

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie civil

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie civil



Thème :

Les enrobés colorés



Dirigé par :
Mme BAUCHE N.
M. BOUKEROU A.

Proposé par :
Mme BAUCHE N.
M. BOUKEROU A.

Réalisé par :
M^{elle} Zora AFIR

Promotion : 2001 – 2002

Dédicaces

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je dédie ce modeste travail à :

- Ma très chère maman que Dieu ait son âme.
- Mon très cher père et ma douce belle mère, que Dieu les protègent.
- Mes très chères sœurs : LOUIZA, NADIA, FATIMA, et leur famille. NABILA, KAHINA, DJAMILA, FAIZA, et la toute petite FADILA.
- Mon frère HACHEMI, et sa famille.
- Et toute la famille AFIR.
- Mes très chères amies : NAWEL, SOUHILA, HAMIDA, AICHA, DALILA, FATIMA, IHSEN.
- Tous mes collègues de l'Ecole polytechnique d'El Harrach.
- Mon très cher amour ADEL pour ces conseils, son aide et son soutien.

REMERCIEMENTS



Il n'est agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements à mon professeur et promotrice Madame N. BAOUCHE pour l'aide précieuse apportée à la réalisation de cette étude aussi que pour ses suggestions créatives.

Ce travail a été effectué au laboratoire central des travaux public (L.T.C.P) sous la direction de Monsieur A. BOUKEROU (ingénieur en travaux public), qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour l'assistance et les encouragements qu'il ne cesse de me prodiguer.

Ma reconnaissance va également aux membres jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner ce travail.

Que tous les gens du laboratoire (produit noir) ingénieurs, chercheurs et techniciens soient assurés de mon amicale sympathie.

Je tiens à remercier Madame Wahiba HAMIDI (ingénieur en chimie de la société DBA), Madame Dalila (ingénieur en chimie du labo. CTP) et M. BENSABBI (technicien au labo. LTCP) pour leur soutien technique et moral.

ملخص

هذه الدراسة تبين تأثير النسبة المئوية للأوكسيد على تلوين الزفت و مدى تأثيره على مقاومته الميكانيكية .
الزفت "Emulsion" يمكن تلوينه، و لكن اللون الجيد هو الذي استخرج بالأوكسيد الأحمر بنسبة مئوية (3%) ، أما بالنسبة للزفت (Cut-back) صعب للتلوين.

إن فعالية الأوكسيد في المركب الهيدروكربوني الملون يؤدي في تغيير السلوك الميكانيكي للمركب.

مفتاح الكلمات:

المركب الزفتي الملون ، الزفت الملون ، الأوكسيد الحديدي ، الزفت و انقساماته.

RESUMES :

Cette étude s'intéresse à l'influence du pourcentage d'oxyde de fer dans les colorations des bitumes et sur leur résistance respective.

La couleur la plus réussie est obtenue avec l'ajout de (3%) d'oxyde de fer rouge aux émulsions.

Les Cut-bak sont difficiles à colorer

L'addition des oxydes de fer dans le mélange provoque un changement radical de

Comportement mécanique de l'enrobé hydrocarbonés coloré.

Mots cles.- les enrobés colorés, les bitumes colorés, oxyde de fer, émulsion, Cut-back

ABSTRACT

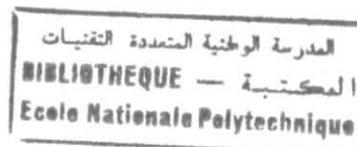
This study is interested in the influence of the percentage of iron oxide in colourings bitumens and on their respective resistance.

The most successful color is obtained with the addition of (3%) of red iron oxide to the emulsions. Cut-bak are difficult to colour

The addition of iron oxides in the mixture causes a radical change of Mechanical behavior of the coloured bituminous mix hydrocarbon.

Words cles - coloured bituminous mix, coloured bitumens, iron oxide, emulsion, Cut-back bitumen

SOMMAIRE



Liste des tableaux
Liste des figures

Introduction générale :1

Chapitre I Généralités sur les enrobés

1-1) Introduction :	3
1-2) Les liants hydrocarbonés :	3
1-3) Essais relatifs aux bitumes :	3
1-3-1) Essais de pénétration à l'aiguille :	3
1-3-2) Essai bille et anneau :	3
1-3-3) Viscosités :	4
1-3-4) Susceptibilité des liants :	4
1-3-5) Ductilité :	4
1-3-6) Cohésion interne :	4
1-3-7) Adhésivité de liant :	4
1-4) Matériaux utilisés dans la chaussée :	5
1-4-1) Les Granulats :	5
1-4-1-1) Les qualités exigées :	5
1-4-1-2) Origine des graves :	5
1-4-2) Principaux essais sur les granulats :	5
1-4-2-1) La granulométrie :	5
1-4-2-2) Essai MICRO DEVAL humide :	6
1-4-2-3) L'essai LOS ANGELES :	7
1-5) Les fillers :	7
1-6) Les enrobés bitumineux :	7
1-6-1) Classification des enrobés d'après la compacité:	8
1-6-1-1) Les enrobés denses :	8
1-6-1-2) Les enrobés semi denses :	8
1-6-1-3) Les enrobés ouverts :	8
1-6-2) Qualités exigées d'un enrobé :	8
1-6-2-1) La stabilité :	8
1-6-2-2) La flexibilité :	9
1-6-2-3) L'absence de sensibilité à l'eau :	9
1-7) Béton bitumineux :	9
1-7-1) Définition :	9
1-7-2) Classification :	10

1-8) Grave bitume :	10
1-9) Etude de la composition :	11
1-9-1) principe de formulation :	11
1-9-2) Composition granulométrique :	11
1-9-2-1) Béton bitumineux :	11
1-9-2-2) Grave – bitume :	11
1-9-2-3) Teneur en fillers :	12
1-9-2-4) Teneur en liant :	12
1-9-2-5) Essais sur les enrobés :	13
a) L'essai de compression simple L.C.P.C. :	13
b) Essai MARSHALL :	14
c) Essai DURIEZ :	14
d) Essai HUBBARD FIELD :	14
e) Essai HIVEEN :	15
f) Essai d'Orniérage :	15
1-10) Calcul de la compacité des éprouvettes :	15

Chapitre II Utilisation des Cut-back et des émulsions dans les constructions des routes

2-1) Introduction :	16
2-2) Les Cut-back:	16
2-2-1) Définition:	16
2-2-2) Fabrication des Cut-back:	16
2-2-3) Caractéristiques des Cut-back (bitume fluidifié) :	17
2-2-4) Domaine d'application des Cut-back :	19
2-3) Les émulsions :	19
2-3-1) Définition :	19
2-3-2) Emulsion directe et inverse :	19
2-3-2-1) Emulsion directe :	19
2-3-2-2) Emulsion inverse :	19
a) Les émulsions anioniques :	19
b) Les émulsions cationiques :	20
2-3-2-3) Fabrication des émulsions :	20
2-3-2-4) Caractéristiques des émulsions :	21
2-3-2-5) Domaine d'application des émulsions :	21
2-4) Les enrobés à froid :	22
2-4-1) Définition :	22
2-4-2) Domaine d'utilisation :	22
2-4-2-1) Trafic maximal :	22
2-4-2-2) Déformabilité du support :	22
2-5) Orniérage :	23

Chapitre III

Présentation des enrobés colorés

3-1) Introduction :	24
3-2) Liant à base de bitume :	24
3-2-1) Les bitumes routiers classiques :	24
3-2-2) Les bitumes dits « pigmentables » :	25
3-2-3) Les bitumes dits « clairs » :	25
3-3) Liants à base de résine :	25
3-3-1) Les résines époxydes :	26
3-3-2) Les résines polyuréthannes :	26
3-3-3) Les résines poly méthacryliques :	26
3-3-4) Les résines acryliques et vinyliques :	27
3-4) Les bétons bitumineux colorés :	27
3-4-1) Les enrobés au bitume pur :	27
3-4-2) Les enrobés à base de liant de synthèse :	27
3-4-3) les enrobés percolés :	28
3-5) Caractéristiques des bitumes pigmentables :	28
3-6) Les principaux pigments (oxydes) utilisés dans les enrobés :	29
3-6-1) Oxyde de chrome :	29
3-6-2) Oxyde de titane :	29
3-6-3) Oxyde de fer :	29
3-6-3-1) Classification :	29
3-6-3-2) Caractéristiques d'oxyde de fer :	30

Chapitre IV

Méthodologie

4-1) Objectif :	32
4-2) Présentation des matériaux et appareils d'essais utilisés :	32
4-2-1) Matériaux utilisés :	32
4-2-1-1) Fraction (3/8) :	32
4-2-1-2) Fraction (8/15) :	32
4-2-1-3) Bitume émulsion :	32
4-2-1-4) Cut-back :	32
4-2-1-5) Oxyde de fer :	32
4-2-2) Appareils d'essais :	36
4-2-2-1) Appareil DURIEZ :	36
4-2-2-2) Etuve :	36
4-2-2-3) Tamis :	36
4-2-2-4) Appareil de distillation :	36

4-2-2-5) Viscosimètre :.....	36
4-2-2-6) Appareils de mesure :.....	36
a) Pied à coulis :.....	36
b) La balance :.....	36
c) Le chronomètre :.....	36
4-3) Méthode de travail :.....	39
4-3-1) Première série d'essai :.....	39
4-3-2) Deuxième série d'essai :.....	39
4-4) Essais effectués en laboratoire :.....	39
4-4-1) Identification des granulats :.....	39
4-4-1-1) Essai granulométrique :.....	39
a) But de l'essai :.....	39
b) Mode opératoire :.....	39
4-4-1-2) Essai MICRO DEVAL :.....	40
a) But de l'essai :.....	40
b) Mode opératoire :.....	40
4-4-1-3) Essai LOS ANGELES :.....	40
a) But de l'essai :.....	40
b) Mode opératoire :.....	40
4-4-2) Identification des bitumes (Cut-back 400/600) :.....	40
4-4-2-1) Essai de la pseudo viscosité :.....	40
a) But de l'essai :.....	40
b) Mode opératoire :.....	41
4-4-2-2) Essai de la distillation :.....	41
a) But de l'essai :.....	41
b) Mode opératoire :.....	41
4-4-3) Identification des bitumes (l'émulsion 60 %) :.....	41
4-4-3-1) Essai de la pseudo viscosité :.....	41
a) But de l'essai :.....	41
b) Mode opératoire :.....	42
4-4-3-2) Essai de détermination de la teneur en eau :.....	42
a) But de l'essai :.....	42
b) Mode opératoire :.....	42
4-4-4) Etude de formulation :.....	42
4-4-4-1) Essai par la Méthode L.C.P.C. :.....	42
a) But de l'essai :.....	42
b) Mode opératoire :.....	42

Chapitre V

Résultats et analyses

5-1) Etude des granulats :.....	45
5-1-1) Analyse chimique sommaire :.....	45
5-1-1-1) Résultats :.....	45

5-1-1-2) Interprétation :	46
5-1-2) Caractéristiques des granulats :	46
5-1-2-1) Résultats :	46
5-1-2-2) Interprétation :	46
5-1-3) Analyse granulométrique :	46
5-1-3-1) Résultats :	46
5-1-3-2) Interprétation :	49
5-2) Etude des liants :	49
5-2-1) Les émulsions 60 % :	49
5-2-1-1) Résultats :	49
5-2-1-2) Interprétation :	49
5-2-2) Les Cut-back :	50
5-2-2-1) Résultats :	50
5-2-2-2) Interprétation :	50
5-3) Etude mécanique des bétons bitumineux :	50
5-3-1) Composition du mélange :	50
5-3-1-1) Résultats :	51
5-3-1-2) Interprétations :	53
5-3-2) Essai PROCTOR:	53
5-3-2-1) résultats :	53
5-3-2-2) Interprétation :	54
5-4) Première série d'essais :	54
5-4-1) Temps de mûrissement des éprouvettes sans oxyde de fer :	54
5-4-1-1) Résultats :	54
a) Temps de mûrissement avec ($K = 3,37$) :	54
b) Temps de mûrissement avec ($K = 3,45$) :	55
c) Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$) :	55
5-4-1-2) Interprétation :	59
5-4-2) Essai de compression- immersion (DURIEZ) :	59
5-4-2-1) Résultats :	59
5-4-2-2) Interprétation :	61
5-4-3) Contrôle de la composition de l'enrobé :	61
5-4-3-1) Résultats :	61
5-4-3-2) Interprétation :	64
5-5) Deuxième série d'essai :	64
5-5-1) Coloration des enrobés :	64
5-5-1-1) Résultats :	64
5-5-1-2) Interprétation :	67
5-5-2) Temps de mûrissement des éprouvettes avec oxyde de fer :	67
5-5-2-1) Résultats :	67
a) Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$) et (1 % d'oxyde de fer) :	67
b) Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$) et (2 % d'oxyde de fer) :	68
c) Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$) et (3 % d'oxyde de fer) :	68
5-5-2-2) Interprétation :	72

5-5-3) Essai de compression immersion (DURIEZ) :.....	72
5-5-3-1) Résultats :.....	72
5-5-3-2) Interprétation :.....	74
Conclusion générale :.....	75

Liste des tableaux

N°	Titres	Pages
(1-1)	Classification selon les dimensions du granulat	10
(1-2)	Formule grenue et semi grenue des bétons bitumineux	11
(1-3)	Formule grenue et semi grenue des graves bitumes	12
(2-1)	Caractéristiques des solvants pétroliers	16
(2-2)	Constitution des Cut-back selon viscosimètre STV	17
(2-3)	Caractéristiques des Cut-back classiques à séchage	18
(2-4)	Caractéristiques des émulsions cationiques	21
(3-1)	Caractéristiques des bitumes pigmentables	28
(3-2)	Caractéristiques de l'oxyde de fer	30
(3-3)	Caractéristiques de l'oxyde de fer	31
(5-1)	Analyse chimique sommaire sur les granulats	45
(5-2)	Caractéristiques des granulats	46
(5-3)	Analyse granulométrique	47
(5-4)	Caractéristiques de l'émulsion 60 %	47
(5-6)	Analyse granulométrique du fuseau de référence	48
(5-7)	Analyse granulométrique du mélange	49
(5-8)	Résultats de l'essai PROCTOR	51
(5-9)	Temps de mûrissement d'éprouvettes sans oxyde (K = 3,37)	52
(5-10)	Temps de mûrissement d'éprouvettes sans oxyde (K = 3,45)	53
(5-11)	Temps de mûrissement d'éprouvettes sans oxyde (K = 3,60)	53
(5-12)	Résultats de l'essai DURIEZ pour les éprouvettes sans oxyde	56
(5-13)	Analyse granulométrique après confection	59
(5-14)	Temps de mûrissement avec (K = 3,60), (1 % d'oxyde de Fer)	64
(5-15)	Temps de mûrissement avec (K = 3,60), (2 % d'oxyde de Fer)	65
(5-16)	Temps de mûrissement avec (K = 3,60), (3 % d'oxyde de Fer)	65
(5-17)	Résultats de l'essai DURIEZ pour les éprouvettes avec oxyde	69

Liste des figures

N°	Titres	Pages
(2-1)	Organigrame de fabrication des émulsions	20
(4-1)	Fraction granulaire (3/8)	33
(4-2)	Fraction granulaire (8/15)	33
(4-3)	Emulsion bitume 60 % sur un siège	34
(4-4)	Bitume fluidifié (Cut-back) 400/600	34
(4-5)	Oxyde de fer rouge	35
(4-6)	Oxyde de fer jaune	35
(4-7)	Appareil DURIEZ	37
(4-8)	Les moules DURIEZ	37
(4-9)	Appareil de distillation	38
(4-10)	Viscosimètre	38
(4-11)	Mélange des deux fractions	43
(4-12)	Eprouvette avant démoulage	44
(4-13)	Eprouvette après démoulage	44
(5-1)	Courbe granulométrique	49
(5-2)	Mélange béton bitumineux 0/14 semi grenu	52
(5-3)	Courbe PROCTOR	53
(5-4)	Courbe du temps de mûrissement avec (K = 3,37)	56
(5-5)	Courbe du temps de mûrissement avec (K = 3,45)	57
(5-6)	Courbe du temps de mûrissement avec (K = 3,60)	58
(5-7)	Compacité en fonction des modules de richesse	60
(5-8)	Résistance à sec en fonction des modules de richesse	60
(5-9)	Comportement à l'immersion en fonction des modules de richesse	60
(5-10)	Courbe de mélange après confectionnement à 60 KN	63
(5-11)	Eprouvette avec 1 % d'oxyde de fer rouge	65
(5-12)	Eprouvette avec 2 % d'oxyde de fer rouge	65

(5-13)	Eprouvette avec 3 ° d'oxyde de fer rouge	66
(5-14)	Eprouvette avec 3 ° d'oxyde de fer jaune	66
(5-15)	Courbe du temps de mûrissement avec (K = 3,37 et 1 % d'oxyde de fer)	69
(5-16)	Courbe du temps de mûrissement avec (K = 3,60 et 2 % d'oxyde de fer)	70
(5-17)	Courbe du temps de mûrissement avec (K = 3,60 et 3 % d'oxyde de fer)	71
(5-18)	Compacité en fonction du % d'oxyde de fer	73
(5-19)	Résistance à sec en fonction du % d'oxyde de fer	73
(5-20)	Comportement à l'immersion en fonction du % d'oxyde de fer	73

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GENERALE

Pendant de nombreuses années, le bitume ne fut disponible qu'en noir. Les bitumes colorés sont appliqués depuis plus de dix ans dans de nombreux sites à l'étranger.

L'apparition des bitumes « pigmentables » moins riches en asphaltènes que les bitumes classiques, a favorisé l'explosion des couleurs sur les chaussées bitumineuses. Les teintes possibles sont très variées, on rencontre du blanc, du rouge ou du vert ...etc.

Les pigments le plus souvent utilisés sont à base d'oxydes synthétiques du métal, comme les oxydes de fer pour le rouge, le noir, le jaune, le brun, et le dioxyde de titane pour les teintes blanches. Des pierres de couleur sont parfois utilisées pour faciliter la coloration.

Les principaux utilisateurs des bitumes colorés sont en direction des espaces piétonniers. Ils servent à améliorer la visibilité des arrêts de bus, des aires de stationnement, des pistes cyclables, des voies de circulations...etc.

Les possibilités d'exploitation de ces matériaux sont très variées, tant sur le plan esthétique que sur le plan de la sécurité routière : réalisation des bordures de trottoirs avec blocs colorés, réalisation de carrefours, passages piétonniers et la décoration des cours d'écoles... etc.

En Algérie, il n'existe pratiquement aucune recherche sur les bitumes colorés.

Le but de cet étude est la fourniture d'information sur les enrobés colorés, ceci par l'examen d'aspect complémentaire par rapport aux données existantes.

L'aspect essentiel sur lequel est focalisé cette étude est l'influence du pourcentage d'oxyde de fer sur le comportement des enrobés au moyen de l'essai DURIEZ.

Ce travail a été abordé sous deux étapes essentielles, qui sont :

Une partie théorique, qui nous a permis de présenter les caractéristiques des matériaux composants un enrobé coloré.

Une étude expérimental qui illustre la méthodologie utilisée et permet de suivre l'évolution de la coloration en fonction du pourcentage d'ajout.

Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les enrobés

Chapitre II : Utilisation des Cut-back et des émulsions dans les constructions des routes

Chapitre III : Présentation des enrobés colorés



CHAPITRE I

Généralités sur les enrobés

Chapitre I

Généralités sur les enrobés

1-1) Introduction :

Les matériaux utilisés dans les revêtements colorés sont essentiellement :

- Les liants hydrocarbonés (bitume).
- Les matériaux pierreux appelés granulats (sable, gravillons, et fillers).
- Les oxydes.

Dans ce chapitre, nous présenterons les principales propriétés des liants hydrocarbonés et des matériaux utilisés dans les enrobés.

1-2) Les liants hydrocarbonés :

Les principaux liants sont les goudrons et les bitumes (bitumes fluidifiés, émulsions).

Les bitumes généralement employés dans les travaux routiers sont livrés par les raffineries de pétrole. Issus de la distillation directe du brut, ils sont ensuite traités avec des huiles légères, et parfois des oxydes pour diminuer leur susceptibilité thermique. Leurs constituants essentiels sont :

- Les malthenes.
- Les aspalthenes.

1-3) Essais relatifs aux bitumes :

1-3-1) Essais de pénétration à l'aiguille :

L'essai de pénétration consiste à enfoncer dans un échantillon de liant à une température donnée (25°C) une aiguille standard pendant une durée de temps correspondant à 5 secondes, sous une charge totale de 100g. L'enfoncement de l'aiguille est mesuré au 1/10mm.

1-3-2) Essai bille et anneau :

L'essai bille et anneau consiste à couler un disque de bitume dans un anneau de 15.9 mm de diamètre intérieur et 6.3 mm d'épaisseur et à placer sur le disque de bitume une bille d'acier de 3.5gr. L'ensemble est mis dans un bain marie et est progressivement chauffé jusqu'à ce que le disque de bitume flue sous le poids de la

bille et vienne toucher le fond du récipient. On note la température au moment où le bitume entre en contact avec le fond du bêcheur.

Cette température représente le point de ramollissement « bille et anneau. »

1-3-3) Viscosités :

La viscosité des liants à l'état de liquide visqueux est mesurée avec un viscosimètre à écoulement muni d'un ajustage de 10mm et parfois de 4 mm de diamètre « viscosimètre B.R.T.A » (rad tar british association).

Pour les émulsions et parfois pour les liants ordinaires, on se sert d'un viscosimètre à écoulement muni d'un ajustage de 2.8 mm qu'on désigne sous le nom de « viscosimètre ENGLER »

1-3-4) Susceptibilité des liants :

La susceptibilité d'un liant c'est la caractéristique marquant son aptitude à varier plus ou moins de consistance pour une variation déterminée de la température.

1-3-5) Ductilité :

La ductilité d'un liant est une caractéristique complexe qui est fonction à la fois de la viscosité et de la cohésion interne du liant.

On mesure la ductilité d'un liant au moyen d'un ductilimètre standard à 25°C et la vitesse d'allongement de 5 cm par minute. L'essai se fait dans l'eau sur des éprouvettes en forme de 8. La ductilité d'un liant croit quand la susceptibilité croit.

1-3-6) Cohésion interne :

La cohésion interne d'un liant hydrocarboné est caractérisée par la résistance à la décohésion, à une température déterminée, dans des conditions d'allongement ou de cisaillement et de vitesse de déformation déterminée.

1-3-7) Adhésivité de liant :

L'adhésivité d'un liant pour un minéral est marquée par sa faculté de pouvoir mouiller le minéral. Elle est donc considérée comme une caractéristique d'affinité d'un corps pour un autre. Pour que cette affinité d'ordre moléculaire se manifeste, il faut que l'un des corps soit suffisamment fluide pour que ses molécules puissent se déplacer et entrer en contact dans le champ des forces de cohésion avec les molécules du corps rigide.

L'adhésivité sera d'autant mieux conservée si l'énergie d'adhérence du liant pour le minéral sera plus élevée le liant sera plus visqueux et l'épaisseur du liant d'enrobage sera plus forte.

1-4) Matériaux utilisés dans la chaussée :

1-4-1) Les Granulats :

Les granulats sont des matériaux grenus de provenance naturelle ou artificielle, destinés après adjonction d'un liant à la confection des bétons.

1-4-1-1) Les qualités exigées :

Les couches de fondation et de base sont presque exclusivement constituées par des granulats à granulométrie continue appelés graves.

Les graves doivent présenter les qualités suivantes :

- Elles ne doivent pas se fragmenter sous l'effet de la répétition des charges.
- Elles ne doivent pas évoluer par attraction au contact des grains ;
- Elles doivent être insensibles à l'eau.

Ces qualités dépendent de certains facteurs :

- La nature de la roche dont est issue le grave et l'échelle granulométrique
- Le coefficient de frottement des grains entre eux.
- La présence d'argile.

Un granulat issu d'une roche dure ne se fragmentera pas ou très peu.

C'est un matériau plein, anguleux à fort frottement interne et n'a pas tendance à fluer au passage des roues. C'est ce qui se produit pour des granulats ronds et ayant peu de contact les uns avec les autres.

Enfin la présence d'argile autour des grains risque une fois humide, de leur faire perdre toute stabilité.

1-4-1-2) Origine des graves :

Les graves employées sont d'origine très diverses. Les couches supérieures doivent présenter à un degré élevé, les qualités énumérées précédemment.

1-4-2) Principaux essais sur les granulats :

1-4-2-1) La granulométrie :

Chaque pays à ses propres recommandations en ce qui concerne les fuseaux granulométriques. Les fuseaux granulométriques sont des courbes limites à l'intérieur desquelles doit se tenir la courbe du matériau qu'on veut réaliser. En aucun

cas ils ne doivent être considérés comme intangibles. En effet, il suffit de connaître pour un matériau donné :

- le calibre maximal convenable
- le pourcentage des fines (0.08 mm) convenable.
- Deux points de la courbe.

Des règles pratiques simples seront les suivantes :

- $D \leq 31.5$ mm pour les fondations
- $D \leq 20$ mm pour les bases
- $2 \% < \% \text{ (fines)} < 10 \%$
- coefficient de courbure

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

D_{30} : Le poids des refus au tamis de diamètre $D = 30$.

D_{10} : Le poids des refus au tamis de diamètre $D = 10$.

D_{60} : Le poids des refus au tamis de diamètre $D = 60$.

C_c : Coefficient de courbure.

Le calibre maximal est imposé pour éviter la ségrégation des granulats à la mise en œuvre.

Pour avoir un grave assez compacté, un pourcentage de fines est nécessaire. Cependant il ne doit pas être excessifs car les fines n'offrent pas une stabilité suffisante. La courbe garantit pour une granulométrie continue, une bonne compacité.

1-4-2-2) Essai MICRO DEVAL humide :

La résistance à la fragmentation et à l'usure est généralement caractérisée par l'essai DEVAL humide. Dans un cylindre de 20cm de diamètre et 34cm de longueur, on introduit 50 pièces écrasées et humidifiées de la roche en cause et pesant en total (500 gr). Le cylindre effectue 10 000 révolutions à 30 t/mn autour d'un axe faisant un angle de 32° avec l'axe proprement dit du cylindre.

$$MD = 100 \frac{500 - p}{500}$$

MD : Coefficient de MICRO DEVAL.

1-4-2-3) L'essai LOS ANGELES :

Il consiste à placer dans un cylindre à axe horizontal de 70 cm de diamètre et 50 cm de longueur, les granulats à essayer et des boules d'acier.

On effectue 500 révolutions à 30 tr/mn, le poids et la granulométrie des granulats sont prédéterminés en fonction du diamètre maximal du granulat.

Après l'essai, les matériaux sont criblés au tamis de 1,68 mm de maille. Le poids de la fraction passante est rapporté au poids de la prise d'essai. Le rapport multiplié par 100 est appelé coefficient de LOS ANGELES

$$\text{Coefficient LA} = \frac{5000 - M}{5000} \times 100$$

M = masse sèche du refus au tamis de 1,68 mm.

1-5) Les fillers :

Les fillers appelés encore fines sont des farines minérales utilisées comme élément de remplissage ; sans fillers la compacité désirable du béton en place ne pourrait être obtenue. L'inconvénient réside aussi dans le fait qu'un bitume pur (comme matière agglutinante d'interposition) est beaucoup plus susceptible qu'un mastic constitué d'un liant et du filler. Le filler permet lorsque le dosage est choisi correctement, la rigidification de l'enrobé sans nuire à sa plasticité. Du plus, il multiplie les points de contact entre les différents grains et augmente par conséquent la cohésion, et freine en période de chaleur le ressuage.

1-6) Les enrobés bitumineux :

On appelle d'une façon générale « enrobés bitumineux » (enrobés hydrocarbonés) tout mélange de granulats de diverses dimensions et d'un liant hydrocarboné.

Dans un tel mélange, la mobilisation des forces de tension superficielle (ou interfaciales), entraîne la création d'une cohésion qui s'ajoutant aux forces dues au frottement internes du squelette minéral, permet d'obtenir un matériau doué de certaines propriétés mécaniques (résistance à la compression, à la traction et au cisaillement).

En faisant varier la composition granulométrique et le liant (qualité et quantité), on pourra obtenir une gamme très large de propriétés débouchant sur des applications fort diverses.

1-6-1) Classification des enrobés d'après la compacité:

On distingue, dans le cas des enrobés présentant un calibre compris entre 6,3 et 20 mm, les enrobés suivants :

1-6-1-1) Les enrobés denses :

Les enrobés denses présentent un pourcentage de vide inférieur à 10%. A l'intérieur de cette catégorie se placent les bétons butimineux ou hydrocarbonés. Ces enrobés de haute qualité sont caractérisés par des spécifications plus sévères en ce qui concerne la qualité des granulats, la viscosité du liant, la courbe granulométrique, les performances mécaniques et le soin apporté à la fabrication.

1-6-1-2) Les enrobés semi denses :

Dans ces enrobés, le pourcentage de vides est compris entre 10 et 15%.

1-6-1-3) Les enrobés ouverts :

Ces enrobés ont un pourcentage de vides supérieur à 15%.

1-6-2) Qualités exigées d'un enrobé :

Qu'il s'agisse d'un enrobé réalisé à chaud ou à froid, la couche ainsi constituée doit avoir un certain nombre de qualités.

1-6-2-1) La stabilité :

La stabilité est la résistance à la déformation permanente de la couche sous l'effet des charges statiques et dynamiques.

L'insuffisance de stabilité se traduit par fluage avec formation de dépression, d'ornièrre et d'ondulation.

La stabilité augmente avec l'angle de frottement interne des granulats, la dureté du liant et le compactage.

1-6-2-2) La flexibilité :

On entend par flexibilité, l'aptitude de l'enrobé bitumineux à admettre sans fissuration les déformations d'ensemble qui peuvent être imposées par la flexion des couches inférieures.

L'insuffisance de flexibilité se manifeste par la fissuration du tapis. La flexibilité dépend en premier lieu de la ductilité du liant qui doit demeurer suffisante aux basses températures durant toute la vie de l'enrobé.

Pour obtenir un enrobé à la fois flexible et stable, il faut donc avoir un liant qui reste visqueux en été sans devenir fragile en hiver, et qui de plus résiste bien au vieillissement.

1-6-2-3) L'absence de sensibilité à l'eau :

Une bonne affinité entre le liant et les granulats peut être améliorée par des dopes, et permet de résister au risque de desenrobage des matériaux sous l'action de l'eau, celle-ci peut altérer les éléments fins de l'enrobé. Par conséquent, les fillers doivent contenir peu d'argile ; cette dernière réduit considérablement la stabilité de l'enrobé humide.

L'enrobé utilisé en couche de surface doit avoir des propriétés particulières telles que la résistance aux efforts tangentiels et de poinçonnement, ainsi que la rugosité qui suppose que les granulats ne polissent pas facilement sous l'action de la circulation et qu'ils gardent des arêtes au contact des pneumatiques.

Une bonne liaison doit exister entre la couche de l'enrobé et les couches inférieures pour éviter le décollement. Un enduit d'accrochage (cut-back ou émulsion à faible dosage) peut s'avérer nécessaire si la couche inférieure est lisse, humide ou des actions tangentielles sont susceptibles de s'écraser (cas de forte déclivité, virage....). Si la couche d'enrobé est épaisse (5 à 6cm) l'enduit d'accrochage est généralement inutile.

1-7) Béton bitumineux :

1-7-1) Définition :

Ces types de mélanges sont constitués par un squelette minéral à granulométrie continue dans lequel les particules les plus petites remplissent les vides formés par les plus grosses, formant ainsi une structure minérale dense avec une faible teneur en vide. Le bitume à résistance moyenne ou dure recouvre les particules par un film fin et remplit particulièrement les vides.

1-7-2) Classification :

Selon la plus grande dimension du gros granulat et les proportions des différents constituants, on peut classer les bétons bitumineux en béton de texture grossière, moyenne et fine (voir tableau 1-1).

Structure	Dim Max	Gravillon	Sable (%)	Filler	Bitume
Grossière	30 – 15	80 – 65	15 – 30	2 – 6	3 – 5
Moyenne	20 – 10	65 – 50	30 – 45	4 – 8	4 – 6
Fine	15 – 10	50 – 35	45 – 60	6 – 10	5 – 7

Tableau (1-1) : Classification selon les dimensions du granulat

- Les enrobés bitumineux de structure grossière s'emploient généralement pour les couches de base des routes à trafic lourd (grave).
- Les bétons bitumineux de structure moyenne sont employés plus couramment pour les couches de roulement (béton bitumineux).
- Les bétons bitumineux de structure fine s'emploient seulement en couche de roulement.

1-8) Grave bitume :

Les grave bitumes, moins dosés en bitume que les bétons bitumineux, sont destinés généralement à la réalisation de chaussées comme couche de base et couche de fondation.

Elles doivent présenter essentiellement une résistance à la fatigue et l'orniérage.

- Dimension maximale

Pour une grave 0/D, la dimension maximale des gros éléments, sera :

- $14\text{mm} \leq D < 20\text{mm}$ pour :
 - Une couche de base.
 - Une couche de renforcement.
 - Une couche de fondation de chaussée en béton
- $14\text{mm} \leq D < 31,5\text{mm}$ pour :
 - Une couche de fondation de chaussée noire (souple).

1-9) Etude de la composition :**1-9-1) principe de formulation :**

La méthode généralement employée pour la formulation des enrobés bitumineux est la suivante :

- Choix et appréciation de la qualité des granulats, des fillers, du liant, du climat et de la nature de la couche de chaussée à réaliser.
- Dosage des granulats et du filler.
- Choix de la teneur en liant au moyen d'essais mécaniques.

Une fois les constituants choisis et leurs pourcentages fixés, on réalise des éprouvettes qu'on soumet à des essais mécaniques, tels que l'essai DURIEZ et l'essai MARSHALL.

1-9-2) Composition granulométrique :**1-9-2-1) Béton bitumineux :**

Pour chacun des bétons bitumineux 0/10 et 0/14, on définit une formule grenue et semi grenue par l'indication des pourcentages de refus aux tamis 2 et 6mm. (Voir tableau 1-2).

	Béton bitumineux	Formule S.G (%)	Formule G (%)
0/10	Tamis 6mm	25 – 35	35 – 45
	Tamis 2mm	55 – 70	60 – 75
0/14	Tamis 6mm	40 -50	50 – 60
	Tamis 2mm	60 - 75	60 – 75

Tableau (1-2) : Formule grenue et semi grenue des bétons bitumineux

1-9-2-2) Grave – bitume :

Pour chacune des graves – bitumes 0/20 et 0/31,5, on définit une formule semi grenue et une formule grenue par l'indication des pourcentages de refus aux tamis 0,6; 2 et 6mm (voir tableau 1-3).

	Grave bitume	Formule S.G (%)	Formule G (%)
0/20	Tamis 6mm	40 – 55	50 – 65
	Tamis 2mm	60 – 75	65 – 80
	Tamis 0,6mm	71 – 84	75 – 86
0/31,5	Tamis 6mm	50 – 60	60 – 70
	Tamis 2mm	65 – 80	70 – 80
	Tamis 0,6mm	75 – 86	78 – 89

Tableau (1-3) : Formule grenue et semi grenue des graves bitumes

1-9-2-3) Teneur en fillers :

La teneur en fillers à retenir est définie à partir d'une étude au laboratoire ayant porté sur au moins trois teneurs en fillers.

Ces teneurs en fillers doivent être normalement à l'intérieur des fourchettes suivantes :

a) Pour les bétons bitumineux :

- couche de roulement 5 à 9%.
- Couche de liaison 3 à 7%.

b) Pour les graves – bitumes :

- couche de base 6 à 9%.
- Couche de fondation 3 à 7%.

1-9-2-4) Teneur en liant :

La teneur d'un enrobé bitumineux dépend de la granulométrie de l'ossature et plus exactement de la surface spécifique.

Cette surface est d'ailleurs déterminée en grande partie par le filler proprement dit et dans une certaine mesure par le sable fin.

La teneur en liant sera définie lors de l'étude au laboratoire en utilisant la formule suivante :

$$P = \alpha K \sqrt[5]{\Sigma}$$

Avec :

α = coefficient de correction destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats tel que $\alpha = 2,65/\delta G$

Ou δG : masse volumique réelle des granulats.

K : module de richesse.

Σ : surface spécifique conventionnelle :

Dans l'expression précédente, la valeur de $K = P / \sqrt[5]{\Sigma \alpha}$ est appelée « module de richesse en liant ». Il est caractéristique de l'épaisseur du film de liant enrobant les grains d'agrégats, d'où son nom. Son choix est sous la dépendance de la déformabilité du climat, de la nature et de l'intensité du trafic. D'une manière générale, la valeur du module de richesse « K » varie entre 3,75 et 4,25.

1-9-2-5) Essais sur les enrobés :

La rhéologie des enrobés hydrocarbonée était mal connue et surtout difficile à prévoir lorsqu'on est en présence des granulats d'une part, et du liant d'autre part. Mais l'adoption des méthodes empiriques a donné de bons résultats définissant des enrobés satisfaisant certaines exigences de la pratique.

De ce fait, des recherches toutes récentes s'orientent vers des essais plus spécifiques, qui caractérisent parfaitement le comportement des enrobés sur chaussée même à long terme.

Les essais courants, permettent d'estimer un des paramètres caractérisant l'enrobé telles que la stabilité, la cohésion...etc....

a) L'essai de compression simple L.C.P.C. :

Les éprouvettes sont réalisées dans des moules cylindriques de 80mm de diamètre intérieur et 150mm de hauteur. Tout le granulat doit passer au tamis à maille carrée de 20mm.

Les éprouvettes sont compactées à la presse, de préférence avec une embase mobile pour avoir une pression appliquée sur les deux faces.

La pression de moulage est de 60 kg/cm^2 , elle est appliquée en une minute et maintenue cinq minutes.

On réalise en règle générale sept éprouvettes pour une même teneur en liant :

- Pour la mesure de la résistance à sec durant 8 jours.
- Pour la mesure de la résistance après 8 jours d'immersion.
- Pour la mesure de la densité à la balance hydrostatique.

Les éprouvettes sont conservées à 18°C . Celles destinées à la mesure de la résistance à sec seront écrasées à la vitesse 1 mm/s sous une presse à avancement contrôlé, on note l'effort maximal, convertie en résistance exprimée en kg/cm^2 . On note également l'écrasement au moment de la rupture et on appelle indice d'affaissement, le rapport de l'écrasement à la hauteur initiale de l'éprouvette.

Les éprouvettes destinées à la mesure de la résistance après immersion subissent les traitements suivants :

- Conservation à sec durant 24h à 18°C.
- Mettre dans une couche à vide pendant 1h.
- Ajouter de l'eau jusqu'à recouvrir les éprouvettes de 2 à 3cm et maintenir le vide durant 2h.
- Immersion les éprouvettes dans l'eau à la pression atmosphérique à 18°C (durant 7 jours).
- Après sortie de la couche a vide, puis au bout de 2 jours et enfin des 7 jours d'immersion, peser et mesurer les dimensions des éprouvettes afin de déterminer l'absorption et le gonflement.

b) Essai MARSHALL :

L'essai MARSHALL consiste à écraser à 60°C entre deux mâchoires, une éprouvette cylindrique de 10cm de diamètre et 6,3cm de hauteur. Les mâchoires s'appuient sur deux génératrices opposées et la vitesse d'avancement est constante et égale à 50mm par minute. On note l'effort maximum à la presse et la déformation diamétrale de l'éprouvette au moment de la rupture, c'est à dire au maximum d'effort de la presse.

c) Essai DURIEZ :

Le but de l'essai DURIEZ est de caractériser les qualités de résistance mécanique et de résistance au desenrobage par l'eau. Dans le cas des matériaux enrobés classiques, les résultats de l'essai DURIEZ suffisent à eux seuls à caractériser convenablement la qualité du matériaux. Dans d'autres cas, on pourra avoir avantage à les compléter par les résultats d'autres essais (essai HUBBAR FIELD pour les matériaux fins, et l'essai MARSHALL pour les matériaux à base de granulats ronds ou très anguleux). L'essai DURIEZ diffère de l'essai MARSHALL dans la température de l'essai qui est de 18°C au lieu de 60°C ; il diffère aussi dans le mode d'application de la charge qui est axiale, alors que pour l'essai MARSHALL, elle est radiale.

d) Essai HUBBARD FIELD :

Le but de l'essai est de déterminer la stabilité HUBBARD FIELD. Il consiste à mesurer l'effort maximum s'exerçant sur une éprouvette placée sur un appui cylindrique creux d'un diamètre intérieur légèrement inférieur au diamètre extérieur de l'éprouvette. L'essai s'effectue à 60°C aux Etat Unis, et à 18°C en France. En écrasant l'éprouvette à une vitesse de 1m/s, on peut définir la stabilité HUBBARD FIELD.

e) Essai HIVEEN :

Le but de cet essai est de déterminer la teneur en liant requise en bitume d'un enrobé, et d'en vérifier les propriétés mécaniques. Cet essai s'effectue en deux phases successives :

Essai au stabilomètre et essai au cohésomètre. Cet essai est spécifique aux enrobés contenant un bitume semi dur aux émulsions ou au bitume fluidifier (cut-back) et aux granulats dont $D \leq 25\text{mm}$.

f) Essai d'Orniérage :

C'est un nouveau essai GRINAUX et HIERMNAUX ont tenté de montrer comment cet appareil peut contribuer à la connaissance des propriétés telles que :

- La nature du liant (dureté, susceptibilité).
- L'angularité des granulats.
- Le dosage en mortier et rapport filler/bitume.

1-10) Calcul de la compacité des éprouvettes :

Soit :

- D_m : la densité apparente de l'éprouvette.
- d_b : la densité du bitume.
- d_a : la densité de l'agrégat.
- P_a : le pourcentage en poids de l'agrégat.

La densité apparente de l'éprouvette est :

$$D_m = \frac{100}{P_a/d_b + p_a/d_a}$$

= Le pourcentage volumétrique des vides résiduels aux vides de l'éprouvette est :

$$V_m = \frac{D_m - d_m}{D_m}$$

= La compacité C ou pourcentage volumétrique des pleins est :

$$C = 100 - V_m.$$

CHAPITRE II

Utilisation des Cut-back et des émulsions
dans les constructions des routes

Chapitre II

Utilisation des Cut-back et des émulsions dans les constructions des routes

2-1) Introduction :

Les cut-back sont utilisés en général, comme couche d'imprégnation quant aux émulsions comme couche d'accrochage. L'enrobé à froid à l'émulsion et au Cut-back (couche de roulement) sont également employés pour certaines catégories de trafic.

2-2) Les Cut-back:

2-2-1) Définition:

Les Cut-back sont des bitumes auxquels on a ajouté des solvants plus ou moins volatils (White spirit, Kérosène, huiles de houille, etc...). pour réduire leur viscosité.

2-2-2) Fabrication des Cut-back:

Les Cut-back sont constitués d'un mélange de bitume général de pénétration 200/100 et d'un solvant pétrolier, ou du pétrole lampant (Kérosènes). Les solvants pétroliers présentent les caractéristiques des solvants pétroliers sont représentées dans le tableau (2-1) :

		Pétrole léger ou Kérosène	Essence lourde
	Densité à 15°C	≈ 0,785	≈ 0,770
	Inflammabilité	≈ 45°C	≈ 25°C
distillation	Point initial	100/170	125/135
	95%	205/215	195/200
	Point final	< 230	< 205

Tableau (2-1) : Caractéristiques des solvants pétroliers

Suivant la viscosité qui est mesurée à l'aide d'un viscosimètre standard STV (standard par viscosimètre) la constitution des cut back se répartit comme il est mentionné dans le tableau (2-2) :

Viscosimètre STV à 25°C en S	Bitume 80 – 100 en %	Solvant pétrolier en %
0/1 orifices 4 mm	65 à 61	35 à 39
10/15 orifices 10 mm	78 à 76	22 à 24
50/100 orifices 10 mm	85 à 83	15 à 17
150/250 orifices 10 mm	86,3 à 85,5	13,7 à 14,5
10/15 orifices 10 mm	88,7 à 88,3	11,3 à 11,7

Tableau (2-2) : constitution des cut back selon viscosimètre STV

2-2-3) Caractéristiques des Cut-back (bitume fluidifié) :

Les principales caractéristiques de Cut-back (400/600) sont résumées dans le tableau (2-3).

Caractéristiques	Méthode normalisée de référence	Bitume fluidifié				
		0 - 1	10 - 15	150- 250	400- 600	800- 1400
Pseudo viscosité mesurée au viscosimètre - d'orifice 4mm, à 25°C.S - d'orifice 4mm, à 25°C.S - d'orifice 4mm, à 25°C.S	NFT 66 - 005	< 30 — —	10 à 15 —	150 à 250 —	400 à 600 —	— 80 à 200
Densité relative à 25°C (pycnomètre)	NFT 66 - 007	0,90 à 1,02	0,90 à 1,02	0,92 à 1,04	0,92 à 1,04	0,92 à 1,04
Distillation fractionnée (résultats exprimés en % du volume initial) Fraction distillant au dessous de : 190°C 225°C 315°C 360°C	NFT 66 - 003	< 9 10 à 27 30 à 45 < 45	< 11 16 à 28 < 32	< 3 6 à 15 < 20	< 2 5 à 12 < 15	< 2 3 à 11 13
Pénétrabilité à 25°C, 100g, 5s du résidu à 360°C de la distillation 1/10mm	NFT 66 - 004	80 à 250	80 à 250	80 à 200	80 à 200	80 à 200
Température limite de pompabilité	—	20	35	65	70	80
Nature du solvant	Kérosène					
Pourcentage moyen de solvant	—	38	24,5	15	12,5	10

Tableau (2-3) : Caractéristiques des Cut-back classiques à séchage

2-2-4) Domaine d'application des cut back :

Les Cut-back sont largement utilisés dans le secteur routier ; ils peuvent se présenter sous différents états :

- Très fluide : imprégnation des sols relativement compacts.
- Fluide : imprégnation de sols relativement poreux.
- Semi visqueux : épandages et emploi partiel différés.
- Visqueux : emploi partiel et enrobage.
- Très visqueux : épandage et enrobage par temps chaud.

2-3) Les émulsions :

2-3-1) Définition :

On appelle émulsion des mélanges intimes, constitués de phases séparées de deux constituants non miscible l'un à l'autre. La phase dispersante ou phase continue est dans le cas le plus courant, un liquide plus ou moins visqueux ou solide, mou ou demi mou tel un bitume, ou bien quelconque. C'est la dispersion en fines particules d'un liquide dans un autre. Cette mise en suspension n'est possible que si les conditions suivantes sont réunies, à savoir :

- Les deux liquides sont insolubles l'un dans l'autre.
- Leurs densités sont voisines.

2-3-2) Emulsion directe et inverse :

Selon les phases, les émulsions se divisent en 2 groupes:

2-3-2-1) Emulsion directe : (O – W = oil - water), bitume ou huile dispersée dans l'eau.

2-3-2-2) Emulsion inverse : (W-O) = constituée par des globules d'eau dispersés dans le bitume ou huile.

Pour l'émulsion directe, la phase aqueuse est continue, appelée encore phase interne. L'émulsion inverse présente une phase aqueuse qui est discontinue ou interne. Selon la polarité, on distingue 2 groupes d'émulsions :

a) Les émulsions anioniques :

Une émulsion est dite anionique, si dans une phase d'électrophorèse les particules du liquide dispersées se dirigent vers l'anode, elles contiennent de émulsifs qui sont généralement des sels d'anions dits type $(R - COO)^- (Na)^+$, qui en solution s'ionisent pour donner un anion négatif $(R - COO)^-$, le reste de la molécule

devient positive (Na^+). Les émulsions anioniques sont classées en rapides, lentes et surstabilisées.

b) Les émulsions cationiques :

Une émulsion est dite cationique, si dans une phase d'électrophorèse les particules du liquide dispersées se dirigent vers la cathode. Elles contiennent des émulsifs qui sont généralement des sels d'anions dite type $(\text{R-NH}^+)(\text{CL}^-)$, qui en solution s'ionisent pour donner un anion négatif (CL^-), le reste de la molécule devient positif (R-NH^+) et confère aux particules de bitume une charge électropositive. Selon leurs viscosités, les émulsions cationiques sont classées en rapides, lentes et surstabilisées.

2-3-2-3) Fabrication des émulsions :

Pour fabriquer une émulsion, il faut une énergie de dispersion et un émulsif. Le procédé consiste essentiellement à faire passer dans une turbine (sorte de pompe centrifuge) un mélange de bitume, d'eau et de produits tensio-actifs. La turbine disperse le bitume en fines gouttelettes dans l'eau et l'émulsion, est alors stockée dans des backs avant livraison.

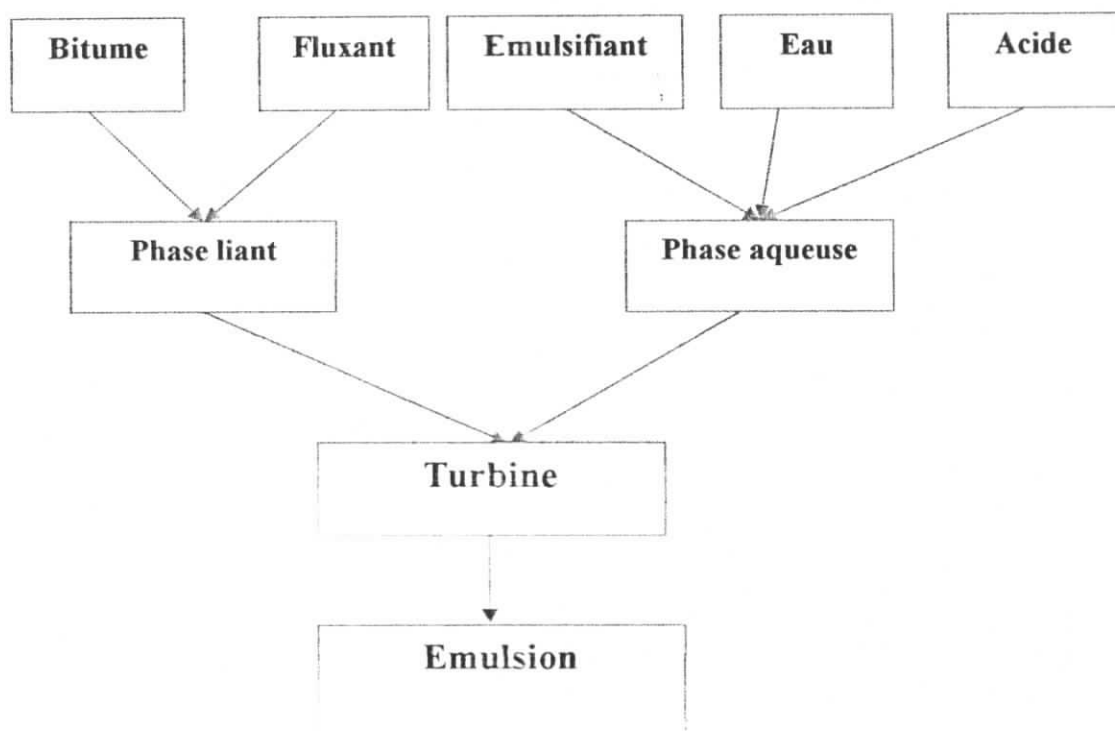


Fig (2-1) : Organigramme de fabrication des émulsions

2-3-2-4) Caractéristiques des émulsions :

Les caractéristiques des émulsions cationiques sont représentées dans le tableau (2-4).

Caractéristiques	rapide			Semi rapide		
	60%	65%	69%	60%	65%	69%
- Teneur en eau %	≤ 41	≤ 36	≤ 32	≤ 41	≤ 36	≤ 32
- Pseudo viscosité à 25°C (mm ² /s – cst)	15 à 115	> 45	> 115	15 à 230	< 45	> 115
- homogénéité :						
# particules ≥ 0,63mm	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
# particules comprises entre 0,63 et 0,16mm	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
- stabilité au stockage %	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
- adhésivité :						
# partie 1 de l'essai	≥ 90	≥ 90	≥ 90	≥ 90	≥ 90	
# partie 2 de l'essai	≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75	
- indice de rupture	< 100	< 100	< 100	80 - 140	80 - 140	80 - 140
- stabilité au ciment	-	-	-	-	-	-
- charge de particules	+	+	+	+	+	+

Tableau (2-4) : Caractéristiques des émulsions cationiques

2-3-2-5) Domaine d'application des émulsions :

Les émulsions servent à disperser surtout des substances hydrophobes dans les liquides hydrophiles non miscibles.

Les émulsions les plus couramment employées sont, en effet le plus souvent, des émulsions directes.

Etant donné, leurs affinités électrostatiques pour les agrégats à caractère acide et les propriétés adhésives de la molécule du savon cationique, les émulsions cationiques obtenues permettent d'utiliser aussi bien les matériaux acides que basiques. Leur utilisation permet la stabilisation des fondations et des sols argileux.

2-4) Les enrobés à froid :

2-4-1) Définition :

L'enrobage à froid est un procédé dont lequel les granulats sont généralement enrobés sans séchage préalable à la température ambiante. Corrélativement le liant doit permettre l'utilisation du bitume à une température nettement inférieure à celle nécessaire pour l'enrobage à chaud du bitume pur. On peut utiliser, soit des bitumes fluidifiés, soit des émulsions (bitume).

Les enrobés à froid sont du type ouvert (le pourcentage du vide est supérieur à 12%), ou semi dense (le pourcentage du vide est compris entre 8 et 12%).

Le caractère ouvert de ces enrobés est impliqué par la nature de l'enrobage. Il permet en effet, soit l'évaporation du solvant contenu dans le cut back, soit l'évaporation de l'eau après rupture de l'émulsion.

2-4-2) Domaine d'utilisation :

Cette technique est essentiellement une technique de surface, elle apporte donc en premier lieu, étanchéité et adhérence.

Par rapport aux techniques traditionnelles concurrentes, l'enrobé à froid peut être utilisé lorsqu'un enduit superficiel paraît mal adapté, comme par exemple lorsque :

- le trafic poids lourds et le site peuvent faire craindre l'entaille des granulats dans le support.
- Le rapport est trop hétérogène.
- Il y a usure prononcée des bandes de roulement.
- Le niveau sonore doit être limité.
- Le tracé est trop tourmenté.

Il est évident que son coût global (y compris la préparation éventuelle du support) doit aussi, dans ce cas être inférieur à celui d'un enrobé d'entretien.

Les limites d'emplois actuels paraissent être les suivants :

2-4-2-1) Trafic maximal :

Il est de l'ordre de 1000 poids lourds par jours, et par sens.

2-4-2-2) Déformabilité du support :

Il est difficile aujourd'hui de fixer la déformation admissible pour garantir une durée de vie suffisante.

2-5) Orniérage :

Les enrobés à froid ne répondent pas à ce type de dégradation à moins qu'il ne s'agisse d'un orniérage d'usure ou de post-compactage, et qu'il n'excède pas 30mm. Pour ces ornières importantes, une préparation du support est nécessaire pour amener les déformations à 10mm maximum.

CHAPITRE III

Présentation des enrobés colorés

Chapitre III

Présentations des enrobés colorés

3-1) Introduction :

Les voiries urbaines ont eu pour objectif essentiel d'absorber l'accroissement continu de la circulation automobile dans les villes. Les techniques adoptées ont été directement issues de la route. Mais, depuis ces dernières dix années, on a remarqué un renversement de tendance par la mise en place d'aménagements spécifiques redonnant aux voiries leur rôle particulier. C'est ce qui a permis l'essor des revêtements de chaussées autre que ceux constitués de matériaux bitumineux, donc de couleur noire ou gris sombre.

Les produits traditionnels à base de bitume ou de résine offrent des possibilités de coloration très nombreuses.

Dans le paragraphe suivant, nous présenterons les principales caractéristiques de ces deux familles de liant.

3-2) Liant à base de bitume :

Les liants à base de bitume se présentent sous trois groupes. Chaque groupe se distingue par ses propriétés mécaniques et son aptitude à la fourniture d'un mélange coloré, ces groupes sont :

3-2-1) Les bitumes routiers classiques :

Les bitumes routiers classiques peuvent être colorés, ils nécessitent un apport relativement élevé en pigments, L'économie et surtout les limites d'efficacité dans une base noire des pigment, restreignent les teintes possibles à la seule couleur rouge, même si elle est rendue avec une nuance un peu sombre, peut être considérée comme satisfaisante. Ce procédé présente le double avantage de s'affranchir des contraintes relatives à l'approvisionnement d'un bitume spécifiques (une citerne réservée ou supplémentaire dans le stock normal d'une centrale) et de disposer sans réserve des caractéristiques mécaniques normales des bitumineux usuels, ou même, en cas de nécessité des caractéristiques mécaniques améliorés des matériaux à base de bitume modifiés par polymères. C'est une solution qui offre beaucoup de souplesse en restant relativement économique lorsque la seule couleur rouge peut être admise.

3-2-2) Les bitumes dits « pigmentables » :

Les bitumes pigmentables sont éclaircis par une teneur réduite en asphaltènes comparativement aux bitumes classiques. La couleur noire du bitume est due aux asphaltènes qui en même temps contribuent à sa dureté. De ce fait, les bitumes « pigmentables » permettent une coloration plus efficace des revêtements avec des teneurs en pigment un peu plus faibles que pour le cas précédent, et le rouge est obtenue dans une nuance moins sombre. Mais surtout, outre le rouge, d'autres couleurs deviennent réalisables, comme par exemple le vert et le bleu, qui sont possibles uniquement à partir de bitumes de faible couleur propre. L'inconvénient pour la plupart de ces liants est d'être généralement moins durs que les bitumes routiers classiques. Il en résulte que les enrobés à base de bitumes pigmentables conviennent essentiellement aux sites où le trafic reste faible du point de vue des poids lourds.

3-2-3) Les bitumes dits « clairs » :

Les bitumes dits clairs sont parmi les produits les plus récents apparus sur le marché ces dernières années. Ce sont des liants de synthèse, sans asphaltènes, généralement transparents en film mince du fait notamment de l'absence de couleur noire. En conséquence, avec des dosages en matière colorante inférieurs à ceux employés dans les bitumes pigmentables, ils offrent une palette de couleurs très variée (rouge, vert, bleu, jaune, beige...). Leurs caractéristiques mécaniques et physiques sont très proches de celles des bitumes routiers usuels, avec les mêmes classes de pénétrabilité normalisées. Les matériaux élaborés avec ces liants permettent d'atteindre des caractéristiques mécaniques capables de supporter les sollicitations d'un trafic important de poids lourds, tout en offrant un aspect visuel enrichi de couleurs vives et variées. Les bitumes dits « clairs » conduisent donc au domaine d'emploi le plus vaste ; en contrepartie leur coût est très élevé. Cependant, les matériaux à base de ces liants restent très compétitifs comparés aux revêtements de type pavés ou dalles, naturels ou préfabriqués et même aux revêtements à base de résine.

3-3) Liant à base de résine :

Il est possible de distinguer quatre principaux groupes, de nature chimique et donc de propriétés différentes.

3-3-1) Les résines époxydes :

Les propriétés de ces liants conduisent à des revêtements présentant de nombreuses qualités. Elles concernent principalement une résistance mécanique élevée, une susceptibilité thermique pratiquement négligeable (surtout dans ce domaine d'emploi), une excellente adhérence sur tous les types de support, contribuant à leur imperméabilisation et une grande inertie à l'action des produits chimiques. Du point de vue de la coloration, la gamme des teintes possibles est très variée (gris, vert, rouge, beige...). Cependant, pour le comportement à long terme, les ultraviolets semblent à l'origine d'une évolution de la couleur (éclaircissement) dans le temps, il convient également de noter une tendance à fariner.

3-3-2) Les résines polyuréthannes :

Elle nécessite comme précédemment une période de polymérisation pour que les matériaux qu'elles constituent atteignent l'optimum de leurs propriétés. La polymérisation peut être générée de deux manières différentes :

- soit à partir d'un système bicomposant constitué à la mise en œuvre et semblable dans le principe à celui des résines époxydes.
- Soit à partir d'un monocomposant qui polymérise sous l'action de l'humidité de l'air.

Les résines polyuréthannes possèdent également beaucoup de qualité, très semblables à celles citées précédemment. La gamme de couleur disponible est aussi très variée. A signaler que dans cette famille de liants, il existe des variantes moins sensibles aux agressions atmosphériques (ultraviolet principalement) qui en particulier ne jaunissent pas et ne farine pas au cours de l'usage à long terme. Ces variantes sont mieux adaptées aux applications en revêtement de voirie.

3-3-3) Les résines poly méthacryliques :

Elles nécessitent également une phase de polymérisation suivant le principe d'un bicomposant constitué à la mise en œuvre par le mélange d'une base et d'un catalyseur. Les qualités des revêtements élaborés avec ces résines sont du même ordre que celles des cas précédents, avec comme principaux avantages des résistances mécaniques de niveau élevé et une polymérisation très rapide. La contrepartie à ces avantages, est une grande rigidité accompagnée d'un risque important d'inflammabilité à l'application et d'une odeur forte et persistante.

3-3-4) Les résines acryliques et vinyliques :

Elles sont préparées suivant un principe différent de celui des autres groupes de résine évoquées précédemment. Ces liants sont fournis sous la forme d'émulsion de copolymères. Les principaux avantages issus de cette particularité sont de pouvoir disposer d'un produit prêt à l'emploi, monocomposant pour un prix plus faible que celui des liants appartenant aux trois groupes précédents. Mais les caractéristiques de résine acryliques et vinylique ne sont pas du même niveau de qualité, en particulier la durée de vie et l'inertie chimique sont relativement faibles. Leur domaine d'emploi se trouve limité aux peintures et aux traitements antipoussière dans le cas de revêtements supportant un faible trafic.

3-4) Les bétons bitumineux colorés :

3-4-1) Les enrobés au bitume pur :

Pour les voies circulées l'utilisation d'enrobé mince, voire de béton bitumineux très mince. Dans ce cas la seule coloration envisageable pour une pérennité suffisante, est celle obtenue avec l'oxyde de fer rouge, voire plus rarement ocre. Les granulats doivent alors impérativement être roses ou ocres, sous peine de voir l'enrobé prendre rapidement la couleur des granulats. La coloration est obtenue en ajoutant environ 5% d'oxyde de fer dans le mélange, dans ce cas on peut partir des formulations classiques des enrobés normalisés.

On peut utiliser des bitumes pigmentables, qui sont des liants à teneur en Asphaltène réduite, ces bitumes sont plus mous que les bitumes normalisés.

3-4-2) Les enrobés à base de liant de synthèse :

Les liants clairs ne sont pas des bitumes mais des produits de synthèse de la chimie pétrolière de couleur « miel », ils présentent cependant des caractéristiques mécaniques proches de celles des bitumes, la pénétration est adaptée au trafic lourd supportée par la chaussée.

Les liants permettent soit d'être utilisés tels que ce qui donne un enrobé « caramel clair » sous réserve d'utiliser des granulats ocres, soit d'être colorés avec des oxydes (fer, chrome, titane, cobalt).

L'épaisseur nominale des enrobés colorés, est de l'ordre de 2,5cm.

3-4-3) Les enrobés percolés :

L'enrobé percolé est un enrobé ouvert dont lequel on coule après refroidissement un coulis (mélange à base de ciment et de résine) qui viennent remplir les vides dans l'enrobé. Par ajout d'un pigment au coulis, on obtient une enrobé colorés.

Ce pigment formerait une combinaison chimique avec les autres constituants du coulis. De ce fait, la décoloration due au décollement du pigment constaté sur les enrobés à base de bitume ne se produirait plus.

L'enrobé percolé est habituellement mis en œuvre en couche de 40mm d'épaisseur.

3-5) Caractéristiques des bitumes pigmentables :

Les principales caractéristiques des bitumes pigmentables sont résumées dans le tableau (3-1) :

Caractéristiques	Méthode normalisée de référence	Bitume pigmentables
Pénétration à 25°C	NFT 66 - 004	120
Point de ramollissement bille anneau	NFT 66 – 008	45°C
Intervalle de plasticité		59°C
Asphaltènes	NFT 66 – 011	5%
Viscosité : - à 100°C - à 120°C - à 140°C - à 160°C	NFT 66 – 011	1900 500 190 80
Pénétration résiduelle après chauffage % de pénétration initial		> 70
Perte au chauffage % après 5h à 163°C	NFT 6 – 111	0,02

Tableau (3-1) : Caractéristiques des bitumes pigmentables

3-6) Les principaux pigments (oxydes) utilisés dans les enrobés :

Ce sont des poudres fines de couleur très stable à la variation de la température et qui sont utilisés dans la coloration des chaussées.

En général, les pigments utilisés dans les enrobés sont les oxydes de chrome, les oxydes de titanes et surtout les oxydes de fer.

3-6-1) Oxyde de chrome :

Le seul minéral de chrome qui compte pratiquement des chromites ou du fer chromé $FeO \cdot Cr_2O_3$, est de couleur verte.

Le chrome s'y trouve généralement plus ou moins remplacé par le fer III, ce qui donne au minéral un caractère ferromagnétique. De plus, le magnésium et l'aluminium sont toujours présents.

3-6-2) Oxyde de titane :

IL donne trois variétés minéralogiques (Rutile, Anatase et Brookite), mais très inégalement fréquentes dans la nature ; la brookite surtout est exceptionnelle. Deux variétés ont été identifiées pour l'Anatase, et deux aussi pour l'une des trois formes de ZrO_2 . Chacune d'elles peut être obtenue par voie aqueuse, précipitation et mûrissement, avec ou sans stabilisant, et d'une manière plus ou moins facile, à température plus ou moins élevée. Mais par voie sèche, une filiation régulière aboutit toujours à la même variété. Pour TiO_2 , l'Anatase est alors au départ et le rutile est à l'autre extrémité de l'échelle par élévation de température ; la brookite apparaît comme une forme intermédiaire, de domaine de stabilité étroit.

3-6-3) Oxyde de fer :

L'oxyde hydroxyde de fer (III) $[FeO(OH)]$ est un pigment dont la couleur est généralement rouge, jaune, brune, noire ou grise à éclat métallique, qui est due aux oxydes de fer et oxyde de fer hydraté. Le produit peut se présenter sous une forme pulvérulente ou sous une forme lamellaire.

3-6-3-1) Classification :

Les pigments à base d'oxyde de fer sont classés :

- Par groupe, selon leur couleur.
- Par catégorie suivant leur teneur en fer exprimée en oxyde de fer (III).
- Par type en fonction de leur teneur en matières solubles dans l'eau.

3-6-3-2) Caractéristiques d'oxyde de fer :

Les principales caractéristiques des oxydes de fer rouge et jaune sont résumées dans le tableau (3-2).

Caractéristiques		Rouge				jaune			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Teneur en fer exprimée en oxyde de fer (III) «Fe ₂ O ₃ » déterminé sur le pigment après séchage à 105°C		95	70	50	10	83	70	50	10
Teneur en matière volatil à 105°C		1	1,5	2,5	2,5	1	2,5	2,5	2,5
Teneur en matière soluble dans l'eau	Type I	≤ 0,3							
	Type II	0,3 à 1				≤ 1			
	Type III					1 à 5			
Teneur en chlorure et sulfate soluble dans l'eau, CL en ions – et SO ₄ ⁻²	Type I	0,1							
Refus sur tamis de 63mm d'ouverture de maille % (m/m)	Grade 1	≤ 0,01							
	Grade 2	0,01 à 0,1							
	Grade 3	0,1 à 1							
	Grade 4								
Acidité ou alcalinité de l'extrait aqueux, maximum, ml de solution 0,1 N		20							
PH de la suspension aqueuse		Egale à + ou - 0,1 près à l'échantillon agréé							
Prise d'huile		Egale à + ou - 15% près à l'échantillon agréé							
Teneur en chromate de plomb		Essai négatif							
Teneur en calcium total exprimée en oxyde Ca % (m/m) max	Classe a	0,3							
	Classe b et c	5							
	Classe d	Par accord entre les parties intéressés							
Pouvoir colorant relatif		Conforme à un échantillon type agréé avec une tolérance fixée							
Présence de colorant		Essai négatif							

Tableau (3-2) : caractéristiques de l'oxyde de fer

Les principales caractéristiques de l'oxyde de fer brun, noir et gris sont détaillées dans le tableau (3-3)

Caractéristiques		Brun			Noir		Gris
		A	B	C	A	B	A
Teneur en fer exprimée en oxyde de fer (III) «Fe ₂ O ₃ » déterminé sur le pigment après séchage à 105°C		87	70	30	95	70	85
Teneur en matière volatil à 105°C		1	2,5	2,5	1	2,5	1
Teneur en matière soluble dans l'eau	Type I	≤ 0,3					
	Type II	0,3 à 1			≤ 1		≤ 1
	Type III	1 à 5					
Teneur en chlorure et sulfate soluble dans l'eau, CL en ions - et SO ₄ ⁻²		Type I		0,1			
Refus sur tamis de 63mm d'ouverture de maille % (m/m)	Grade 1	≤ 0,01					
	Grade 2	0,01 à 0,1					
	Grade 3	0,1 à 1					
	Grade 4						5 à 15
Acidité ou alcalinité de l'extrait aqueux, maximum, ml de solution 0,1N		20					
PH de la suspension aqueuse		Egale à + ou - 0,1 près à l'échantillon agréé					
Prise d'huile		Egale à + ou - 15% près à l'échantillon agréé					
Teneur en chromate de plomb		Essai négatif					
Teneur en calcium total exprimée en oxyde Ca % (m/m) max	Classe a	0,3					Par accord entre les parties intéressés
	Classe b et c	5					
	Classe d	Par accord entre les parties intéressés					
Pouvoir colorant relatif		Conforme à un échantillon type agréé avec une tolérance fixée					
Présence de colorants organiques		Essai négatif					

Tableau (3-3) : caractéristiques de l'oxyde de fer

Partie expérimentale

Chapitre IV : Méthodologie

Chapitre V : Résultats et interprétations



CHAPITRE IV

Méthodologie

Chapitre IV : Méthodologie

4-1) Objectif :

Le but de notre travail expérimental consiste à réaliser la coloration des enrobés à différents pourcentages d'oxydes et l'étude de leur comportement au moyen de l'essai de compression simple LCPC « essai DURIEZ ».

4-2) Présentation des matériaux et appareils d'essais utilisés :

4-2-1) Matériaux utilisés :

Notre étude est réalisée sur deux fractions granulaires (3/8 et 8/15), provenant de la carrière de (KEDDARA) et deux liants hydrocarbonés (Bitume émulsion, cut back) provenant du la laboratoire (LCTP).

4-2-1-1) Fraction (3/8) :

Ce sont des granulats ou gravillons dont le diamètre est de (8mm). Voir figure (4-1).

4-2-1-2) Fraction (8/15) :

Ce sont des granulats ou graviers dont le diamètre est de (15 mm). Voir figure (4-2)

4-2-1-3) Bitume émulsion :

C'est un mélange qui est constitué d'un bitume 80/100, additionné avec de l'eau, de l'acide et des émulsifiants. Voir figure (4-3).

4-2-1-4) Cut-back :

C'est un mélange qui est constitué d'un bitume 80/100, additionné avec le Kérosène (solvant). Voir figure (4-4).

4-2-1-5) Oxyde de fer :

Ce sont des fillers d'apport (pigment) utilisés en technique routière de couleur rouge et jaune. Ils se présentent sous forme de poudre. Voir figure (4-5) et figure (4-6).

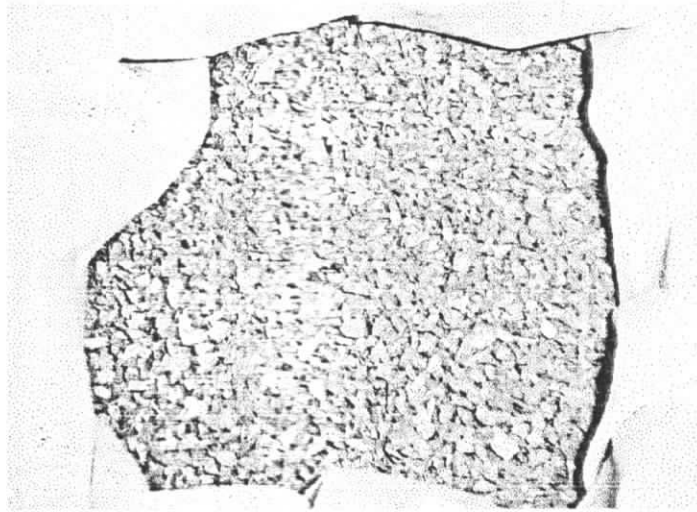


Fig. (4-1) : Fraction granulaire (3/8)

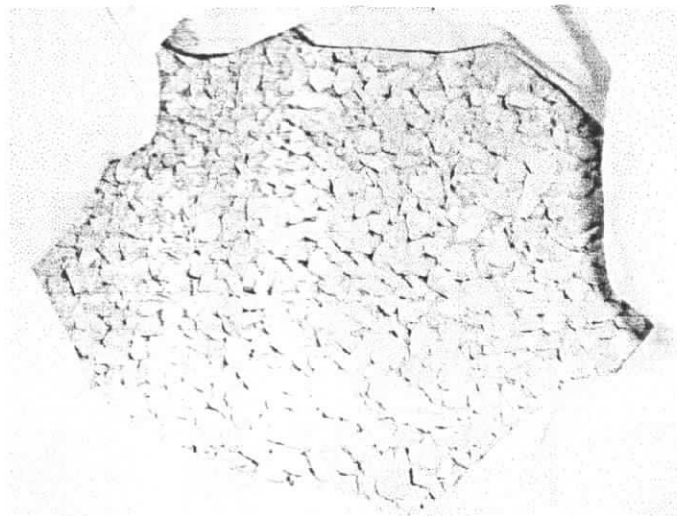


Fig. (4-2) : Fraction granulaire (8/15)



Fig. (4-3) : Emulsion bitume 60 % sur un siège



Fig. (4-4) : Bitume fluidifiés (Cut-back) 400/600



Fig. (4-5): Oxyde de fer rouge

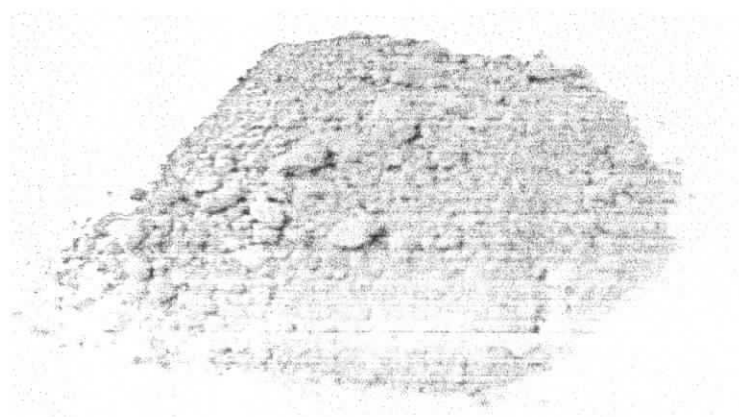


Fig. (4-6): Oxyde de fer jaune

4-2-2) Appareils d'essais :

4-2-2-1) Appareil DURIEZ :

C'est un appareil d'essai qui sert à démouler, écraser et compacter les éprouvettes à une charge donnée. Voir figure (4-7).

Il contient en plus dans le corps de l'appareil, un moule de forme cylindrique, un piston, une base et des cales, avec un diamètre $D = 80$ mm. Voir figure (4-8).

4-2-2-2) Etuve :

Cet appareil sert à immerger les éprouvettes dans l'eau à 18°C , et à sec pendant 7 jours.

4-2-2-3) Tamis :

C'est un outil avec une forme arrondie, munie d'un filet en fer avec des mailles carrées, elle se présente sous différents diamètres.

4-2-2-4) Appareil de distillation :

C'est un appareil qui sert à identifier les Cut-back par distillation. Il est composé de plusieurs parties : ballon, réfrigérant, adaptateur, éprouvette, récipient et thermomètre. Voir figure (4-9).

4-2-2-5) Viscosimètre :

C'est un appareil qui sert à déterminer le temps d'écoulement du liant à une température donnée. Il est composé de deux récipients : un bain marie et un bac en laiton. Voir figure (4-10).

4-2-2-6) Appareils de mesure :

a) Pied à coulis :

Cet appareil sert à mesurer les hauteurs et les diamètres des éprouvettes (dimensions).

b) La balance :

Elle sert à déterminer le poids des éprouvettes (lors des différentes pesées).

c) Le chronomètre :

Il sert à chronométrer le temps de comptage qui dure 5 minutes.

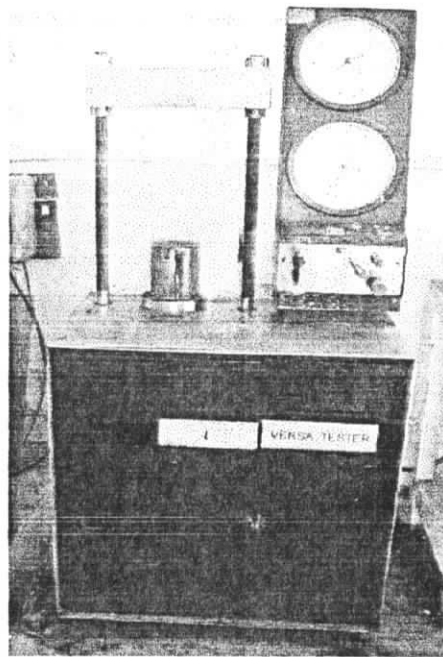


Fig. (4-7) : Appareil DURIEZ



Fig. (4-8) : Les moules DURIEZ

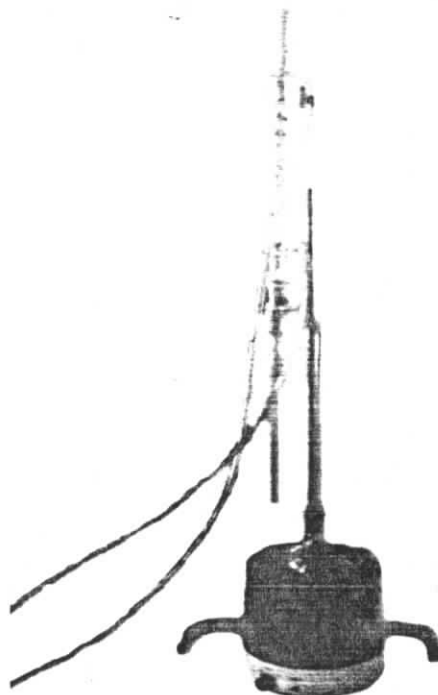


Fig. (4-9) : Appareil de distillation



Fig. (4-10) : Viscosimètre

4-3) Méthode de travail :

Ce travail contient deux parties de séries d'essais (1^{ère} et 2^{ème} partie).

4-3-1) Première série d'essai :

Nous avons confectionnés des éprouvettes à différentes pourcentages de la teneur en liant, et différents module de richesse K (3,37 ; 3,45 ; et 3,60), afin de les tester à l'essai compression simple « essai DURIEZ ». Ces éprouvettes sont d'abords restées 7 jours l'aire libre.

Nous avons notés leurs poids durant cette période. Ensuite, elles sont immergées pendant 7 jours suivant ; 3 d'entres elles dans l'eau et les autres au sec à 18°C.

Après cette période, elles seront écrasées afin de déterminer leurs résistances et leurs compacités. Ces essais nous ont permis de fixer l'optimum correspondant à la teneur en liant.

4-3-2) Deuxième série d'essai :

Une fois l'optimum en teneur en liant déterminé, nous procédons à un confectionnement des éprouvettes colorées avec des pourcentages d'oxydes de fer différents Le procédé de travail dans cette partie est identique que celui utilisé dans la première partie des essais.

4-4) Essais effectués en laboratoire :

Les essais réalisés au laboratoire sont les suivants :

4-4-1) Identification des granulats :

4-4-1-1) Essai granulométrique : (NF P18 – 560)

a) But de l'essai :

Le but de cet essai est de tracer une courbe granulométrique, afin de déterminer le pourcentage de fines dans les fractions granulaires,

b) Mode opératoire :

L'essai consiste à fractionner des granulats au moyen d'une série de tamis en suivant les étapes suivantes :

- Laver les granulats au tamis de 0,08 mm et les sécher à l'étuve.
- Placer les tamis par ordre décroissant.
- Verser les granulats dans les tamis en pesant les refus de chacun.

4-4-1-2) Essai MICRO DEVAL : (NF P18 – 572)**a) But de l'essai :**

Cet essai permet de mesurer les résistances des granulats à l'attrition entre eux par frottement en présence d'eau.

b) Mode opératoire :

- Laver l'échantillon et les sécher à l'étuve.
- Tamiser à sec sur les tamis des classes granulaires choisies.
- Peser 500 gr de granulats.
- Introduire dans des cylindres d'essai.
- Ajouter 2,5 litres d'eau et additionner 200 gr de bille (charge abrasive).
- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de 100 tr/min pendant 2 heures.
- Laver les granulats et les charges abrasives.
- Tamiser les matériaux sur un tamis de 1,6 mm.
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau, et retenir les billes.
- Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve.
- Peser ce refus.

4-4-1-3) Essai LOS ANGELES : (NF P18 – 573)**a) But de l'essai :**

Cet essai permet de mesurer la résistance à la fragmentation par choc des éléments d'un échantillon de granulats.

b) Mode opératoire :

- Tamiser les granulats sur chacun des tamis de la classe granulaire.
- Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve.
- Peser 5 kg de granulats.
- Placer les dans le tambour avec une charge de boulette d'acier.
- Recueillir les granulats dans un bac placé sous l'appareil.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm.
- Laver le refus au tamis de 1,6 mm et sécher à l'étuve à 105°C.
- Peser ce refus une fois séché.

4-4-2) Identification des bitumes (Cut- back 400/600) :**4-4-2-1) Essai de la pseudo viscosité : (STV ou BRTA)****a) But de l'essai :**

L'intérêt de cet essai est de déterminer la viscosité du liant et de mesurer le temps d'écoulement de ce dernier.

b) Mode opératoire :

- Disposer le viscosimètre de telle façon que le haut du récipient soit horizontal, l'eau dans le bain-marie sera porté à 30°C.
- Chauffer le liant à 50°C, puis laisser refroidir jusqu'à ce que la température diminue à 30°C.
- Verser le liant dans le récipient jusqu'à ce que l'ergot indicateur de l'obturateur se place verticalement.
- Laisser l'appareil au repos pendant 5 minutes.
- Déclancher le chronomètre lorsque le liant touche le fond de l'éprouvette.

4-4-2-2) Essai de la distillation :**a) But de l'essai :**

Cet essai a pour but, de déterminer le pourcentage du solvant dans le bitume afin de connaître la classe du cut back.

b) Mode opératoire :

- Peser dans le ballon 200 gr de l'échantillon.
- Assembler l'appareil et chauffer de façon à ce que la première goutte sorte au bout de 5 mn à 15mn.
- Mesurer la hauteur du solvant aux températures suivantes :
 - # 190°C
 - # 190°C à 230°C.
 - # 230°C à 270°C.
 - # 270°C à 320°C.
 - # 320°C à 360°C.
- Recueillir le solvant dans une éprouvette.
- Arrêter le chauffage à 360°C.

4-4-3) Identification des bitumes (l'émulsion 60 %) :**4-4-3-1) Essai de la pseudo viscosité :(ENGLER)****a) But de l'essai :**

L'intérêt de cet essai est de déterminer la viscosité du liant et mesurer le temps d'écoulement de ce dernier.

b) Mode opératoire :

- Disposer le viscosimètre de telle façon que le haut du récipient soit horizontal, l'eau dans le bain-marie sera porté à 30°C.
- Chauffer le liant à 50°C, puis laisser refroidir jusqu'à ce que la température diminue à 30°C.
- Verser le liant dans le récipient jusqu'à ce que l'ergot indicateur de l'obturateur se place verticalement.
- Laisser l'appareil au repos pendant 5 minutes.
- Déclencher le chronomètre lorsque le liant touche le fond de l'éprouvette.

4-4-3-2) Essai de détermination de la teneur en eau :**a) But de l'essai :**

Cet essai nous aide à déterminer la quantité d'eau dans l'émulsion.

b) Mode opératoire :

- Peser dans le ballon 40gr d'émulsion, puis on additionne 80 gr de solvant, quelques grains (pierres de ponce).
- Assembler et chauffer à une température moyenne de façon à ce que l'eau et le solvant s'évaporent.
- Recueillir l'eau dans l'éprouvette.
- On arrête l'essai quand la surface du solvant devient transparente.

4-4-4) Etude de formulation :**4-4-4-1) Essai par la Méthode L.C.P.C. :****a) But de l'essai :**

L'essai a pour but, la détermination de la résistance à la compression d'une éprouvette d'enrobé et de définir la teneur en eau de ce dernier par le rapport des résistances à la compression (r/R).

b) Mode opératoire :

Pour confectionner 6 éprouvettes, nous avons fixé un poids de 7000 gr, pour procéder aux étapes ci dessous :

- peser les quantités des composantes suivantes :
 - # 35 % de la fraction (3/8), qui correspond à 2450 gr.
 - # 65 % de la fraction (8/15), qui correspond à 4550 gr.
 - # 1 % d'oxyde de fer, qui correspond à 70 gr.
 - # 2 % d'oxyde de fer, qui correspond à 140 gr.
 - # 3 % d'oxyde de fer, qui correspond à 210 gr.
 - # 3,5 % d'eau, qui correspond à 50 gr (5 ml).
 - # 7,56 % de liant, qui correspond à 529,2 gr (52,92 ml).

- Mélanger les granulats, voir figure (4-11). Et tout en malaxant, ajouter la quantité d'eau et l'émulsion.
- Confectionner les éprouvettes comme suite :
 - # Peser 1,2 kg du mélange à froid, mettre dans le moule DURIEZ.
 - # Effectuer un compactage à l'aide de la presse DURIEZ à une charge appliquée de 60 KN.
- Démouler après 24 heures, voir figure (4-12) et figure (4-13).
- Peser les éprouvettes à l'air durant 7 jours.
- Mesurer le diamètre et les hauteurs de chaque éprouvette, puis immerger dans l'eau à 18°C et à sec.
- Ecraser les éprouvettes en mesurant leurs résistances.

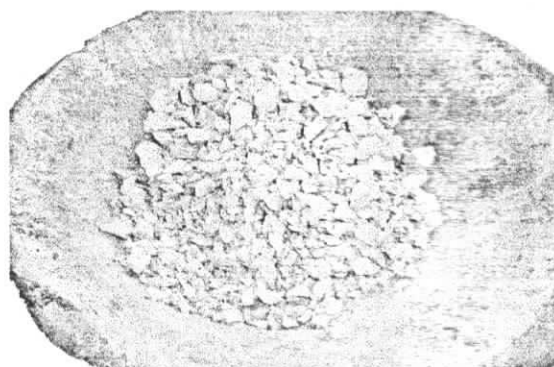


Fig. (4-11) : Mélange des deux fractions

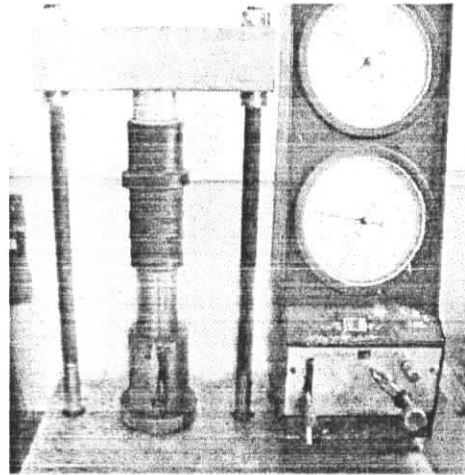


Fig. (4-12) : Eprouvette avant démoulage

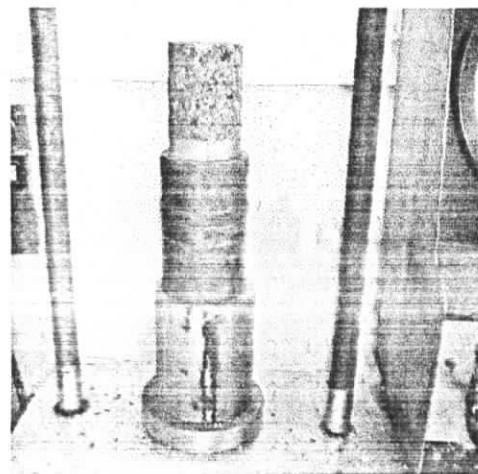


Fig. (4-13) : Eprouvette après démoulage

CHAPITRE V

Résultats et interprétations

Chapitre V : Résultats et analyses

5-1) Etude des granulats :

5-1-1) Analyse chimique sommaire :

5-1-1-1) Résultats :

Les résultats de cette analyse sont présentés par le tableau (5-1)
(NF P94-055)

Eléments	Pourcentage (%)
Silice totale (Si O ₂)	0.10
Oxyde de fer (Fe ₂ O ₃)	2.00
Oxyde d'alumine (AL ₂ O ₃)	3.00
Chaux total (CaO)	50.40
Magnésie (Mg O)	4.29
Carbonates (Ca CO ₃)	88.39
Anhydride carbonique (CO ₂)	38.89
Eau de constitution (H ₂ O)	0.28
Anhydride sulfurique (SO ₃)	Traces
Chlorures (Na CL)	0.12
Insoluble (silice silicates)	7.70
La perte au feu a 1050°C	39.17
Bilan chimique pondéral	99.08

Tableau (5-1) : Analyse chimique sommaire sur les granulats

5-1-1-2) Interprétation :

Le tableau (5-1) montre l'analyse chimique sommaire de l'échantillon de roche et révèle que les granulats sont issus d'une roche à composition minéralogique prédominante carbonatée, Ce qui peut être retenu est que celle-ci est une roche sédimentaire calcaire.

5-1-2) Caractéristiques des granulats :**5-1-2-1) Résultats :**

Les résultats des différents essais effectués au laboratoire, sont donnés par le tableau (5-2) :

Essai	3/8	8/15	Qualité
LA (%) p18-573	16.94	20.4	Bonne dureté
MDE (%) p18-572 déc. 1990 humide	21.6	15.6	Bonne dureté
Poids spécifique NF p94-654 oct. 1991	2.65	2.66	—

Tableau (5-2) : Caractéristiques des granulats

5-1-2-2) Interprétation :

Les poids spécifiques du granulat nous renseignent sur la non gélivité du granulat par leur faible porosité. Etant donné que la valeur de (LA) est comprise entre 16 et 20, la roche présente donc une bonne dureté. En ce qui concerne la valeur de (MDE), qui est comprise entre 15 et 20, ceci prouve que la roche a une bonne résistance.

5-1-3) Analyse granulométrique :**5-1-3-1) Résultats :**

Les résultats de l'analyse granulométrique sont présentés par le tableau (5-3) et illustrés par la figure (5-1) (NF P18-560).

Diamètre du tamis (mm)	Classes granulaires	
	3/8	8/15
20	100,00	100,00
16	100,00	100,00
12,5	100,00	89,48
10	100,00	53,40
8	99,66	30,44
6,3	91,62	11,81
5	72,17	5,44
4	29,06	1,72
2	6,88	1,17
1	4,63	1,14
0,5	3,77	1,11
0,4	3,64	1,11
0,315	3,48	1,10
0,2	3,23	1,07
0,1	2,97	1,01
0,08	2,78	0,97

Tableau (5-3) : Analyse granulométrique

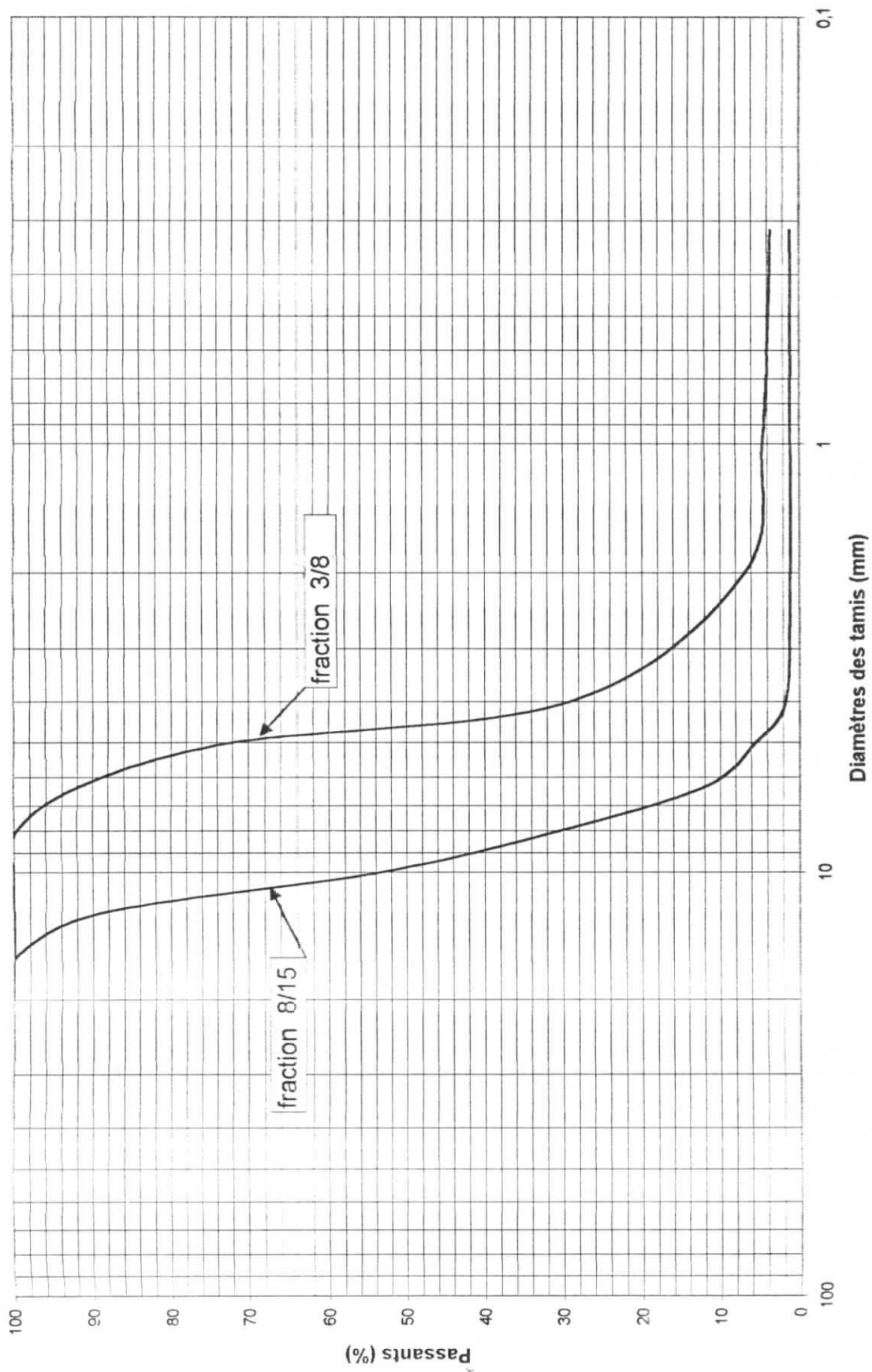


Fig. (5-1) : Courbe granulométrique

5-1-3-2) Interprétation :

D'après la figure (5-1), les courbes granulométriques des fractions 3/8 et 8/15, montrent bien leur dénomination.

Pour ce qui est de la fraction 3/8, la teneur en fines est remarquable. Un prélèvement de ces fines a fait l'objet d'un essai au bleu de méthylène pour montrer la nature de ces dernières. IL a été constaté une valeur au bleu de méthylène inférieure à 1, ce qui laisse entendre que ce sont des calcaires et non des argiles.

5-2) Etude des liants :**5-2-1) Les émulsions 60 % :****5-2-1-1) Résultats :**

Les résultats d'identification du liant (émulsion) sont présentés dans le tableau (5-4).

Caractéristiques d'identification	Références normatives	valeurs	spécification
Teneur en eau	NFT 66 - 023	39 %	35 % pour les produits stockables
Pseudo viscosité	NFT 66 - 020	7,21	Fluide à semi fluide
Indice de rupture	NFT 66 - 017	146,7	> 120 rupture lente
PH	NFT 66 - 13	3,96	2 à 4

Tableau (5-4) : Caractéristiques de l'émulsion 60 %

5-2-1-2) Interprétation :

Après l'analyse du tableau (5-4), nous avons identifié le liant. Ce qui nous a permis de dire que ce dernier est une émulsion de 60 %, contenant un pourcentage d'eau de 39 %, un PH convenable de 3,96 (compris entre 2 et 4), une rupture lente de l'ordre de 146,7 (supérieur à 120), et d'une pseudo viscosité de 7,21. Il s'agit donc d'une émulsion fluide à semi fluide.

5-2-2) Les Cut-back :**5-2-2-1) Résultats :**

Les résultats d'identification du liant (Cut-back), sont présentés dans le tableau (5-5).

Caractéristiques d'identification	Spécification	
	Pseudo viscosité mesuré au viscosimètre d'orifice 10 mm à 25°C (80)	625
Distillation fractionnée (%) à :		
- 190°C	—	—
- 225°C	—	< 2
- 315°C	5	5 à 12
- 360°C	8,5	< 15

Tableau (5-5) : Caractéristiques du cut-back 400/600

5-2-2-2) Interprétation :

D'après le tableau (5-5), nous constatons que la pseudo viscosité du Cut-back est de l'ordre de 625 (comprise entre 400 et 600). La distillation de ce Cut-back nous donne aucune valeur d'évaporation du solvant à 190°C à 225°C. Par contre à 315°C, nous avons obtenu un volume de solvant de 5 cm³, alors qu'à la température de 360°C, le volume du solvant était de 8,5 cm³ (inférieur à 15).

5-3) Etude mécanique des bétons bitumineux :**5-3-1) Composition du mélange :**

Celui-ci se fait par combinaison des fractions granulaires utilisées de manière à ce que le mélange s'insère dans un fuseau de référence limité par des valeurs minimales et maximales à des tamis spécifiques. Le fuseau de référence utilisé est celui d'un enrobé à froid ouvert dont les valeurs limites sont donné dans le tableau (5-6).

	Minimum	Maximum
16	100	100
12,5	75	95
10	60	75
8	30	60
6,3	15	40
2	3	7
1	0	5
0,08	0	2

Tableau (5-6) : Analyse granulométrique du fuseau de référence

5-3-1-1) Résultats :

Les résultats de la courbe granulométrique du mélange sont présentés par le tableau (5-7)

Tamis (mm)	Passant %
20	100
16	100
12,5	93,16
10	69,72
8	54,67
6,3	39,75
5	28,80
4	11,29
2	3,17
1	2,36
0,5	2,04
0,4	1,99
0,315	1,93
0,2	1,83
0,1	1,70
0,08	1,60

Tableau (5-7) : Analyse granulométrique du mélange

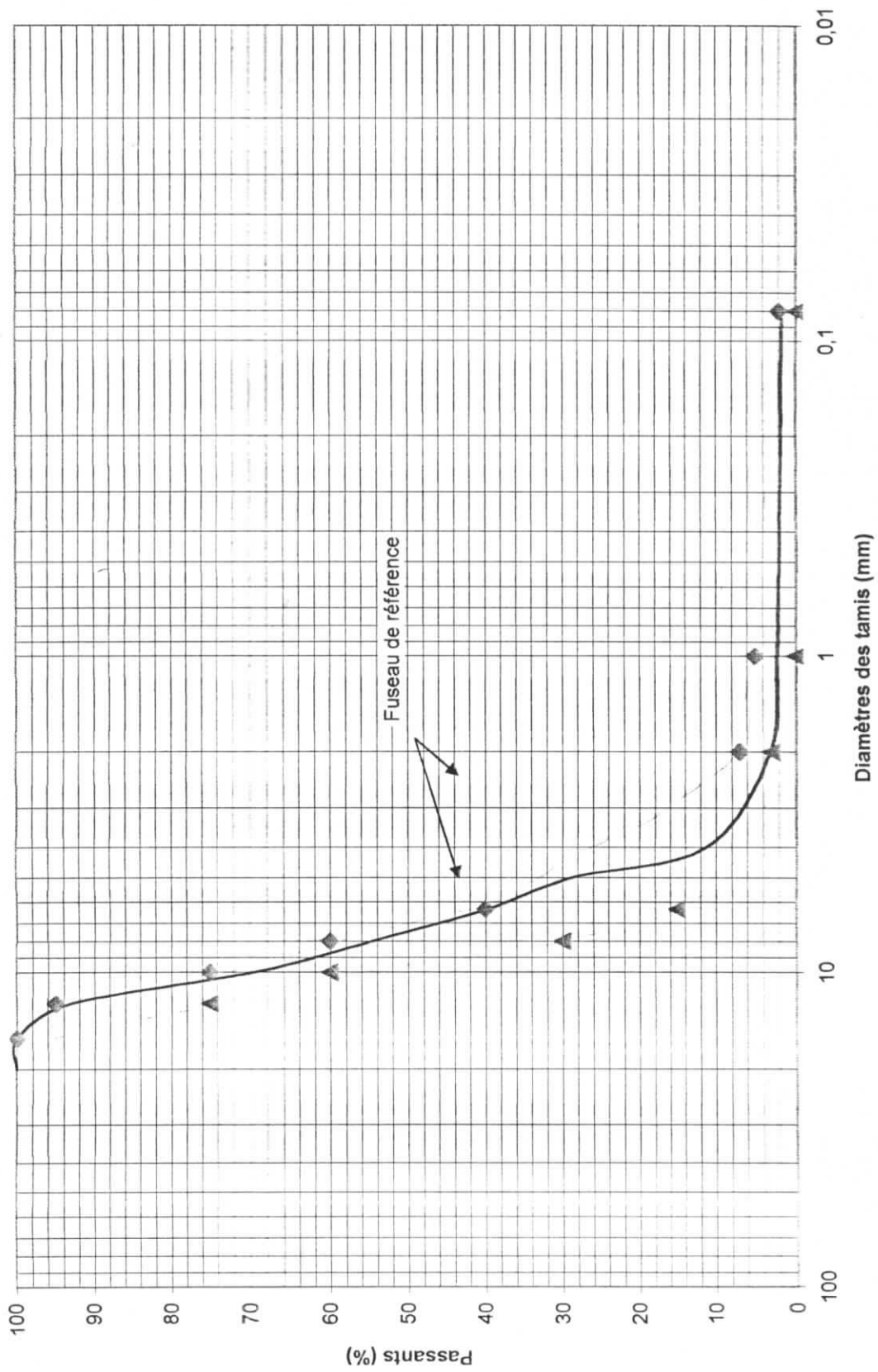


Fig. (5-2) : Mélange béton bitumineux 0/14 semi grenu

5-3-1-2) Interprétations :

Le mélange granulométrique retenu est celui obtenu en mélangeant 35 % de la fraction (3/8) et 65 % de la fraction (8/15). En effet, c'est grâce à ces pourcentages des fractions que la courbe granulométrique s'insère dans le fuseau de référence comme nous le montre le tableau (5-6) et son illustration à la figure (5-2).

5-3-2) Essai PROCTOR:

Une fois le squelette minéral du mélange obtenu, il y a lieu de procéder au mélange propre d'un enrobé ouvert à froid à base d'émulsion de bitume. Nous avons jugé utile de procéder à un essai PROCTOR normal, afin de déterminer la teneur en eau optimale du mélange pour pouvoir l'utiliser comme eau d'apport.

5-3-2-1) résultats :

Les résultats de l'essai PROCTOR sont représentés dans le tableau (5-8) et illustrés dans la figure (5-3).

Teneur en eau	1 %	2 %	3 %	4 %
Densité sèche	1,704	1,74	1,746	1,73

Tableau (5-8) : résultats de l'essai PROCTOR

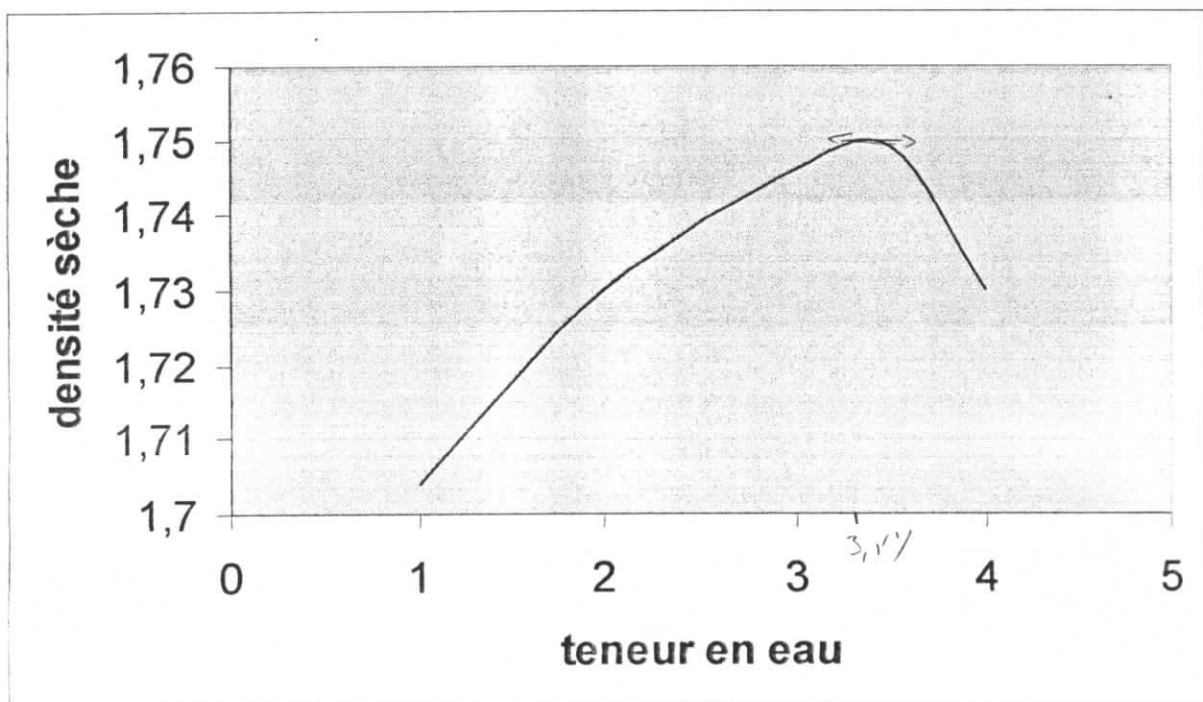


Fig. (5-3) : courbe PROCTOR

5-3-2-2) Interprétation :

A partir de la figure (5-3), on remarque que la teneur en eau optimale se trouve à 3,5 %. Cette teneur sera prise comme quantité d'eau d'apport dans le mélange avec émulsion.

Sachant que l'émulsion utilisée contient 40 % d'eau, il y a lieu de tenir compte de cette quantité d'eau dans le mélange et de la considérer comme étant une eau faisant partie de la teneur en eau à l'optimum.

5-4) Première série d'essais :**5-4-1) Temps de mûrissement des éprouvettes sans oxyde de fer :**

Après identification des différentes composantes des granulats, nous avons confectionné des éprouvettes afin de les tester à l'essai DURIEZ, avec différents pourcentages de liant (émulsion 60 %) selon le mode opératoire (NF P98-121).

5-4-1-1) Résultats :**a) Temps de mûrissement avec ($K = 3,37$) :**

Les résultats du temps de mûrissement avec un module de richesse ($K = 3,37$) sont donnés par le tableau (5-9).

K = 3,37						
	e₁	e₂	e₃	e₄	e₅	e₆
J₁	974,5	956,5	955	982	981	972
J₅	967,9	948,8	948	974,5	974,9	965
J₆	967	948	947	973,5	974,5	964,5
J₇	965,9	945,6	947	972,1	972,86	963,2

Tableau (5-9) : Temps de mûrissement d'éprouvettes sans oxyde ($K = 3,37$).

b) Temps de mûrissement avec ($K = 3,45$) :

Les résultats du temps de mûrissement avec un module de richesse ($K = 3,45$), sont donnés par le tableau (5-10).

	K = 3,45					
	e₁	e₂	e₃	e₄	e₅	e₆
J₁	929,16	964,3	952,3	983,44	978,82	959,02
J₄	921	957	943,5	974,5	971,5	950
J₅	918,5	956,5	942,5	974	970,5	949
J₆	917,5	956	942,5	973	970	948,5
J₇	917	955,6	942	973	970	948

Tableau (5-10) : Temps de mûrissement d'éprouvettes sans oxyde ($K = 3,45$).

c) Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$) :

Les résultats du temps de mûrissement avec un module de richesse ($K = 3,60$), sont donnés par le tableau (5-11).

	K = 3,60					
	e₁	e₂	e₃	e₄	e₅	e₆
J₁	923,5	941	935	935,5	932	932,5
J₂	923,5	939,5	934,5	931,5	931	932
J₆	920,5	936,1	930,5	926	926,9	928
J₇	920,2	935,76	930,34	926	926,9	928

Tableau (5-11) : Temps de mûrissement d'éprouvettes sans oxyde ($K = 3,60$).

L'évolution des différentes performances est représentée dans les figures (5-4, 5-5, 5-6).

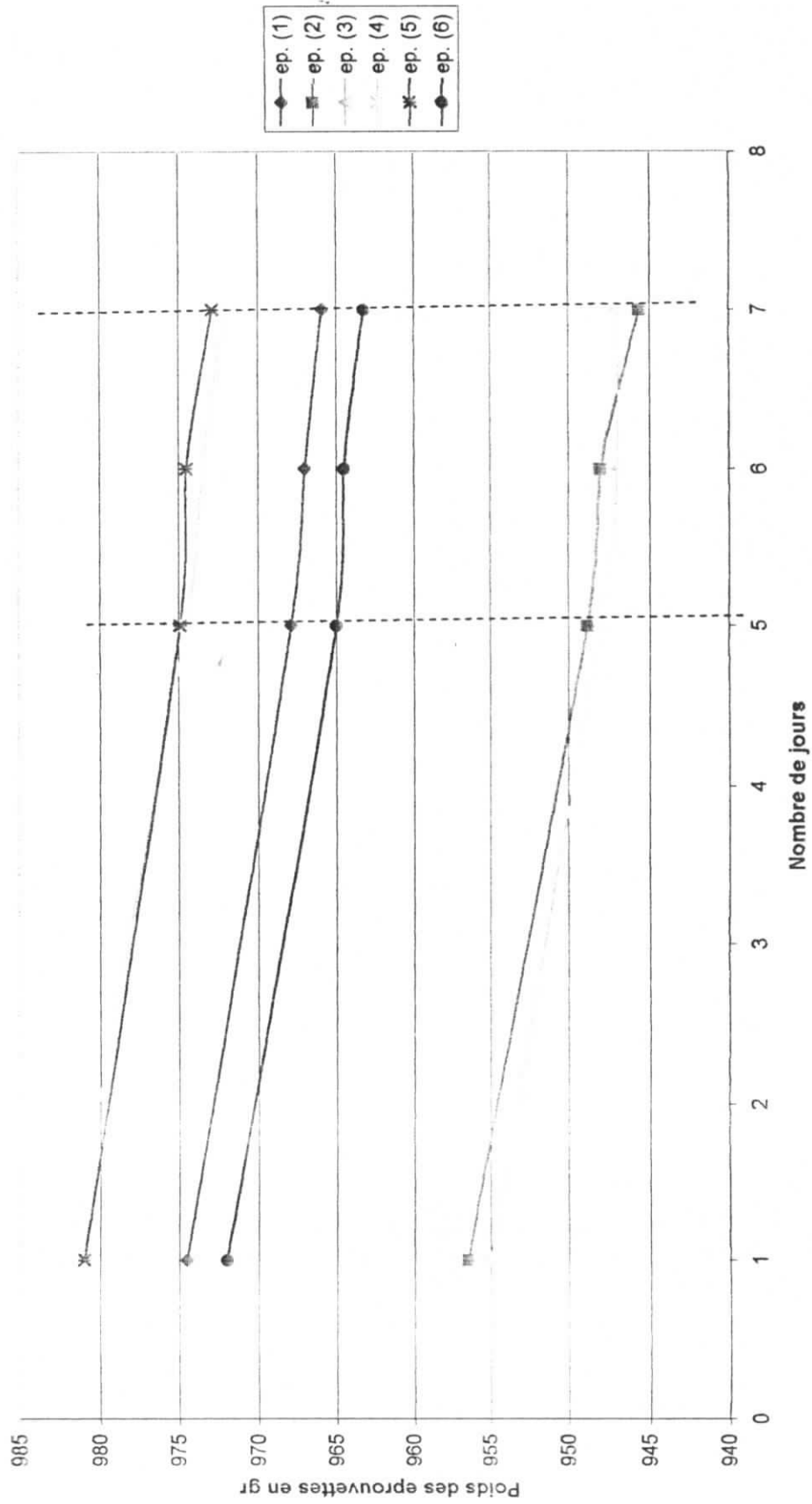


Fig. (5-4) : Courbe du temps de mûrissement avec (K = 3,37)

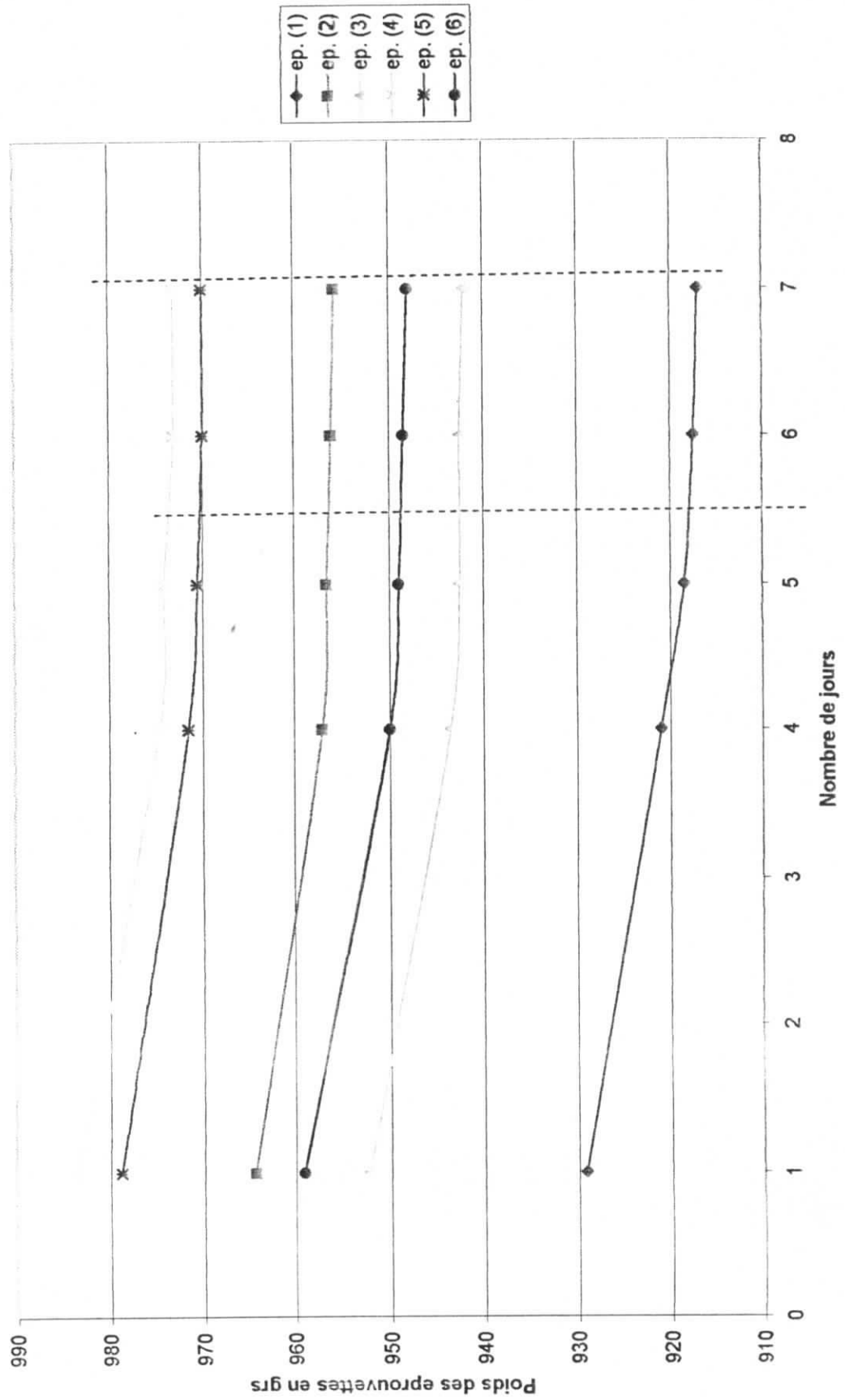


Fig. (5-5) : Courbe du temps de mûrissement avec ($K = 3,45$)

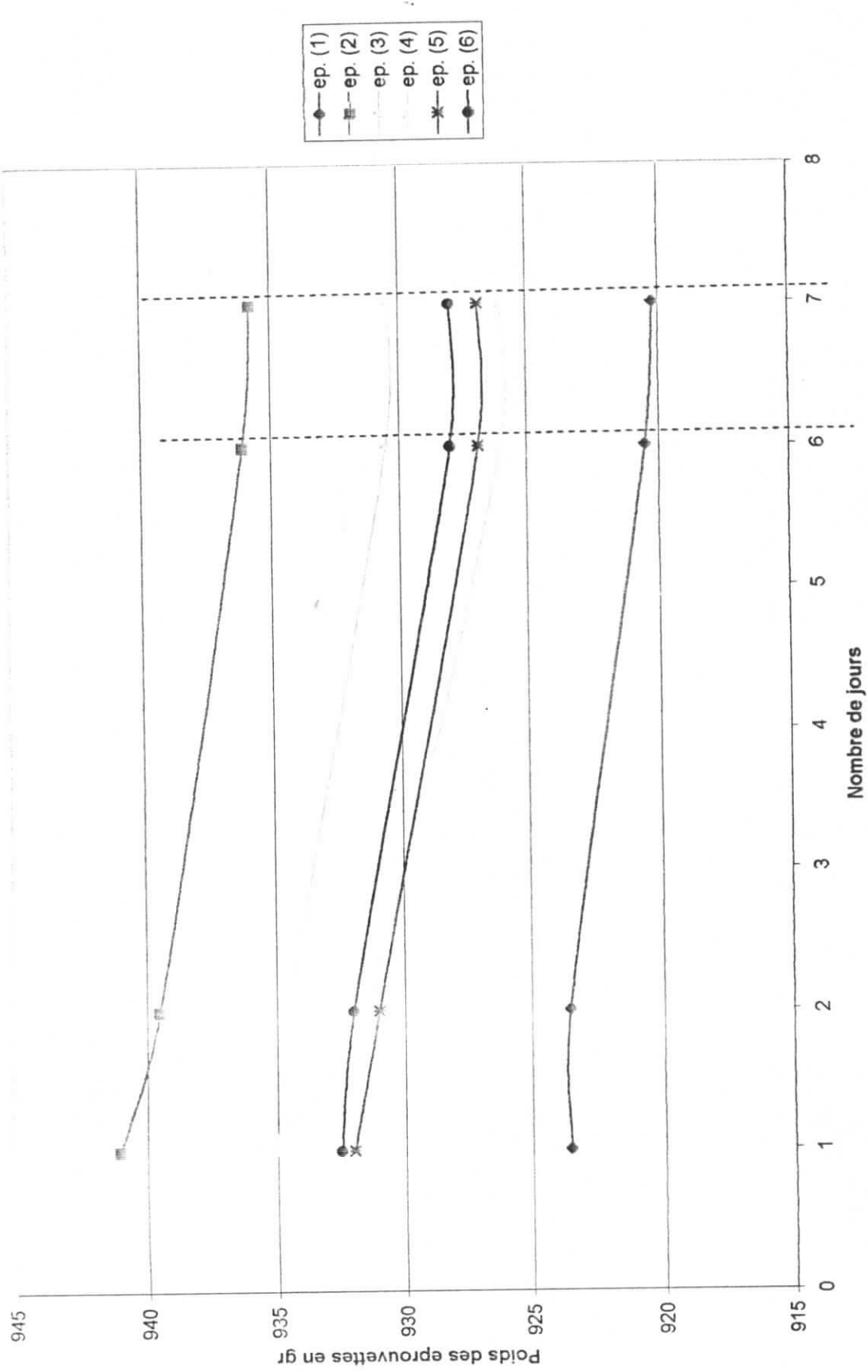


Fig. (5-6) : Courbe du temps de mûrissement avec (K = 3,60)

5-4-1-2) Interprétation :

A partir des résultats présentés dans les tableaux (5-9, 5-10, 5-11) et leurs illustrations par les figures (5-4, 5-5, 5-6), on remarque que le poids des éprouvettes diminue d'un jour à un autre et que le temps de mûrissement se limite à 5 jours, au lieu de 7 jours, comme il est exigé à travers la norme (NFP 98 -121).

5-4-2) Essai de compression- immersion (DURIEZ) :**5-4-2-1) Résultats :**

Les résultats de l'essai de compression immersion sont résumés dans le tableau (5-12) et présentés par les figures (5-7, 5-8, 5-9).

	Emulsion 60 %		
K	3,37	3,45	3,60
% émulsion	7,08	7,25	7,56
% bitume résiduel	4,16	4,35	4,54
Densité apparente	2,27	2,30	2,40
Densité vraie	2,48	2,49	2,48
Compacité	91,53	92,37	96,77
Résistance à l'air 18°C (r), en (Bars)	6	10	10
Résistance à l'immersion 18°C (R), en (Bars)	2	6	8,5
Rapport (r/R)	0,33	0,60	0,85

Tableau (5-12) : Résultats de l'essai DURIEZ pour les éprouvettes sans oxyde

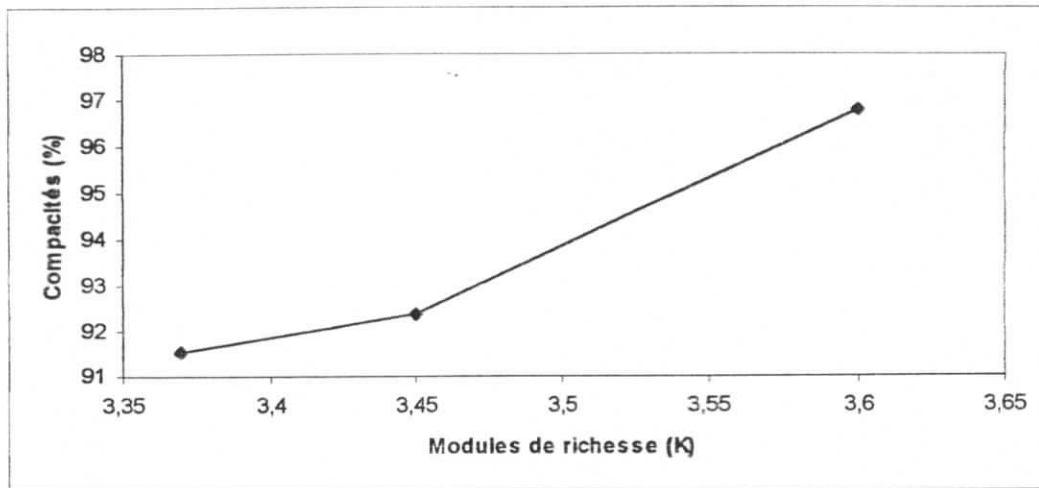


Fig. (5-7) : Compacité en fonction du module de richesse

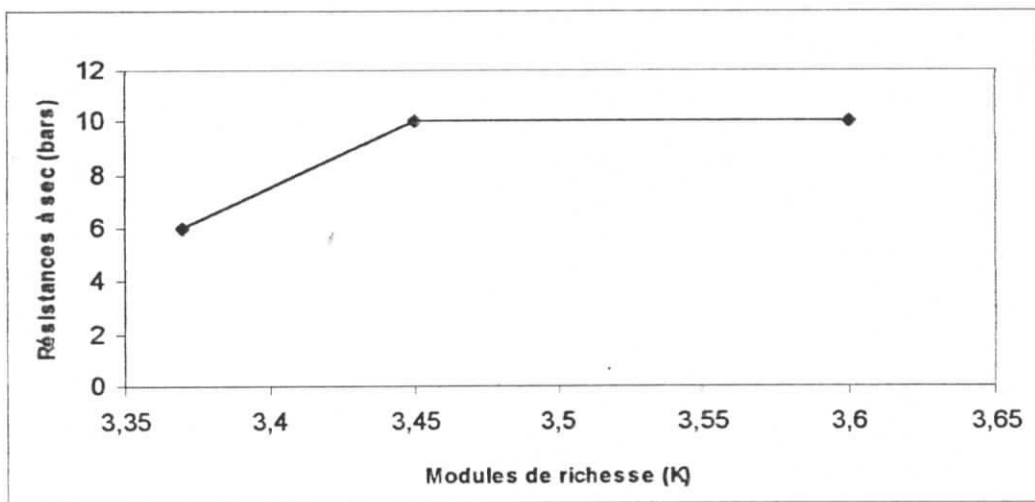


Fig. (5-8) : Résistance à sec en fonction du module de richesse

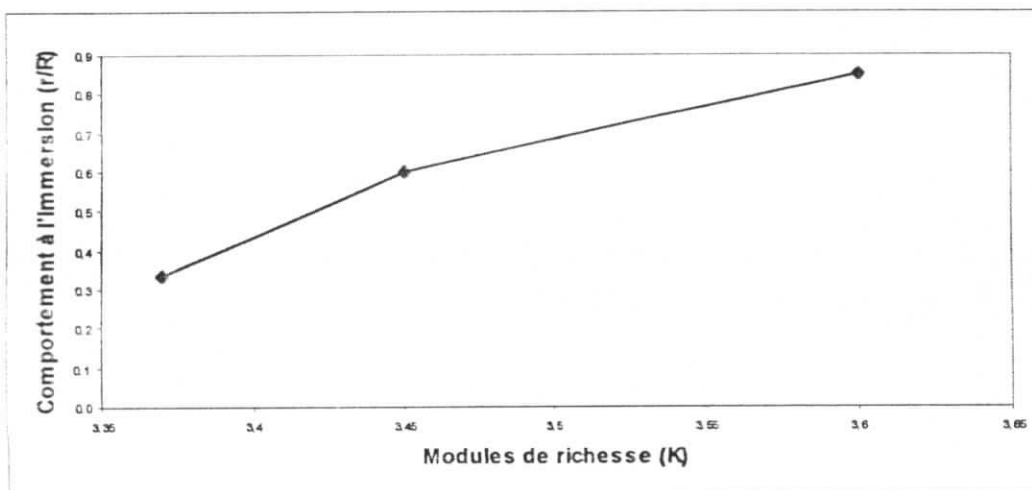


Fig. (5-9) : Comportement à l'immersion en fonction du module de richesse

5-4-2-2) Interprétation :

D'après les résultats obtenus par l'essai DURIEZ, on remarque que l'enrobé avec émulsion 60 % donne des compacités trop élevées, ceci peut par le fait s'expliquer que la force de compression simple (60 kg/cm^2) est trop grande pour un enrobé ouvert à froid, un mode de confectionnement d'éprouvette avec enrobé ouvert à froid n'existe pas.

On remarque aussi que la résistance (rapport ; r/R) est atteinte pour une teneur en émulsion de 7,56 %. Elle est de l'ordre de (0,85) ce qui représente une bonne tenue à l'immersion.

L'augmentation de la teneur en liant entraîne une augmentation de la compacité par diminution du volume des vides.

L'optimum de la résistance (r/R) est obtenue pour 7,56 % de l'émulsion une teneur en émulsion inférieur à cette valeur entraîne un mélange moins stable, en raison de l'influence de l'enrobage.

Ces compacités restent ce pendant insuffisantes pour corriger cette carence, nous avons pensé à diminuer la charge appliquée car les buts déjà compté est d'atteindre des compacités de l'ordre de (86 à 88) correspondant à un pourcentage en vide de 13 % environ, ce qui est idéal pour un enrobé ouvert à froid.

5-4-3) Contrôle de la composition de l'enrobé :

Comme les compacités obtenus sont trop élevées, nous avons jugé utile d'expertiser une éprouvette confectionnée à 60 KN et vérifier si cette valeur est due à l'écrasement des granulats ou à l'enrobé ouvert à froid. Nous avons aboutit à l'analyse granulométrique du mélange (après confectionnement).

5-4-3-1) Résultats :

Les résultats d'extraction de l'éprouvette sont donnés par le tableau (5-13), présenté dans la figure (5-10).

Tamis	Passant
12,5	99,22
10	92,11
8	81,85
6,3	71,6
5	62,13
4	46,35
2	24,53
1	15,06
0,5	9,81
0,4	8,75
0,315	7,96
0,2	6,65
0,1	5,59
0,08	4,81

Tableau (5-13) : Analyse granulométrique après confection

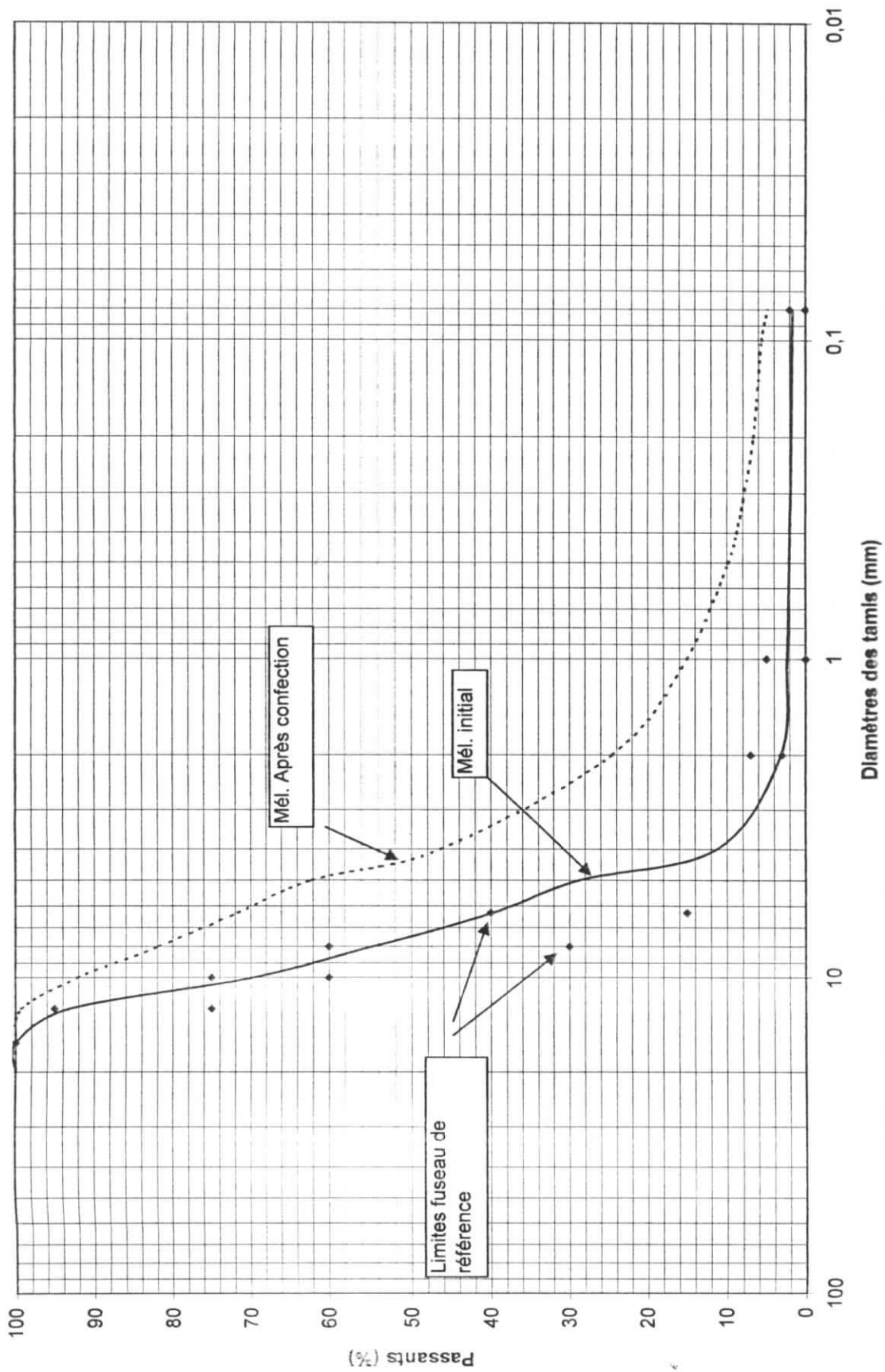


Fig. (5-10) : Courbe du mélange après confection à 60 kN

5-4-3-2) Interprétation :

Après avoir désenrober une éprouvette, et tracer la courbe granulométrique ; nous avons remarqué que le pourcentage des fines a augmenté à 4 % (l'allure se situe en haut de la courbe initiale). Ceci explique par la formation de grains plus fins, nous avons donc obtenu un mélange moins grossier que l'initial.

5-5) Deuxième série d'essai :

Dans cette partie, nous utilisons un module de richesse ($K = 3,60$) calculé à partir de la première série d'essais et correspond à un optimum de 7,56 % de liant.

5-5-1) Coloration des enrobés :

Nous avons confectionné des éprouvettes, présentant un module de richesse $K = 3,60$ et une teneur en liant de 7,56 % (émulsion) et 5,13 % (Cut-back), afin de détecter la nuance de couleurs à différents pourcentages d'oxydes de fer :

5-5-1-1) Résultats :

Les résultats de la coloration des éprouvettes sont présentés ci-dessous, avec les figures (5-11, 5-12, 5-13, 5-14).

Emulsion :

- 1% d'oxyde de fer (**Rouge**) → Une légère coloration de l'éprouvette
- 2% d'oxyde de fer (**Rouge**) → Amélioration de la couleur (claire)
- 3% d'oxyde de fer (**Rouge**) → Bonne coloration de l'éprouvette qui fait ressortir la couleur de l'oxyde utilisé.
- 3% d'oxyde de fer (**Jaune**) → Jaune à tendance verdâtre

Cut-back :

- 3 % d'oxyde de fer (**rouge**) → Une couleur sombre.



Fig. (5-13) : Epreuve avec 3 % d'oxyde de fer rouge

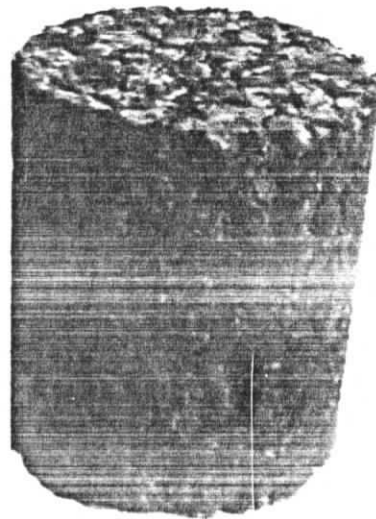


Fig. (5-14) : Epreuve avec 3 % d'oxyde de fer jaune

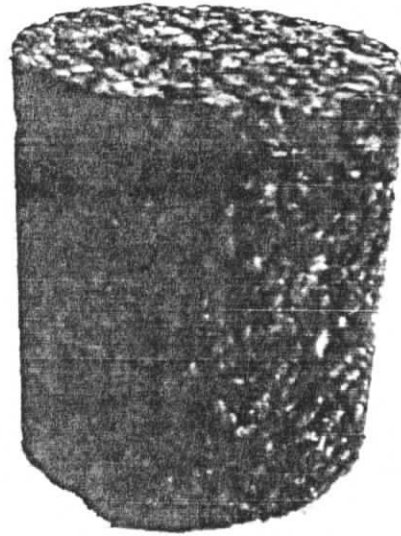


Fig. (5-11) : Epreuve avec 1 % d'oxyde de fer rouge

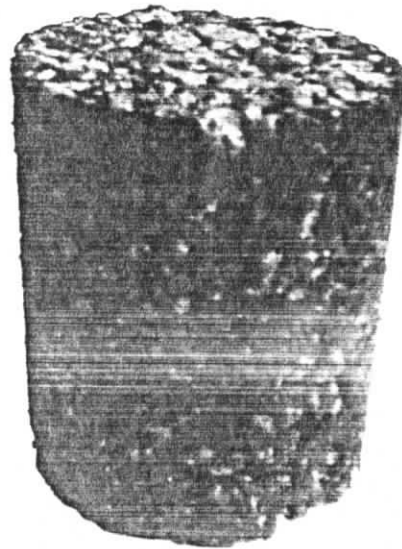


Fig. (5-12) : Epreuve avec 2 % d'oxyde de fer rouge

5-5-1-2) Interprétation :

D'après la figure (5-11), la figure (5-12), la figure (5-13), la figure (5-14), nous remarquons que les éprouvettes en émulsion avec 1 % d'oxyde fer rouge, la coloration obtenue est à peine perceptible, alors qu'avec 2 % et 3 %, cette couleur devient plus foncée.

La coloration est plus nette. Quand à l'éprouvette avec 3 % d'oxyde de fer jaune la coloration obtenue vire au vert.

Quand à l'éprouvette en Cut-back avec 3 % d'oxyde de fer rouge, la coloration obtenue est sombre.

5-5-2) Temps de mûrissement des éprouvettes avec oxyde de fer :

Dans cet essai, nous avons utilisé des oxydants (oxyde de fer) à différents pourcentages (1 %, 2 %, 3 %), 7,56 % de liant et un module de richesse $K = 3,60$.

5-5-2-1) Résultats :

Les résultats du temps de mûrissement des éprouvettes contenant un oxydant, sont présentés dans les tableaux suivants :

a) Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$ et 1 % d'oxyde de fer) :

Les résultats du temps de mûrissement avec 1 % d'oxyde de fer sont présentés dans le tableau (5-14).

K = 3,60 de Fer				
1 % d'oxyde de Fer				
	e₁	e₂	e₃	e₄
J₁	976,4	974,34	982,8	977,6
J₂	966,22	963,12	968,96	965,58
J₃	964,22	961,02	966,66	963,46
J₆	961	957,5	963	960

Tableau (5-14) : Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$ et 1 % d'oxyde de Fer)

b) Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$ et 2 % d'oxyde de fer) :

Les résultats du temps de mûrissement avec 2 % d'oxyde de fer sont présentés dans le tableau (5-15).

K = 3,60 de Fer				
2 % d'oxyde de Fer				
	e₁	e₂	e₃	e₄
J₁	961,08	987,42	987,7	983,88
J₂	947,68	974,88	977,44	971,78
J₃	945,04	972,2	974,94	968,24
J₄	943,8	970,86	973,72	966,8
J₆	941,5	968,5	971	964

Tableau (5-15) : Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$ et 2 % d'oxyde de Fer)

c) Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$ et 3 % d'oxyde de fer) :

Les résultats du temps de mûrissement avec 3 % d'oxyde de fer sont présentés dans le tableau (5-16).

K = 3,60 de Fer				
3 % d'oxyde de Fer				
	e₁	e₂	e₃	e₄
J₁	983,2	987,76	983,52	978,08
J₂	974,82	979,02	975,08	969,24
J₃	972,4	976,64	972,66	967,02
J₄	971,18	975,34	971,22	965,82
J₇	968,5	973	969	963

Tableau (5-16) : Temps de mûrissement avec ($K = 3,60$ et 3 % d'oxyde de Fer)

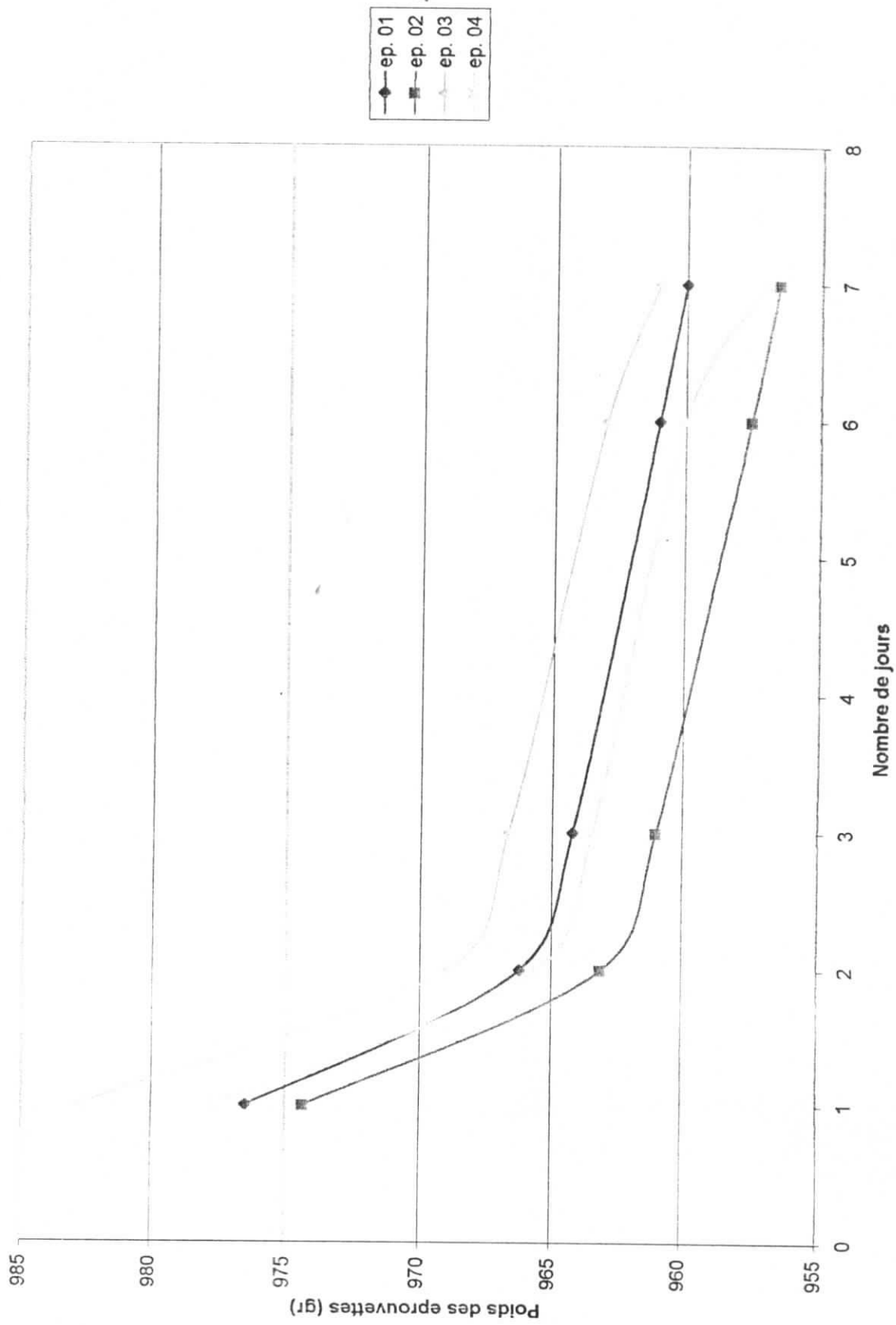


Fig. (5-15) : Courbe du temps de mûrissement avec $K = 3,60$ et 1 % d'oxyde de fer

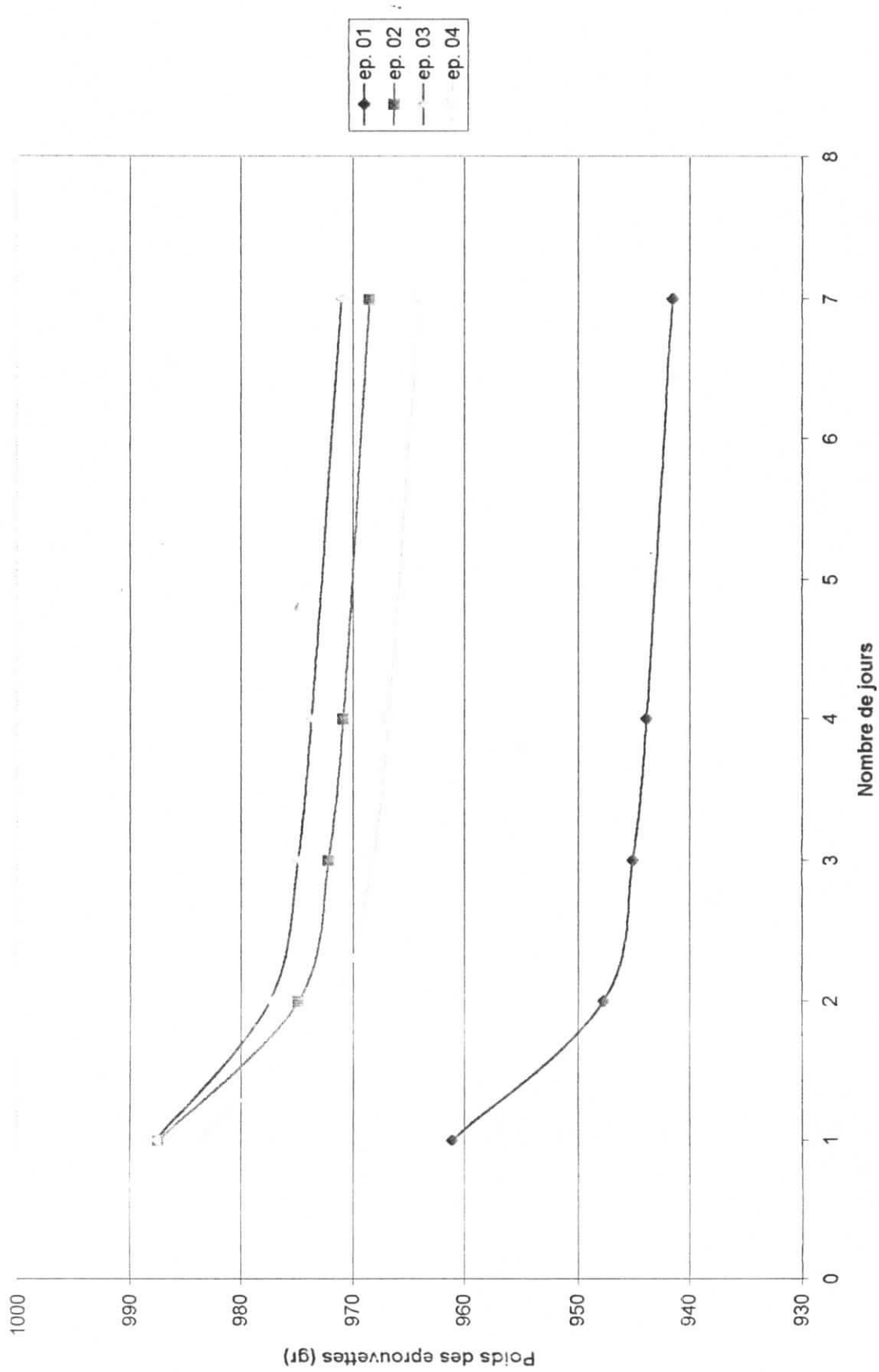


Fig. (5-16) : Courbe du temps de mûrissement avec ($K = 3,60$ et 2 % d'oxyde de fer)

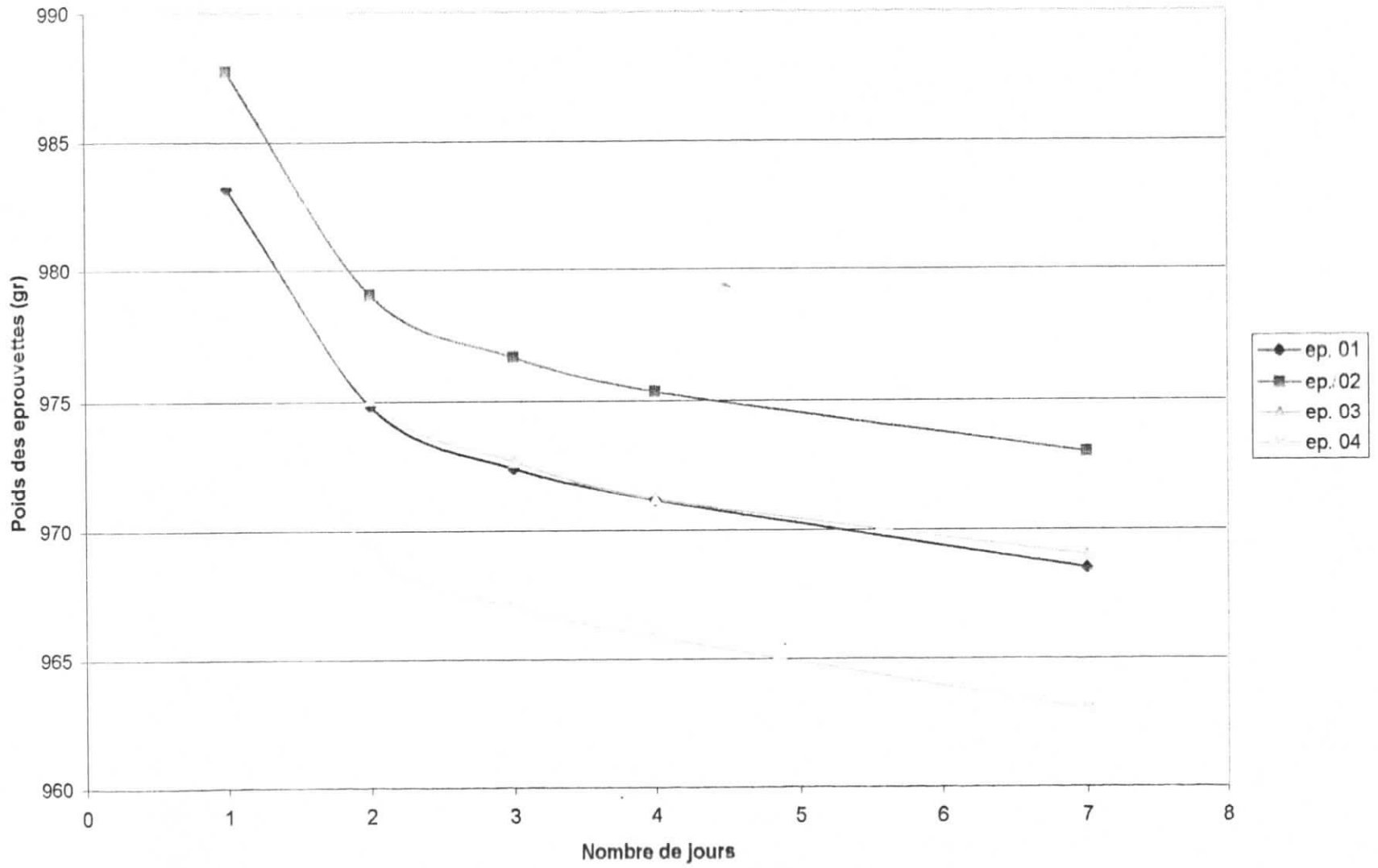


Fig. (5-17) : Courbe du temps de mûrissement avec ($K = 3,60$ et 3 % d'oxyde de fer)

5-5-2-2) Interprétation :

Nous avons constaté une chute conséquente du poids des éprouvettes du début de confectionnement au 2^{ème} jours. Au delà, ce poids commence à se stabiliser. Ceci s'explique par le fait que L'ajout d'oxyde de fer ($Fe O_3$) a modifié le temps de mûrissement de l'éprouvette provoqué par la réaction chimique entre l'oxyde de fer et l'acide (H CL). L'émulsion contient de l'eau, des émulsifiants, de l'acide et du bitume. Lors de cette réaction, sachant qu'on a abouti à une évaporation de l'eau, entraînant la rapidité du temps de mûrissement.

5-5-3) Essai de compression immersion (DURIEZ) :

Après avoir laissé l'éprouvette colorée à l'air libre pendant sept jours, et en immersion à 18°C dans l'eau et à sec.

5-5-3-1) Résultats :

Les résultats de l'essai de "compression-immersion" sont donnés dans le tableau (5-17), et leurs courbes sont représentées par les figures 5-18, 5-19, 5-20).

	Emulsion (60%)		
	K = 3,60		
% d'oxyde	1 %	2 %	3 %
Densité apparente	2,14	2,18	2,20
Densité théorique	2,48	2,48	2,48
Compacité	86,29	87,90	88,70
Résistance à l'aire à 18°C (R), en (Bars)	14	12,5	14
Résistance à l'immersion 18°C (r), en (Bars)	4	5	6
Rapport (r/R)	0,37	0,40	0,42

Tableau (5-17) : Résultats de l'essai DURIEZ pour les éprouvettes avec oxyde

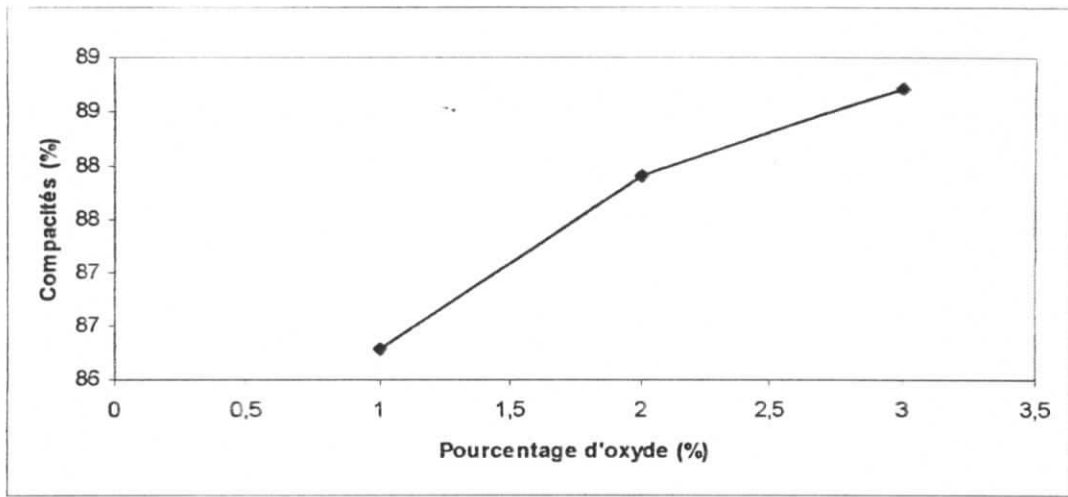


Fig. (5-18) : Compacité en fonction du % d'oxyde de fer

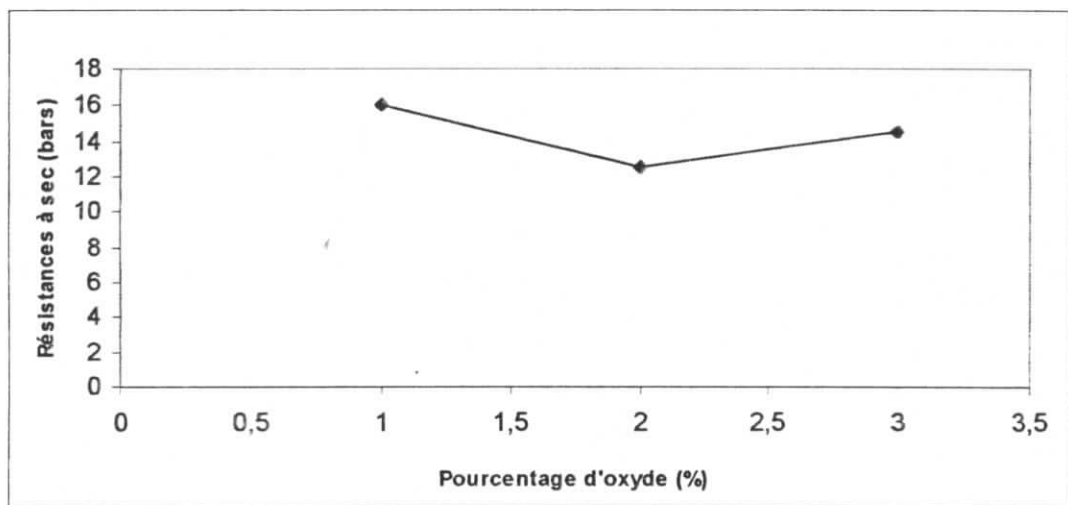


Fig. (5-19) : Résistance à sec en fonction du % d'oxyde de fer

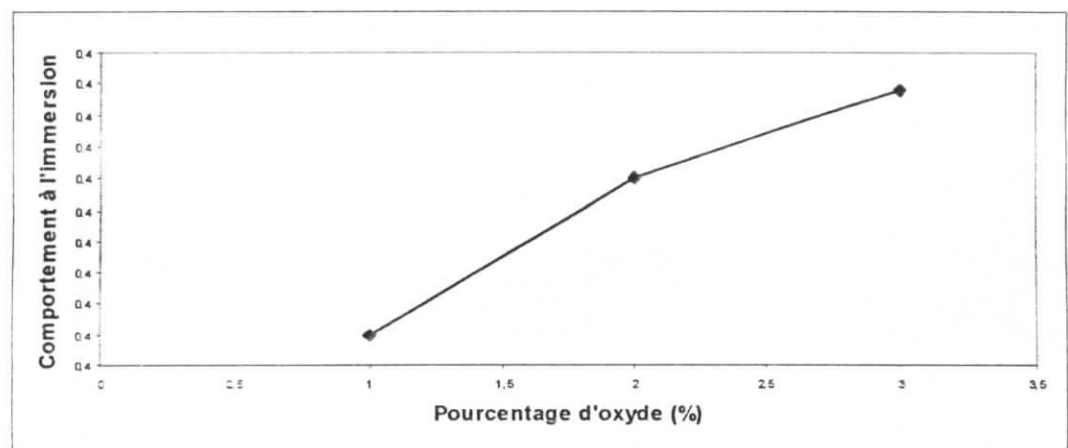


Fig. (5-20) : Comportement à l'immersion en fonction du % d'oxyde de fer

5-5-3-2) Interprétation

Après correction de la charge de compactage les résultats obtenus à partir de l'essai DURIEZ (l'enrobé avec émulsion et oxyde), donnent des compacités acceptables pour un enrobé ouvert à froid.

L'augmentation du pourcentage d'oxyde entraîne une augmentation de la compacité par diminution du volume des vides.

La résistance obtenue est de l'ordre « 0,37 à 0,41 », au fur et à mesure que le pourcentage de fines augmente, la résistance augmente également.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail s'est intéressé à l'influence du pourcentage d'oxyde de fer dans les colorations des bitumes et sur leur résistance respective.

Les essais effectués au laboratoire par tâtonnement du pourcentage des fractions granulaires (3/8) et (8/15) ont donné une courbe granulométrique qui s'insère parfaitement dans le fuseau de référence. Ceci nous a permis de réaliser notre programme expérimental.

D'après les résultats obtenus, nous pouvons conclure que les émulsions peuvent être colorées mais la seule coloration envisageable est celle obtenue avec l'oxyde de fer rouge. Cette coloration est réalisée en ajoutant 3% d'oxyde de fer dans le mélange. Néanmoins cette coloration fait ressortir la couleur de l'oxyde utilisé.

La couleur la plus réussie est réalisée avec 3% d'oxyde de fer. Par ailleurs, nous avons constaté que les cut-back sont difficiles à colorer.

D'autre part, nous avons remarqué, en fonction du temps de mûrissement, que l'addition des oxydes de fer dans le mélange provoque un changement radical de comportement mécanique de l'enrobé hydrocarbonés coloré.

L'absence d'étude sur ce thème et la non disponibilité d'appareils pour désasphalter le bitume en Algérie, constituent les limitations essentielles de ce travail.

Néanmoins, les résultats d'essais obtenus par des laboratoires étrangers, comme la France et la Belgique, nous ont permis une indication globale sur le pourcentage d'ajout de départ et améliorer nos connaissances sur les revêtements de chaussées autres que ceux devenus habituels et constitués de matériaux bitumineux, donc noir ou gris sombre.

A partir des constatations précédentes, nous pouvons suggérer certaines directions à suivre pour des futures études qui sont nécessaires pour développer les techniques des enrobés colorés à froid, comme par exemple, l'emploi des enrobés à chaud, ou des émulsions à base d'un bitume pigmentable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] - **ARKER P., 2000** ; Les nouvelles caractéristiques et performances de la signalisation routière horizontale, Revue générale des routes et aérodrome, N° 782, pp. 35 – 40.
- [2] - **BALLIE M., DE LORITE J.P., MOUTIE F.F. et HIERNAUX R., 1990** ; Formulation des enrobés, formulation des essais à la presse de cisaillement giratoires, Bull. liaison laboratoire, N° 170, pp. 13 – 21.
- [3] - **BAROIN F., BROSSEAUD Y., CLUZAUD J.M., IRASTORZA D., BARBET O. et JAENGER M., 1999** ; Matériaux de revêtement, guide pratique de la voirie urbaine, Revue générale des routes et aérodrome, N° 776, p. 15.
- [4] - **BAROUX R., MONEROS P. et PERES P., 1991** ; Fabrication des enrobés, analyse des paramètres de réglage et de conception des centrales sur les qualités des enrobés, Bull. Liaison laboratoire, N° 173, pp. 27 – 44.
- [5] – **BEN DJOUADI M., BOUZAR M., 1987**: Comportement mécanique des enrobés hydrocarbonés dans une chaussée, Thèse d'Ingénieur d'état, Ecole Nat. Polytechnique, El Harrach, 88 p.
- [6] - **BRETHET J., 1984**; Mémento des spécifications françaises chaussées, Labo. Central des ponts et chaussées LCPC, Ed. SETRA, 68 p.
- [7] - **COLLOT M., GODARD E., 2000** ; Asphaltes claires la ville en couleurs, Revue générale des routes et aérodrome, N° 784, pp. 19 – 26.

- [8] - **DOMECQ J.J. et SICARD D., 1995** : Les produits colorés à base de bitume ou de résines pour revêtements de voirie urbaine, Revue générale des routes et aérodromes, N° 730, pp. 42 – 45.
- [9] - **DURIEZ M. et ARRAMBIDE J., 1954** ; Liants hydrocarbonés mortiers et béton bitumineux, Coll. Labo. des ponts et des chaussées, Ed. STAHL, Paris, Dunod, 728 p.
- [10] - **DURIEZ M. et ARRAMBIDE J., 1962** ; Nouveau traité de matériaux de construction, Rev. Liant et bétons hydrocarbonés, T. III, 1543 p.
- [11] - **LEMLIN M., MORAUX C., WOUTERS J.P., ROUFFAERT A. et VAN ASSCHE R., 1999** ; Etude et recherche, Bull. CRR, 11 p.
- [12] - **PLATEL S, et GILLARD R., 1935**; Technologie de la peinture, Bull. de liaison L.R.P.C., 15 p.



ANNEXES

Fiche technique de l'oxyde de fer rouge

Caractéristiques	Valeurs
% de Fe ₂ O ₃	96 – 97
% max de Si O ₂ + AL ₂ O ₃	3,00
% max de sels soluble dans l'eau	0,40
Perte à feu 1000°C, ½ h	0,50 max
Prise d'huile gr/100gr huile	24,00
PH	5 – 8
Densité apparente	0,9 – 1,3
Densité réelle	5,00
Grosseur de particules prépondérante	0,30 micron/mètre
Résidu au tamis (filtre 0,045 mm)	0,002

Fiche technique de l'oxyde de fer jaune

Caractéristiques	Valeurs
% de Fe ₂ O ₃	86 – 87
% Si O ₂	0,2
Densité réelle	4,1
PH	3,5
Prise d'huile gr/100gr huile	56

Graves-émulsion cationiqueNF P 98-121
Août 1992**Définition :**

Pour les besoins de la présente norme, la définition suivante s'applique :

Graves-émulsion cationique ⁽²⁾ : matériaux préparés à partir d'un mélange d'émulsion de bitume, de granulats et d'eau, dosés et malaxés à froid :

- soit dans un appareil de type malaxeur finisseur associés,
- soit dans une installation appelée centrale. Dans ce cas, les graves-émulsion sont transportées et mises en œuvre sur chaussées.

Abréviations :

G E Grave-émulsion cationique.

Ic Indice de concassage.

r Compression simple supportée par la grave-émulsion cationique après immersion.

R Compression simple supportée par la grave-émulsion cationique sans Immersion.

Vb_{ta} Valeur au bleu.

pH Potentiel hydrogène.

Classification :

On distingue :

- les graves-émulsion cationique de type 1 ou 2 de granularité 0/10, 0/14 ou 0/20, utilisées généralement pour les couches d'assises.
- Les graves-émulsion cationique de type 3 de granularité 0/10 ou 0/14, utilisées généralement pour des travaux de reprofilage.

Ces trois types de grave-émulsion cationique de différencient par la teneur en liant.

2) Commentaire homologué : une grave-émulsion cationique fabriquée en usine n'est pas une matière première stable, ou un élément préfabriqué, mais un produit en cours d'évolution. Les caractéristiques finales en place dépendent des conditions de transport et mise en œuvre.

Condition d'emploi :

En fonction de la granularité, les épaisseurs normales d'utilisation sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : épaisseur de mise en œuvre par couche

Dimensions en centimètres

GE	Domaine des épaisseurs	
	Types 1 et 2	Type 3
0/10	6 à 10	0 à 8
0/14	6 à 12	0 à 12
0/20	8 à 15	-

Caractéristiques des constituants**1- Granulats**

Les graves-émulsion cationique sont reconstituées à partir de sables et de gravillons.

1.1- Granularité

Les classes granulaires utilisées sont les suivantes :

0/2 ; 0/4 ; 0/6,3 ; 2/6,3 ; 2/10 ; 4/6,3 ; 6,3/10 ; 6,3/14 ; 6,3/20 ; 10/14 ; 10/20 .

1.2 Catégories de granulats

Les granulats sont choisis par référence à la norme P 18-101. Toutefois, l'utilisation de granulats hors normes est possibles aux termes de la norme NF P 98-115.

Les GE sont classées en fonction des caractéristiques des granulats dans les catégories suivantes (tableaux 2 et 3).

**Tableau 2 : caractéristiques minimales
des granulats utilisés dans la confection des GE**

Résistance mécanique des gravillons	D	C
Caractéristiques de fabrication des gravillons	III	III
Caractéristiques de fabrication des sables	a	a

**Tableau 3 : autres caractéristiques
des granulats utilisés dans la confection des GE**

Angularité des gravillons et des sables ¹⁾	$I_c \geq 60$ ou $I_c = 100$
<i>1) On peut admettre l'incorporation de 10 à 20 % de sable roulé (ou une quantité moindre de sable éolien) ou de sable correcteur fillérisé.</i>	

1.3 Fines

Les fines doivent présenter une valeur respectant celle du tableau 4

**Tableau 4 : essai auquel doivent être soumise
les fines utilisés dans la confection des GE**

Titre de l'essai	Référence	Valeur
Essai au bleu de méthylène	P 18-592	$V_{b_{ta}} \leq 1 \text{ g}$

2 Emulsion

L'émulsion utilisée est une émulsion cationique à rupture lente conforme à la norme NF T 65-011, le bitume de base pouvant être un bitume 40/50, 60/70, 80/100, ou 180/220.

Dans le cas de granulats silicieux, le pH de l'émulsion est supérieur ou égal à 1,8 et il est supérieur ou égal à 2,2 pour des granulats calcaires.

3 Caractéristique des graves-émulsion cationique

3.1 Caractéristique de composition

Le tableau 5 donne les éléments des courbes granulométrique théoriques permettant de commencer les études de formation.

Tableau 5 : éléments des courbes granulométriques permettant de commencer les études de formulation

Grave émulsion % de passants au tamis de (en mm)	Types 1 et 2			Type 3	
	0/10	0/14	0/20	0/10	0/14
20		–	95	–	–
14		95	–	–	95
10	95	–	–	95	–
6,3	60	58	55	60	60
2	40	36	33	40	40
0,5	19	18	17	19	19
0,08	7	7	6	7	7

Les compositions présentées correspondent à des courbes granulométriques continues mais d'une formule discontinue n'est pas exclue.

Les formules retenues peuvent être différentes du fait de leur optimisation.

3.2 Teneur en liant anhydre

La teneur en liant anhydre est définie par l'étude de laboratoire pour obtenir les caractéristiques demandées au paragraphe 3.5. Elle supérieure ou égale à :

- 3,2 % pour le type 1.
- 3,8 % pour le type 2.
- 4,2 % pour le type 3.

3.3 Teneur en eau

La teneur en eau totale doit permettre d'obtenir les performances indiquées au paragraphe 3.5

3.4 Consistance de l'étude de laboratoire

En fonction du type de GE, l'étude comprend :

- l'essai DURIEZ et, ou :
- l'essai à la presse à cisaillement giratoire.

3.5 Performances mécaniques

La formule retenue doit présenter pour l'étude de laboratoire, les performances figurant au tableau 6.

Tableau 6 : performances mécaniques pour les graves-émulsion cationique

	Type 1	Type 2	Type 3
Essai Duriez (NF P 98-251-4)			
Pourcentage de vides	≤ 15	≤ 13	-
Résistance à la compression sans immersion en mégapascals (R) :			
- avec bitume 180/220	≥ 2	≥ 2,5	-
- avec bitume 80/100	≥ 3	≥ 3,5	-
- avec bitume 60/70	≥ 3,5	≥ 4	-
- avec bitume 40/50	≥ 4	-	-
Rapport r/R		≥ 0,55	
Essai PCG			
Pourcentage de vides			
à 10 girations	-	≥ 22	-
à 200 girations	-	≤ 12	-

But de l'essai :

L'essai micro-Deval permet de mesurer la résistance à l'usure des roches. Cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas la même à sec ou en présence d'eau.

Définition de l'essai :

L'essai consiste à mesurer l'usure des granulats produite par frottements réciproques dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires : 4-6,3 mm, 6,3-10 mm, 10-14 mm et 25-50 mm.

Pour les essais effectués sur les gravillons entre 4 et 14 mm une charge abrasive est utilisée.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à l'usure

s'exprime par la quantité $100 \frac{m}{M}$

par définition, cette quantité sans dimension, est appelée, suivant la méthode employée :

- Coefficient micro-Deval sec du granulat (M_{DS}).
- Coefficient micro-Deval en présence d'eau du granulat (M_{DE}).

APPAREILLAGE :

1- Appareillage d'usage courant

Jeu de tamis de 1,6-4-6,3-8-10-14-25-40 et 50 mm, le diamètre des montures ne devant pas être inférieur à 200 mm.

Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau (P 18-553) et une analyse granulométrique par tamisage (P 18-560).

2- Appareillage spécifique

L'appareil micro-Deval est conforme aux caractéristiques essentielles suivantes

Il comporte un à quatre cylindres creux, fermés à une extrémité, ayant un diamètre intérieur de $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ et une longueur utile de $154 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm et de $400 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ pour les 25-50 mm. Les cylindres d'essai sont en acier inox (Z 2 CN 18-10) d'épaisseur supérieur ou égale à 3 mm. Ils sont posés sur deux arbres horizontaux.

Chaque cylindre permet d'effectuer un essai.

L'intérieur des cylindres ne doit présenter aucune saillie due à la soudure ou au mode de fixation, ils sont fermés par un couvercle plat d'environ 8 mm d'épaisseur. L'étanchéité est assurée par un joint placé sur le couvercle.

La charge abrasive est constituée par des billes sphériques de $10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de diamètre en acier inox Z 30 C 13.

Le contrôle du diamètre des billes peut se faire rapidement en les faisant passer sur deux barreaux parallèles d'écartement 9,5 mm, ou par pesée de lots de 10 billes usagées dont la masse ne doit pas être inférieure à 34g

Un moteur (environ 1kw) doit assurer aux cylindres une vitesse de rotation régulière de $100 \text{ tr/min} \pm 5 \text{ tr/min}$

Un dispositif doit permettre d'arrêter automatiquement le moteur à la fin de l'essai.

PREPARATION DE L'ECHANTILLON POUR ESSAI.

Prise d'échantillon

La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire est au moins égale à 2kg pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm et 40 kg pour les 25-50 mm. L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553.

Préparation de l'échantillon pour essai

L'essai doit être effectué sur un lot de granulats ayant une granularité conforme à l'une des classes granulaire types. Les 25-50 mm doivent contenir 60% de 25-40 mm.

Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à $105 \text{ }^\circ\text{C}$, jusqu'à masse constante c'est-à-dire jusqu'à ce que de pesées successives de l'échantillon, séparées d'une heure, ne diffèrent pas de plus de 0,1 %.

Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.

La masse de l'échantillon pour essai est de $500\text{g} \pm 2\text{g}$ pour les 4-14 mm et de $10\text{kg} \pm 20\text{g}$ pour les 25-50 mm

EXECTION DE L'ESSAI**Essai sur les gravillons compris entre 4 et 14 mm**

Introduire dans le cylindre d'essai, disposé ouverture vers le haut, la charge abrasive, puis les 500 g de matériau préparé suivant les dispositions du chapitre La charge est fixée conformément aux indications du tableau ci-après .

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4 - 6,3	2 000 ± 5
6,3 - 10	4 000 ± 5
10 - 14	5 000 ± 5

Pour effectuer un essai en présence d'eau, on ajoute 2,5 l d'eau.

Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de 100 tr/min ± 5 tr/min pendant 2h ou 12 000 t.

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

Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre, en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.

Tamiser le matériau dans le bac sur le tamis de 1,6 mm ; la charge abrasive sera retenue sur un tamis de 8 mm.

Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive (à l'aide d'un aimant par exemple). Procéder plusieurs fois pour faciliter l'opération.

Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105 °C, jusqu'à masse constante.

Peser ce refus au gramme près, soit m' le résultat de la pesée.

Essai sur les granulats compris entre 25 et 50 mm

Introduire dans le cylindre d'essai disposé ouverture vers le haut, les 10 000g de matériau préparé suivant les dispositions chapitre...

Pour effectuer l'essai en présence d'eau on ajoute 2 l d'eau.

Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de $100 \text{ tr/min} \pm 5 \text{ tr/min}$ pendant 2h20 min ou 14 000 rotations.

Après essais recueillir le granulat dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes d'éléments. Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre en recueillant dans le bac l'eau et les parties minérales entraînées.

Tamiser le matériau du bac sur le tamis de 1,6 mm en prévoyant un tamis de décharge.

Laver l'ensemble sous un jet d'eau en procédant en plusieurs fois pour faciliter l'opération.

Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve réglée à $105 \text{ }^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante.

Peser ce refus au gramme près, soit m' le résultat de la pesée.

EXPRESSION DES RESULTATS

Le coefficient micro-Deval M_{DE} ou M_{DS} est par définition le rapport :

$$100 \frac{m}{M} = 100 \frac{M - m'}{M}$$

Où :

M est la masse sèche de l'échantillon pour essai (500 ou 10 000g),
 $m = M - m'$ est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm

OBJET

La présente norme a pour objet de définir le mode opératoire pour la mesure de la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats.

DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics.

PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine Los Angeles telle qu'elle est décrite dans la présente norme.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les 6 classes granulaires 4/6,3 mm-6,3/10 mm-10/14 mm -10/25 mm 16/31,5 mm -25/50 mm, de la granularité u matériau tel qu'il sera mis en œuvre. La classe 10/25 mm doit contenir 60% de 10/16 mm, la classe 16/31,5 mm 40% de 16/25 mm et la classe 25/50 mm 60% de 25/40 mm. La masse de la charge de boulets varie suivant les classes granulaires.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produit au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par chocs s'exprime par la quantité :

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

Cette quantité sans dimension est appelée, par définition, coefficient Los Angeles du matériau (LA).

APPAREILLAGE SPECIFIQUE

1° La machine Los Angeles comporte :

- Un cylindre creux en acier de 12 mm ± 0,5 mm, d'épaisseur, fermé à ses deux extrémités, ayant un diamètre intérieur de 711 mm ± 1 mm et une longueur intérieure de 508 mm ± 1 mm. Le cylindre est supporté par deux axes horizontaux fixés à ses deux parois latérales, mais ne pénétrant pas à l'intérieur du cylindre ; le montage est tel que le cylindre peut ainsi tourner autour de son axe qui doit être horizontal. L'acier est du type AFNOR A. 50.
- Une ouverture de 150 mm de largeur, sur toute la longueur du cylindre, permet d'introduire l'échantillon. Pendant l'essai, cette ouverture est obturée