0.315	17.43	-	-	17.43
0.16	2.09	-	-	2.09
0.08	0.58	-	-	0.58
Reste	0	-	-	0

2. Composition pondérale du béton (méthode Dreux - Gorisse) :

• Paramètres de calcul :

Résistance souhaitée	30 MPa
Ouvrabilité	8 cm
Coefficient K	-2
Coefficient granulaire	0.5
Coefficient de compacité	0.825
Classe de ciment	45 MPa
Masse volumique du ciment	3.1 Kg/l
Module de finesse du sable	1.866
MV Sable 0/5	2.72 Kg/l
MV Gravier 8/15	2.68 Kg/l
MV Gravier 15/25	2.77 Kg/l

• Proportions volumiques des granulats :

Sable 0/5	29%
Gravier 8/15	14.4 %
Gravier 15/25	56.6 %

• Composition pondérale théorique :

Ciment	350 Kg
Eau	200 l
Sable 0/5	553 Kg
dont :	
Sable -1	370 Kg
Sable -2	183 Kg
Gravier 8/15	271 Kg
Gravier 15/25	1099 Kg

Densité du béton frais 2502 Kg/m³

IV. 2. Résultats et discussions :

Tableau des résultats

	Composition	Module de finesse (M _f)	Equivalent de sable (ES)	R _{C7j} (MPa)	R _{C28j} (MPa)
Mélange N°01	<ul style="list-style-type: none"> • Sable 0/3 de ZEMOURI • Gravillon 3/8 de la carrière JOBERT • Gravier 8/15 de la carrière JOBERT 	1.25	72%	26.16	32
Mélange N°02	<ul style="list-style-type: none"> • Sable 0/5 d'AKBOU • Gravillon 3/8 de la carrière JOBERT • Gravier 8/15 de la carrière JOBERT 	2.93	93%	27.41	34.16
Mélange N°03	<ul style="list-style-type: none"> • Sable 0/8 noir • Gravier 8/15 de SIDI ELKEBIR • Gravier 15/25 de SIDI ELKEBIR 	3.1	87%	18.6	22.8
Mélange N°04	<ul style="list-style-type: none"> • Sable 0/3 jaune • Gravier 8/15 de SIDI ELKEBIR • Gravier 15/25 de SIDI ELKEBIR 	1.25	72%	20.55	24.6
Mélange N°05	<ul style="list-style-type: none"> • Sable 0/8 (noir + jaune) • Gravier 8/15 de SIDI ELKEBIR • Gravier 15/25 de SIDI ELKEBIR 	1.89	78%	24.2	31.3

Les résultats des expériences précédentes, sont regroupés dans le tableau ci-dessus. On remarque que la qualité et l'origine du sable entrant dans la composition des mélanges a une influence importante sur la résistance à la compression.

Cette influence est caractérisée par deux facteurs principaux qui sont la finesse et la propreté du sable. L'analyse portera sur deux groupes de mélanges :

A- Mélanges 01 et 02 :

Ils sont constitués de même type de gravier (de la carrière JOBERT), et de deux types de sable différents l'un de ZEMOURI, et l'autre d'AKBOU, dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessus.

L'écart entre les résistances obtenues, qui n'est pas important (de l'ordre de 2,16 MPa) est dû aux caractéristiques des sables employés (la finesse et la propreté).

On a obtenu une résistance élevée avec l'emploi du sable d'AKBOU (mélange 02) car ce dernier présente les caractéristiques suivantes :

1. C'est un sable roulé (de mer) qui a une courbe granulométrique étalée (c'est à dire que le pourcentage des éléments est dégradé). Représenté dans l'annexe A échantillon N° 02.
2. Il est très propre (ES = 93%), ce qui lui permet d'avoir une meilleure adhérence mortier - gravier.
3. Il a un module de finesse égale à 2.93 qui est supérieur à 2.8, donc il rentre dans la partie inférieure du fuseau granulaire.

Pour le mélange 01 on a obtenu une résistance moins bonne que celle du mélange 02, car le sable entrant dans sa constitution a :

1. Une courbe granulométrique non étalée qui montre que ce sable contient plus de 80% d'éléments fins.
2. Un module de finesse égal à 1.25 qui est inférieur à 2.2, donc il est très fin, son emploi nécessite une augmentation du dosage en eau ce qui fait chuter la résistance.

L'avantage de l'emploi d'un tel sable serai son utilisation dans les bétons de mis en œuvre à la pompe.

B- Mélanges 03, 04, et 05 :

Ils sont réalisés avec autre type de gravier (SIDI EL KEBIR), et de trois sables différents, un sable roulé de mer (jaune), un sable concassé (noir) de SIDI EL KEBIR, et un mélange des deux sables (jaune + noir).

Pour ces trois mélanges l'influence du sable est bien mise en évidence. En effet les écarts entre les résistances obtenues sont relativement élevés.

Pour le mélange 04 l'emploi du sable jaune donne une moins bonne résistance, c'est le même cas que le mélange 01 (même caractéristique du sable).

Pour le mélange 03 on a obtenu la plus faible résistance avec l'emploi du sable concassé qui présente les caractéristiques suivantes ;

1. Il a une courbe granulométrique dont le pourcentage des éléments fins est faible, ce qui gêne la maniabilité du béton et diminue l'adhérence mortier – gravier.
2. Son module de finesse est élevé ($M_f = 3.1$), son emploi risque la ségrégation.

Le mélange de deux sables (ou mélange 05) donne un sable de bonnes caractéristiques ($1.8 < M_f < 2.8$ et $ES > 75\%$) ce qui a permis d'obtenir une meilleure résistance.

IV.3. Conclusion :

Cette étude sur l'influence du sable nous a permis de conclure que pour avoir un béton de qualité (résistance, ouvrabilité) il faut utiliser un sable caractérisé par : $75\% < ES < 85\%$ et $2.2 < M_f < 2.8$.

Et elle nous a permis de recommander ce qui suit :

1. L'utilisation d'un sable ayant plus de 80% d'éléments fins ($M_f < 2.2$) nécessite l'ajout d'un sable grossier.
2. L'utilisation d'un sable ayant un module de finesse $M_f > 2.8$ nécessite l'ajout d'éléments fins.
3. L'utilisation d'un sable sale ayant un équivalent de sable $ES < 65\%$ influe négativement sur l'adhérence mortier- granulats. En le lavant on peut améliorer sa propreté de telle sorte à avoir $75\% < ES < 85\%$.

Chapitre VI :

Conclusion générale

Conclusion générale :

Cette étude nous a permis de quantifier, de manière peu significative, l'influence des graviers sur la résistance à la compression des bétons. En effet les écarts obtenus pour les résistances après 28 jours sont trop faibles (de l'ordre de 1.5 à 2 MPa) pour que ces résultats puissent être généralisés.

On peut justifier ces résultats par la ressemblance des caractéristiques des graviers utilisés (tel que la dureté, la propreté, le type minéralogique), bien que leur provenance (origine) soit différente (ALGER, TIZI OUZOU, METLILI(Ghardaia)).

Par contre, et en ce qui concerne les sable, leurs caractéristiques assez différentes nous ont permis de mettre en évidence leur influence remarquable sur la résistance à la compression, en effet les écarts entre les résistances obtenues et de l'ordre de 5 à 6 MPa.

Nous souhaitons que notre travail suscite suffisamment d'intérêt pour inciter d'autres étudiants à continuer ces investigations, en tenant compte des propositions suivantes :

1. Utiliser des granulats (gravier et sable) de type minéralogique différent tel que : calcaire, silice, basalte, quartz.
2. Utiliser les granulats ordinaires et légers, durs et mi - durs.
3. D'accompagner ce travail par un travail parallèle sur les variations dimensionnelles que subit naturellement le béton dans la structure comme le retrait qui agit comme des contraintes imposées lorsque leur déformation est empêchée.

Nous suggérons enfin quelques conseils à suivre dans le cas d'un problème dans la formulation des bétons :

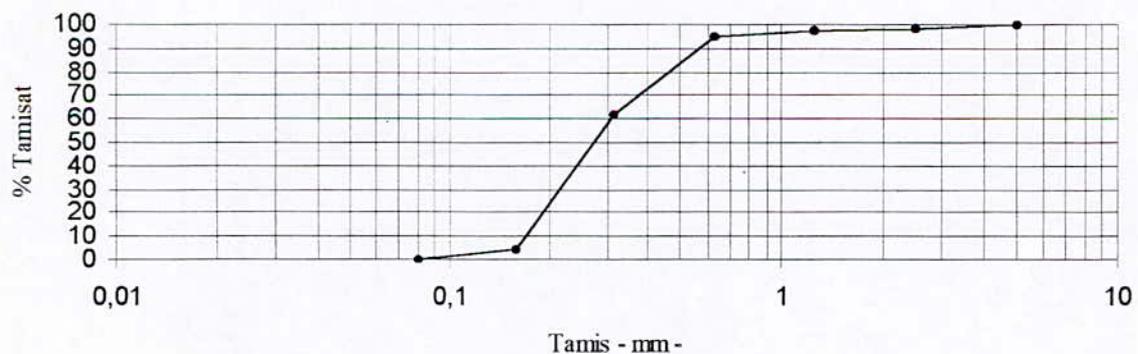
1. Si la résistance obtenue après écrasement des éprouvettes est insuffisante, on peut agir :
 - a- Soit sur la pâte de ciment :
 - En augmentant le dosage en ciment.
 - En diminuant le dosage en eau mais il faudra garder une ouvrabilité satisfaisante éventuellement en utilisant un adjuvant superplastifiants.
 - b- Soit sur les granulats en augmentant le rapport G/S mais ce procédé aura pour conséquence d'alourdir le béton.
2. Si l'ouvrabilité est insuffisante, on peut agir en augmentant le dosage en sable en particulier en éléments fins mais cela présente l'inconvénient d'alourdir le béton, on peut également augmenter le dosage en eau mais cela provoquera une chute de résistance.
3. Si la densité du béton frais est trop forte, on peut diminuer le dosage en granulats mais cela provoquer une perte de résistance.

Annexes

Annexe A

Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 0/5 mm N° d'échantillon : 01 Lieu de prélèvement : ZEMOURI		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
5	0	1000	100
2.5	15	985	98.5
1.25	14	971	97.1
0.625	19	952	95.2
0.315	335	615	61.5
0.16	575	40	4
0.08	40		
Masse initiale : $200 \cdot D_{\max} = 200 \cdot 5 = 1000$ gr			

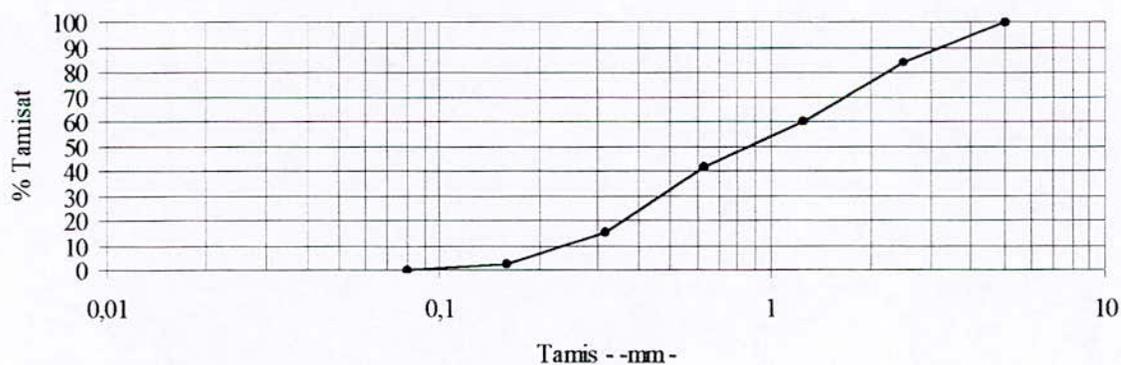
Courbe granulométrique

**Observation :**

Granulat riche en éléments fins.

Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 0/5 mm		Date de l'essai : 02/04/2000	
N° d'échantillon : 02		Méthode de tamisage : manuelle	
Lieu de prélèvement : AKBOU		Fond de tamis : tissu métallique	
		Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond	
		Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
5	0	1000	100
2,5	136	864	84,4
1,25	260	604	60,4
0,625	190	414	41,4
0,315	258	156	15,6
0,16	130	26	2,6
0,08	26		
Masse initiale : $200 \cdot D_{\max} = 200 \cdot 5 = 1000$ gr			

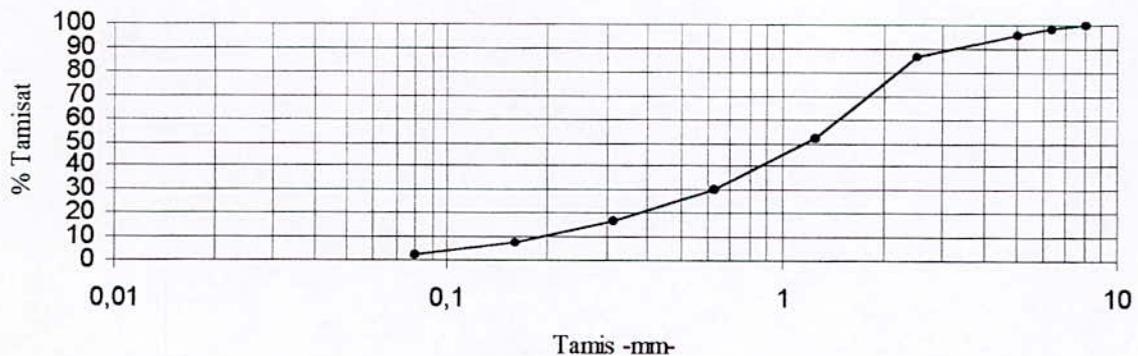
Courbe granulométrique

**Observation :**

Granulat courant.

Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 0/8 mm N° d'échantillon : 03 Lieu de prélèvement : SIDI ELKEBIR		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
8	0	1600	100
6,3	27.2	1572.2	98,3
5	41.6	1486.2	95,7
2,5	105.4	138.8	86,3
1,25	546.6	834.2	52,13
0,625	344.6	489.6	30,6
0,315	232	257.6	16,9
0,16	134.4	123.2	7,7
0,08	80	43.2	2,7
reste	43.2	0	0
Masse initiale = 1600 gr			

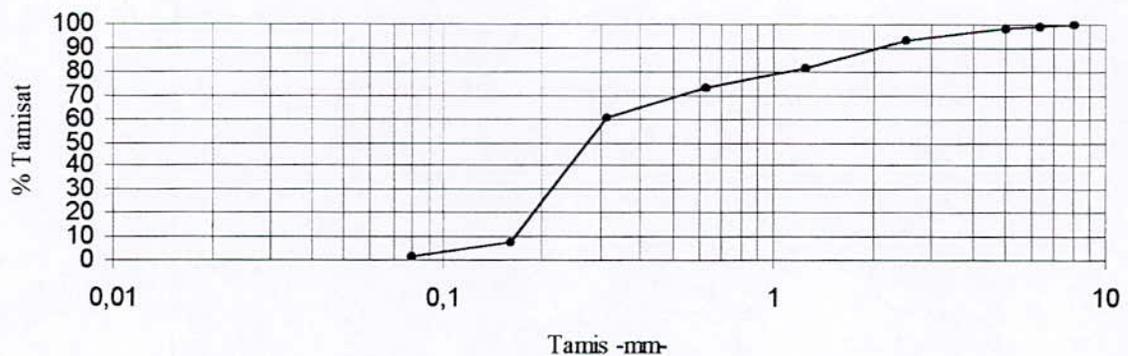
Courbe granulométrique

**Observation :**

Granulat pauvre en éléments fins.

Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 0/8 mm N° d'échantillon : 04 Lieu de prélèvement : SIDI ELKEBIR+ZEMMOURI		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
8	0	1600	100
6,3	9	1591	99,43
5	22.24	1568.76	98
2,5	71.2	1497.56	93,59
1,25	195.52	1302.4	81,4
0,625	133.92	1168.12	73
0,315	206.24	961.88	60,11
0,16	846.24	115.64	7,22
0,08	83.16	32.48	2,03
reste	32.48	0	0
Masse initiale = 1600 gr			

Courbe granulométrique

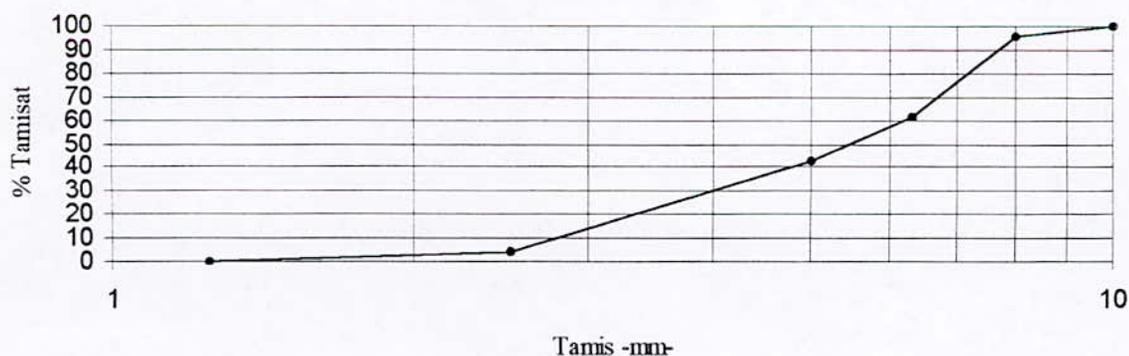


Observation :

Granulat courant.

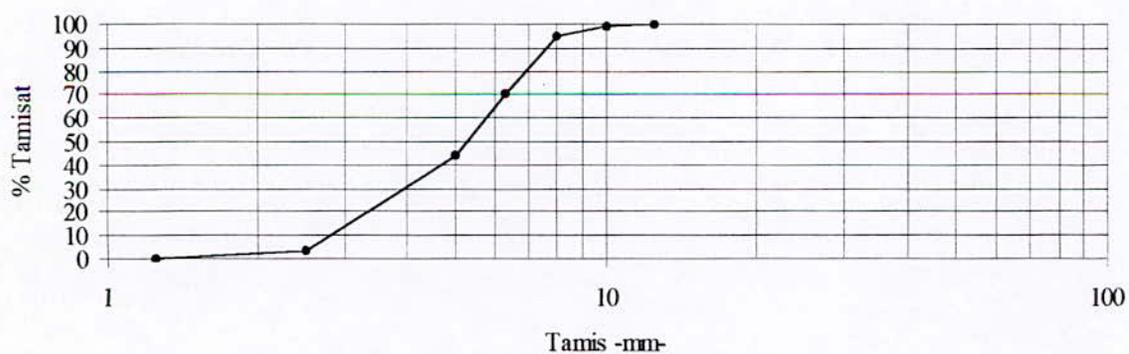
Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 3/8 mm N° d'échantillon : 05 Lieu de prélèvement : TIZI OUZOU		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
10		1600	100
8	68	1532	95,75
6,3	546	986	61,62
5	440	546	43,13
2,5	480	66	4,13
1,25	66		
Masse initiale : $200 \cdot D_{\max} = 200 \cdot 8 = 1600$ gr			

Courbe granulométrique



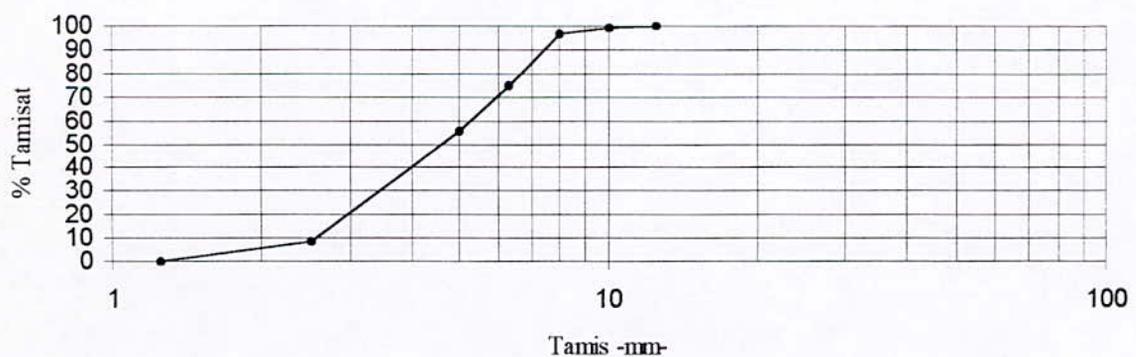
Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 3/8 mm N° d'échantillon : 06 Lieu de prélèvement : Carrière JOBERT		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
12,5		1600	100
10	20	1580	98,75
8	60	1520	95
6,3	398	1122	70,125
5	420	702	43,75
2,5	644	58	3,25
1,25	58		0
Masse initiale : $200 \cdot D_{\max} = 200 \cdot 8 = 1600$ gr			

Courbe granulométrique



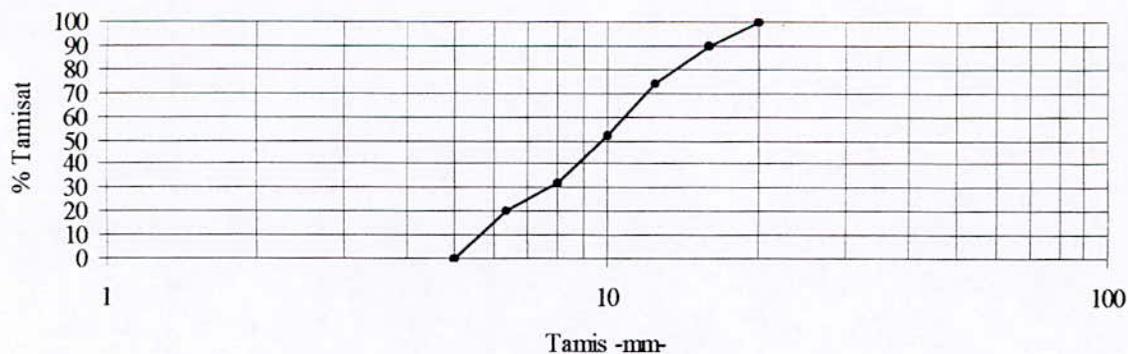
Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 3/8 mm N° d'échantillon : 07 Lieu de prélèvement : METLILI		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
12,5	0	1600	100
10	19	1581	98,81
8	41	1540	96,25
6,3	339	1201	75,06
5	315	886	55,38
2,5	756	130	8,13
1,25	130		
Masse initiale : $200 \cdot D_{\max} = 200 \cdot 8 = 1600$ gr			

Courbe granulométrique



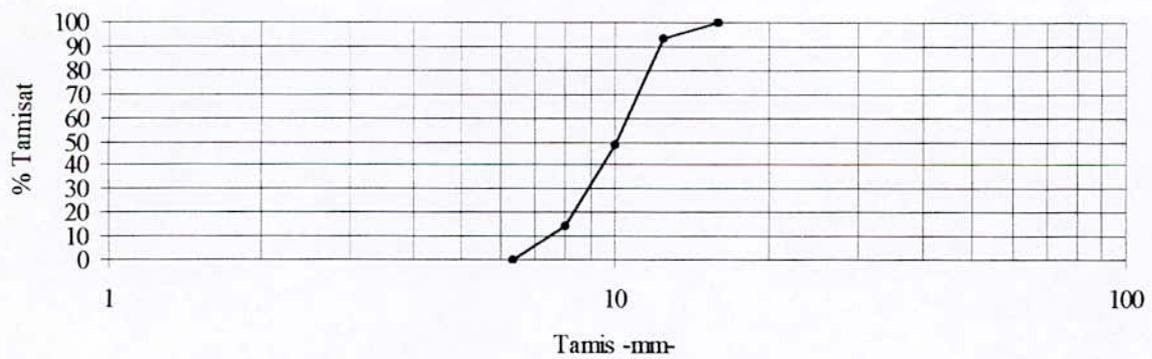
Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 8/15 mm N° d'échantillon : 8 Lieu de prélèvement : TIZI OUZOU		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
20		3000	100
16	315	2685	89,5
12,5	475	2210	73,67
10	645	1565	52,17
8	610	955	31,83
6,3	360	595	19,83
5	595		
Masse initiale : $200 \cdot D_{\max} = 200 \cdot 15 = 3000$ gr			

Courbe granulométrique



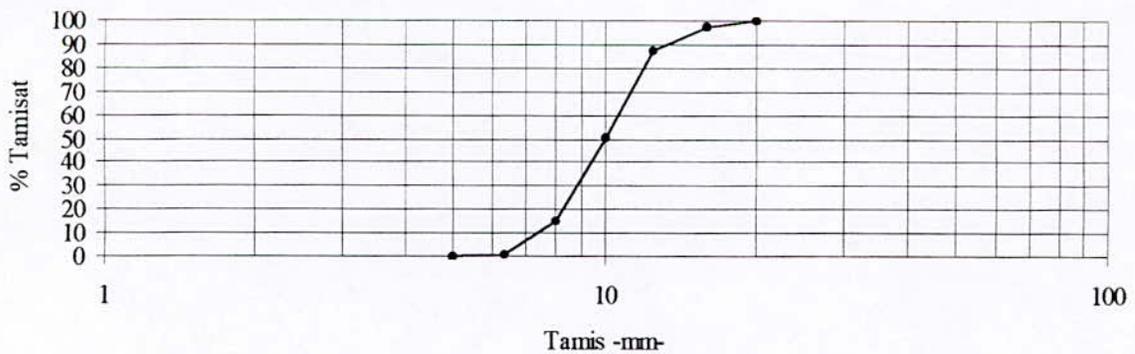
Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 8/15 mm N° d'échantillon : 09 Lieu de prélèvement : Carrière JOBERT		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
16		3000	100
12,5	197	2803	93,43
10	1336	1467	48,9
8	1037	430	14,33
6,3	430		0
Masse initiale : $200 * D_{max} = 200 * 15 = 3000$ gr			

Courbe granulométrique



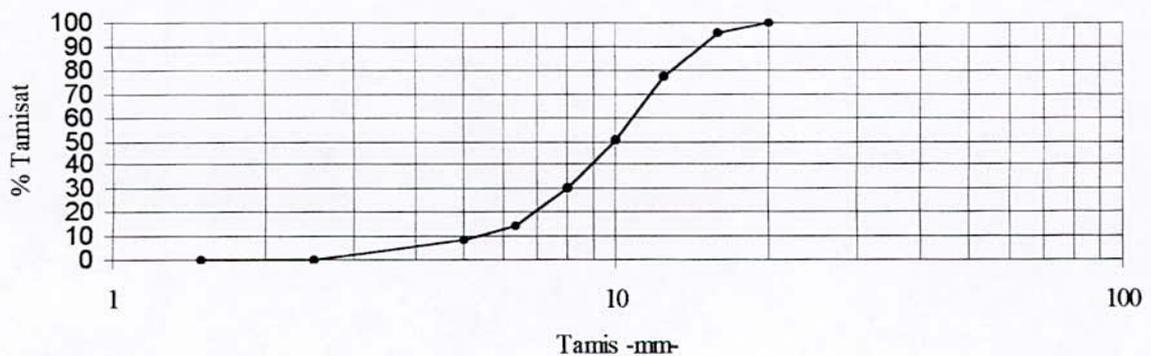
Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 8/15 mm N° d'échantillon : 10 Lieu de prélèvement : METLILI		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
20	0	3000	100
16	64	2936	97,86
12,5	305	2631	87,7
10	1115	1516	50,53
8	1054	462	15,4
6,3	440	22	0,73
5	22		
Masse initiale : $200 * D_{max} = 200 * 15 = 3000$ gr			

Courbe granulométrique



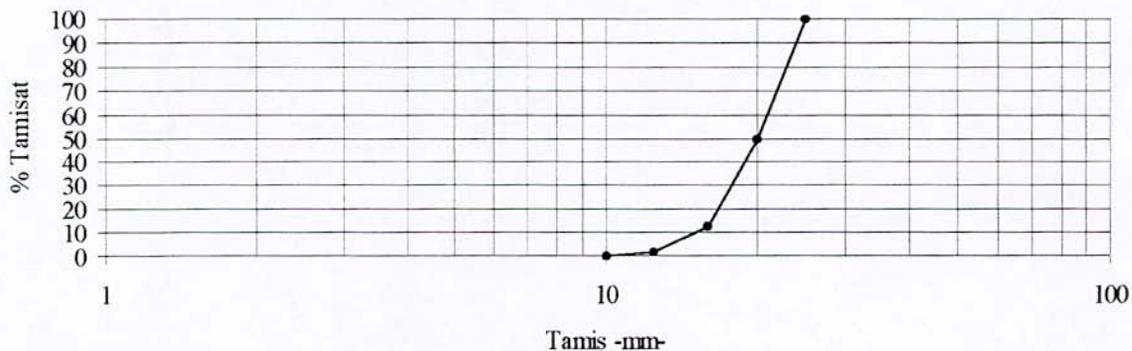
Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 8/15 mm N° d'échantillon : 11 Lieu de prélèvement : SIDI ELKEBIR		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
20	0	4000	100
16	166.8	3833.2	95,83
12,5	754.4	3078.8	76,97
10	1058.8	2020	50,5
8	800	1220	30,5
6,3	649.2	570.8	14,27
5	218.8	352	8,8
2,5	352	0	0
1,5	0	0	0
Masse initiale =4000 gr			

Courbe granulométrique



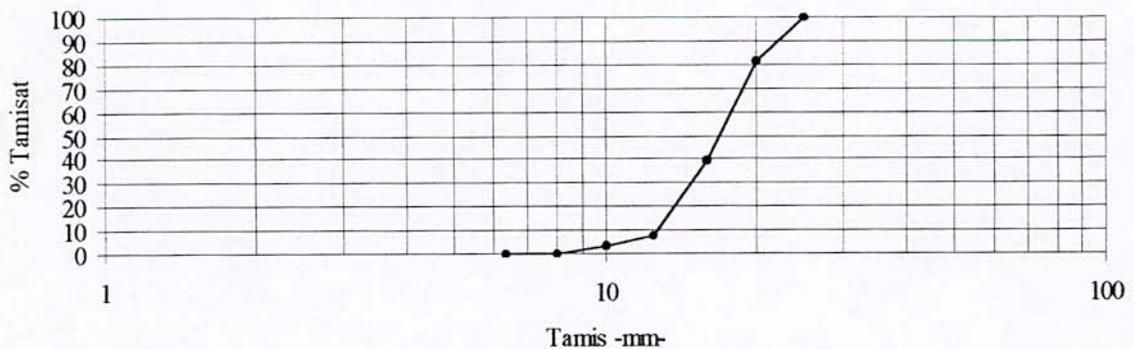
Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 15/25mm N° d'échantillon : 12 Lieu de prélèvement : Carrière JOBERT		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
25	0	5000	100
20	2540	2460	49,2
16	1850	610	12,2
12,5	510	100	2
10	100		
Masse initiale : $200 \cdot D_{\max} = 200 \cdot 25 = 5000$ gr			

Courbe granulométrique



Analyse granulométrique			
Classe granulaire : 15/25mm N° d'échantillon : 13 Lieu de prélèvement : SIDI ELKEBIR		Date de l'essai : 02/04/2000 Méthode de tamisage : manuelle Fond de tamis : tissu métallique Dimension et forme de tamis de contrôle : 315 mm rond Forme des ouvertures : carrée	
Ouverture nominale de maille (mm)	Refus sur chaque tamis		Passants cumulés (%)
	Refus partiels	Refus cumulés	
25	0	5000	100
20	916	4084	81,68
16	2105	1979	39,58
12,5	1603	376	7,52
10	226	150	3
8	135	15	0,3
6,3	15	0	0
Masse initiale : $200 \cdot D_{\max} = 200 \cdot 25 = 5000$ gr			

Courbe granulométrique



Annexe B

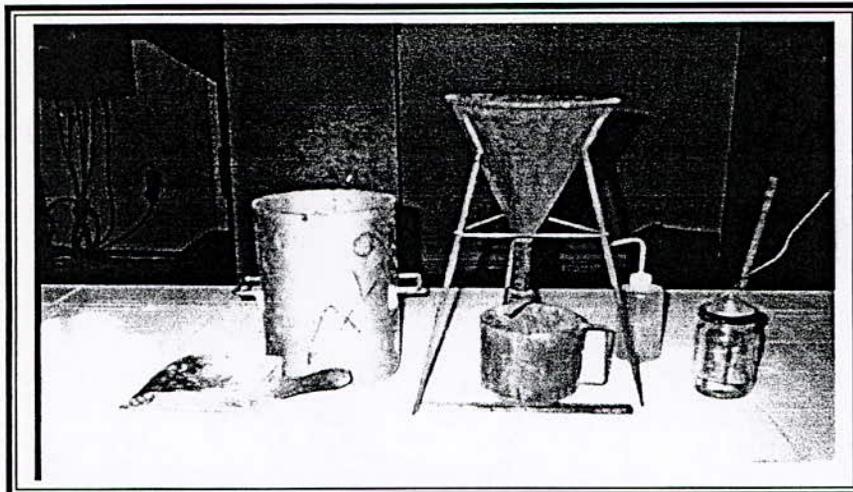


Photo N°01: Appareillage pour la mesure des densités apparente et absolue.

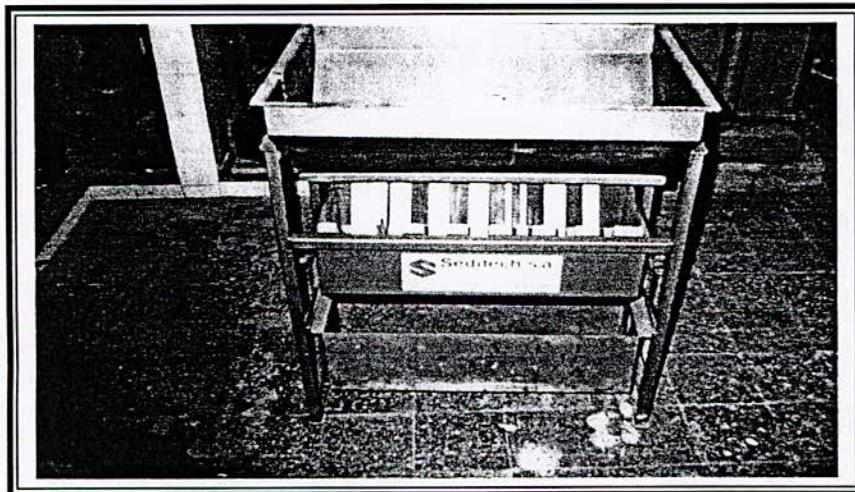


Photo N°02 : L'échantillonneur.

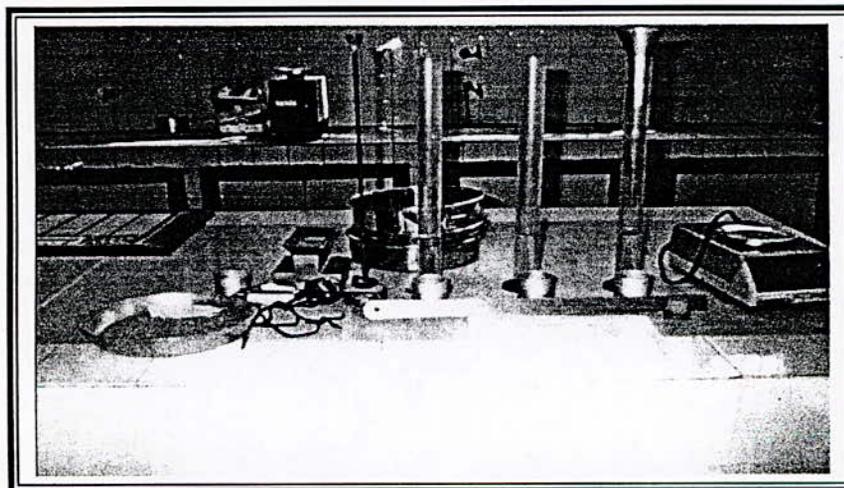


Photo N°03: Appareillage de l'essai d'équivalent de sable



Photo N°04: Appareillage pour l'analyse granulométrique.

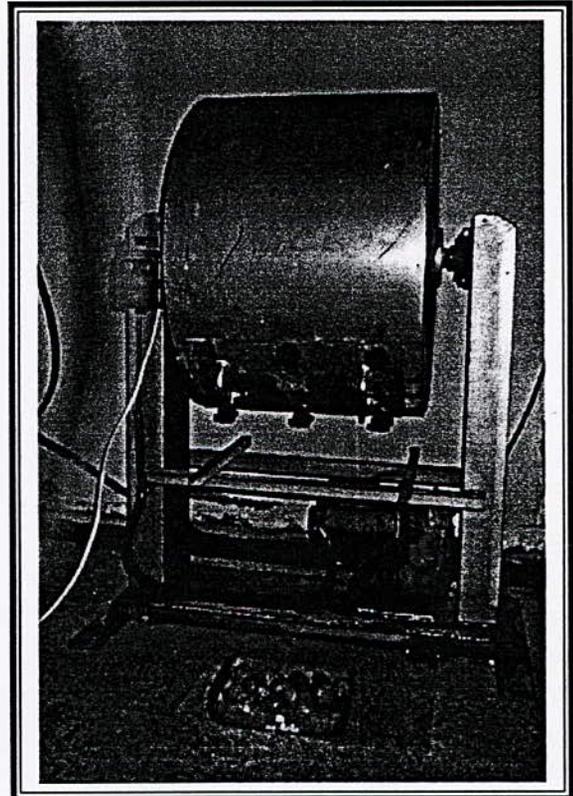


Photo N°05 : Appareillage de l'essai Los Angeles

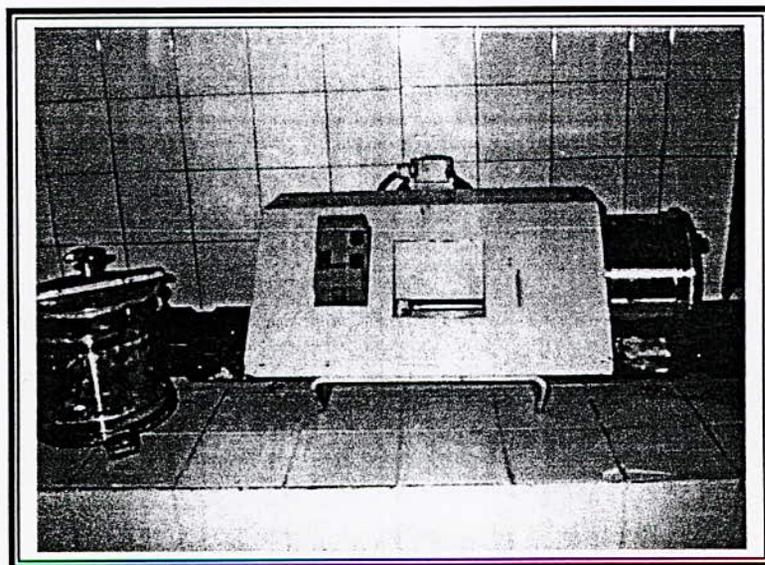


Photo N°06 : Appareillage de l'essai Micro Deval

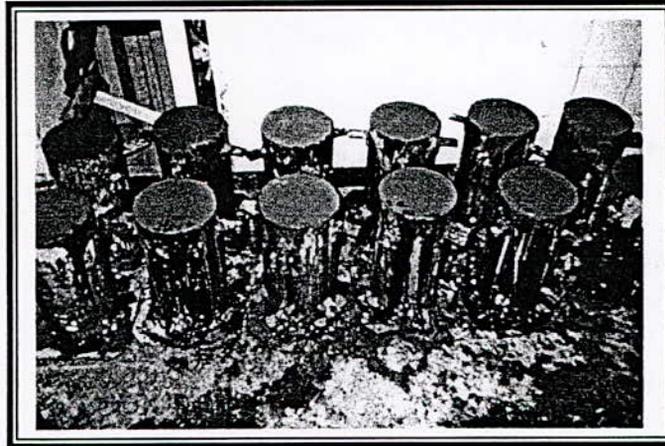


Photo N°07: confection des éprouvettes.

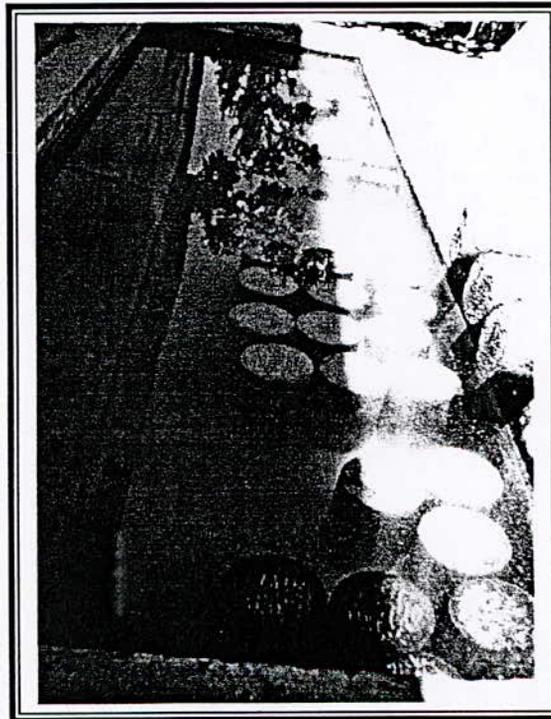


Photo N°08: Conservation des éprouvettes.



Photo N°09: Numérotation des éprouvettes.

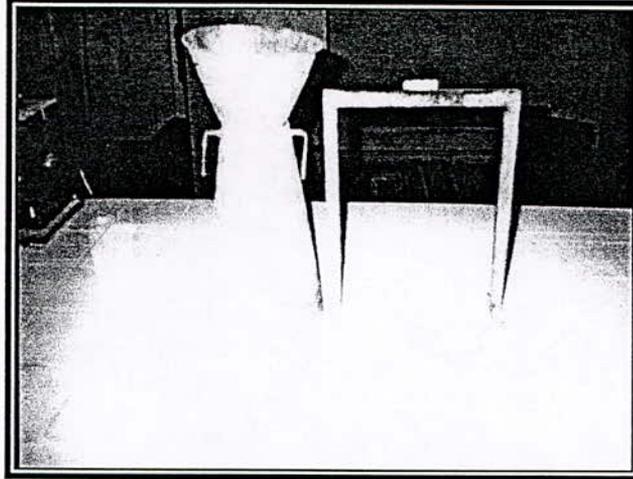


Photo N°10: le cône d'Abrams.

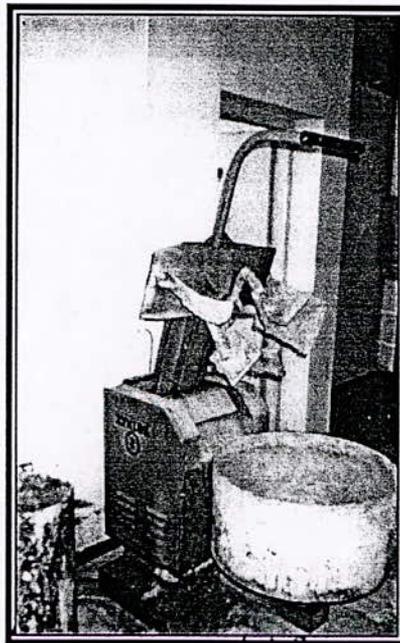


Photo N°11: le malaxeur.

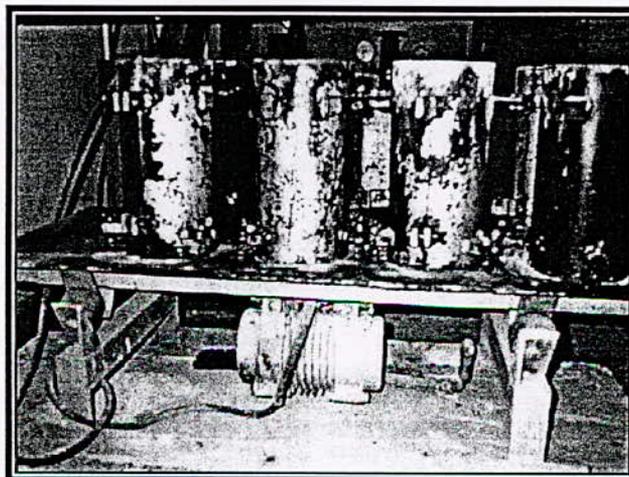


Photo N°12: la table vibrante

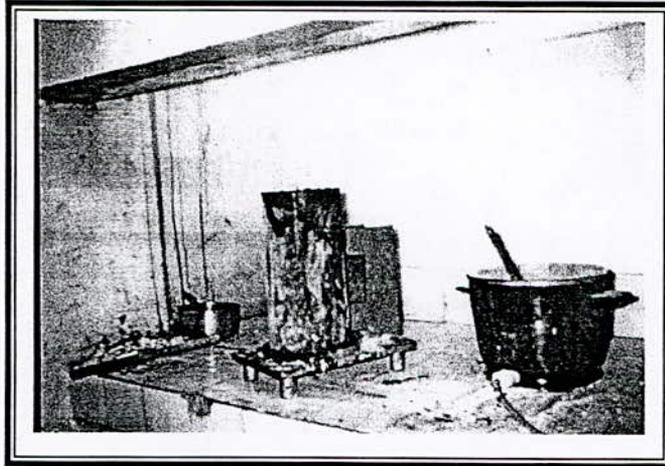


Photo N°13: Le surfacage.

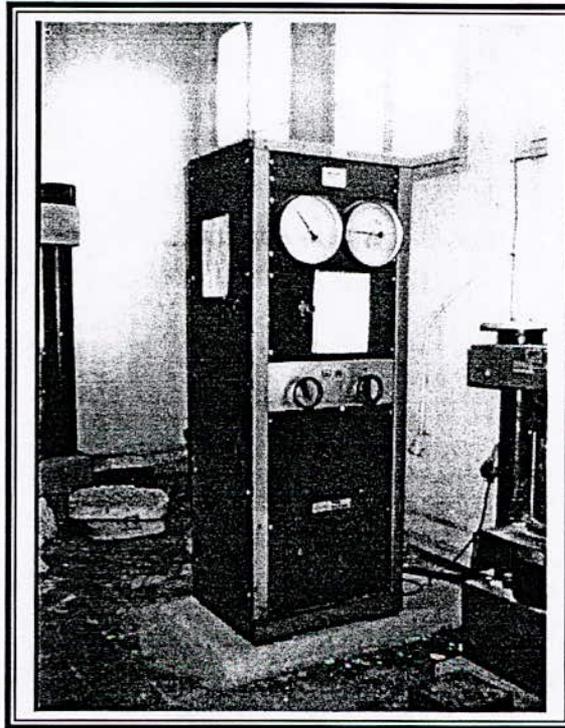


Photo N°14: La presse hydraulique.

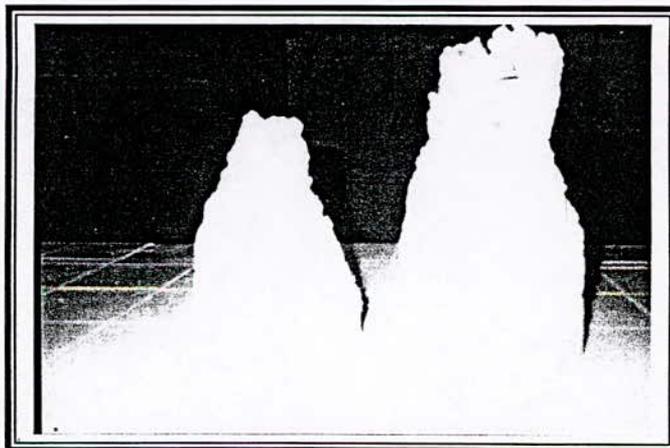


Photo N°15: Obtention de cône après écrasement dans l'essai de compression.(mélange 04-TIZI OUZOU)

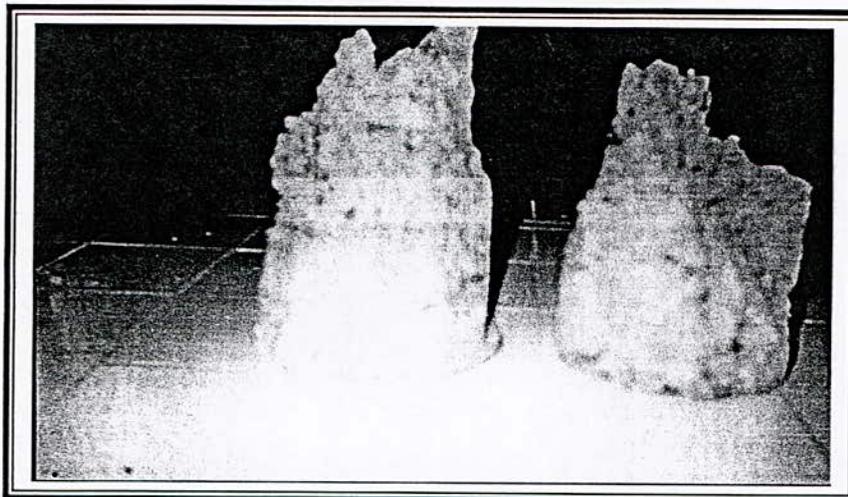


Photo N°16 : Obtention de cône après écrasement dans l'essai de compression. (mélange 02-JOBERT)

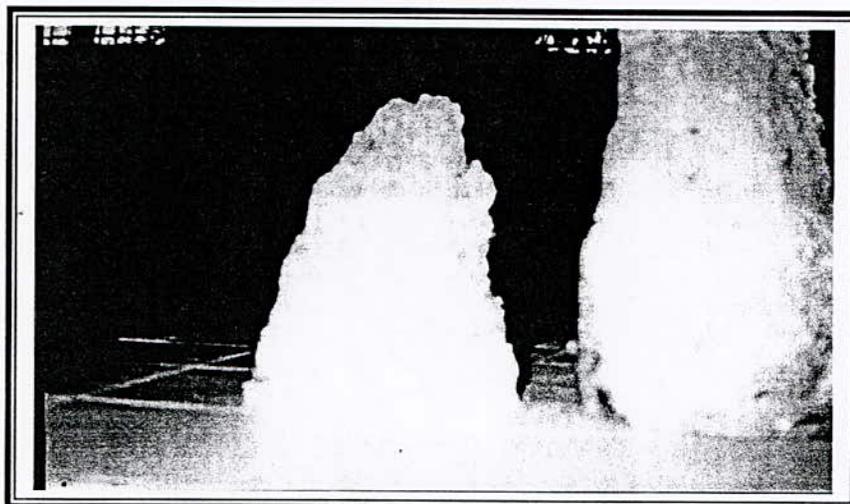
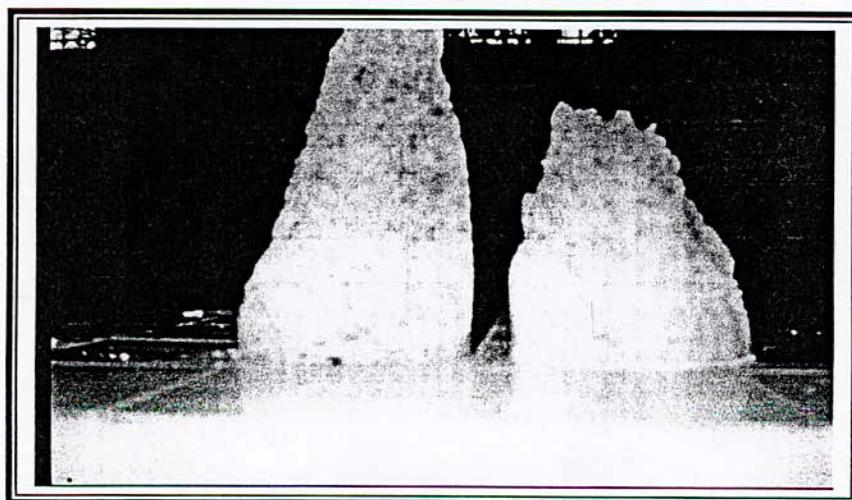


Photo N°17: Obtention de cône après écrasement dans l'essai de compression. (mélange 03-METLILI)



Bibliographie

Bibliographie

- [1]. Cours de laboratoire Granulats – Bétons - Sols « R. LANCHON ».
- [2]. Les bétons base et données pour leur formulation « J. BARON – Jean-Pierre OLIVIER »
- [3]. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées –219- Janvier-Fevrier 1999 – REF.4246 – PP. 41-52
- [4]. Nouveau guide du béton et de ces constituants « George DREUX – Jean FESTA »
- [5]. Nouveau guide de béton « DREUX et GORISSE »
- [6]. Technologie des matériaux de construction « Emile OLIVIER » Tome I.
- [7]. Fiches techniques – CIMBETON- CB1 : constituants du béton « CIIC- centre d'information de l'industrie cimentière »
- [8]. Méthode expérimentale de composition « extrait de bulletin de liaison de laboratoire des ponts et chaussées »
- [9]. Résultats récents concernant l'essai de compression du béton « J.M. TORRENTI, C. BOULAY »
- [10]. Granulats et béton légers « ARNOULD M et VIRLOGEUX M, 1986 ».
- [11]. Granulation et prévision de la résistance probable des bétons, « BOLOMEY, 1935 ».
- [12]. Contribution à l'étude de l'influence de la propreté du sable sur les qualités du béton, « DREUX G ».

ملخص :

إن الغاية المنشودة من هذا المشروع هي الدراسة النظرية و التجريبية لتأثير الحبيبات (حصيات، رمل) على مقاومة الخرسانة للضغط.
يثبت منشأ أحد المكونات، و يغير الآخر لتوضيح تأثيره على المقاومة.
كخاتمة لهذا المشروع أعطيت مناقشات و تفسيرات للنتائج المحصل عليها.

Résumé :

L'objectif de ce projet est l'étude théorique et expérimentale de l'influence des granulats (gravier, sable) sur la résistance à la compression du béton.

L'origine d'un constituant étant fixée, le deuxième est variée pour mettre en évidence son influence.

Des discussions et des interprétations des résultats obtenus sont ensuite rapportées.

Abstract :

The objective of this project is the theoretical and experimental study influence of the aggregates (gravel, sand) on the compressive strength of the concrete.

The origin of a component being fixed, second is varied to highlight its influence.

Discussions and interpretations of the results obtained are then reported.

Mots clés :

Béton – Essais – Résistance – Compression – Granulats – Ciment – Adhésivité.