

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Génie Civil

Option: Matériaux en Génie Civil

THEME

LES EMULSIANTS DE BITUME : TECHNIQUES D'APPLICATION

Dirigé par

Dr. SOULIMANE Ilyes

Présenté par

SEDIRA Abdelhamid

Promotion : 2020

إهداء

أهدي هذا العمل إلى روح والدي رحمه الله و إلى والدي و جميع أفراد عائلتي خاصة منهم زوجتي و أبنائي الأعراء.

كما أهدى هذا العمل المتواضع إلى كافة متعاملي قطاع الطرق من إدارة و مقاولات و وحدات إنتاج و عمال.

Dédicaces

Je dédie ce travail à la mémoire de mon père, que Dieu ait pitié de lui, ainsi qu'à ma mère et à tous les membres de ma famille, en particulier ma femme et mes chers enfants.

Ce modeste travail est également dédié à tous les opérateurs du secteur routier, y compris l'administration, les entreprises de réalisation les fabricants et les travailleurs.



شكر

بعد تقديم الشكر لله سبحانه و تعالى لتوفيقه لي من أجل إعداد هذا العمل المتواضع أتقدم بالشكر الجزيل للدكتور سليمان إلياس من أجل تأطيره لهذا العمل و توافره و دقته العلمية.

كما أتقدم بالشكر أيضا لجميع أساتذة جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي و أذكر منهم بالأخص أساتذة كلية التكنولوجيا قسم الهندسة المدنية على مجهوداتهم الجبارة المبذولة خلال العام الدراسي الجامعي.

و لا يفوتني أيضا أن أتقدم بالشكر لإطارات كل من المخبر الجيوتقني للبناء و الطرقات بالوادي و شركة سوف للزفت و الزيوت بحاسي خليفة و ذلك لتقديمهم الدعم و الجهد اللازم لإنجاز هذا العمل.

Remerciements

Après avoir remercié Dieu Tout-Puissant pour son aide à la préparation de ce travail, j'adresse mes sincères remerciements au Docteur SOULIMANE Ilyes pour son encadrement de ce travail, sa disponibilité et sa rigueur scientifique. Je remercie également tous les professeurs de l'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, et je mentionne particulièrement les professeurs de la Faculté de Technologie, Département de Génie Civil, pour leurs efforts considérables déployés pendant l'année universitaire.

Je ne manque pas non plus de remercier les cadres du laboratoire géotechnique de la construction et routes sis à El-Oued ainsi que ceux de la Société Souf Bitume te Huiles sise à Hassi Khalifa pour leur soutien et les efforts fournis pour l'accomplissement de ce travail.

TABLE DE MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE I GENERALITES SUR LES EMULSIONS DE BITUMES	4
I.1 HISTORIQUE	4
I.2 LES EMULSIONS DE BITUME	6
I.2.1 DEFINITION	6
I.2.2 FABRICATION	7
I.2.3 FORMULATIONS ET PRINCIPAUX CONTROLES	8
I.2.4 PRINCIPALES PROPRIETES	9
I.2.5 SPECIFICATIONS	10
I.2.6 DOMAINE D'EMPLOI	11
I.2.7 AVANTAGES	12
CHAPITRE II TECHNIQUES A L'EMULSION	15
II.1 TYPES DE DEGRADATIONS DES CHAUSSEES	15
II.1.1 FLACHES	15
II.1.2 ORNIERAGE	15
II.1.3 AFFAISSEMENT DE RIVE	16
II.1.4 NID DE POULE	16
II.1.5 PELADE	17
II.1.6 PLUMAGE	17
II.1.7 RESSUAGE	18
II.1.8 GLACAGE	18
II.1.9 FISSURE LONGITUDINALE	19
II.1.10 FISSURE TRANSVERSALE	19
II.1.11 FAIENCAGE	20
II.1.12 JOINTS DEFECTUEUX	20
II.2 SOLUTIONS TECHNIQUES	21
II.2.1 COUCHE D'ACCROCHAGE	21
II.2.2 COUCHE D'IMPREGNATION	24
II.2.3 ENDUIT SUPERFICIEL	25

II.2.4 ENROBES SOCKABLES A L'EMULSION	27
CHAPITRE III- METHODES DE FABRICATION DES EMULSIONS AU LABORATOIRE	30
III.1 CONSTITUANTS	30
III.2 PARAMETRES DE FABRICATION	31
III.2.1 ENERGIE DE DISPERSION	31
III.2.2 TEMPERATURES ET VISCOSITES DES CONSTITUANTS	31
III.2.3 DOSAGES DES CONSTITUANTS	32
III.2.4 ESSAIS DE CONTROLE	32
III.3 RECEPTION DE MATIERES PREMIERES AU LABORATOIRE	37
III.4 FORMULATIONS	41
III.4.1 COUCHE D'ACCROCHAGE	41
III.4.2 COUCHE D'IMPREGNATION	42
III.4.3 ENDUIT SUPERFICIEL	43
III.4.4 ENROBES SOCKABLES A L'EMULSION	44
CHAPITRE IV – RESULTATS ET DISCUSSIONS	47
IV.1 EMULSION COUCHE D'ACCROCHAGE	47
IV.2 EMULSION COUCHE D'IMPREGNATION	50
IV.3 EMULSION ENDUIT SUPERFICIEL	52
IV.4 EMULSION ENROBES SOCKABLES A L'EMULSION	54
IV.5 COMPARAISON DES COUTS DE L'EMULSION ET LES CUT-BACKS	56
V.5.1 COUT D'ACHAT	56
V.5.2 COUT D'ENERGIE	57
CONCLUSION GENERALE	58
BIBLIOGRAPHIE	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Schéma simplifié de fabrication de l'émulsion	8
Figure 2 Classification des émulsions cationiques COLAS	11
Figure 3 Flache	15
Figure 4 Orniérage	16
Figure 5 Affaissement de Rive	16
Figure 6 Nid de Poule	17
Figure 7 Pelade	17
Figure 8 Plumage	18
Figure 9 Ressuage	18
Figure 10 Glaçage	19
Figure 11 Fissure longitudinale	19
Figure 12 Fissure transversale	20
Figure 13 Faiçençage	20
Figure 14 Joint défectueux	21
Figure 15 Mécanismes de transmission des efforts à l'ensemble de la structure de la chaussée	22
Figure 16 Durées de vie des structures de chaussée	23
Figure 17 Mise en œuvre de la couche d'accrochage	24
Figure 18 Matériau fermé	25
Figure 19 Mise en œuvre de la couche d'imprégnation	25
Figure 20 Types d'enduits superficiels	26
Figure 21 Mise en œuvre de l'enduit superficiel	26
Figure 22 Stockage et pose de l'enrobé à froid à l'émulsion	27
Figure 23 Mise en œuvre et compactage mécanique de l'enrobé à froid à l'émulsion	27
Figure 24 Mise en œuvre et compactage manuel de l'enrobé à froid à l'émulsion	28
Figure 25 Formulation de l'émulsion	30
Figure 26 Appareillage essai indice de rupture	33
Figure 27 Instrument de mesure EL-R	33
Figure 28 Viscosimètre Engler	34
Figure 29 Viscosimètre STV	34
Figure 30 Dessiccateur	35

Figure 31 Adhésivité liant – granulat	36
Figure 32 Evaluation visuelle de l’adhésivité immédiate	36
Figure 33 PH-mètre	37
Figure 34 Formulation de l’émulsion au laboratoire	40
Figure 35 – a Emulsion : Produit fini	41
Figure 35 - b Emulsion : Produit fini	41
Figure 36 Emulsion d’accrochage – Aspect colle	49
Figure 37 Planche d’essai de l’imprégnation avec l’émulsion	51
Figure 38 Planche d’essai en enduit superficiel en enduit superficiel avec l’émulsion	53
Figure 39 Planche d’essai enrobé à froid stockable avec l’émulsion	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 caractéristiques du bitume pur 40/50	37
Tableau 02 caractéristiques du kérosène	38
Tableau 03 caractéristiques de l'acide chlorhydrique (HCL 33°)	38
Tableau 04 caractéristiques de l'émulsifiant Indulin AA83	39
Tableau 05 caractéristiques de l'émulsion d'accrochage	47
Tableau 06 caractéristiques de l'émulsion de l'imprégnation	50
Tableau 07 caractéristiques de l'émulsion de l'enduit superficiel	52
Tableau 08 caractéristiques de l'émulsion de l'enrobé à froid	54
Tableau 09-a comparaison des prix cut-back / émulsion	56
Tableau 09-b comparaison des prix cut-back / émulsion	56

Résumé

L'objectif de ce travail est la définition des conditions de la constructibilité des routes en utilisant l'émulsion de bitume. Il s'agit donc d'identifier les caractéristiques et les techniques à l'émulsion, les corrélations pouvant exister entre l'emploi de l'émulsion et la durabilité, la préservation de l'environnement, la préservation des matériaux de construction, les conditions de travail et de santé, le cout et l'entretien d'un projet routier.

La démarche commence par une capitalisation de connaissances relatives à l'émulsion de bitume et d'effectuer un programme de formulation au laboratoire de quatre types d'émulsion destinées aux techniques à froid connues qui sont destinées au collage, à l'imprégnation, à l'enduit superficiel et à l'enrobé à froid stockable. En deuxième lieu il s'agit de concrétiser un programme des essais d'identification des produits obtenus et la vérification que ces résultats s'insèrent dans les normes en vigueur. Ensuite la réalisation et l'observation des planches d'essai pour apprécier leur comportement ; sur site toutes les planches d'essais mise en œuvre ont données des très bonnes performances et bonnes tenues. Et enfin l'élaboration d'une conclusion générale et la vision sur les pratiques des émulsions de bitume qui montre la nécessité d'opter aux techniques à l'émulsion vu les avantages multiples qu'elles offrent en matière d'économie, environnement, santé et sécurité.

Mots clés :

Routes, Bitume, Emulsion, Techniques à l'émulsion, Environnement, Durabilité, Cout, Entretien, Formulation.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحديد شروط إنشاء الطرق باستخدام مستحلب الزفت . لذلك فالمسألة تتطلب تحديد خصائص وتقنيات المستحلب ، والارتباطات التي قد توجد بين استخدام المستحلب والإستدامة ، والحفاظ على البيئة ، والحفاظ على مواد البناء ، وشروط العمل والصحة ، تكلفة وصيانة مشروع الطريق.

تبدأ العملية بجمع المعارف المتعلقة بمستحلب الزفت و بتنفيذ برنامج مكون من أربعة تركيبات في المخبر للعديد من أنواع المستحلب الموجهة للإستعمال في التقنيات على البارد المعروفة و الموجهة إلى طبقة اللصق ، طبقة التشريب ، التزفيت السطحي و الملبس على البارد القابل للتخزين. و في مرحلة ثانية يتم تجسيد مجموعة من التجارب على المنتجات التي تم الحصول عليها و التأكد من مدى مطابقتها مع المعايير التقنية المعمول بها. وكذلك إنجاز لوحات تجريبية وملاحظتها و مراقبتها لتقييم أدائها . في عين المكان كل اللوحات التجريبية المنجزة أعطت نتائج باهرة و تماسك جيد. وأخيراً وضع خلاصة عامة تتضمن النظرة المستقبلية حول إستعمالات المستحلب الزفتي والتي توضح الحاجة إلى اختيار تقنيات المستحلب نظراً للمزايا المتعددة التي تقدمها من حيث الاقتصاد والبيئة والصحة و الامن.

الكلمات الدالة :

الطرق ، الزفت ، المستحلب ، تقنيات المستحلب ، البيئة ، الإستدامة ، التكلفة ، الصيانة ، التركيبية.

INTRODUCTION GENERALE

Tous les liants hydrocarbonés qu'ils soient destinés à l'enrobage ou au répandage nécessitent un chauffage préalable à tout emploi de façon à abaisser leur viscosité jusqu'à un certain seuil compatible avec la technique envisagée. Pour s'affranchir de ces sujétions il existe un moyen aux possibilités très étendues : la mise en émulsion.

La définition que donne le dictionnaire de l'Académie française dans sa neuvième édition du terme d'émulsion est « dispersion sous forme de particules très fines d'un liquide au sein d'un autre liquide dans lequel il n'est pas soluble ».

L'émulsion routière utilisée depuis le début du vingtième siècle dans la construction et l'entretien des routes s'est fortement développée à travers le monde. La variété des techniques à l'émulsion, leur souplesse, les économies qu'elles génèrent et leur bonne intégration dans les politiques environnementales justifie cette place de choix.

Les émulsions bitumineuses peuvent servir à plusieurs applications, comme l'enrobé à froid, les enduits superficiels, couche d'accrochage, le traitement de surface, la stabilisation des fondations et le micro surfacage. Le choix de type d'émulsion pour chaque application dépend essentiellement de la formulation qui diffère d'une technique à une autre notamment la sélection des produits tensioactifs et leurs dosages.

Dans ce cadre nous allons aborder dans ce travail quatre techniques qui sont ou peuvent être les plus utilisées dans notre pays qui sont ainsi :

- Emulsion d'accrochage
- Emulsion d'imprégnation
- Emulsion d'enduit superficiel
- Emulsion d'enrobé à froid

L'objectif du présent travail est la définition des conditions de fabrication de l'émulsion de bitume, faire illustrer leurs caractéristiques, la spécification des essais aptes à vérifier ces dernières les techniques de réalisation, puis une conclusion générale permettant l'évaluation et l'horizon d'utilisation de la technique à l'émulsion.

**CHAPITRE I - GENERALITES SUR LES
EMULSIONS DE BITUMES**

CHAPITRE I - GENERALITES SUR LES EMULSIONS DE BITUMES

Pour connaître la signification des liants bitumes et des émulsions de bitume, nous reviendrons un peu dans l'histoire afin d'avoir une idée sur l'invention et l'évolution de l'utilisation des liants hydrocarbonés par l'homme.

I.1 HISTORIQUE

Les liants hydrocarbonés, goudrons, bitumes et asphaltes naturels, bitumes extraits du pétrole, ont une longue histoire.

- 3 000 ans avant J.C. les bitumes et asphaltes naturels étaient utilisés pour le jointoiment des briques à Eridu et Ur, au Moyen-Orient. Dans l'Antiquité, les bitumes natifs servaient aussi à réaliser des étanchéités.
- En 1595 : découverte du bitume naturel de Trinidad.
- Jusqu'en 1683, le goudron de bois fut le seul corps utilisé universellement dans la construction et pour le traitement des bateaux.
- Le mot « goudron » vient d'un très vieux vocable araméen « Kodron » qui désignait les asphaltes et bitumes naturels. C'est le « Gatron» des Arabes qui est devenu en France le « godron » puis le « goudron ».
- Dès 1683, le goudron de bois est peu à peu remplacé par le goudron extrait de la houille.
- En 1712, découverte de la première mine d'asphalte naturel en Europe, au Val de Travers, en Suisse. Premier tapis de grave asphalte, réalisé un peu par hasard sur les chemins de la mine.
- 1735, découverte de la première mine d'asphalte naturel français à Seyssel.
- 1786, Lebon, fondateur de l'industrie française du gaz, érige sa première usine à gaz ; le goudron, jusque-là produit principal de la distillation de la houille, va devenir un sous-produit de la fabrication du gaz. Plus tard, celui-ci sera lui-même détrôné au profit du coke métallurgique puisque, dans les cokeries modernes, l'objectif est de produire du coke pour la métallurgie, le gaz et le goudron faisant figure de sous-produits.
- Anticipant un peu sur la suite de cet historique, il faut signaler la disparition, dans la deuxième moitié du XX^e siècle, des usines à gaz, donc du goudron d'usine, avec cependant le maintien de la production du goudron des cokeries des hauts fourneaux.

Toutefois, le brai de cokerie est plus rentable pour la préparation des électrodes destinées à l'électro-métallurgie et des huiles utilisées en ajout aux bitumes (de ce fait, la quasi-totalité des liants routiers aujourd'hui utilisés est à base de bitume).

- 1829, première utilisation de l'asphalte coulé à partir d'asphalte naturel (trottoirs du pont Morand à Lyon).
- 1854, premiers revêtements en poudre d'asphalte naturel comprimé, rue Bergère à Paris.
- 1890, premiers enrobés au bitume naturel de Trinidad aux USA et début de l'exploitation des mines d'asphalte naturel du Texas.
- 1901, création de la ligue contre la poussière des routes par un médecin suisse, le docteur Guglielminetti et premier « goudronnage » à Monaco.
- 1902, « pétrolage » anti poussière sur la route de Quarante-Sous avec du pétrole venant de Bakou et « goudronnage » de l'avenue du Bois (avenue Foch).
- 1909, mise en œuvre à Versailles des premiers enrobés à chaud.
- 1912, Versailles et Orléans, enduits au bitume de Trinidad.
- 1919 - 1939, débuts du développement du bitume, importé jusqu'en 1929, puis fabriqué en France par l'Industrie Française de Raffinage, à partir des pétroles bruts du Venezuela.

Pendant ce temps, l'émulsion de bitume a fait son apparition :

- en 1913, à Beaulieu, près de Nice, application d'une émulsion (primitive) anti poussière.
- après la course Paris - Madrid de 1913, qui fut interrompue à la suite de nombreux accidents mortels, utilisation de l'huile de pétrole émulsionnée sur le circuit des Ardennes.
- Quelques années plus tard, apparition de la technique de la semi-pénétration, avec de l'émulsion à 50 % d'huile de pétrole.
- Dès la fin de la Première Guerre mondiale, le goudron apparaît comme un liant trop « mou », fondant et glissant. Il sera peu à peu détrôné par le bitume, et ne connaîtra une certaine renaissance que beaucoup plus tard, avec l'utilisation des goudrons bitumes pour les enduits.
- En 1924, deux chimistes anglais mettent au point une émulsion de bitume anionique stable et homogène. Dix ans plus tard, l'industrie routière dispose d'émulsions à 60 et 65 % de bitume. Vers 1937 les premières fabrications d'émulsions cationiques de bitume sont effectuées en laboratoire par une équipe de chercheurs français. Les

premières applications routières sont réalisées également en France, dans les environs d'Auxerre au cours de l'année 1950.

L'émulsion cationique présente de nombreux avantages sur l'émulsion anionique, en particulier une excellente adhésivité sur les matériaux siliceux et une concentration plus élevée à viscosité égale.

La période qui suit la Seconde Guerre mondiale verra peu à peu l'émulsion « acide » l'emporter, et de façon définitive, sur l'émulsion « basique », avec des productions très importantes en France (de l'ordre du million de tonnes), la raison de ce développement étant principalement la maniabilité de l'émulsion.

- 1938, premier traitement de surface antidérapant avec des gravillons pré enrobés de poudre d'asphalte.
- 1938, apparition de la technique de double enrobage : pré enrobage avec un cut back fluide très dopé, puis enrobage avec un cut back visqueux.
- A partir de 1945, grand essor des bitumes routiers issus de la distillation du pétrole.
- En 1953, début de la technique des « enrobés denses ».
- Développement ensuite des bétons bitumineux graves-bitumes, sable-bitume. La technique se précise à la lumière de l'expérience. [1]

Cet historique ne met pas, bien évidemment, à sa juste place, l'importance mondiale et nationale de chacun des différents liants hydrocarbonés actuellement utilisés. Il en ressort toutefois que la place des bitumes est très nettement prépondérante et même sans comparaison avec celle des autres liants, et que l'émulsion, utilisée certes ailleurs, est plus particulièrement appréciée en dans les pays développés.

I.2 LES EMULSIONS DE BITUME

I.2.1 DEFINITION

Une émulsion est une dispersion très fine d'une phase (liquide ou solide) appelée phase dispersée dans une phase liquide appelée phase dispersante. Il existe de nombreuses émulsions de compositions très différentes. Ce sont :

- des produits naturels comme le lait, le latex de caoutchouc par exemple,
- des produits industriels comme peinture, produits pharmaceutiques ou cosmétiques,
- des produits alimentaires comme mayonnaise, certaines margarines, etc.

En particulier, les émulsions de bitume sont constituées par une dispersion de fins globules de bitume (diamètre voisin du centième de millimètre) dans une phase aqueuse. Les émulsions de bitume contiennent en général de 50 à 69 % de bitume et peuvent être anioniques ou cationiques.

I.2.2 FABRICATION

Comment fabrique-t-on une émulsion de bitume ?

On utilise un appareil puissant dans lequel on introduit :

- du bitume pur ou rendu légèrement fluide par addition d'un solvant extrait du pétrole ou du goudron de houille à température convenable (choisie en fonction du liant),
- une phase aqueuse composée d'eau qui doit être la plus pure possible et d'un produit appelé émulsifiant qui a de l'affinité à la fois pour l'eau et le bitume. C'est lui qui permet au bitume de se disperser finement dans l'eau et d'obtenir une émulsion stable. Selon sa constitution chimique, il donne à l'émulsion un caractère anionique ou cationique. Cette phase aqueuse doit également être à bonne température, fonction de celle du liant, en respectant la règle dite des 200 °C, c'est-à-dire que la somme des températures du liant et de la phase aqueuse doit être légèrement inférieure à 200 °C.

L'introduction des constituants de l'émulsion dans l'appareil de fabrication s'effectue au moyen de pompes doseuses réglées de manière à obtenir les différents pourcentages de liant 60, 65, etc. Cet appareil est le plus souvent un homogénéiseur qui est composé d'une partie mobile, le rotor, qui tourne à grande vitesse, et d'une partie fixe, le stator. La dispersion de bitume se fait entre le rotor et le stator.

L'homogénéiseur ou émulsionneur et les pompes doseuses forment un ensemble appelé groupe de fabrication. En dehors de ce groupe, l'usine productrice est composée de réservoirs de matières premières (bitumes, fluidifiants, émulsifiants, acide) et de réception des différentes émulsions.

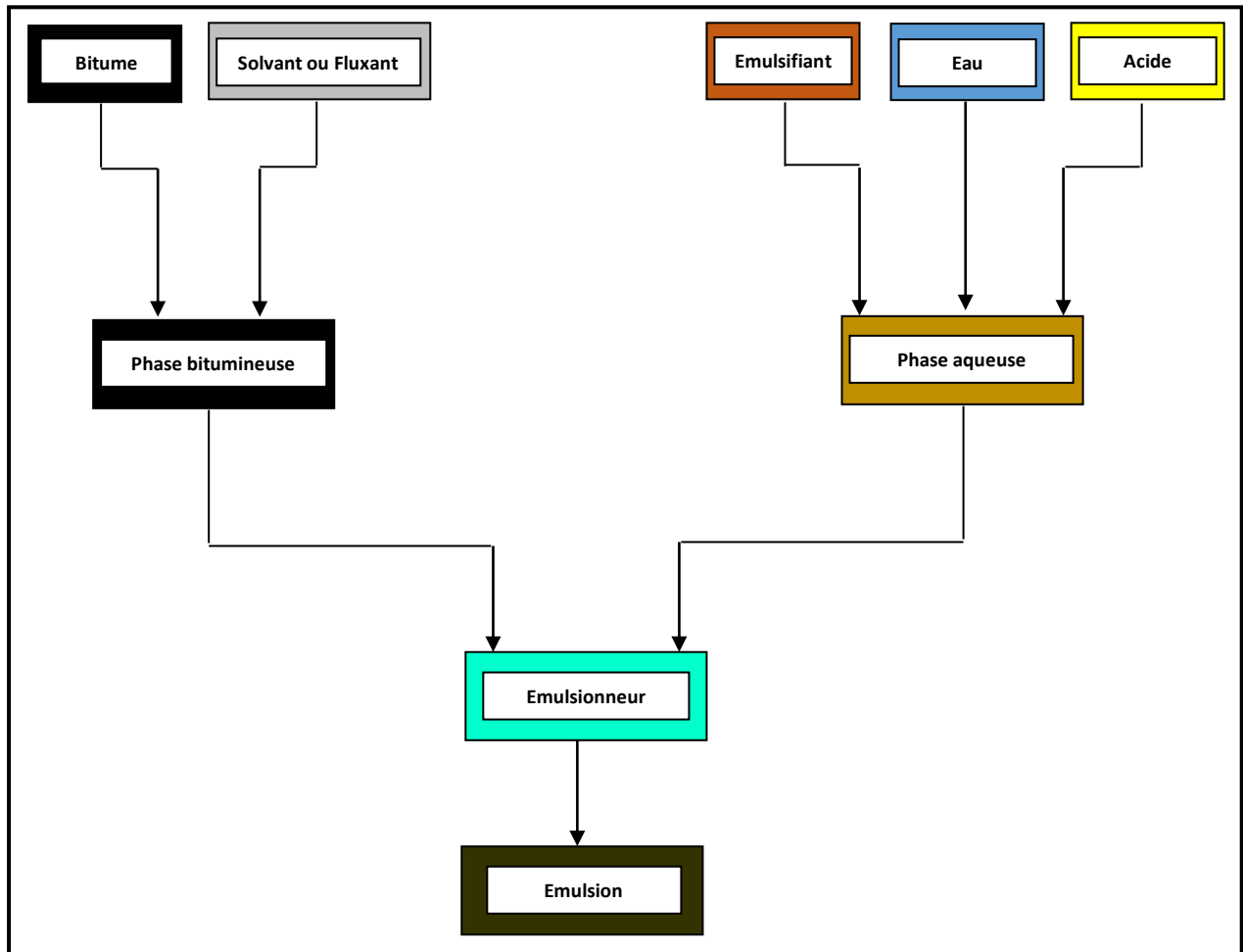


Figure 1 Schéma simplifié de fabrication de l'émulsion

I.2.3 FORMULATIONS ET PRINCIPAUX CONTROLES

Des essais de fabrication d'émulsions se font d'abord en laboratoire afin de choisir l'émulsifiant en fonction de l'utilisation de l'émulsion. En effet, tous les liants ne s'émulsionnent pas de la même façon et l'on ne peut pas improviser une formule sans étude préalable.

La formulation de l'émulsion étant au point, on peut la fabriquer en usine. On effectue alors des essais de contrôle suivants :

- a. **Teneur en eau** : il s'agit d'un essai de distillation qui permet de déterminer le pourcentage d'eau que contient l'émulsion. On peut en déduire le pourcentage de liant. Cet essai est très important. En effet, dans une émulsion ce qui importe c'est la quantité de bitume qui va rester après rupture.
- b. **Viscosité** : l'émulsion, pour être employée correctement, ne doit pas être trop fluide ou trop visqueuse. Le contrôle de la viscosité se fait au moyen d'un appareil composé d'un récipient muni d'un orifice calibré. On détermine le temps d'écoulement de l'émulsion

au travers de cet orifice. Ce temps d'écoulement permet le calcul de la viscosité de l'émulsion qui s'exprime en degré Engler et que l'on convertit maintenant en centistokes.

- c. Indice de rupture** : cet essai est utilisé essentiellement pour les émulsions cationiques. Il consiste à introduire régulièrement et de manière continue des fines siliceuses normalisées dans 100 g d'émulsion. L'Indice de rupture est exprimé par le poids de fines ajouté en quantité suffisante pour obtenir une agglomération par le bitume de l'émulsion. Il est également très important car il se trouve à la base de la classification des émulsions en fonction de leur vitesse de rupture qui conditionne leur domaine d'emploi.
- d. Charge des particules** : lorsqu'on plonge les électrodes d'une pile de 4,5 volts dans une émulsion pendant quelques secondes, il se produit un dépôt sur l'électrode positive (anode) dans le cas d'une émulsion anionique ou sur l'électrode négative (cathode) dans le cas d'une émulsion cationique. Cet essai montre que dans le cas de l'émulsion anionique des particules sont chargées négativement et dans le cas de l'émulsion cationique les particules sont chargées positivement et peut être un moyen simple et rapide de s'assurer du type d'émulsion dont on dispose.

I.2.4 PRINCIPALES PROPRIETES

Les principales propriétés de l'émulsion sont :

- a. Viscosité** : la viscosité d'une émulsion augmente avec sa teneur en bitume. Une émulsion à 69 % de bitume sera plus visqueuse qu'une émulsion à 60 % de ce même liant. C'est la raison pour laquelle il est souvent nécessaire de « tiédir » l'émulsion afin qu'elle puisse s'écouler plus facilement dans les différents appareils au cours de son utilisation.
- b. Homogénéité** : en principe les particules de bitume d'une émulsion sont très fines et uniformément réparties. Dans certains cas, elle peut présenter une pellicule en surface (peau) qui ne gêne en rien les propriétés de l'émulsion.
- c. Stabilité au stockage** : elle peut être améliorée par augmentation de la teneur en émulsifiant. Dans le cas des enduits superficiels où l'on cherche une vitesse de rupture rapide, cette augmentation est inutile, voire néfaste. Il y a donc tout intérêt pour les émulsions d'enduisage à s'affranchir du stockage ce qui ne peut être que favorable à tous points de vue : technique et économique. Parfois, elle doit être stockée pour permettre d'approvisionner les chantiers d'une manière imprévue. Si la durée du stockage est importante, il est souvent nécessaire de brasser légèrement l'émulsion.

Il se produit, en effet, très souvent une sédimentation ou un crémage à cause de la densité du bitume dispersé qui est différente de celle de l'eau.

d. Stabilité vis-à-vis des granulats : lorsque l'émulsion est mise en présence d'un granulat au cours de son application, les particules de bitume s'agglomèrent sous l'influence de plusieurs éléments :

- évaporation de l'eau surtout lorsque l'émulsion est employée à une température élevée ;
- absorption de l'eau par les granulats. Cette absorption est d'autant plus importante que le matériau est plus fin et sa surface spécifique plus élevée ;
- rupture chimique au contact des surfaces minérales, accélérée par malaxage et compactage.

Ce phénomène très important est appelé rupture. Il faut distinguer les émulsions anioniques qui ne rompent en général que par départ de l'eau des émulsions cationiques pour lesquelles la rupture chimique est primordiale.

e. Adhésivité : après rupture de l'émulsion le liant résiduel doit avoir une bonne adhésivité vis-à-vis des granulats. Il convient de préciser que les émulsions cationiques outre leur rupture plus rapide donnent de meilleurs résultats à cet égard, l'émulsif cationique jouant le rôle d'un dope qui favorise cette adhésivité.

I.2.5 SPECIFICATIONS

Les émulsions sont de deux types : les anioniques et les cationiques. A l'intérieur de chaque type, elles sont classées en plusieurs catégories en fonction de leur vitesse de rupture.

Classes des émulsions cationiques

Caractéristiques techniques	Norme	Unité	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9
Propriétés sensorielles	EN 1425	-	Pas de spécification	à reporter	-	-	-	-	-	-	-	-
Polarité	EN 1430	% (m/m)	-	à reporter	positif	-	-	-	-	-	-	-
Indice de rupture	EN 13075-1	-	Pas de spécification	à reporter	≤80	50-100	70-130	120-180	170-230	≥220	-	-
Stabilité au ciment	EN 12848	g	Pas de spécification	à reporter	≤2	>2	-	-	-	-	-	-
Temps de mélange avec fines	EN 13075-2	s	Pas de spécification	à reporter	≥180	≥300	-	-	-	-	-	-
Teneur en liant (par teneur en eau)	EN 1428	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	38-42	48-52	53-57	58-62	63-67	65-69	67-71	≥70
Teneur en liant (par distillation)	EN 1431	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	≥38	≥48	≥53	≥58	≥63	≥65	≥67	≥70
Pouvoir de pénétration	EN 12849	min	Pas de spécification	à reporter	-	-	-	-	-	-	-	-
Viscosité par écoulement 2 mm à 40 °C	EN 12846	s	Pas de spécification	à reporter	≤20	15-45	35-80	70-130	-	-	-	-
Viscosité par écoulement 4 mm à 40 °C	EN 12846	s	Pas de spécification	à reporter	-	-	-	-	10-45	30-70	50-100	-
Viscosité par écoulement 4 mm à 50 °C	EN 12846	s	Pas de spécification	à reporter	-	-	-	-	-	-	-	25-50
Viscosité dynamique	prEN 14896	m Pa.s	Pas de spécification	à reporter	DV	-	-	-	-	-	-	-
Résidu sur tamis	0,5 mm	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	≤0,1	≤0,2	≤0,5	-	-	-	-	-
	0,16 mm	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	≤0,25	≤0,5	-	-	-	-	-	-
Résidu sur tamis après 7 jours de stockage à 0.5 mm	EN 1429	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	≤0,1	≤0,2	≤0,5	-	-	-	-	-
Tendance à la sédimentation après 7 jours de stockage	EN 12847	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	≤5	≤10	-	-	-	-	-	-
Adhésivité (par immersion dans l'eau)	EN 13614	%	Pas de spécification	à reporter	≥75	≥90	-	-	-	-	-	-

On peut également spécifier des classes de performances des émulsions :

- après évaporation (liant d'origine)
- après évaporation et stabilisation (simule le liant après un an)
- après évaporation, stabilisation et vieillissement (simule le liant après 5 à 10 ans).

Appellation des émulsions

Position	Lettre/chiffre	Signification	Norme
1	c	Émulsion cationique	EN 1430
2 et 3	2 chiffres	Teneur en liant	EN 1428 ou EN 1431
4, 5, 6	B	Bitume pur	EN 12591
	P	Addition de polymère	
	F	Addition de plus de 2% de fluxant	
7	de 1 à 7	Classe (indice de rupture)	EN 13075-1

EXEMPLES

C65B2 → Émulsion cationique à rupture rapide, à teneur en liant nominale de 65 % (enduits superficiels).

C70BPF3 → Émulsion cationique à base de bitume fluxé modifié, à teneur en liant nominale de 70 % (enduits superficiels).

Figure 2 Classification des émulsions cationiques COLAS. [2]

I.2.6 DOMAINES D'EMPLOI

Les émulsions sont des liants très élaborés dont les domaines d'emploi sont très étendus. En effet, en jouant sur leur formulation, c'est-à-dire la nature et les dosages respectifs de leurs constituants, on va pouvoir obtenir toute une gamme de liants pour des usages très divers :

- émulsions à vitesse de rupture rapide pour enduits superficiels, emplois partiels et couches d'accrochage,
- émulsions à vitesse de rupture semi-rapide quelquefois pour enduits superficiels mais surtout pour imprégnation et pénétration, et pour la grave traitée à l'émulsion,
- émulsions lentes pour l'enrobage, et pour la grave traitée à l'émulsion,
- émulsions sur stabilisées pour emplois spéciaux et en particulier la stabilisation de sols fins.

En Europe et aux USA, à l'heure actuelle, compte tenu des conditions climatiques, les émulsions cationiques jouissent d'une très grande faveur en raison de leur rupture rapide au contact des granulats quelle que soit leur nature.

I.2.7 AVANTAGES

a. Sécurité de la route

Les enduits superficiels et les enrobés coulés à froid avec des émulsions renforce la sécurité des usagers en améliorant la tenue des revêtements des chaussées, tels que la texture de la surface et sa teinte ainsi que l'amélioration du profil de la route.

- Qualité des couches de surface : adhérence et drainage (rugosité) (ESU, micro-surfacing)
- Changement de texture ou de couleur
- Correction des courbes, reprofilage (GE)

b. Sécurité de personnel

Le personnel de mise en œuvre bénéficie aussi de la sécurité car ils transportent, stockent et manipulent à des températures ambiantes sans risque. En plus la production ne provoque ni inflammation, ni odeurs, ni fumées au niveau de l'usine et au chantier.

- Emulsion = eau (non inflammable)
- Pas de dégagement de vapeurs toxiques (application à 40-60°C)

c. L'environnement

Les émulsions s'utilisent à températures ambiantes et ne nécessitent aucun chauffage de granulat ce qui implique l'économie d'énergie dans les différentes étapes de transport, de stockage, de la production et de la mise en œuvre. En outre les techniques à l'émulsion consomment des faibles quantités de granulats ce qui contribue à la préservation des ressources naturelles.

- Protection des structures des chaussées (augmente la durée de vie)
- Faible consommation de granulats et de liant (préserve la ressource naturelle)
- Utilisation à température ambiante (pas de chauffage des granulats)

d. L'entretien

L'entretien peut être curatif ou préventif

- Corrective : couches de roulement, nid de poule,...
- Préventive : protection des couches de roulement en les rendant imperméables, renforcement des structures et reprofilage.
- Urgence : flexibilité et souplesse de fabrication et d'application.
- Equipement d'application réduit et des voies livrées immédiatement à la circulation

e. Cout

- Energie : production, stockage et manipulation à température ambiante

- Matières premières et transport : application en fines couches = petites quantités de granulats ; recyclage à l'émulsion = réduction du coût de transport et de matière première
- Mise en place : équipement peu coûteux
- Stockage : les enrobés à l'émulsion se stockent facilement et sont employés convenablement sans perte ni saleté.

**CHAPITRE II - TECHNIQUES A
L'EMULSION**

CHAPITRE II - TECHNIQUES A L'EMULSION

II.1 TYPES DE DEGRADATIONS DES CHAUSSEES

Pour effectuer un entretien en bonne et due forme il est important de bien connaître la nature des dégradations et leur origine. Pour cela on va voir la classification de types de dégradations par nature.

Les définitions simplifiées suivantes sont celles établies par le document publié par le LCPC sous le N° 502 376 Dépôt légal 1 er trimestre 1998 « catalogue des dégradations de surface des chaussées »

II.1.1 FLACHES

Affaissement hors rive (ou flache) Enfoncement ponctuel, prononcé, localisé à gauche ou dans la bande de roulement de rive. L'affaissement hors rive prend le nom de "flache" lorsqu'il a une forme circulaire.



Figure 3 Flache. [3]

II.1.2 ORNIERAGE

Déformation permanente longitudinale qui se crée sous le passage des roues. Elle peut concerner l'une ou les deux bandes de roulement



Figure 4 Orniéage [3]

II.1.3 AFFAISSEMENT DE RIVE

Enfoncement prononcé localisé à la partie de la chaussée comprise entre le bord et la bande de roulement de rive



Figure 5 Affaissement de Rive [3]

II.1.4 NID DE POULE

Cavité circulaire créée à la surface de la chaussée par départ de matériaux.



Figure 6 Nid de Poule [3]

II.1.5 PELADE

Arrachement de la couche de roulement par plaque



Figure 07 Pelade [3]

II.1.6 PLUMAGE

Arrachement des gravillons du revêtement



Figure 08 Plumage [3]

II.1.7 RESSUAGE

Remontée du liant à la surface de la chaussée recouvrant tout ou partie des granulats



Figure 09 Ressuage [3]

II.1.8 GLACAGE

Aspect lisse et brillant de la surface de la couche de roulement résultant de l'usure des gravillons



Figure 10 Glaçage [3]

II.1.9 FISSURE LONGITUDINALE

Fissure sensiblement parallèle à l'axe de la chaussée apparaissant exclusivement dans une bande de roulement



Figure 11 Fissure longitudinale [3]

II.1.10 FISSURE TRANSVERSALE

Fissure sensiblement perpendiculaire à l'axe de la chaussée isolée ou périodique d'espacement variable, intéressant tout ou partie de la largeur de la chaussée



Figure 12 Fissure transversale [3]

II.1.11 FAIENCAGE

Ensemble de fissures entrelacées ou maillées soit à mailles fines (inférieures à 30 cm) soit à mailles larges (supérieures à 30 cm) formant une série de polygones non limités aux bandes de roulement



Figure 13 Faiencage [3]

II.1.12 JOINTS DEFECTUEUX

Départ de gravillons au raccordement longitudinal de deux bandes de mise en œuvre d'enduits superficiels ou d'enrobés.



Figure 14 Joint défectueux [3]

II.2 SOLUTIONS TECHNIQUES

Pour permettre à la remédiation aux dégradations suscitées on doit chercher des solutions techniques fiables adéquates et moins couteuse, il faut recourir donc aux techniques à l'émulsion. En ce chapitre on parlera de quatre techniques ; l'émulsion d'accrochage, l'émulsion de l'imprégnation, l'émulsion de l'enduit superficiel et l'émulsion de l'enrobé à froid stockable.

II.2.1 COUCHE D'ACCROCHAGE

Une chaussée est composée de couches de matériaux liés bitumineux ou traités aux liants hydrauliques et ou matériaux non traités. Le choix de ces matériaux et leur épaisseur résultent d'une étude de dimensionnement, des constituants disponibles et des conditions économiques locales dans ce contexte, il est indispensable que, non seulement chaque couche présente durablement un certain niveau de performances, mais également l'ensemble de la structure.

La connaissance du fonctionnement des couches constitutives d'une chaussée, étayée par de nombreuses constatations, montre que les conditions régnant aux interfaces sont de la plus haute importance. Le plus souvent et si l'un au moins des matériaux est un enrobé, le dimensionnement optimal de la chaussée implique un collage effectif et pérenne des couches entre elles. La réalisation de cet objectif dépend directement de la qualité des couches d'accrochage.

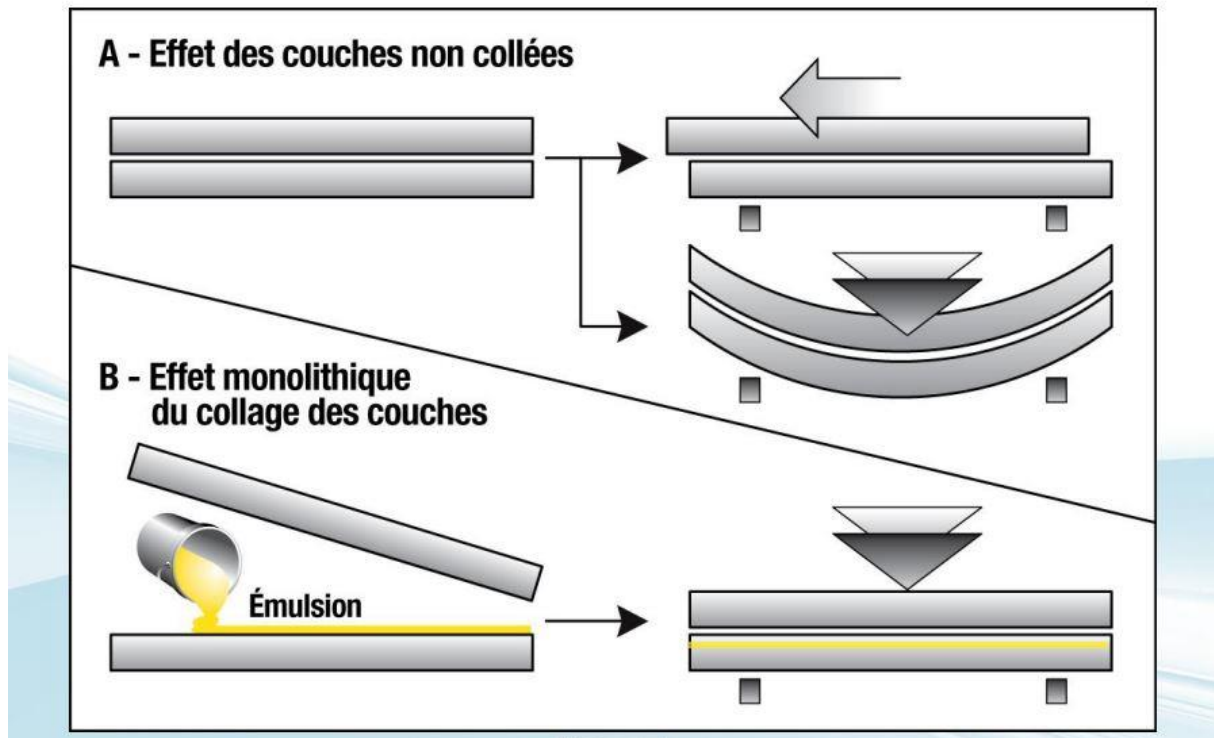


Figure 15 mécanismes de transmission des efforts à l'ensemble de la structure de la chaussée [4]

Une structure de chaussée est dimensionnée en fonction d'un certain nombre de paramètres (trafic, portance du support, nature des matériaux,...) et de telle manière que chaque couche constitutive ne soit pas sollicitée au-delà de ses capacités intrinsèques.

La contrainte appliquée à chaque passage de véhicule lourd provoque une déformation de la structure. Déformations et contraintes correspondantes se transmettent dans les différentes couches en fonction de leurs caractéristiques et de leurs liaisons. L'accumulation des contraintes risque de se traduire par une déformation permanente des matériaux non traités et par une fatigue des matériaux traités pouvant aller jusqu'à leur rupture.

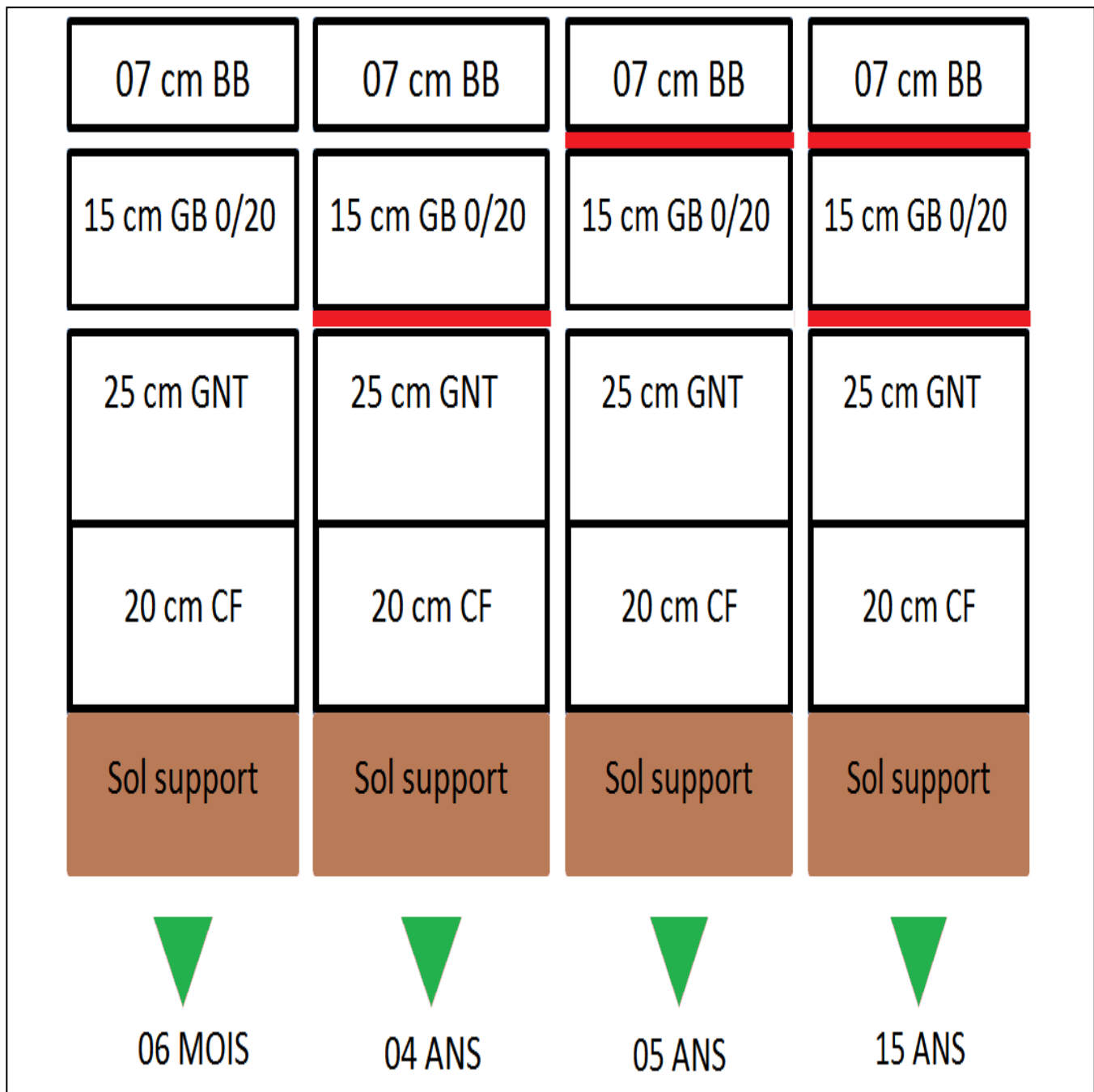


Figure 16 Durées de vie des structures de chaussée

Lorsque les couches sont collées, la structure constitue un ensemble monolithique. Chaque couche ne se déforme pas uniquement en fonction de ses caractéristiques (module, capacité de déformation, épaisseur,), mais également en fonction de celles des couches auxquelles elle est collée.

Au contraire lorsqu'il n'y a pas de collage, chaque couche travaille de façon indépendante en fonction de ses propriétés particulières. Dans cette hypothèse, les déformations et les contraintes aux interfaces sont sensiblement plus importantes que lorsque

les couches sont collées. Le processus de déformation ou de fatigue des couches sera plus rapide et la durée de vie de la structure moins longue.

De plus il ya risque de glissement des couches les unes sur les autres sous l'action des sollicitations liées au trafic. Le non collage des couches a donc pour résultat d'obliger, soit à accepter une structure moins durable, soit à consentir une dépense d'entretien supplémentaire non prévue à l'origine.

En effet l'apparition de désordres liés à un mauvais collage conduira à la nécessité d'un entretien coûteux, car il faudra appliquer une couche de renforcement ou enlever par fraisage les couches mal collées et les remplacer. On mesure donc toute l'importance technique et économique du collage des interfaces.



Figure 17 Mise en œuvre de la couche d'accrochage [5]

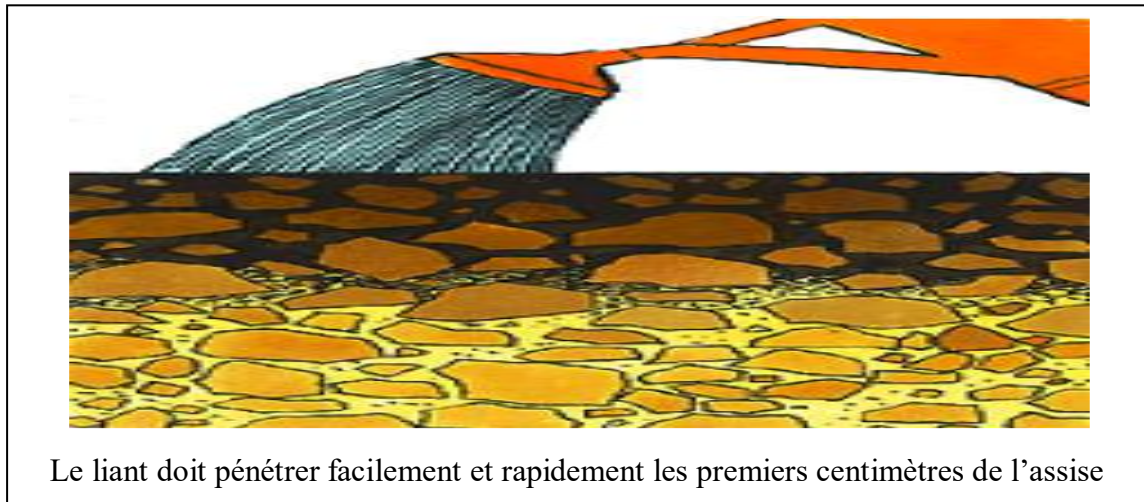
II.2.2 COUCHE D'IMPREGNATION

L'imprégnation consiste à introduire un liant hydrocarboné dans une assise de chaussée non traitée et préalablement compactée. Il s'agit de permettre au liant de pénétrer à travers tous les éléments fins de la surface, afin de stabiliser et de rendre hydrophobe la partie supérieure de l'assise et ce, sur une épaisseur de plusieurs millimètres. Cette technique est basée sur des phénomènes de capillarité ; il ne faut donc pas la confondre avec la pénétration, qui consiste à introduire un liant dans une ou des couches de pierres cassées.

L'assise que l'on a imprégnée n'est pas destinée à rester en l'état. Elle sera le plus souvent revêtue d'un enduit superficiel ou d'une couche d'enrobé. L'imprégnation a donc pour objet de :

- Stabiliser les éléments superficiels de l'assise compactée
- Renforcer la cohésion déjà existante

- Etablir un barrage contre les remontées capillaires d'eau risquant ultérieurement de provoquer le décollement de l'enduit qui sera obligatoirement réalisé.
- Donner une chaussée bien préparée pour le bon accrochage du revêtement
- Permettre éventuellement pour des raisons techniques imprévues l'exécution retardée du revêtement.



Le liant doit pénétrer facilement et rapidement les premiers centimètres de l'assise

Figure 18 Matériau fermé [6]



Figure 19 Mise en œuvre de la couche d'imprégnation [7]

II.2.3 ENDUIT SUPERFICIEL

Cette technique consiste à épandre sur une chaussée une ou plusieurs couches de liant, chacune étant suivie d'un gravillonnage ou parfois de deux ou trois ; on distingue donc monocouche, bicouche, tri couche, monocouche double gravillonnage, monocouche et bicouche pré gravillonnés ; chaque couche à une épaisseur voisine de la dimension la plus faible du granulat. Les enduits superficiels présentent en certain nombre d'avantages qui en

font une technique largement utilisée en entretien ou en couche de roulement de routes à faible trafic. Parmi ces avantages, on peut citer :

- Le cout économique réduit,
- L'amélioration de la rugosité,
- La diminution sensible des projections d'eau à grande vitesse
- L'amélioration de l'étanchéité de surface.

L'émulsion de bitume à 65% ou mieux à 69% de liant convient particulièrement bien à l'exécution des couches d'entretien superficiel en enduits monocouche. Les enduits bicouches ou tri couches sont utilisés préférentiellement en couche de roulement de chaussées neuves à faible trafic. L'émulsion de bitume-élastomère à forte teneur en bitume s'est développée avec succès pour l'exécution des enduits sur les chaussées très circulées.

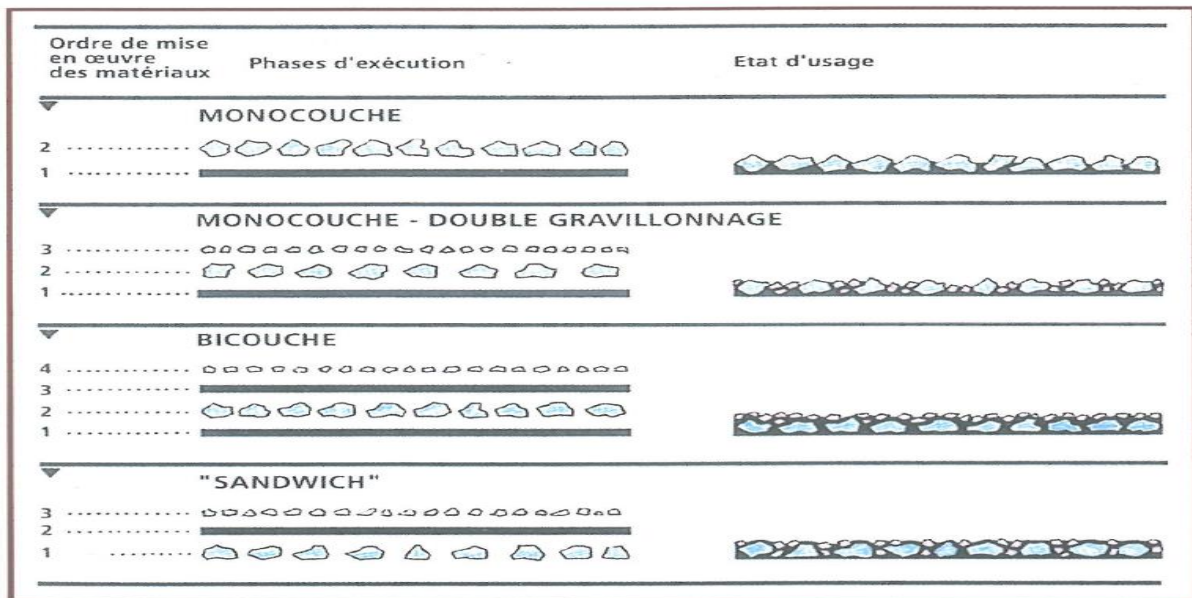


Figure 20 Types d'enduits superficiels [8]



Figure 21 Mise en œuvre de l'enduit superficiel [9]

II.2.4 ENROBES SOCKABLES A L'EMULSION

Ces enrobés sont soit ouverts (teneur en vides supérieur à 18%) de granularité 2/4, 2/6 ou 4/6 soit semi-denses (teneur en vides comprise entre 10 et 15%), de granularité 0/4, 0/6 ou 0/10. Ils contiennent souvent un mélange de sable roulé et de sable concassé. L'émulsion de bitume employée contient une proportion non négligeable d'huile de fluxage, dont le dosage est fonction de la saison d'emploi et de la stockabilité recherchée. Ces enrobés sont fabriqués dans des centrales à froid. Ils sont stockés en vrac ou conditionnés en sacs ou en sceaux ; dans ce dernier cas la stockabilité est très longue. Ils sont utilisés en entretien curatif ponctuel : bouchage de nid de poule, comblement d'affaissement de rive, de flache, d'ornière et également pour des usages spécifiques : rebouchage de tranchées, terrain de sport, aires des jeux peut se faire dès que l'évaporation des solvants est terminée.

Du fait de la présence de fluxant ou de solvant, les performances mécaniques sont très évolutives et les risques de fluage et de plumage au jeune âge sont importants. Il convient donc d'éviter les sections à fort trafic et à fortes contraintes de cisaillement.



Figure 22 Stockage et pose de l'enrobé à froid à l'émulsion [10]



Figure 23 Mise en œuvre et compactage mécanique de l'enrobé à froid à l'émulsion [10]



Pose et compactage manuel de l'enrobé à froid

Figure 24 Mise en œuvre et compactage manuel de l'enrobé à froid à l'émulsion [10]

**CHAPITRE III - METHODES DE
FABRICATION DES EMULSIONS
AU LABORATOIRE**

CHAPITRE III - METHODES DE FABRICATION DES EMULSIONS AU LABORATOIRE

Pour toutes les formulations des émulsions ci-dessous on va utiliser un pilote de laboratoire simplifié Atomix C de marque Emulbitume leader mondial dans la fabrication des unités de production industrielle. Le pilote de laboratoire est une petite machine qui permet la production de petites quantités (500 g à 1000g) d'émulsion afin de tester sa qualité en conditions atmosphériques. Son utilisation conduit à des gains de temps et des économies en matériaux. Le processus théorique de fabrication d'une mulsion de bitume se résume dans le schéma suivant :

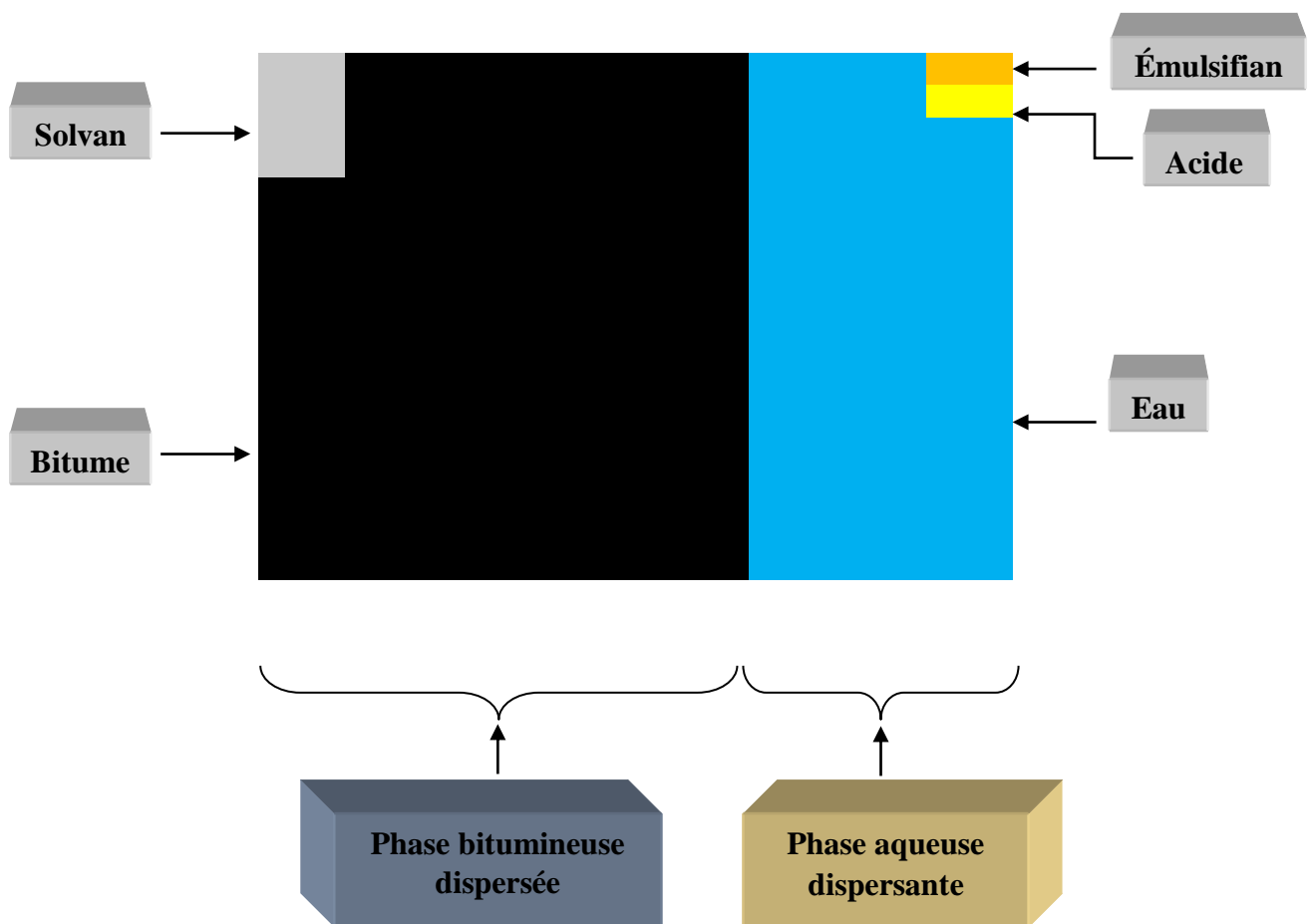


Figure 25 Formulation de l'émulsion

III.1 CONSTITUANTS

- Bitume

Du bitume pur produit par les raffineries à une température convenable

- Fluxants ou solvants

Les Fluxants sont d'origine pétrochimique ou carbochimique, en Algérie on utilise le solvant extrait du pétrole (kérosène).

- Phase aqueuse

Cette phase est composée de

- Eau : qui doit contenir le minimum d'impuretés organiques et minérales
- Emulsifiant : des produits chimiques
- Acide : les émulsifiants ne se dissolvent pas dans l'eau ce qui nécessite l'ajout de l'acide qui transforme l'émulsifiant en sel soluble

III.2 PARAMETRES DE FABRICATION

III.2.1 ENERGIE DE DISPERSION

La dispersion de l'émulsion est provoquée par une énergie mécanique et une énergie physicochimique. L'énergie mécanique divise le bitume en fines particules et la finesse de l'émulsion croît avec la puissance de fractionnement. L'énergie physicochimique apportée par l'émulsifiant doit :

- Abaisser la tension interraciale entre la phase hydrocarbonée et la phase aqueuse pour faciliter l'émulsification
- Créer un film protecteur autour des particules de bitume.

III.2.2 TEMPERATURES ET VISCOSITES DES CONSTITUANTS

Pour que le liant hydrocarboné se disperse bien dans la phase aqueuse il est nécessaire que sa viscosité soit relativement faible. La température de fabrication des émulsions suivent en général une règle empirique pour éviter le phénomène de vaporisation à la sortie de l'émulsion. La somme des températures de la phase aqueuse et de la phase hydrocarbonée n'excède pas 200°C. La température de l'émulsion ne doit pas dépasser la température de vaporisation de l'eau (100 °C). Il existe une règle thermique :

$$T. \text{émulsion}(C^{\circ}) = \frac{TC^{\circ} \text{ bitume} * 0,5 * B + TC^{\circ} \text{ phase aqueuse} * 1 * A}{1 * A + 0,5 * B}$$

Où 0,5 et 1 sont les chaleurs spécifiques du bitume et de l'eau respectivement et A et B sont les teneurs en phase aqueuse et en bitume respectivement. La température d'émulsification est maintenue entre 90-95 °C. L'énergie apportée doit être élevée, mais ne doit pas être trop élevée pour ne pas rendre l'émulsion instable.

III.2.3 DOSAGES DES CONSTITUANTS

Le dosage des constituants doit être d'une grande précision en particulier celui des émulsifiants et de l'acide ; une variation de ces dosages même faible peut avoir des conséquences importantes sur les propriétés de l'émulsion et même sur la possibilité de l'employer.

III.2.4 ESSAIS DE CONTROLE

Parmi les essais et les tests les plus importants de contrôle des émulsions nous avons choisis les essais cités ci-dessous :

- Teneur en eau
- Pseudo viscosité
- Indice de rupture
- Signe de charge de particule
- Détermination du PH
- Adhésivité

Avant d'entamer le chapitre de formulation des émulsions au laboratoire on va aborder brièvement les essais cités ci-dessus.

a. Indice de rupture :

Cet essai est utilisé essentiellement pour les émulsions cationiques. Il consiste à introduire régulièrement et de manière continue des fines siliceuses normalisées dans 100 g d'émulsion. L'indice de rupture LCPC est exprimé par le poids ajouté de fines siliceuses de distribution granulométrique donnée et normalisée en quantité suffisante pour obtenir une agglomération par le bitume de l'émulsion. Il est également très important car il se trouve à la base de la classification des émulsions en fonction de leur vitesse de rupture qui conditionne leur domaine d'emploi.



Figure 26 Appareillage essai indice de rupture

b. Charge de particule :

L'essai consiste à faire passer un courant continu ou redressé à travers une émulsion de bitume placée entre deux électrodes à plaques parallèles. Le dépôt d'une couche de bitume sur l'anode indique une charge négative: L'émulsion est donc anionique. Le dépôt d'une couche de bitume sur la cathode indique une charge positive: L'émulsion est donc cationique. Cet essai peut être un moyen simple et rapide de s'assurer du type d'émulsion dont on dispose.



Figure 27 Instrument de mesure EL-R

c. Pseudo viscosité :

L'émulsion pour être employée correctement, ne doit pas être trop fluide ou trop visqueuse. Le contrôle de viscosité se fait au moyen d'un appareil composé d'un récipient muni d'un orifice calibré. On détermine le temps d'écoulement de l'émulsion au travers de cet orifice. Ce temps d'écoulement permet le calcul de la viscosité de l'émulsion qui s'exprime en degré Engler et que l'on convertit maintenant en centistokes. On peut utiliser aussi un pseudo-viscosimètre identique à celui employé pour les liants visqueux.



Figure 28 Viscosimètre Engler



Figure 29 Viscosimètre STV

d. Teneur en eau :

Il s'agit d'un essai de distillation qui permet de déterminer le pourcentage d'eau que contient l'émulsion. Le dessiccateur sert à la détermination de l'humidité relative des petits échantillons des différents matériaux. Le dessiccateur est conçu aussi pour la détermination du contenu des masses sèches des petits échantillons des différents matériaux et pour les mesures des masses de charges.

Le dessiccateur rend possible la détermination rapide et précise du contenu de l'eau dans l'échantillon examiné. Contrairement aux méthodes conventionnelles de la détermination du contenu de l'humidité dans les différents matériaux, l'application du dessiccateur raccourcit le temps de mesures et les facilite considérablement.



Figure 30 Dessiccateur

e. Adhésivité :

Après rupture de l'émulsion le liant résiduel doit avoir une bonne adhésivité vis-à-vis des granulats. Il convient de préciser que les émulsions cationiques outre leur rupture plus rapide donnent des meilleurs résultats à cet égard.

En ce travail on s'intéresse à l'adhésivité immédiate qui est l'aptitude du liant issu d'une émulsion à résister à l'action de l'eau juste après l'enrobage du granulat.

L'émulsion de bitume est mélangée soigneusement au granulat sélectionné dans des conditions spécifiées, le mélange enrobé est immédiatement lavé sous l'eau courante et le pourcentage de surface de granulat couverte par le liant est évalué visuellement dans des conditions spécifiées.

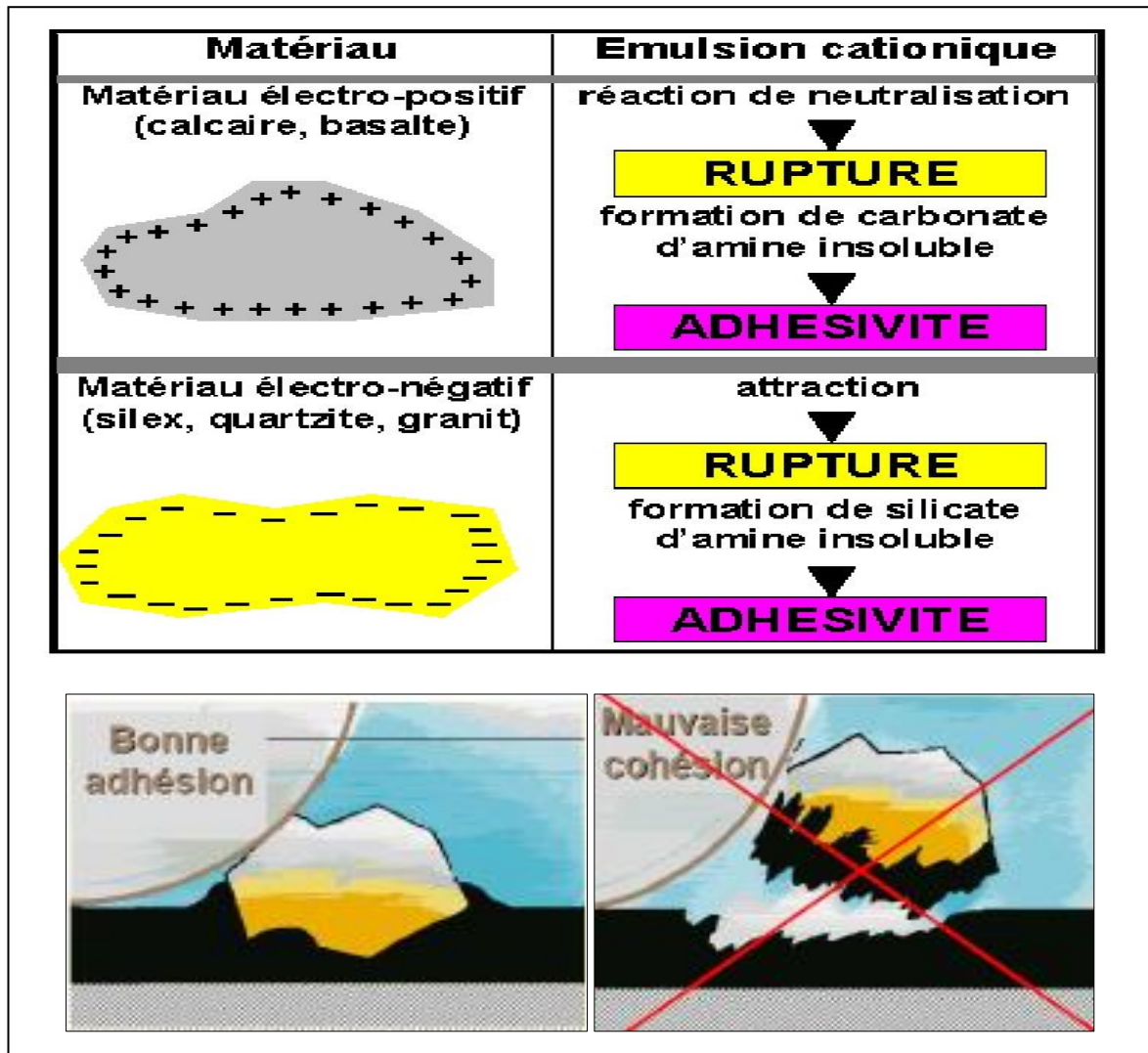


Figure 31 Adhésivité liant – granulat [11]

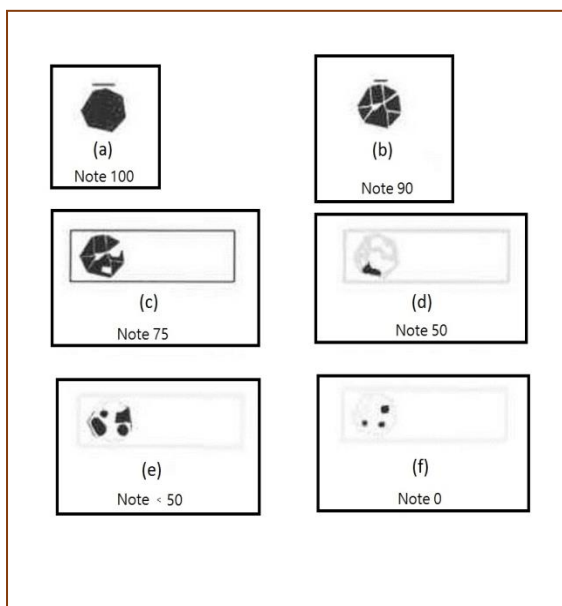


Figure 32 Evaluation visuelle de l'adhésivité immédiate [12]

Evaluation visuelle de l'adhésivité immédiate d'après NF EN 13614

f. Détermination du PH :

Un PH mètre et une électrode étalonnée en utilisant des solutions tampons étalons. Le PH de la solution d'essai est ensuite déterminé. Agiter légèrement l'émulsion à tester et verser une quantité suffisante dans un bécher en verre de 250 ml. Si nécessaire, refroidir l'échantillon d'essai d'émulsion et ajuster sa température à 25 °C. Rincer l'électrode avec de l'eau et l'immerger dans l'échantillon d'essai d'émulsion sur la profondeur minimale recommandée. Relever le PH lorsqu'il devient constant.



Figure 33 PH-mètre

III.3 RECEPTION DE MATIERES PREMIERES AU LABORATOIRE

- **Bitume** : le bitume utilisé au laboratoire issu du centre de bitume appartenant à la société souf bitumes et huiles sise à la zone d'activités de la commune de Hassi khalifa Wilaya d'El-oued. La classe de bitume correspond à un bitume pur 40/50 ; c'est produit est d'origine d'importation. Les caractéristiques de ces bitumes sont :

Tableau 01 caractéristiques du bitume pur 40/50

Caractéristiques	Unité	Résultats
Pénétrabilité à l'aiguille à 25° c	1/10 mm	45
Point de ramollissement	°C	52
Point d'éclair (appareil Cleveland), minimum	°C	245
Ductilité à 25°C	Cm	90
Densité relative à 25°C (au pycnomètre)	/	1.04
Solubilité dans le tétrachloroéthylène (c2cl4)	%	99
Teneur en paraffine, maximum	%	4.5

- **Solvant** : le solvant (kérosène) utilisé au laboratoire issu du centre de bitume appartenant à la société souf bitumes et huiles sise à la zone d'activités de la commune de Hassi khalifa Wilaya d'El-oued. c'est produit est d'origine production nationale. Les caractéristiques de ce solvant sont :

Tableau 02 caractéristiques du kérosène

Aspect	Liquide
Odeur	Hydrocarbures
Masse moléculaire	170
Densité à 20 °C	0,81 g/cm ³
Densité à 15 °C	0,79 -0,82 g/cm ³
Solubilité dans l'eau	< 0,02 g/l
Point de fusion	-48 à -26 °C
Point d'ébullition	175 à 325 °C
Point éclair	38 à 72 °C
Température d'auto-inflammabilité	210 °C
PH	/

- **Acide** : l'acide chlorhydrique (HCL 33°) utilisé au laboratoire issu du centre de bitume appartenant à la société souf bitumes et huiles sise à la zone d'activités de la commune de Hassi khalifa Wilaya d'El-oued. c'est produit est d'origine production nationale.

Tableau 03 caractéristiques de l'acide chlorhydrique (HCL 33°)

Aspect	Liquide
Odeur	Piquant
Masse moléculaire	36.40
Densité relative	1.17
Solubilité dans l'eau	Miscible en toutes proportions ppm
Point de fusion	-39 °C
Point d'ébullition	78 °C
Point éclair	/
Température d'auto-inflammabilité	/
PH	< 1

- **Emulsifiant** : l'émulsifiant utilisé au laboratoire est un INDULIN AA83 issu du centre de bitume appartenant à la société souf bitumes et huiles sise à la zone d'activités de la commune de Hassi khalifa Wilaya d'El-oued. Il est à l'état liquide à température ambiante. C'est produit est d'origine d'importation. Les caractéristiques de ce produit sont :

Tableau 04 caractéristiques de l'émulsifiant Indulin AA83

Aspect	Liquide
Point d'écoulement (°C)	0-5
Densité	0.90
Point éclair (°C)	>163
PH (5% en vol dans H2O)	9-11

Tableau 04 caractéristiques de l'émulsifiant Indulin AA83

- **Eau** : l'eau destinée à utiliser dans la formulation est de provenance de réseau public.



Figure 34 Formulation de l'émulsion au laboratoire



Figure 35 - a Emulsion : Produit fini



Figure 35 - b Emulsion : Produit fini

III.4 FORMULATIONS

III.4.1 COUCHE D'ACCROCHAGE

En Algérie, jusqu'aujourd'hui l'émulsion de bitume représente la quasi-totalité des couches d'accrochage. Elle provienne d'une émulsion à base de bitume pur 40/50, 60/70 ou 80/100. Il est important que l'émulsion d'accrochage soit peu visqueuse car, appliquée à faible dosage elle doit pouvoir se répartir de façon homogène sur la chaussée.

Au laboratoire et en vue d'obtenir une émulsion de bitume 65 %, nous avons choisis la formulation suivante :

1/ phase liant :

- **900 g** de Bitume 40/50
- **100 g** de solvant (kérosène) qui représente un taux de 10% de la masse de bitume ; sachant que la densité moyenne du kérosène est de 0.8 kg/m³ nous allons ajouter une quantité de **125 ml**. l'ajout de cette quantité a pour but de donner un aspect fluide au bitume ce qui augmente la viscosité de la phase liant.

2/ phase aqueuse :

Les essais de laboratoire pour la préparation d'une quantité de 02 litres de la phase aqueuse ont conduits à la définition de la formule d'émulsion suivante :

- **1,991** litre d'eau potable (réseau public)
- **0,10%** de tensioactif (émulsifiant Indulin AA-83) ce pourcentage est calculé par rapport au poids de l'émulsion souhaitée d'où en va utiliser une quantité de 7g.
- **0,03%** de HCL 33° ce pourcentage est calculé par rapport le poids de l'émulsion souhaitée d'où en va utiliser une quantité de 2g
- Quantité suffisante de HCL 33° pour ajuster le PH de la solution aux alentours de **2 à 2,5**.

Après malaxage nous avons abouti à une phase aqueuse avec un PH de 2 qui donne le caractère acide de cette solution.

III.4.2 COUCHE D'IMPREGNATION

En Algérie, jusqu'aujourd'hui l'imprégnation des couches non traitées est réalisée avec les bitumes fluidifiés de classe 0/1 (cut-back 0/1). Ces cut-backs proviennent de la fluidification de bitume pur 40/50, 60/70 ou 80/100 par un solvant (kérosène). Il est important de faire illustrer que l'opération de l'imprégnation peut se réaliser avec l'émulsion qui doit être aussi peu visqueuse car, appliquée à dosage suffisant elle doit pouvoir se répartir de façon homogène sur la surface de support et doit pénétrer en profondeur d'au moins 01 cm.

Au laboratoire et en vue d'obtenir une émulsion de bitume 65 %, nous avons choisis la formulation suivante :

1/ phase liant :

- **900 g** de Bitume 40/50
- **100 g** de solvant (kérosène) qui représente un taux de 10% de la masse de bitume ; sachant que la densité moyenne du kérosène est de 0.8 kg/m³ nous allons ajouter une quantité de **125 ml**. l'ajout de cette quantité a pour but de donner un aspect fluide au bitume ce qui augmente la viscosité de la phase liant.

2/ phase aqueuse :

Les essais de laboratoire pour la préparation d'une quantité de 02 litres de la phase aqueuse ont conduits à la définition de la formule d'émulsion suivante :

- **1,987** litre d'eau potable (réseau public)
- **0,15%** de tensioactif (émulsifiant Indulin AA-83) ce pourcentage est calculé par rapport le poids de l'émulsion souhaitée d'où en va utiliser une quantité de 10,5g.

- **0,03%** de HCL 33° ce pourcentage est calculé par rapport le poids de l'émulsion souhaitée d'où en va utiliser une quantité de 2g
- Quantité suffisante de HCL 33° pour ajuster le PH de la solution aux alentours de **2 à 2,5**.

Après malaxage nous avons abouti à une phase aqueuse avec un PH de 2,2 qui donne le caractère acide de cette solution.

III.4.3 ENDUIT SUPERFICIEL

Actuellement en Algérie la technique des enduits superficiels commence à disparaître en laissant sa place au profit des enrobés (à chaud ou à froid). Nous savons très bien que la réalisation des couches de roulement en enrobés offre beaucoup plus de confort, mais la situation financière du pays n'est pas toujours en mesure de satisfaire les besoins en matière d'entretien ou de réalisation des nouvelles routes. D'où le recours et le retour à l'ancienne technique des enduits superficiels est d'importance technico-économique.

Les enduits superficiels à ces jours sont réalisés avec les bitumes fluidifiés de classe 150/250 ou 400/600 (cut-back 150/250 ou 400/600). Ces cut-backs proviennent de la fluidification de bitume pur 40/50, 60/70 ou 80/100 par un solvant (kérosène). Il est important de faire illustrer que cette technique peut se réaliser avec l'émulsion qui doit être suffisamment visqueuse cette fois ci car, appliquée à dosage suffisant elle doit pouvoir se répartir de façon homogène sur la surface de support et doit garantir le bon mouillage de granulat et du support ainsi qu'une forte cohésion.

Au laboratoire et en vue d'obtenir une émulsion de bitume 65 %, nous avons choisis la formulation suivante :

1/ phase liant :

- **900 g** de Bitume 40/50
- **100 g** de solvant (kérosène) qui représente un taux de 10% de la masse de bitume ; sachant que la densité moyenne du kérosène est de 0.8 kg/m³ nous allons ajouter une quantité de **125 ml**. l'ajout de cette quantité a pour but de donner un aspect fluide au bitume ce qui augmente la viscosité de la phase liant.

2/ phase aqueuse :

Les essais de laboratoire pour la préparation d'une quantité de 02 litres de la phase aqueuse ont conduits à la définition de la formule d'émulsion suivante :

- **1,977** litre d'eau potable (réseau public)
- **0,30%** de tensioactif (émulsifiant Indulin AA-83) ce pourcentage est calculé par rapport le poids de l'émulsion souhaitée d'où en va utiliser une quantité de 21g.
- **0,03%** de HCL 33° ce pourcentage est calculé par rapport le poids de l'émulsion souhaitée d'où en va utiliser une quantité de 2g
- Quantité suffisante de HCL 33° pour ajuster le PH de la solution aux alentours de **2 à 2,5**.

Après malaxage nous avons abouti à une phase aqueuse avec un PH de 2,1 qui donne le caractère acide de cette solution.

III.4.4 ENROBES SOCKABLES A L'EMULSION

Actuellement à notre pays la technique des enrobés stockables à l'émulsion est très limitée pour ne pas dire inexistante. Les timides travaux qui ont été réalisés n'ont pas aboutis aux seuils souhaités car le déroulement des travaux ainsi que la qualité des émulsions produites et les conditions de stockage ont joués un rôle important dans l'échec presque total de tous les travaux d'entretien réalisés par les services des directions des travaux publics à travers le territoire national ; sachant que cette technique est très utilisée dans d'autres pays avec réussite. Dans ce cadre nous allons proposer une émulsion qui répond aux exigences d'enrobage et de l'amélioration de la stockabilité.

Au laboratoire et en vue d'obtenir une émulsion de bitume 65 %, nous avons choisis la formulation suivante :

1/ phase liant :

- **900 g** de Bitume 40/50
- **100 g** de solvant (kérosène) qui représente un taux de 10% de la masse de bitume ; sachant que la densité moyenne du kérosène est de 0.8 kg/m³ nous allons ajouter une quantité de **125 ml**. l'ajout de cette quantité a pour but de donner un aspect fluide au bitume ce qui augmente la viscosité de la phase liant.

2/ phase aqueuse :

Les essais de laboratoire pour la préparation d'une quantité de 02 litres de la phase aqueuse ont conduits à la définition de la formule d'émulsion suivante :

- **1,893** litre d'eau potable (réseau public)

- **1,50%** de tensioactif (émulsifiant Indulin AA-83) ce pourcentage est calculé par rapport le poids de l'émulsion souhaitée d'où en va utiliser une quantité de 105g.
- **0,03%** de HCL 33° ce pourcentage est calculé par rapport le poids de l'émulsion souhaitée d'où en va utiliser une quantité de 2g
- Quantité suffisante de HCL 33° pour ajuster le PH de la solution aux alentours de **2 à 2,5**.

Après malaxage nous avons abouti à une phase aqueuse avec un PH de 2,3 qui donne le caractère acide de cette solution.

**CHAPITRE IV – RESULTATS ET
DISCUSSIONS**

CHAPITRE IV – RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le présent chapitre est consacré aux résultats issus des essais de laboratoire pour les différents types d'émulsion fabriquée ainsi que l'interprétation de ces résultats et leur comparaison avec les spécifications techniques. En fin la réalisation des planches d'essai pour chaque technique pour apprécier leurs comportements et performances.

IV.1 EMULSION COUCHE D'ACCROCHAGE

Au laboratoire nous avons réalisés une série des essais d'identification sur l'émulsion obtenue. Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 05 caractéristiques de l'émulsion d'accrochage

CARACTERISTIQUES	UNITE	NORMES D'ESSAI	RESULTATS	SPECIFICATIONS
TENEUR EN LIANT	%	EN 16849	64.9	63 – 67
TEMPS D'ECOULEMENT 2mm à 40°C	S	EN 12846	58	35 – 80
INDICE DE RUPTURE	g/100g	EN 13075-1	98	70 – 130
PH	/		3.5	≤4
POLARITE	/	EN 1431	+	+
ADHESIVITE	%	EN 13614	/	/

A la première vue nous remarquons que tous les résultats trouvés sont conformes aux spécifications techniques en vigueur. Il est à noter que nous n'avons pas réalisés l'essai de l'adhésivité car il n'a pas de signification pour la couche d'accrochage.

Ces résultats donc confèrent à l'émulsion produite les caractéristiques d'une émulsion cationique à rupture rapide **ECR 65**

Planche d'essai :

En ce qui concerne l'émulsion produite en matière d'accrochage ; il n'était pas réalisé une planche d'essai proprement dite. Nous étions limités à vérifier l'aspect colle de l'émulsion (figure 36).

Il est en résulte aussi que lors de la pose de la couche d'accrochage sur terrain et pour sa réussite il st important de respecter les conditions suivantes :

- Rupture : très rapide ou rapide,
- Viscosité : faible pour couvrir la surface
- Dosage : 300 g/m² de liant résiduel
- Support : propre (sans fines)

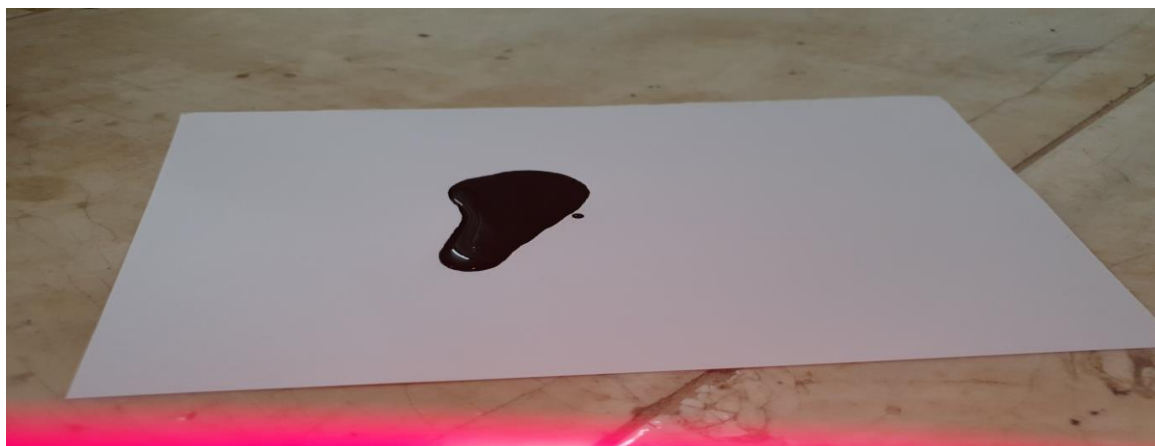


Figure 36 Emulsion d'accrochage – Aspect colle

IV.2 EMULSION COUCHE D'IMPREGNATION

Au laboratoire nous avons réalisés une série des essais d'identification sur l'émulsion obtenue. Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 06 caractéristiques de l'émulsion de l'imprégnation

CARACTERISTIQUES	UNITE	NORMES D'ESSAI	RESULTATS	SPECIFICATIONS
TENEUR EN LIANT	%	EN 16849	64.7	63 – 67
TEMPS D'ECOULEMENT 2mm à 40°C	S	EN 12846	49	35 – 80
INDICE DE RUPTURE	g/100g	EN 13075-1	112	70 – 130
PH	/		3	≤4
POLARITE	/	EN 1431	+	+
ADHESIVITE	%	EN 13614	/	/

A la première vue nous remarquons que tous les résultats trouvés sont conformes aux spécifications techniques souhaitées. La viscosité de cette émulsion est inférieure à celle de l'émulsion d'accrochage tandis que son indice de rupture est supérieur à celui de l'émulsion d'accrochage, car on cherche une émulsion qui pénètre rapidement dans le sol et qui rompre lentement à fin de permettre une pénétration profonde à la plate forme. Il est à noter que nous n'avons pas réalisés l'essai de l'adhésivité car il n'a pas de signification pour la couche d'imprégnation.

Ces résultats confèrent à l'émulsion produite les caractéristiques d'une émulsion cationique à rupture rapide **ECR 65**

Planche d'essai :

Sur terrain il a été réalisé une planche d'essai d'imprégnation d'une couche de base en sable gypseux de bonne qualité et bien compacté, nous avons réalisés les travaux comme suit :

- Nettoyage du support avec une balayette,
- Appliquer un film d'émulsion à raison de 1.2Kg/m²,

Lors de l'épandage de l'émulsion nous avons remarqués :

- Une émulsion très stable (pas de rupture en surface)
- Une émulsion très peu visqueuse

- Une émulsion à granulométrie fine.

Après 24 heures de sa réalisation nous avons constatés que la couche de base en sable gypseux est stabilisée et bien fermée.

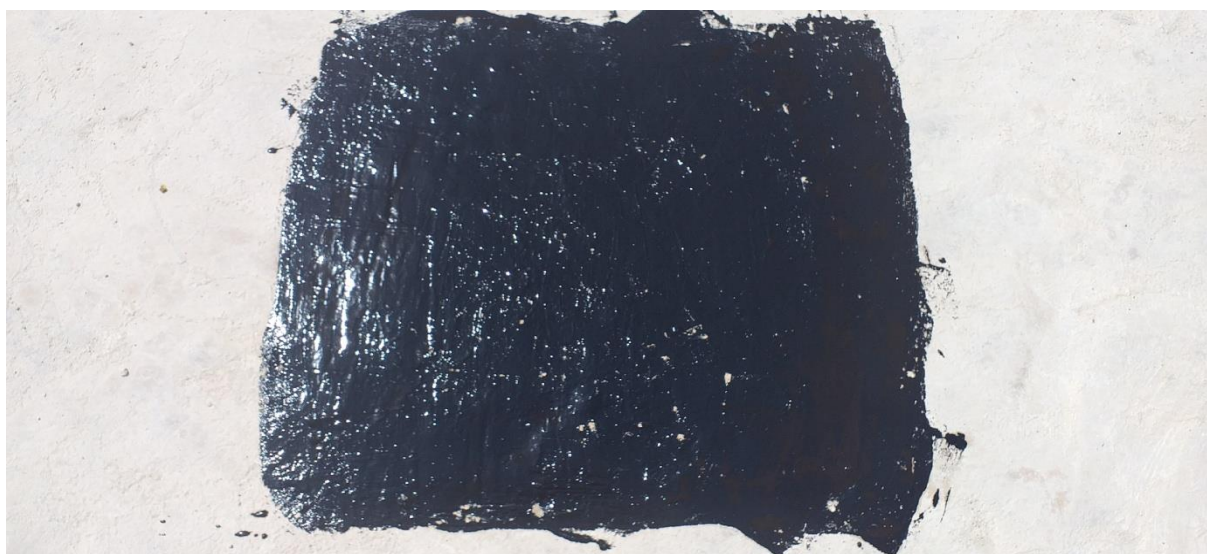


Figure 37 Planche d'essai de l'imprégnation avec l'émulsion

IV.3 EMULSION D'ENDUIT SUPERFICIEL

Au laboratoire nous avons réalisés une série des essais d'identification sur l'émulsion obtenue. Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 07 caractéristiques de l'émulsion de l'enduit superficiel

CARACTERISTIQUES	UNITE	NORMES D'ESSAI	RESULTATS	SPECIFICATIONS
TENEUR EN LIANT	%	EN 16849	64.8	63 – 67
TEMPS D'ECOULEMENT 2mm à 40°C	S	EN 12846	49	70 – 130
INDICE DE RUPTURE	g/100g	EN 13075-1	128	70 – 130
PH	/		3	≤4
POLARITE	/	EN 1431	+	+
ADHESIVITE	%	EN 13614	90	≥75%

Nous remarquons que tous les résultats consignés dans le tableau ci dessus sont conformes aux spécifications techniques demandées. La viscosité de cette émulsion est identique à celle de l'émulsion d'imprégnation tandis que son indice de rupture est supérieur à celui de l'émulsion d'imprégnation, car on cherche une émulsion qui s'étalent rapidement sur la plate forme et qui rompre lentement à fin de permettre une bonne adhésion liant-granulat.

Ces résultats confèrent à l'émulsion produite les caractéristiques d'une émulsion cationique à rupture rapide **ECR 65**

Planche d'essai :

Sur site il était réalisé une planche d'essai en enduit superficiel mono couche LG 8/15. Le granulat choisi pour l'enduisage était propre et de bonne qualité, d'une classe granulaire 8/15. Les dosages en liant et en granulat sont respectivement 1.5Kg/m² et 15 L/ m². Sur site nous avons réalisés les travaux comme suit :

- Nettoyage du support avec une balayette,
- Appliquer un film d'émulsion à raison de 1.5Kg/m²,
- Appliquer une couche de granulat 8/15 à raison de 15 L/ m²,
- Compacter manuellement et avec un les roues d'un véhicule.

Après 24 heures de sa réalisation nous avons constatés :

- ✓ Bonne étanchéité assurée par le liant
- ✓ Bonne Rugosité et drainabilité assurée par le granulat

✓ Bonne adhérence du liant au support et aux granulats



Figure 38 Planche d'essai en enduit superficiel en enduit superficiel avec l'émulsion

IV.4 EMULSION D'ENROBE A FROID

Au laboratoire nous avons réalisés une série des essais d'identification sur l'émulsion obtenue. Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 08 caractéristiques de l'émulsion de l'enrobé à froid

CARACTERISTIQUES	UNITE	NORMES D'ESSAI	RESULTATS	SPECIFICATIONS
TENEUR EN LIANT	%	EN 16849	64.9	63 – 67
TEMPS D'ECOULEMENT 2mm à 40°C	S	EN 12846	44	15 – 45
INDICE DE RUPTURE	g/100g	EN 13075-1	239	≥220
PH	/		3	≤4
POLARITE	/	EN 1431	+	+
ADHESIVITE	%	EN 13614	90	≥75%

Nous remarquons que tous les résultats consignés dans le tableau ci dessus sont conformes aux spécifications techniques souhaitées. La viscosité de cette émulsion est au voisinage de celle de l'émulsion d'enduit superficiel tandis que son indice de rupture est largement supérieur à celui de l'émulsion d'enduit superficiel, car on cherche une émulsion qui s'enrobe rapidement et qui rompre lentement à fin de permettre un bon enrobage et la bonne adhésion liant-granulat.

Ces résultats confèrent à l'émulsion produite les caractéristiques d'une émulsion cationique à rupture lente **ECL 65**

Planche d'essai :

Au laboratoire nous avons procédé à la fabrication d'un enrobé à froid stockable à l'émulsion produite auparavant. Le granulat choisi pour l'enrobage était propre et de bonne qualité, d'une classe 2/16 avec un dosage en liant de 06 %. Sur site nous avons réalisés les travaux comme suit :

- Epaisseur d'application de 5 à 8 cm
- Nettoyage du fond du nid de poule avec une balayette,
- Si sa profondeur est supérieure à 8 cm, placer de Tuff au fond du trou et damer,
- Option : appliquer un léger film d'émulsion au fond du trou (ou sur le Tuff compacté),
- Remplir le nid de poule avec une quantité suffisante d'enrobé (former un dôme)

- Compacter manuellement ou avec un outil vibrant
- Appliquer du sable en surface de l'enrobé avant ouverture au trafic pour éviter le collage aux pneus.

Après 24 heures de sa réalisation nous avons constatés la montée de cohésion du mélange (granulat – émulsion) est appréciable et accélère rapidement.



Figure 39 Planche d'essai enrobé à froid stockable avec l'émulsion

Tous les résultats des essais de laboratoires consignés dans les tableaux ci-dessus sont conformes avec les normes exigées et indiquent que le facteur le plus sensible à la variation des dosages de l'émulsifiant est celui de l'indice de rupture c'est pour cela que la classification des émulsions base sur cet indice.

Les planches d'essais réalisées ont été mises en œuvre avec succès et confirment la réussite des formulations de laboratoire.

IV.5 COMPARAISON DES COUTS DE L'EMULSION ET DES CUT-BACKS

La comparaison économique des couts d'utilisation de deux techniques doit prendre en compte le cout de la mise en œuvre, le cout d'énergie, le cout de transport et stockage, le cout des dosages et le cout d'achat. Pour simplifier la comparaison on va aborder les deux cotés prix d'achat et énergie uniquement.

IV.5.1 COUT D'ACHAT

Les prix de référence de comparaison sont les prix de NAFTAL pour le mois de Juin 2020.

Tableau 09-a comparaison des prix cut-back / émulsion

Désignation	Prix unitaire de la Tonne en DA (HT)
Cut back 0/1	59182,00
Emulsion Repandage 65%	53020,05
Différence	6161,95

Tableau 09-b comparaison des prix cut-back / émulsion

Désignation	Prix unitaire de la Tonne en DA (HT)
Cut back 400/600	67593,40
Emulsion Enrobage 65%	47809,63
Différence	19783,77

La consommation annuelle minimale en cut-backs en Algérie est de 400 000,00 T, si on les substitue par l'émulsion on aura un gain moyen d'environ **5 189 000 000,00 DA/an** ; chiffre énorme qui peut réaliser presque 25 lycées.

IV.5.2 COUT D'ENERGIE

L'utilisation de Cut Back implique un cout énergétique élevé car ça nécessite une énergie de 16700 KJ/litre tandis que l'utilisation de l'émulsion demande une énergie de 1151 KJ/litre. D'où nous avons un gain de 15549 KJ/ litre, compte tenue de la quantité annuelle employée dans les routes de notre pays on parle d'un gain de 6219.60×10^9 KJ c'est l'équivalent de 1,7276666667 TeraWatt.h. Sachant que le prix de K.Watt.h est de 4,179 DA (prix de référence SONELGAZ pour les industriels) le gain énergétique sera aux alentours de **7 219 919 000,00 DA/an** chiffre imaginaire qui peut réaliser presque 35 lycées ou deux hôpitaux universitaires sans compter le gain en matière de stockage, transport et mise en œuvre.

Une simple comparaison économique montre comment le trésor publics peut bénéficier par an un montant de **12 408 919 000,00 DA** (équivalent à 100 millions de dollar) en adoptant la technique à l'émulsion.

CONCLUSION GENERALE

Suite aux considérations citées dans les chapitres précédents de la présente mémoire nous pouvons avoir une idée sur les points essentiels suivants :

- La technique à l'émulsion est utilisée actuellement à grand échelle à travers le monde car l'émulsion est un produit très intéressant pour le remplacement des bitumes classiques et des cut-backs.
- La technique à froid à l'émulsion est très économique, parfaitement adaptée à la politique de développement durable, en Algérie tous les projets routiers que se soient travaux neufs, modernisation, renforcement, réhabilitation ou entretien sont financés par l'état et le bitume routier est importé presque à 100% ce qui implique de lourdes charges sur le dos du trésor public et l'utilisation de l'émulsion permet un soulagement de la situation financière du pays.
- L'émulsion est moins sensible aux conditions climatiques, elle est applicable en toute période de l'année.
- La technique à froid de l'émulsion permet une économie importante en matériaux car elle permet la régénération de liant et le recyclage presque à 100% des agrégats.
- La technique à froid de l'émulsion contribue à la réduction des effets de réchauffement climatique en diminuant la consommation des énergies et en limitant des émissions de gaz à effet de serre.
- La technique à l'émulsion améliore les conditions de travail et de santé car l'utilisation de l'émulsion permet d'éviter les émissions de fumée et la vapeur toxique de bitume. Son application se fait en toute sécurité elle est ininflammable c'est que évite le risque d'explosion.

Par ailleurs les connaisseurs et les techniciens du domaine routier doivent développer les sujets importants suivants :

- L'instauration et l'intégration de la culture émulsion chez toutes les administrations et les maîtres de l'ouvrage ainsi que les entreprises de réalisation.
- L'obligation de formuler une émulsion adaptée au type de granulat, à l'état du support et aux dosages.

- Les laboratoires de contrôle doivent être équipés en matériel d'essais nécessaire afin de maîtriser la qualité du produit.
- La réalisation, le suivi et l'observation des sections expérimentales avec toutes les techniques à l'émulsion existantes (enduits superficiels, enrobés coulés à froid, enrobés à l'émulsion, béton bitumineux à l'émulsion, graves émulsion, couche d'accrochage, pénétration, imprégnation, couche de cure et jointoiement de pavage) pour tirer des conclusions et élaborer les recommandations d'utilisation.
- Le lancement des sujets de recherche dans le domaine d'émulsion en matière des émulsifiants les plus adaptés du point de vue qualité et dosages, en matière de bitume de base et ses composants, en matière d'énergie et de température de dispersion, en matière d'aditifs, en matière de couleur et en matière de mise en œuvre.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Guide pratique de construction routière, édition n°573, mars 1981
- [2] https://www.colas.com/fichiers/fckeditor/File/pdf/mesure_essai/08-colas.pdf
- [3] http://www.cotita.fr/IMG/pdf/Typologies_de_degradation_de_chaussees.pdf
- [4] <https://www.google.com/search?source=univ&tbn=isch&q=PHOTOS+COUCHE+D%27ACCROCHAGE&sa=X&ved=2ahUKEwiav4jV6azrAhVHOhoKHUuSC7MQsAR6BAgKEAE&biw=1600&bih=767#imgrc=H9TQ4efEQ4VqdM>
- [5] <https://www.google.com/search?source=univ&tbn=isch&q=PHOTOS+COUCHE+D%27ACCROCHAGE&sa=X&ved=2ahUKEwiav4jV6azrAhVHOhoKHUuSC7MQsAR6BAgKEAE&biw=1600&bih=767#imgrc=H9TQ4efEQ4VqdM>
- [6] <https://www.google.com/search?q=image%20mise%20en%20oeuvre%20enduit%20superficiel&tbn=isch&tbs=rimg%3ACWESheLNqzdKYWJssz6gNeo&hl=en&sa=X&ved=0CBsQuIIBahcKEwiYoOfr3r3rAhUAAAAAHQAAAAAQAw&biw=1583&bih=517>
- [7] https://www.google.com/search?source=univ&tbn=isch&q=IMAGES+IMPREGNATION+A+L%27EMULSION&sa=X&ved=2ahUKEwjilLm_8KzrAhWmzIUkHU3KCSMQsAR6BAgKEAE&biw=1600&bih=767
- [8] https://www.google.com/search?q=image+mise+en+oeuvre+enduit+superficiel&tbn=isch&source=iu&ictx=1&fir=EPi6Ntka1hOkxM%252C_S166jvIWefkxM%252C_&vet=1&usg=AI4_kTBExNmNTISLjppic0k-3uCmKCtlw&sa=X&ved=2ahUKEwjYtOnozr3rAhWKGbQKHeycA_4Q9QF6BAgKEAU#imgrc=j_Ns_ppAmafh6M
- [9] <https://www.google.com/search?source=univ&tbn=isch&q=PHOTOS+ENDUIT+SUPERFICIEL&sa=X&ved=2ahUKEwimmPW666zrAhVFOhoKHVkbCrQQsAR6BAgKEAE&biw=1600&bih=767>
- [10] <https://www.google.com/search?source=univ&tbn=isch&q=IMAGES+ENROBE+A+FRROID+STOCKABLE&sa=X&ved=2ahUKEwjho5i77qzrAhVrx4UKHYf9DeUQsAR6BAgKEAE&biw=1600&bih=767>
- [11] <https://www.google.com/search?source=univ&tbn=isch&q=IMAGES+ADHESIVITE&sa=X&ved=2ahUKEwjBsKqe2NHrAhVG1hoKHc7DDwwQsAR6BAgKEAE&biw=1600&bih=767#imgrc=q1PLML6XW9aEIM&imgdii=2UcDqM4d9U2hM>
- [12] Evaluation visuelle de l'adhésivité immédiate d'après NF EN 13614