



25 ANS
BITUME
QUÉBEC

FORMATION
TECHNIQUE
ANNUELLE

5-6 DÉC. 2018
MUSÉE DE LA
CIVILISATION

**AFFINITÉ BITUME-GRANULAT
ADDITIFS ET TECHNIQUES
D'AMÉLIORATION**

Roxana Balba, Ing. M.Ing. / Tony Kucharek, Ing.



CONTENU DE LA PRÉSENTATION

- Sommaire des théories et mécanismes qui caractérisent l'adhésion bitume-granulat
- L'effet de l'eau sur l'adhésion bitume-granulat
- Types d'additifs utilisés pour l'amélioration de l'adhésion
 - Mode de fonctionnement
 - Utilisation des additifs avec les bitumes et les émulsions
- Essais utilisés pour mesurer la susceptibilité au désenrobage
 - Avantages et désavantages
 - Description sommaire de l'essai LC 25-009
- Dommage causé par l'humidité avec différentes spécifications
- Orientation des recherches actuelles

AFFINITÉ - ADHÉSIVITÉ

- Affinité - c'est la tendance des corps à se combiner entre eux.



Courtesy of Akzo Nobel

- Adhésivité — l'aptitude à créer des forces d'interaction entre deux surfaces
 - **active**, qui est l'enrobage des granulats secs ou humides par le bitume ; et
 - **passive**, qui est la capacité d'un liant à résister au désenrobage sous l'action de l'eau



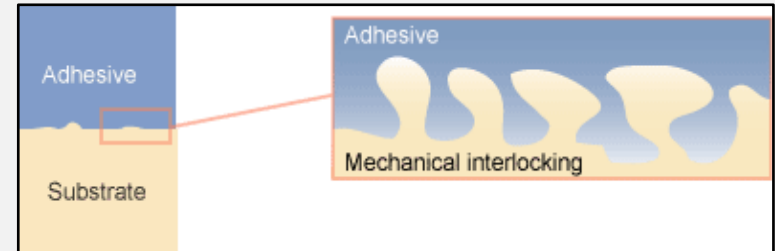
ADHÉSION BITUME-GRANULAT

- L'attribut plus important dans un procédé utilisant le bitume
- Il y'a plusieurs théories afin de caractériser le concept d'adhésion
 - Mécanique
 - Liaison chimique
 - Électrostatique
 - Thermodynamique
- Quand l'eau est introduite dans le procédé, le problème est encore plus complexe



THÉORIE MÉCANIQUE

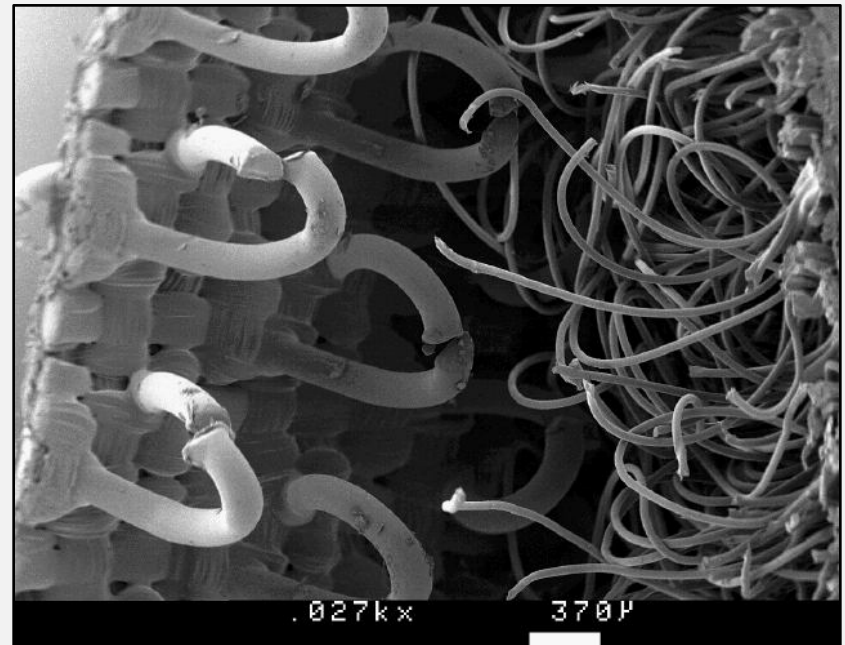
- Prise mécanique du bitume dans les pores, cavités et aspérités de la surface du granulat



- Les principaux paramètres qui influencent l'adhésion sont :
 - Texture de la surface
 - Mouillage des granulats
 - Viscosité du bitume
 - Chimie de surface bitume-granulat

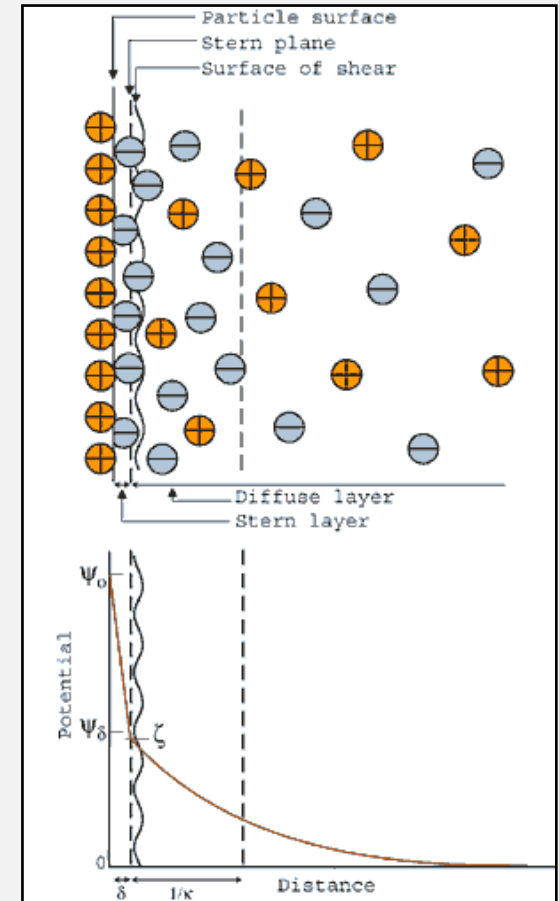
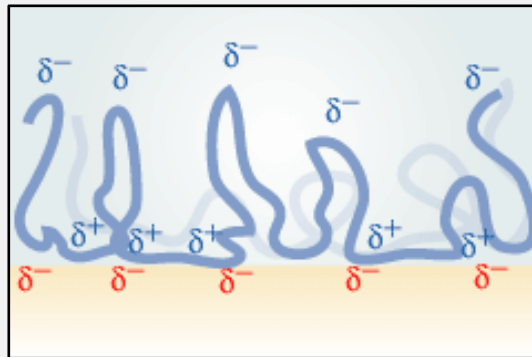


EXEMPLE D'ADHÉSION MÉCANIQUE

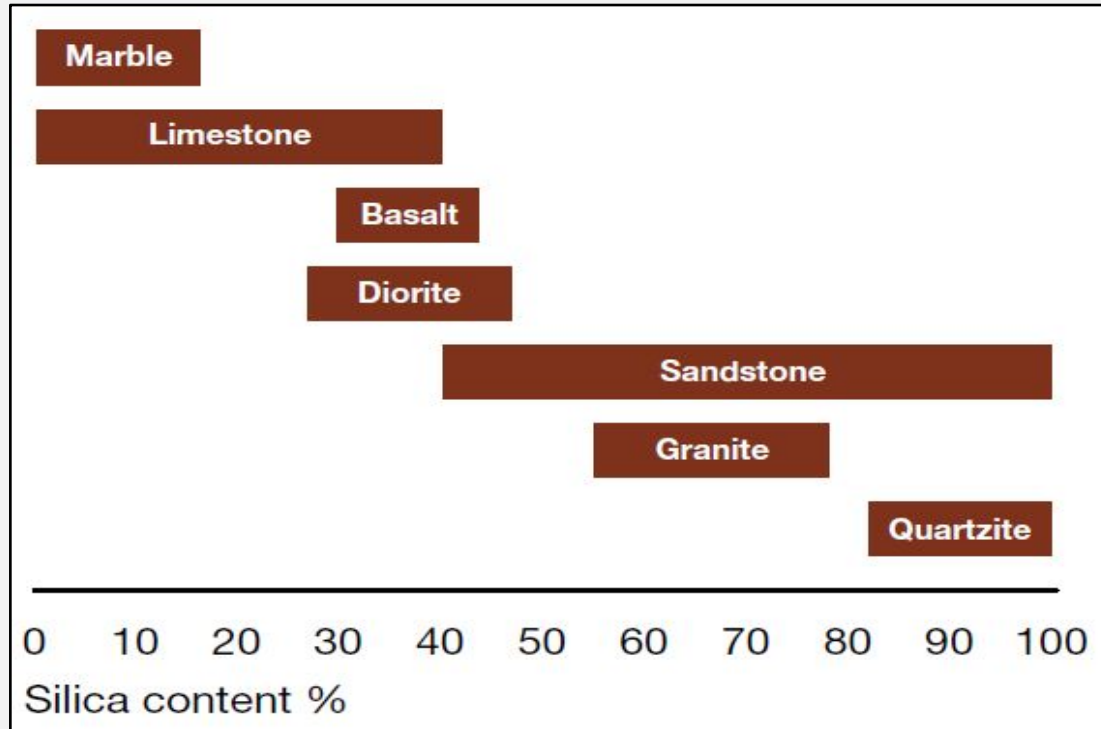


THÉORIE ÉLECTROSTATIQUE

- Explique le concept d'adhésivité comme une interaction électrostatique entre deux surfaces avec charges électriques
- La présence d'eau contribue à la création des charges électriques à la surface des granulats
- L'adhésion est un résultat de l'attraction entre les charges opposées



CHARGES ÉLECTRIQUES DES GRANULATS



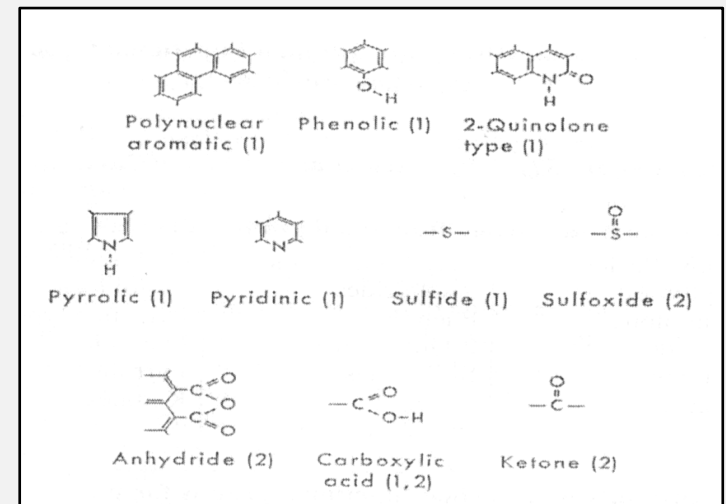
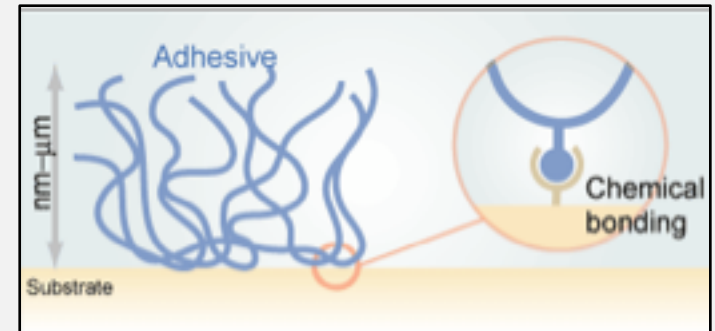
Positive Surface



Negative Surface

THÉORIE DE LA LIAISON CHIMIQUE

- L'adhésion – interaction chimique entre les groupes fonctionnels de bitume et les granulats
- Composés polaires interagissent, en établissant des liaisons chimiques polaires et de coordination
- Groupes non polaires par liaisons de type Van der Waals (liens dispersifs)
- Ce phénomène est toujours associé avec l'absorption des fractions de bitume (composants lourds)

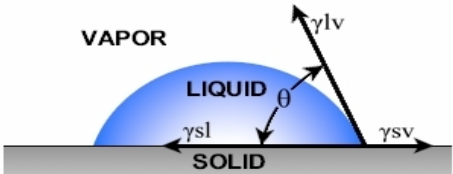


Source: Hefer, Little & Lytton

THÉORIE THERMODYNAMIQUE


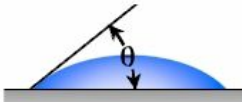
- La théorie prédominante qui explique le concept d'adhésion
- L'adhésion est un résultat des forces intermoléculaires relié à l'énergie libre à la surface
- On peut utiliser la même théorie avec le concept de cohésion interne, fissure et réparation (fusion).
- Les paramètres qui caractérisent l'adhésion sont le mouillage, l'épandage et l'angle de contact

Young's Equation

$$\gamma^{sv} = \gamma^{sl} + \gamma^{lv} \cos\theta$$


θ is the contact angle
 γ^{sl} is the solid/liquid interfacial free energy
 γ^{sv} is the solid surface free energy
 γ^{lv} is the liquid surface free energy

ramé-hart instrument co.

Hydrophobic Surface		Hydrophilic Surface
		
high poor poor low	contact angle adhesiveness wettability solid surface free energy	low good good high

ramé-hart instrument co.

LIAISON BITUME-GRANULAT

- Les quatre théories jouent un rôle dans la description complète du concept de liaison bitume-granulat
- Facteurs qui influencent le désenrobage :
 - Texture de surface des granulats (lisse ou poreuse)
 - Type de granulat
 - Composés polaires provenant du bitume
 - L'eau

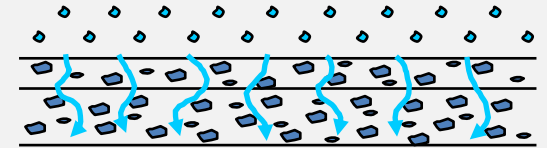


Courtesy of FHWA

COMMENT EST L'EAU INTRODUIT DANS LA CHAUSSÉE?

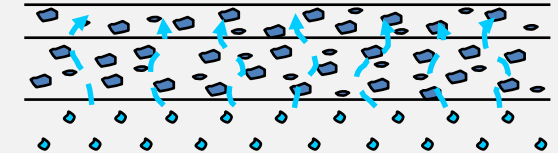
- **Perméation**

- Pénétration d'eau du haut



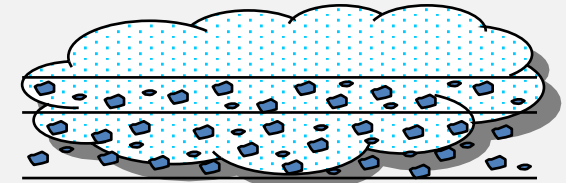
- **L'action capillaire**

- Pénétration d'eau du bas



- **La condensation de la vapeur**

- Vapeurs d'eau pénètrent dans l'enrobé, et condensent par la suite



Courtesy of Akzo Nobel

COMMENT EST L'EAU INTRODUIT DANS LA CHAUSSÉE?

- **L'action de pompage de l'eau sous le trafic**

- Pression interstitielle

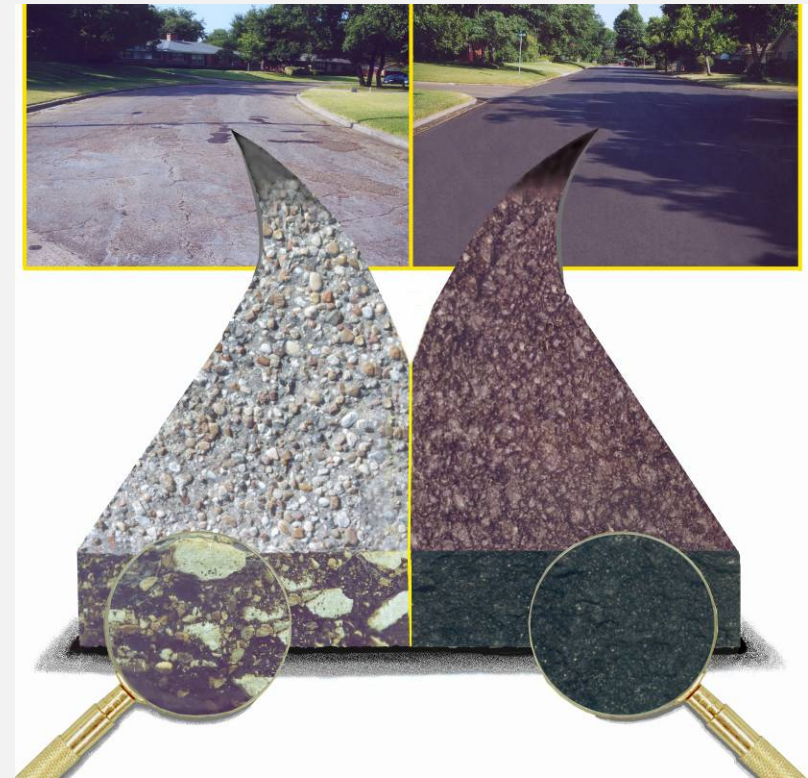
- **Cycles gel-dégel**

- La dégradation de la chaussée : décapage de l'asphalte (perte de l'adhésion)



ADDITIFS POUR AMÉLIORER L’AFFINITÉ BITUME-GRANULAT

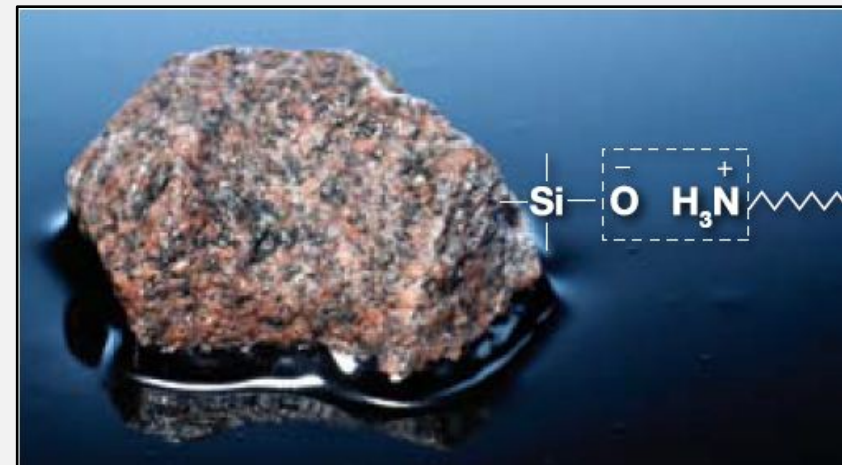
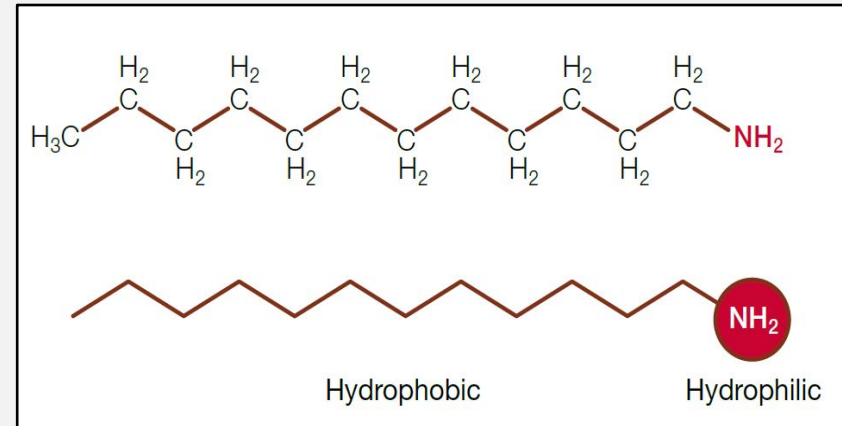
- Des substances qui peuvent changer l’équilibre à l’interface entre le bitume, les granulats et l’eau
- Ils peuvent être des agents tensioactifs ou d’autres types
- Exigences principales
 - Bonne adhésivité aux granulats grâce aux groupes réactive
 - Stabilité thermique à la température d’entreposage du bitume
 - Odeur, corrosivité et toxicité minimale
 - Coût bas



Courtesy of Akzo Nobel

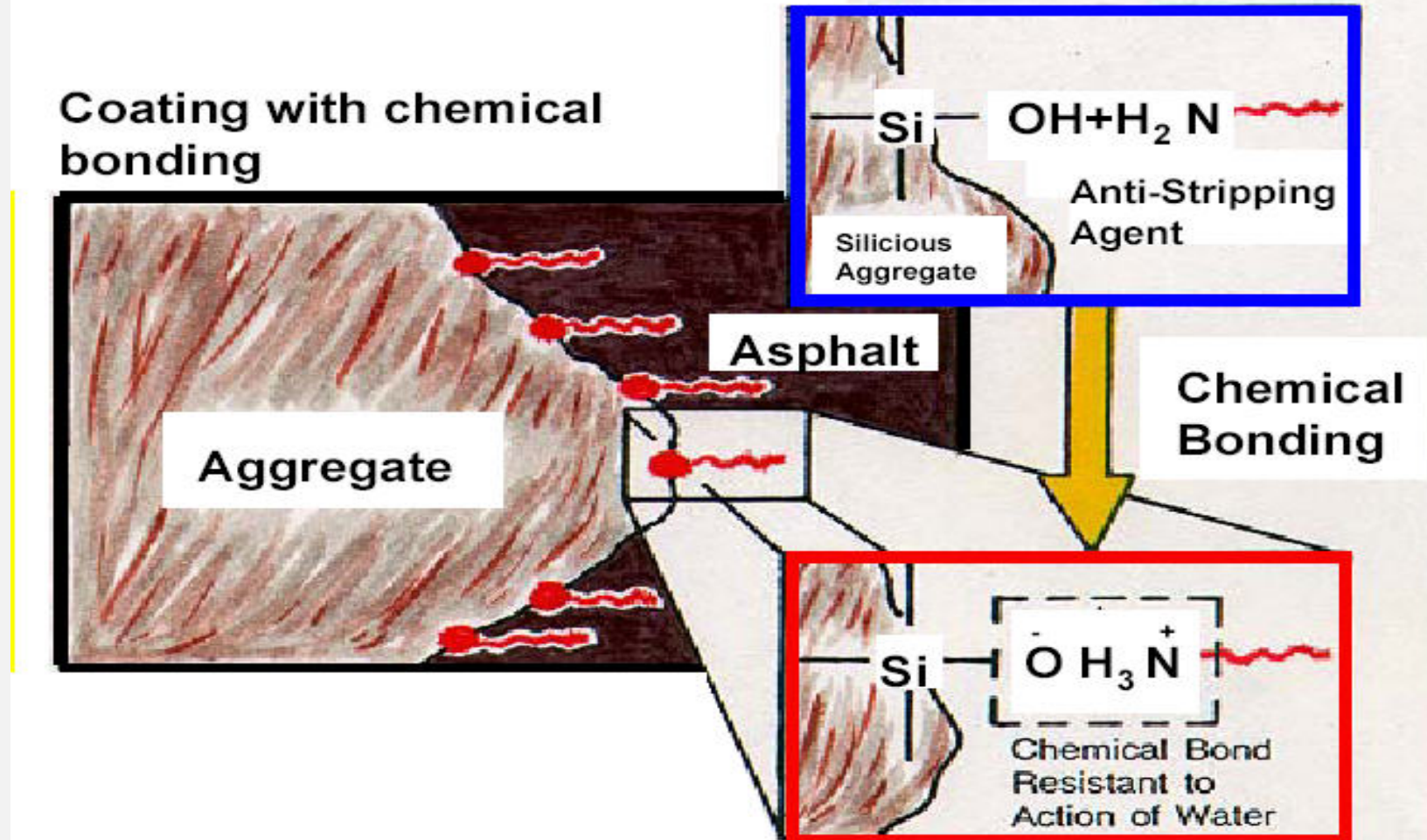
AGENTS ANTI-DÉCOLLAGES (DOPES D'ADHÉSIVITÉ)

- Sont toujours ajoutés au bitume
- Sont des agents tensioactifs cationiques qui agissent aux surfaces et aux interfaces
- Les molécules consistent d'une part soluble dans l'eau et d'autre part insoluble dans l'eau et soluble dans le bitume
- La majorité des additifs sont des amines ou des dérivés d'ammoniac



Courtesy of Akzo Nobel

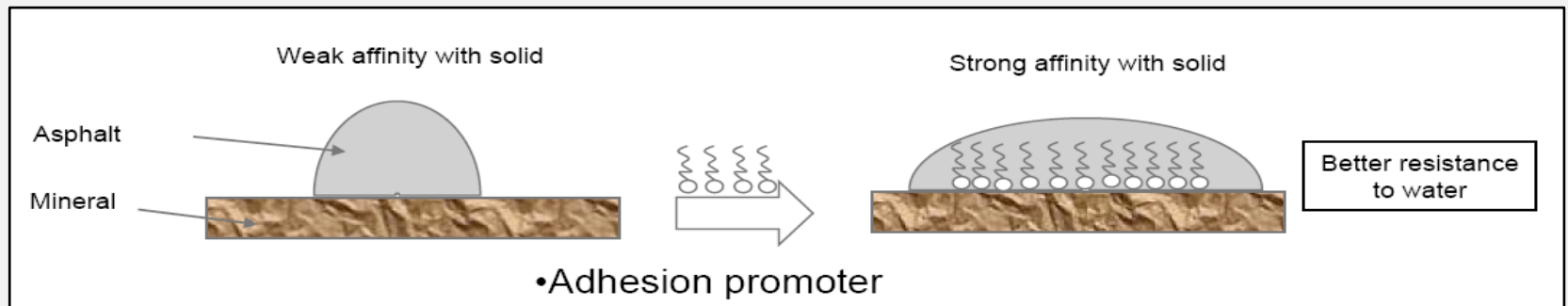
MÉCANISME D'ACTION DES DOPES D'ADHÉSIVITÉ



Courtesy of Akzo Nobel

CHANGEMENT D'ÉNERGIE DE SURFACE

- Les tensioactifs changent les propriétés de l'interface
- Les surfaces du granulat réduisent l'affinité pour l'eau et augmentent l'affinité pour les huiles
- L'angle de contact entre le bitume et le minéral est considérablement diminué



DOPES D'ADHÉSIVITÉ LIQUIDES

- Sont habituellement des amines, amido-amines ou des imidazolines
- Peuvent être 100 % active (purs) ou moins (diluée)
 - Les additifs purs peuvent avoir une haute viscosité et doivent être chauffés pour le pompage
- Le dosage typique pour les bitumes est 0.2-1.0 %
 - Peut-être plus de 1 % si l'additif est dilué
 - Les bitumes aux indices d'acide élevés peuvent utiliser des dosages plus hauts que d'autres
- Sont ajoutés au bitume du fournisseur, habituellement par injection avec un dosage contrôlée
 - Peuvent être ajouté aussi à la centrale d'enrobage, mais l'entrepreneur risque d'obtenir un mélange imparfait ou affecter les paramètres du bitume
- Les agents anti-décollages sont entreposés dans des réservoirs chauffés ou dans des barils
- La manipulation doit respecter toutes les précautions spécifiées dans la fiche signalétique pour des substances corrosives, toxiques ou dangereuses

SÉLECTION DES AGENTS ANTI-DÉCOLLAGE

- **Dois être effectif avec un granulat spécifique!**
- Ne dois pas affecter les propriétés physiques du bitume (PG Grade, viscosité, élasticité, etc.)
 - La majorité des additifs adoucit le bitume très peu
- Dois résister à la dégradation thermique et à la température d'entreposage du bitume
- Ne dois pas interférer avec d'autres agents de modification du bitume
 - Certaines amines peuvent réagir avec l'acide polyphosphorique
 - L'action anti-décollage est maintenue, mais la T_e du bitume peut être partiellement réduite
 - Des nouveaux agents ont été développés pour les bitumes PPA — esters de phosphate
- Dois être utilisée au dosage optimal — trop — peut affaiblir l'interface

LA CHAUX

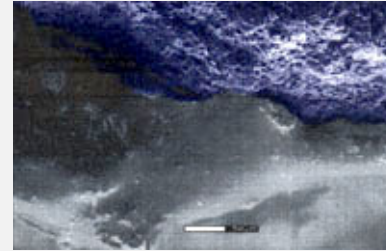
- L'additif le plus utilisé
- Elle est ajoutée aux granulats, pas au bitume
- Peut-être utilisé comme chaux éteinte, aérienne (*chaux grasse*) ou hydraulique
- La chaux neutralise les charges négatives de la surface des granulats et dope (stimule) la surface avec des ions de Ca^{2+}
- Fonctionne aussi comme un agent antioxydant pour le bitume



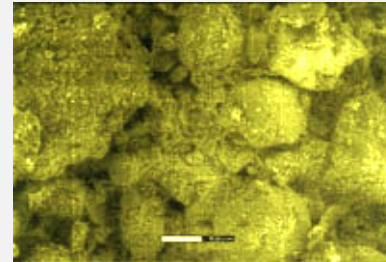
TRAITEMENT POLYMÉRIQUE DES GRANULATS

- Utilisé comme une émulsion polymérique diluée (latex)
- Est ajouté aux granulats au convoyeur ou à la réserve des granulats
- Est utilisée généralement comme une substitution pour la chaux
- Particules de polymère de dimensions sous $1\ \mu\text{m}$, s'attachent aux surfaces des granulats
- Faible toxicité

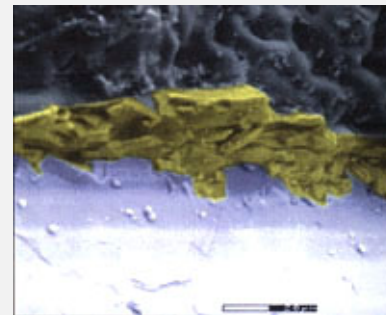
ESM IMAGES



Surface de granulat



Particule polymère

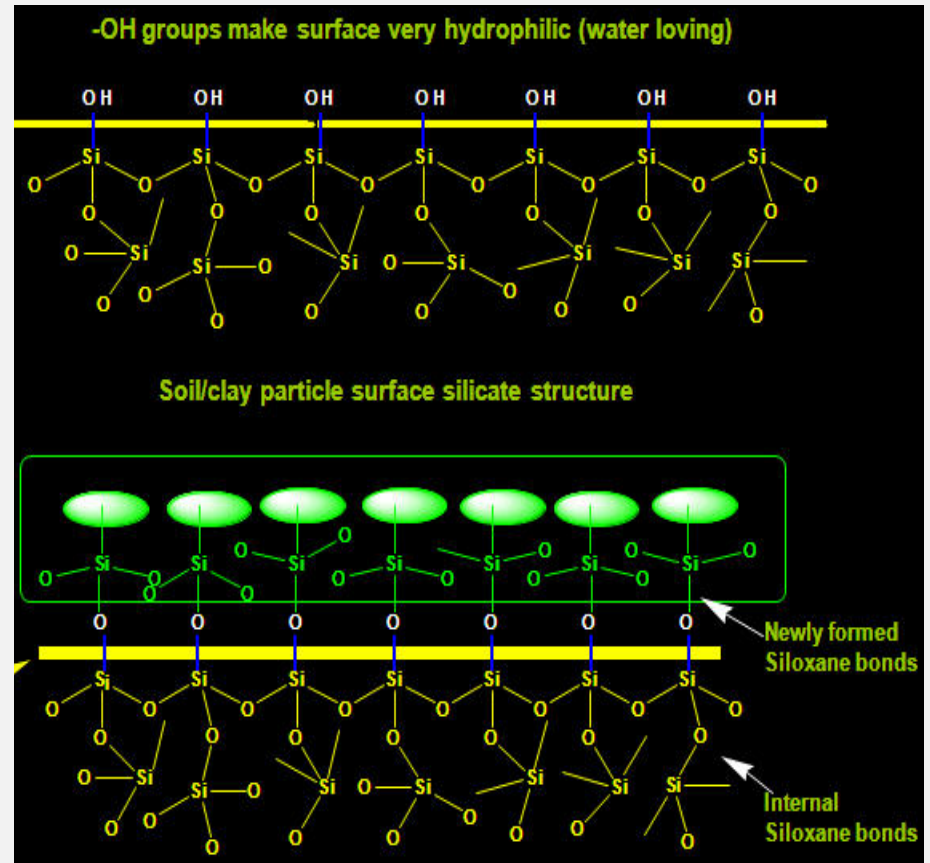


Polymère déposée

Courtesy of Ultrapave

SILANES COMME DOPES D'ADHÉSIVITÉ

- Développement récent
- Technologie brevetée
- Ces substances sont efficaces en faible dosage
- Faible toxicité
- Prix plus élevé



Courtesy of Zydex Industries

ADDITIFS TIÈDES COMME DOPES D'ADHÉSIVITÉ

- Les enrobés tièdes sont de plus en plus populaires
- Le procédé des enrobés tièdes est utilisé :
 - Protéger l'environnement
 - Améliorer les conditions de travail en canicule
- La susceptibilité au dommage par l'eau est très diverse pour les enrobés tièdes
 - Certains additifs tièdes sont tensioactifs, très similaires avec les agents anti-décollage
 - Certains additifs n'ont aucun effet majeur à l'interface bitume-granulat
 - Certaines procédures pour les enrobés tièdes ajoutent de l'eau dans l'enrobé; l'adhésivité de ces enrobés doit être vérifiée et des additifs anti-décollage doivent être utilisés, si nécessaire

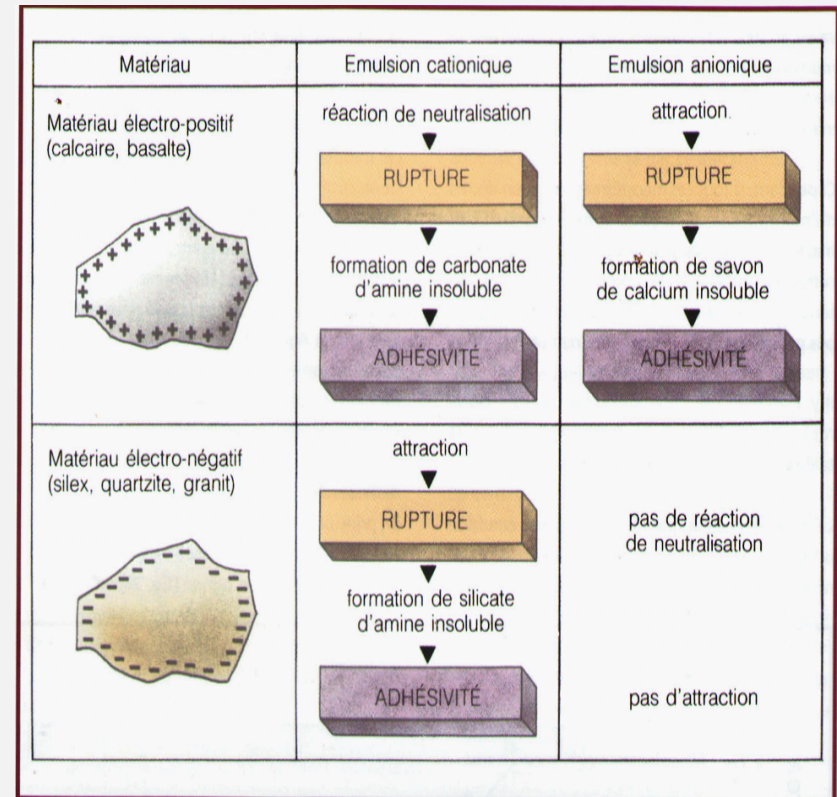


Courtesy of MWV



DOPES D'ADHÉSIVITÉ POUR LES ÉMULSIONS

- Les additifs pour les émulsions nécessitent des attributs spéciaux
 - Ils ne peuvent pas interférer avec le rôle des émulsifiants
 - Ils ne peuvent pas modifier les caractéristiques physiques des émulsions ou du résidu
 - Ils doivent être efficaces sur des granulats acides
- Ils sont fréquemment des amido-amines
- Sont utilisés presque toujours avec les émulsions anioniques



Source: Les Emulsions de bitume, SFERB, France

ESSAIS POUR LA SUSCEPTIBILITÉ À L'EAU

- Essais de traction indirecte (Indirect Tensile)
 - Essai Lottman Modifié (TSR)
- Essais d'Immersion-Compression
 - Immersion Marshall
- Essais d'orniérage
 - Hamburg
 - Asphalt Pavement Analyzer
- Essais d'enrobage résiduel
 - Immersion statique
 - Essais d'ébullition
 - LC 25-009 – Résistance au désenrobage MTQ

ESSAI LOTTMAN MODIFIÉ (TSR)

- AASHTO T-283; ASTM D4867
- 6 briquettes compactées au 6-8% de vide:
 - 3 - pour tester à sec
 - 3 - conditionnés à l'eau (vacuum) suivie par un ou plusieurs cycles gel-dégel
- TS est mesurée sur les deux séries
- TSR est calculée (conditionnée/inconditionnée)
- Acceptation est généralement de minimum 80%



ESSAI D'IMMERSION-COMPRESSION (IMMERSION MARSHALL)

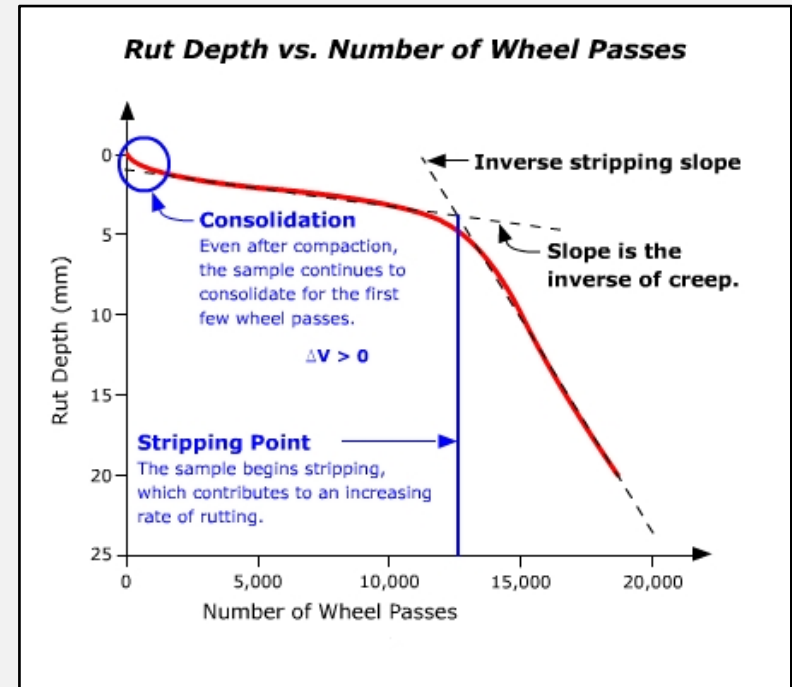
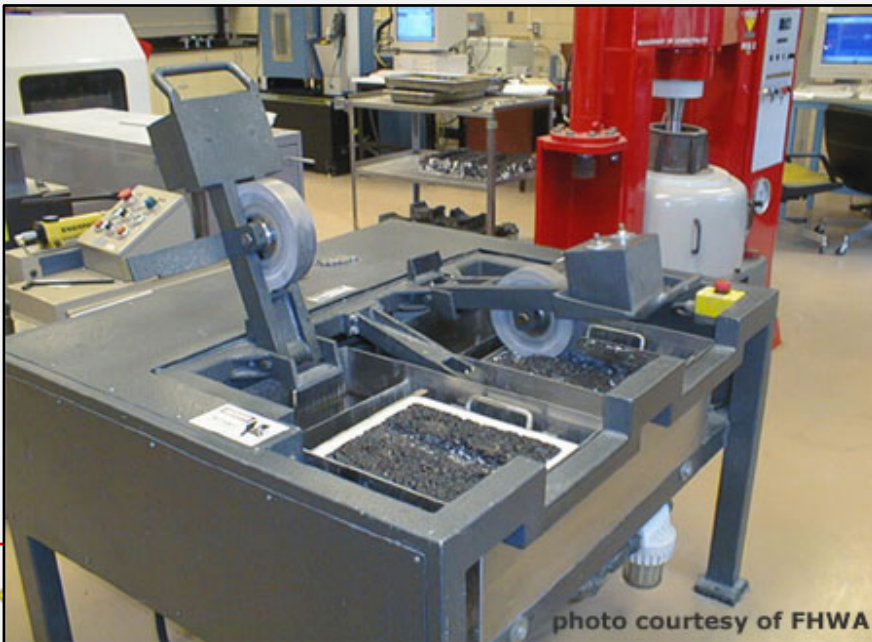
- ASTM D1075 and AASHTO T165-55
- 10 éprouvettes d'essai d'un diamètre de 101,6 mm et d'une hauteur de 101,6 mm
- Compactage de cylindres
- Densité des échantillons est déterminée par la méthode de séchage en surface saturée
- Deux séries des échantillons
 - Une série – immergé dans l'eau à 60 °C – 24h
 - Autre série – température ambiante
- 24h plus tard – on mesure la résistance à la compression
- Résistance à la compression minimale de 70%.



Courtesy of ASTM

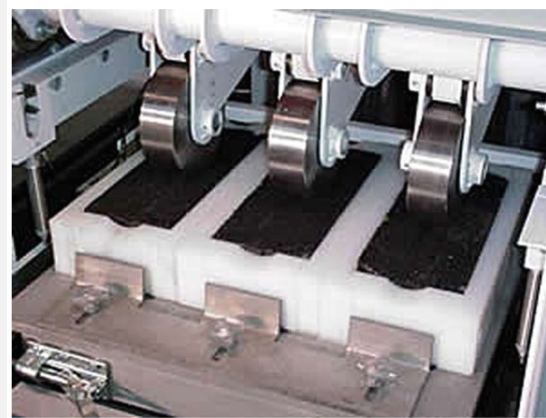
ESSAI D'ORNIÉPAGE HAMBURG

- AASHTO-T324
- Essai d'orniérage utilisant une roue en acier, effectuée sous l'eau, à 50-60 degrés C.
- La déformation de l'échantillon est enregistrée comme une fonction de nombre des cycles



ESSAI D'ORNIÉRAGE ASPHALT PAVEMENT ANALYZER

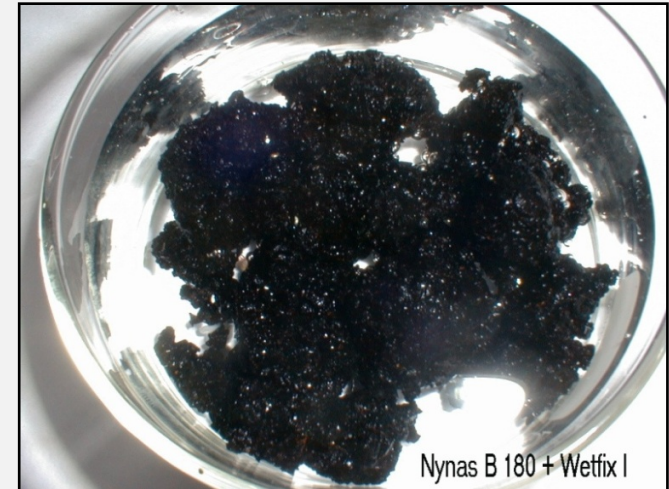
- Équipement multifonctions à trois roues permettant une évaluation précise de la formation d'ornières, de la fissuration par fatigue et de la sensibilité à l'humidité des enrobés bitumineux chauds et froids;
- Méthodes AASHTO T 234 Hamburg Test (avec roues pleines) et AASHTO T 340 APA (avec roues concaves);
- La chambre à environnement contrôlé peut tester des échantillons dans des conditions sèches ou immergées;
- Le système permet de tester simultanément plusieurs échantillons à différentes vitesses et taux de charge;



Courtesy of Gilson

ESSAIS D'ENROBAGE RÉSIDUEL

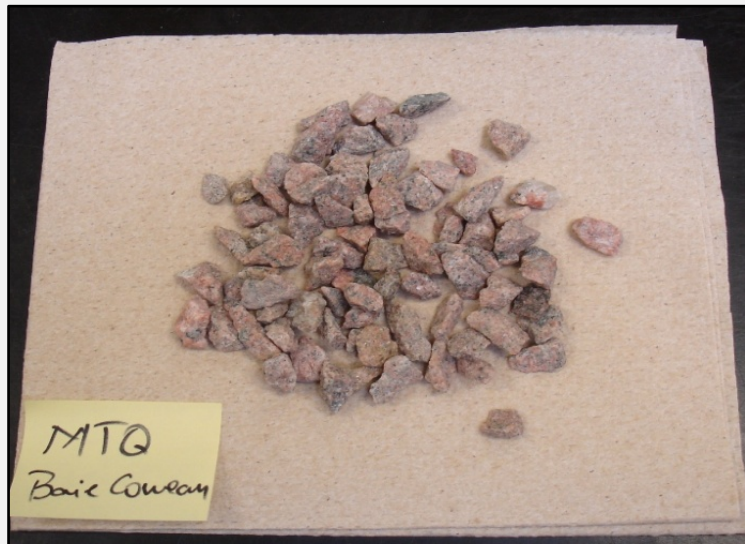
- Il y a plusieurs versions
- Essais d'immersion statiques
 - Granulats enrobés ou mélange
 - 24-96 heures conditionnement statique dans l'eau
 - Enrobage résiduel est évalué visuellement comme % de l'enrobage initial
- Essais d'ébullition
 - Essais rapides et très sévères
 - 3 – 10 minutes ébullition de l'enrobé
 - Avec ou sans agitation
 - Enrobage résiduel est évalué visuellement comme % de l'enrobage initial



Courtesy of Akzo Nobel

ESSAI LC 25-009

- Essai d'enrobage résiduel développé par le MTQ
- Granulats de référence provenant de la carrière Bob-Son à Baie-Comeau
- Procédure sommaire
 - 150 g de granulats 5-10mm sont enrobés avec $2,25 \pm 0,25$ g de bitume (ou résidu d'émulsion)



ESSAI LC 25-009

- Granulats enrobés



- Procédé de décollage



ESSAI LC 25-009

- Enrobage résiduel élevé

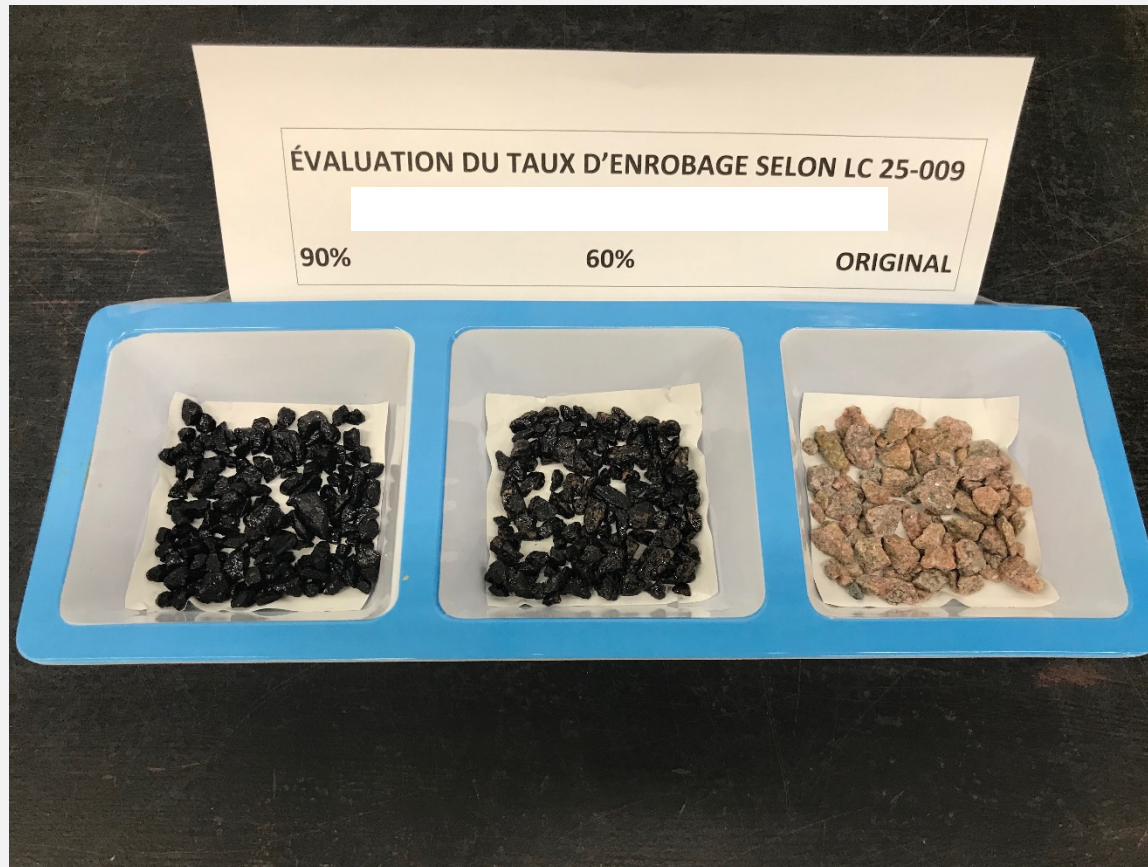


- Enrobage résiduel faible



Essai LC 25-009

- Exigences du MTQ pour l'enrobage résiduel

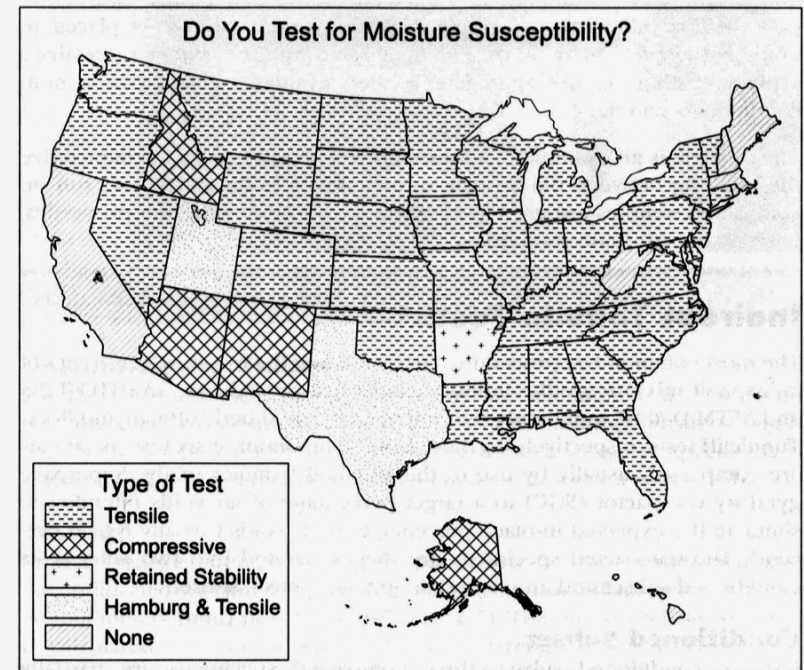


ESSAI LC 25-009

- Les bitumes passant l'enrobage résiduel de 95 % sont désignés comme HRD « Haute résistance au désenrobage »
- Points forts de l'essai LC 25-009
 - Bonne répétabilité et reproductibilité
 - Relativement rapide, simple et pas cher
 - Détermine l'utilisation des agents anti-décollages au Québec
- Points faibles de l'essai LC 25-009
 - Seulement réalisé sur granulats de référence, pas sur les granulats du chantier
 - Seulement réalisé sur la fraction grossière
 - L'évaluation visuelle de l'enrobage résiduel est subjective, donc elle ne doit pas être utilisée pour l'acceptation des matériaux. Une méthode plus précise d'évaluation de l'enrobage résiduel est nécessaire.

LA SUSCEPTIBILITÉ À L'EAU DANS LES SPÉCIFICATIONS

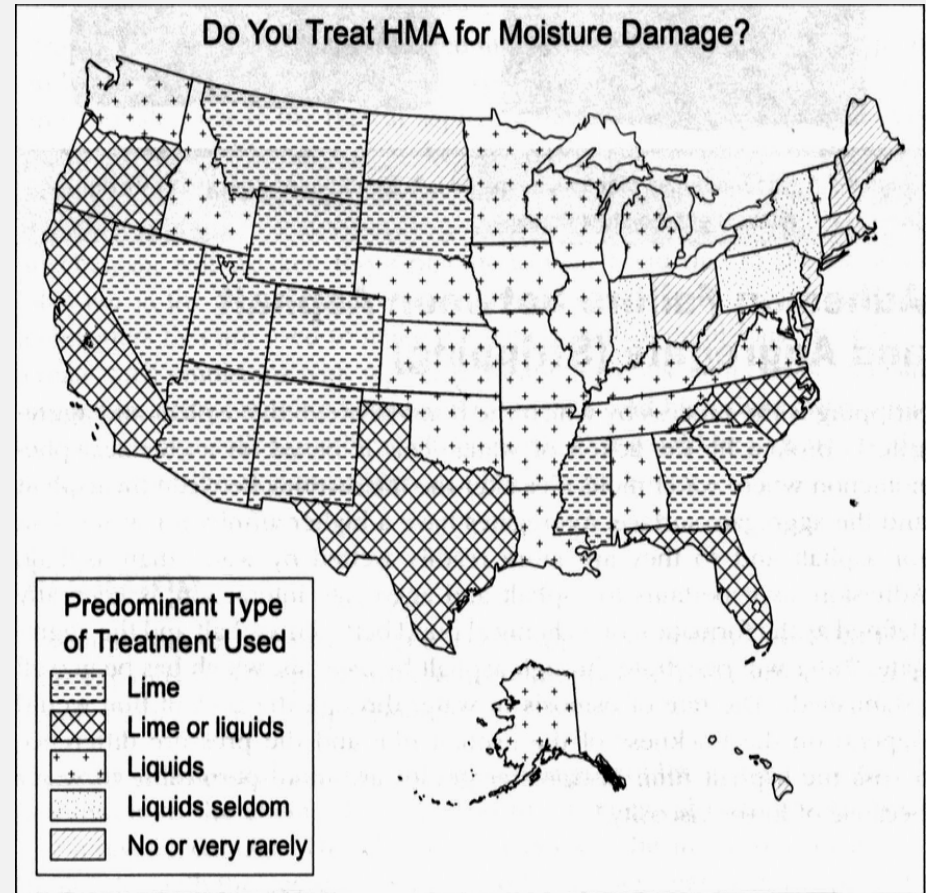
- Québec LC 25-009 – bitume doit passer les exigences HRD, aucun essai sur les enrobés
- Provinces atlantiques : AASHTO T-283, seulement au stade du design
- Ontario : AASHTO T283 – conception seulement
- Provinces de l'ouest : transition de l'Immersion Marshall à T-283
- 82 % des États-Unis : T-283
 - 62 % design seulement
 - 38 % design et chantier
- 6 % - aucun essai de susceptibilité à l'eau



Source: Asphalt Institute, Moisture Sensitivity

UTILISATION D'ADDITIFS ANTI-DÉCOLLAGES

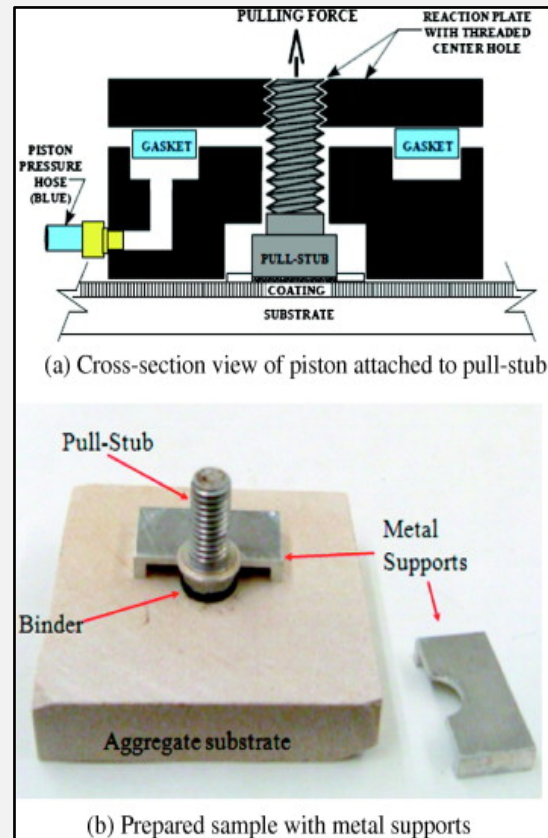
- Québec — AAD
- NS, NB — AAD, peu de chaux
- Ontario — AAD et chaux
- BC, AB, MB — AAD et chaux
- SK — seulement chaux
- 82 % des États-Unis utilisent des agents anti-décollage
 - 56 % AAD
 - 29 % chaux
 - 15 % AAD et chaux



Source: Asphalt Institute, Moisture Sensitivity

RECHERCHE EN COURS SUR L'ADHÉSION

- Adopté à partir de l'industrie des revêtements à U Wisconsin
- Principe d'essai similaire avec l'AMAC
- Traction sur une éprouvette collée avec bitume ou résidu d'émulsion sur une surface minérale
- Les surfaces sont séparées par action pneumatique
- La pression de l'air est utilisée pour calculer la force de liaison
- La rupture peut être en cohésion ou en adhésion



Essai P.A.T.T.I.



Courtesy of U of Wisconsin-Madison

P.A.T.T.I. (Pneumatic Adhesion Tensile Testing Instrument)

RECHERCHE EN COURS SUR L'ADHÉSION

- Essai de déformation au rhéomètre à cisaillement dynamique (DSR) modifié
- Un disque de pierre- utilisé comme substrat pour le collage
- Le disque et le liant d'asphalte simulent l'interface bitume-granulat dans les mélanges
- Les réponses rhéologiques sont mesurées en utilisant des charges oscillées de 1 % à 100 % de déformation avec une fréquence de 1,6 Hz à 40 °C, secs et humides
- DSR peut simuler la nature cyclique des déformations appliquées par la pression interstitielle dans le trafic en mouvement

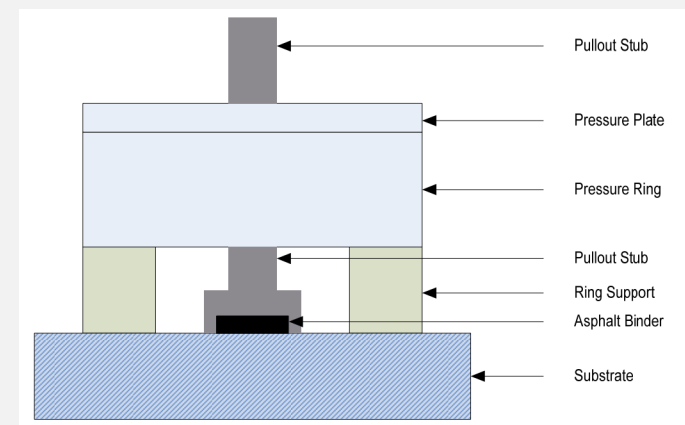


Courtesy of U of Wisconsin-Madison

a) Préparation des échantillons b) Conditionnement dans l'eau

RECHERCHE EN COURS SUR L'ADHÉSION

- Test de résistance au collage du bitume (Bitumen Bond Strength - BBS)
- Modification du test PATTI
- Au cours de l'essai, une force de traction est appliquée sur l'échantillon par le talon métallique.
- La défaillance se produit lorsque la contrainte appliquée dépasse la force de cohésion du liant ou la force de liaison de l'interface bitume/granulat (c'est-à-dire, l'adhésion).
- La résistance à la traction est calculée.



Courtesy of U of Wisconsin-Madison

Bitumen Bond Strength Test (BBS)

PRODUCTION D'UN ENROBÉ AVEC BONNE RÉSISTANCE À L'EAU

Mode de défaillance

- Détachement — séparation du film de bitume et de la pierre sans rupture du film de bitume
- Déplacement — séparation du film de bitume et de la pierre avec rupture du film de bitume

Solution

- Assurer une adhésivité bitume-granulat optimale
- Minimiser le risque de la pénétration de l'eau à l'interface bitume-granulat
- Utiliser granulats secs
- Utiliser des bitumes avec une bonne cohésion interne et perméabilité réduite (ex. bitumes polymères)
- Assurer une adhésivité bitume-granulat optimale
- Assurer un enrobage complet de l'enrobé à la centrale
- Minimiser les granulats poussiéreux et sales; utiliser des granulats avec des faces propres

PRODUCTION D'UN ENROBÉ AVEC BONNE RÉSISTANCE À L'EAU

Mode de défaillance

- Émulsification spontanée – émulsification à l'interface du bitume/l'eau sous trafic, en résultant le détachement du bitume
- L'action de pompage de l'eau – se passe sous la charge du trafic, réduction des vides, augmentation de la pression de pores avec la rupture du film de bitume

Solution

- Utiliser des bitumes avec un contenu bas de sels
- Utiliser des bitumes avec une bonne cohésion interne et perméabilité réduite (ex. bitumes polymères)
- Assurer une adhésivité bitume-granulat optimale
- Assurer une compaction optimale au chantier
- Assurer une bonne et consistante épaisseur du fil de bitume
- Formulation de l'enrobé pour une charge de trafic correcte

En sommaire

- Aucune chance d'éliminer l'eau de notre environnement!
- Toujours utiliser meilleures pratiques de construction pour minimiser le dommage dû a l'eau
 - Assurer un bon drainage de la chaussée
 - Assurer et vérifier une bonne adhésion bitume-granulat
 - Utiliser les agents anti-décollages si nécessaire
 - Optimiser les paramètres de l'enrobé qui peuvent contribuer au dommage dû par l'eau



Humourger.com

Merci pour votre attention!



