

Journée d'étude de la Route et des Infrastructures – JERI
Jeudi 26 novembre 2015, Lausanne

Teneur en liant optimale des enrobés avec recyclé

Sara Bressi (PhD candidate)



Laboratoire des voies de circulation (LAVOC) – EPFL



Contenu de la présentation

- Introduction et objectifs
- Matériaux
- Méthodologie
 - ❑ Granulats d'apport
 - ❑ Filler
 - ❑ Agglomérats (clustering) de fraisat d'enrobé (RAP)
- Calcul teneur en bitume d'apport: Nouvelle formule théorique
- Vérification en laboratoire
- Conclusions

Introduction

Les phénomènes et les mécanismes physico-chimiques pendant le processus de mélange entre granulats d'apport et fraisat d'enrobé (RAP) sont fondamentaux car ils sont à l'origine des caractéristiques et performances des mélange bitumineux.

Il s'agit notamment de:

- Formation d'agglomérats de RAP
- Adhésivité du RAP aux granulats d'apport
- Présence de bitume réactivé et non réactivé
- Migration potentielle du bitume du RAP

Objectifs

1. Introduction de nouveaux outils pour le calcul de la surface spécifique des granulats
2. Proposition d'une nouvelle considération du rôle du filler et de sa contribution pour le calcul de la quantité optimale de bitume d'apport
3. Contrôle des phénomènes qui se produisent lors de la fabrication du mélange avec fraisat (RAP) pour assurer (au moins) le même niveau de performance que l'enrobé à chaud sans recyclé

Proposer une nouvelle méthodologie pour estimer le dosage de bitume d'apport nécessaire dans les mélanges bitumineux avec RAP, qui tienne compte des phénomènes qui se produisent au cours d'une fabrication.

Contenu de la présentation

- Introduction et objectifs
- **Matériaux**
- Méthodologie
 - ❑ Granulats d'apport
 - ❑ Filler
 - ❑ Agglomérats de RAP
- Calcul teneur en bitume d'apport: Nouvelle formule théorique
- Vérification au laboratoire
- Conclusions

Matériaux

Caractéristiques des granulats			
Propriété	Norme	Résultat	
Densité [kg/m ³]	EN 1097-6	2741	
Coefficient Polissage Accéléré CPA	DIN EN 1097-8	60-62	
Los Angeles	SN EN 1097-2	11-15	
Affinité liant-granulat	SN 670 460	U=85.1 % (admissible)	
Teneur en phyllosilicate	SN 670 115	1.9 à 4.9% en masse (admissible)	
Caractéristiques filler (calcaire)			
Propriété	Norme	Résultat	
Densité [kg/m ³]	EN 1097-7	2705	
Vides Rigden [%]	EN 1097-4	32	
Valeur bleu methylene (teneur argile)	EN 933-9 (C837-09)	4.00	
	Liant RAP	Liant apport	
Propriété	Résultat	Résultat	
Teneur en liant [%] EN 12697-1/3	5.60	-	
Pénétration @ 25°C [10 ⁻¹ mm] SN EN 1426	26 10 ⁻¹	82 10 ⁻¹	
Température A&B [°C] SN EN 1427	64.6	47.8	
Indice de Pénétrabilité (IP) [-] SN EN 12591	0.4	-0.6	
Analyse SARA (Iatroscan)	Saturés [%]	5.18	6.69
	Aromatiques [%]	10.51	24.64
	Résines [%]	57.69	41.23
	Asphaltènes [%]	26.63	27.54

Contenu de la présentation

- Introduction et objectifs
- Matériaux
- Méthodologie
 - ❑ Granulats d'apport
 - ❑ Filler
 - ❑ Agglomérats de RAP
- Calcul teneur en bitume d'apport: Nouvelle formule théorique
- Vérification au laboratoire
- Conclusions

Granulats d'apport

SN 640 431-1b-NA

$$M_R = \frac{B_{GK}}{\alpha \cdot \sqrt[5]{\frac{0,25 \cdot (100 - a) + 2,3 \cdot (a - b) + 12 \cdot (b - c) + 150 \cdot c}{100}}}$$

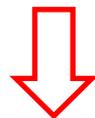
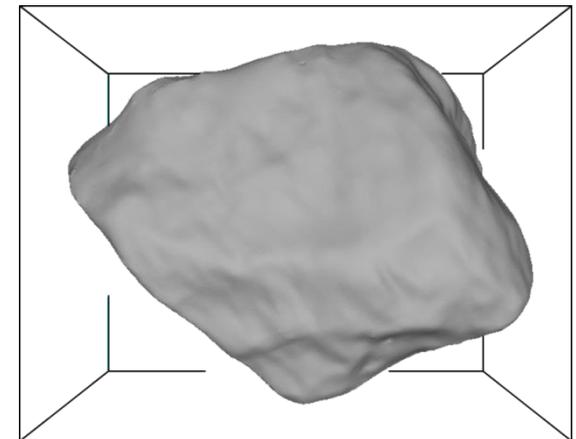
$$SSA = 0.25g + 2.30c + 12s + 135f$$

M_R = Module de richesse.

Le dosage en liant est calculé en fonction du module de richesse qui dépend de la surface spécifique des granulats (SSA).

Approximations:

- Granulats sphériques ou cubiques
- Regroupement de fractions (ex. g est le % de tous les grains supérieurs à 4 mm)
- Même surface spécifique, indépendamment du type de filler



Surface spécifique totale calculée est différente de la surface spécifique totale réelle

Granulats d'apport

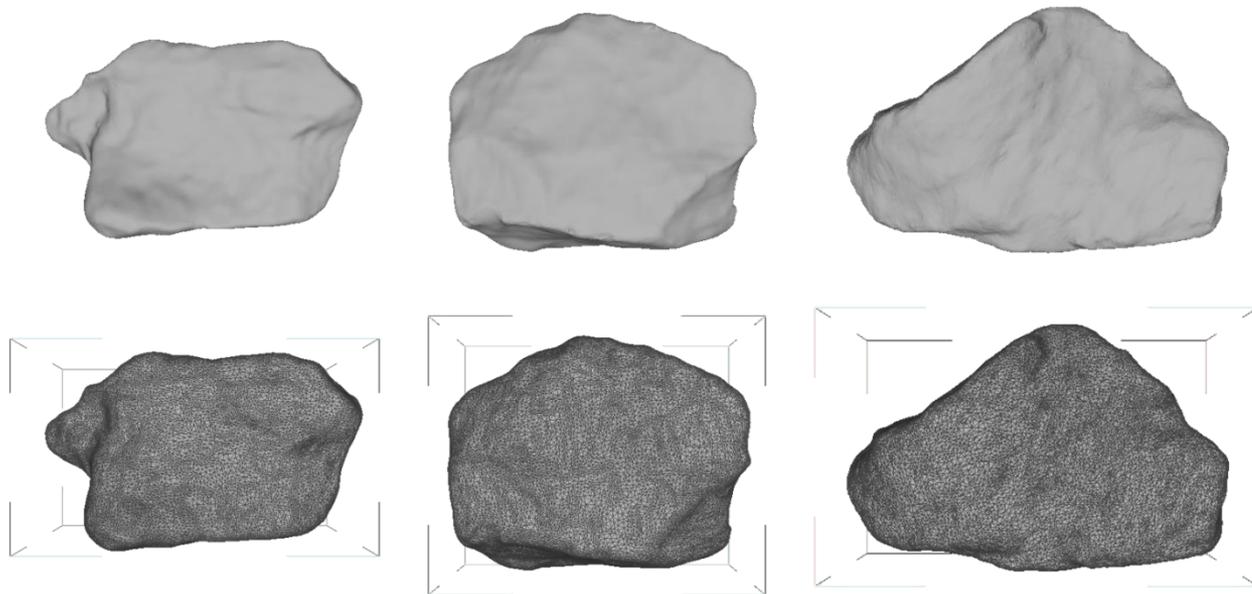
Technique de scannage avec laser pour l'acquisition des images



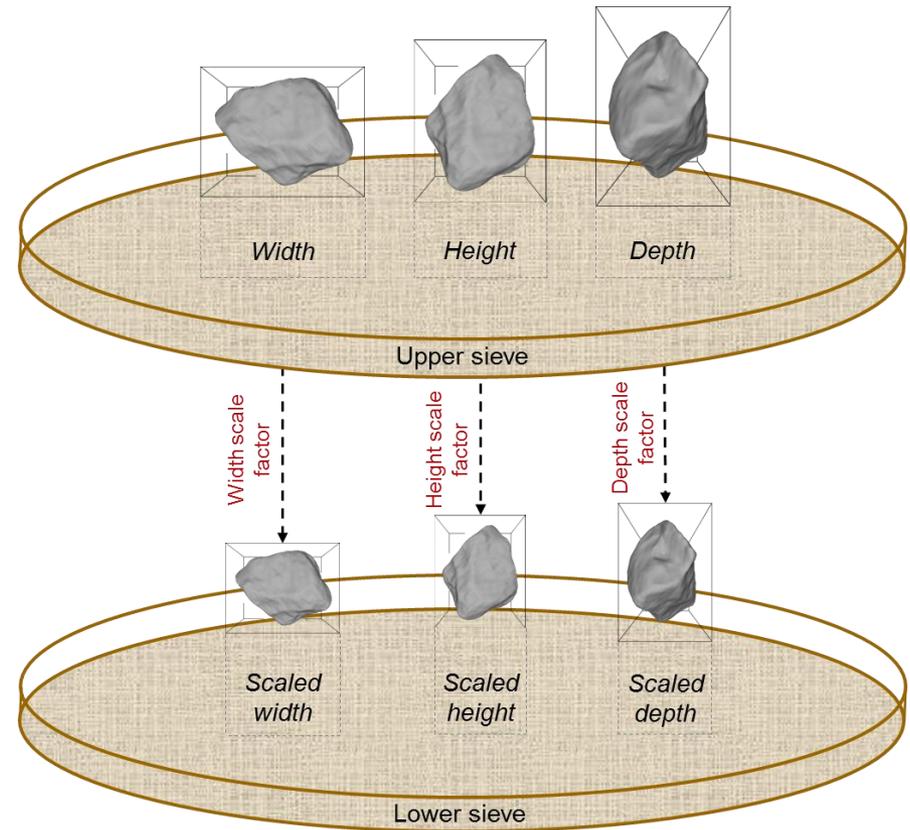
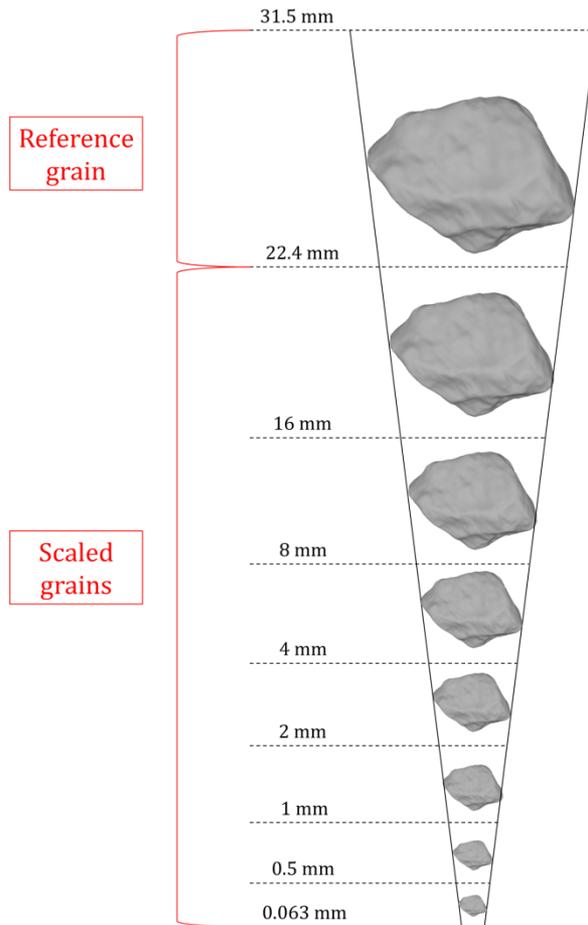
Elaboration des images (Logiciel Meshlab 1.3.3)



Surface spécifique et volume réel

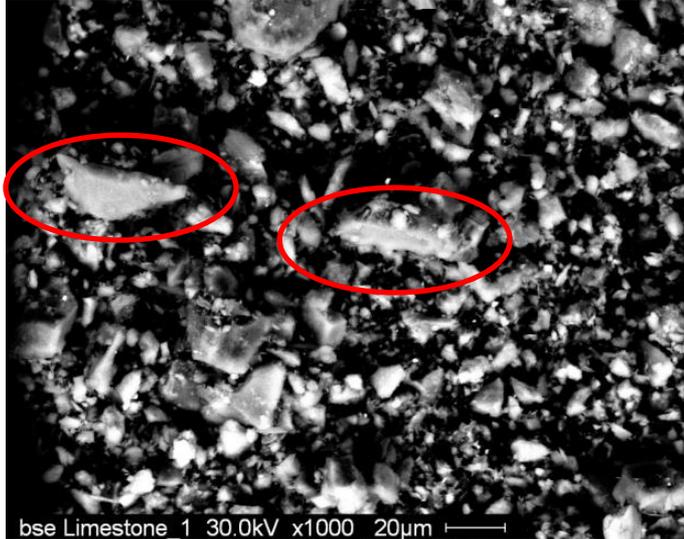


Granulats d'apport

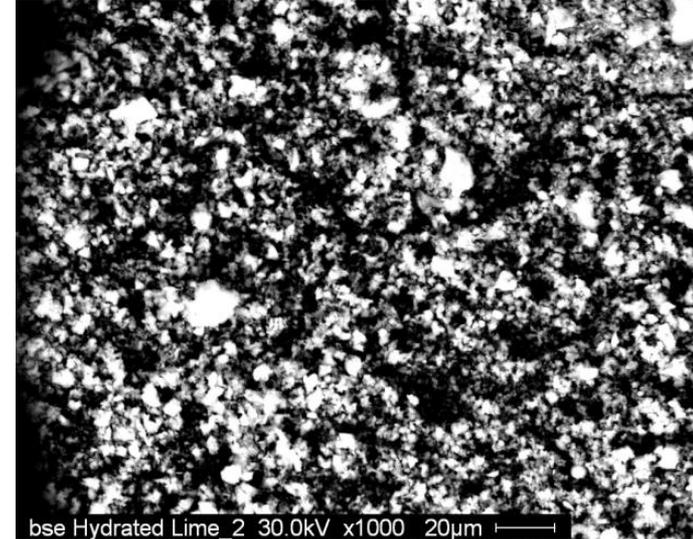


Surface spécifique moyenne pour
chaque classe granulaire

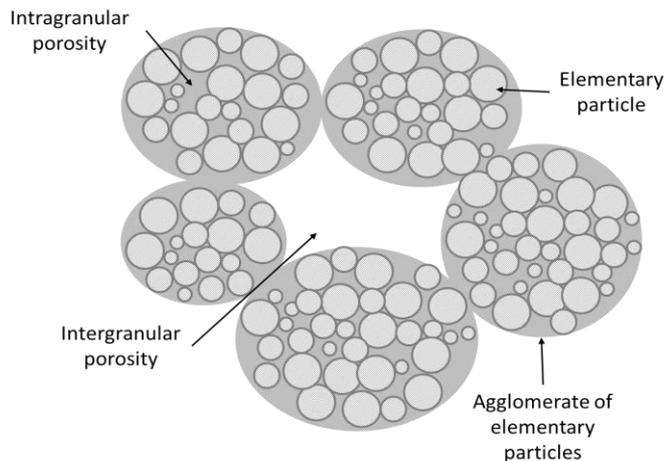
$$SSA_{agg} = \sum \alpha_i \cdot (p_{i+1} - p_i)$$



Calcaire

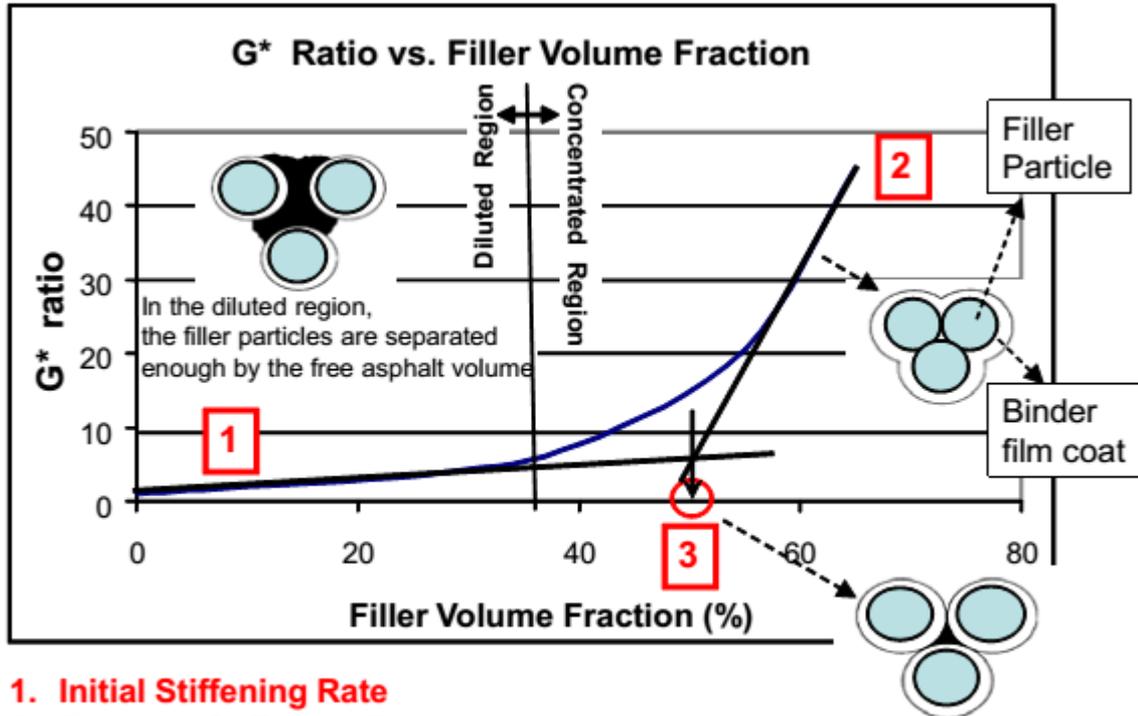


Chaux Hydratée



L'agglomération des particules de filler ne permet pas de déterminer précisément la quantité de bitume nécessaire pour le recouvrement

Faheem & Bahia 2009



1. Initial Stiffening Rate
2. Terminal Stiffening Rate
3. Critical Filler Concentration

At this concentration the transition is due to the consumption of "Free Asphalt"

$$\varnothing_c = 83.2 RV (\%) + 4.79 MBV$$

$$V_{bit-filler} = \frac{V_{filler} \cdot \left(1 - \frac{\varnothing_c}{100}\right)}{\frac{\varnothing_c}{100}}$$

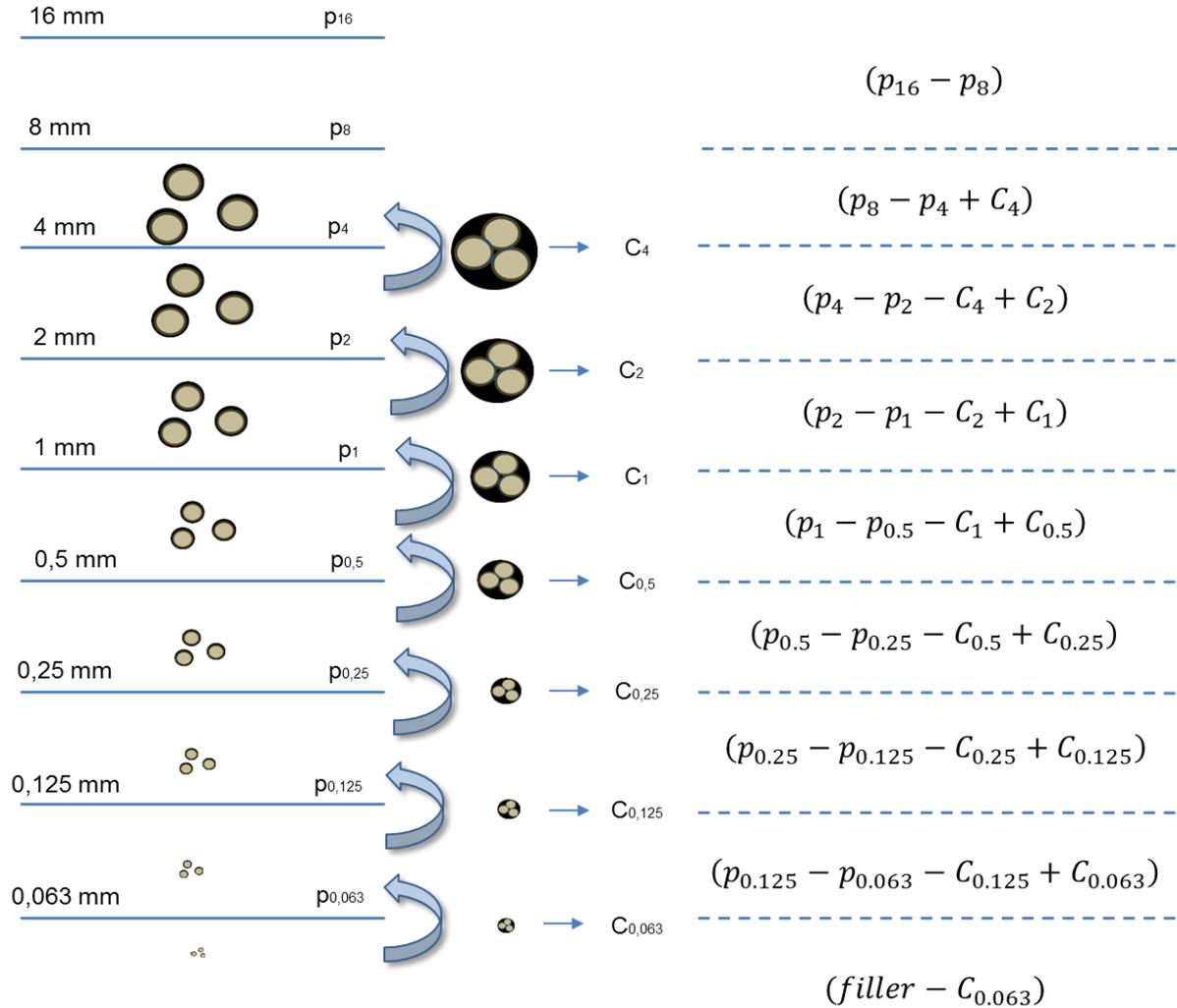
$RV (\%) =$ Vides Rigden
 $MBV =$ Valeur bleu méthylène (teneur argile) [-]
 $\varnothing_c =$ Teneur critique en filler [% by volume]

$V_{bit-filler} =$ Volume de bitume nécessaire pour le recouvrement du filler

Les conséquences de l'agglomération de RAP:

- Empêchement de la distribution uniforme du liant d'apport, augmentation de l'hétérogénéité du mélange
- Diminution des grains de petite taille dans le mélange, provoquant des changements dans la courbe granulométrique
- Présence potentielle de vides interstitiels dans les agglomérats, vides qui ne peuvent être atteints par le bitume d'apport → baisse de la compactabilité

Agglomérats de RAP



$$SSA_{RAP} = \sum_i^n \alpha_i (p_{i+1} - p_i - C_{i+1} + C_i)$$

Contenu de la présentation

- Introduction et objectifs
- Matériaux
- Méthodologie
 - ❑ Granulats d'apport
 - ❑ Filler
 - ❑ Agglomérats de RAP
- ❑ Calcul teneur en bitume d'apport: Nouvelle formule théorique
- Vérification au laboratoire
- Conclusions

Nouvelle formule théorique

$$V_{bit} = \bar{t}_{opt-agg} \cdot \{SSA_{agg} + SSA_{RAP}\} + V_{bit-filler}$$

$$V_{bit} = \bar{t}_{opt-agg} \cdot \left\{ \begin{aligned} & \left[(1 - \%RAP) \sum_i^n \alpha_i (pa_{i+1} - pa_i) \right] \\ & + \left[\%RAP \sum_i^n \alpha_i (pr_{i+1} - pr_i - C_{i+1} + C_i) \right] \end{aligned} \right\} \\ + \frac{V_{filler} \cdot \left(1 - \frac{\emptyset c}{100}\right)}{\frac{\emptyset c}{100}}$$

Critère de surface spécifique
pour les granulats

Critère de concentration critique
du filler dans le mastic → rigidité
du mastic

V_{bit} = estimation du volume de bitume optimal [m³/kg]

$\bar{t}_{opt-agg}$ = épaisseur moyenne optimale de bitume autour des agrégats choisie égale à 10 microns

$\%RAP$ = pourcentage du RAP choisi [-]

α_i = facteur de surface spécifique de granulats passant par le tamis (i+1) et retenu au tamis i [m²/kg]

pa_{i+1} = pourcentage des granulats d'apport passant par le tamis (i+1) à ajouter au mélange [%]

pa_i = pourcentage des granulats d'apport passant par le tamis (i) à ajouter au mélange [%]

pr_{i+1} = pourcentage du RAP passant par le tamis (i+1) [%]

pr_i = pourcentage du RAP passant par le tamis (i) [%]

C_{i+1} = pourcentage de la masse de particules agglomérées et retenues au tamis (i+1) [%]

C_i = pourcentage de la masse de particules agglomérées et retenues au tamis (i) [%]

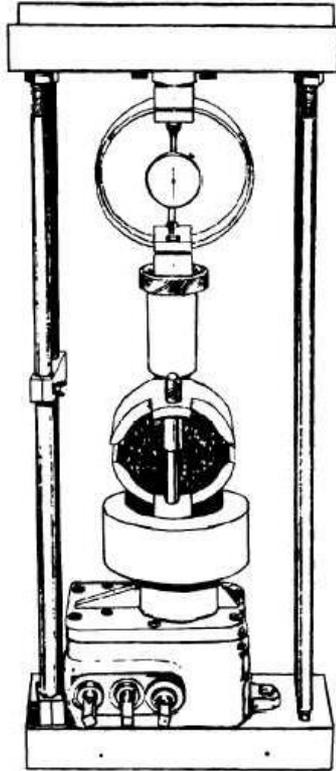
V_{filler} = volume de filler [m³/kg]

$\emptyset c$ = teneur critique en filler [%·volume]

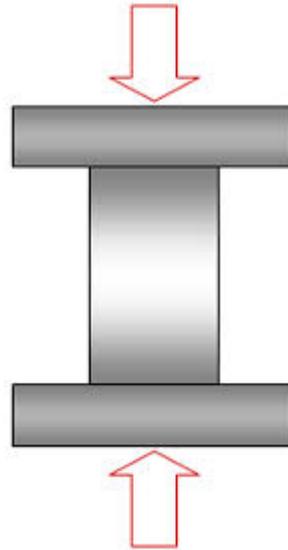
Outline

- Introduction et objectifs
- Matériaux
- Méthodologie
 - ❑ Granulats d'apport
 - ❑ Filler
 - ❑ Agglomérats de RAP
- Calcul teneur en bitume d'apport: Nouvelle formule théorique
- Vérification au laboratoire
- Conclusions

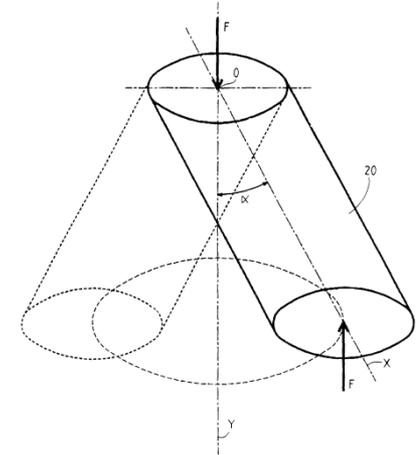
Essai Marshall



Compression diamétrale

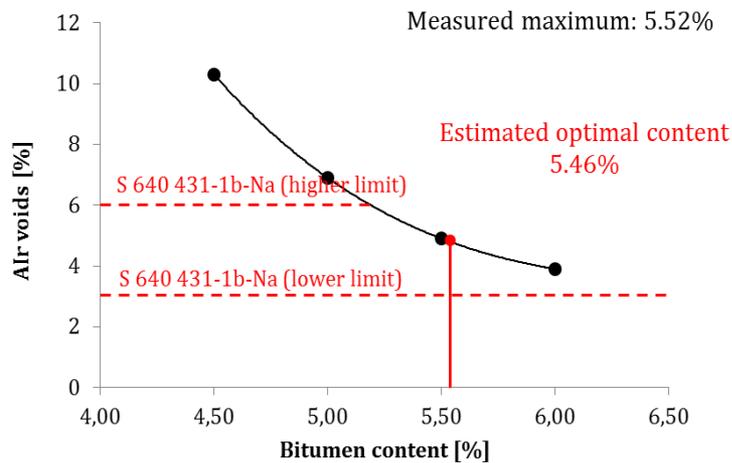
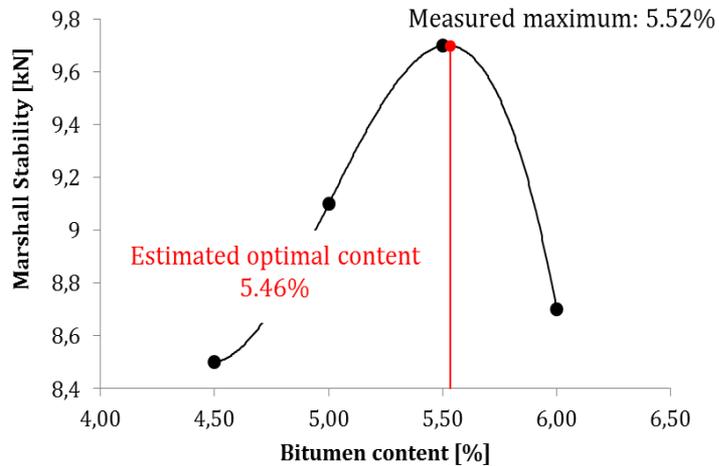


Presse à cisaillement
giratoire PCG

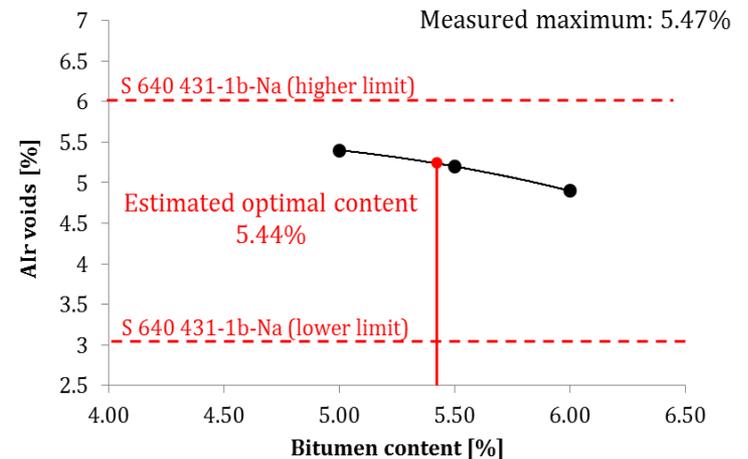
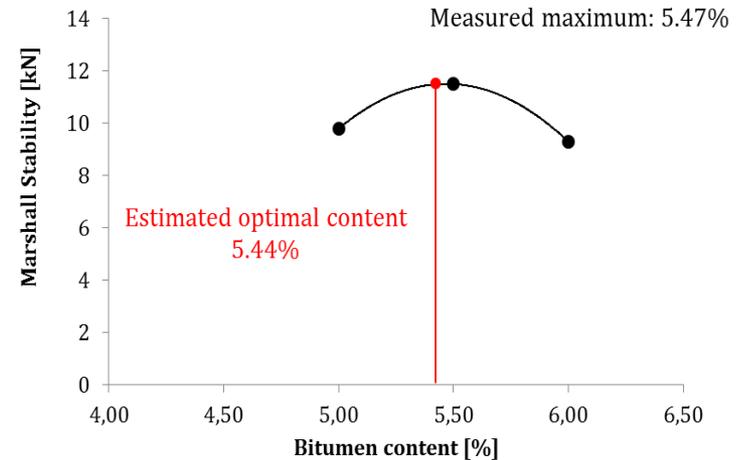


Essai Marshall

AC B 16 sans RAP

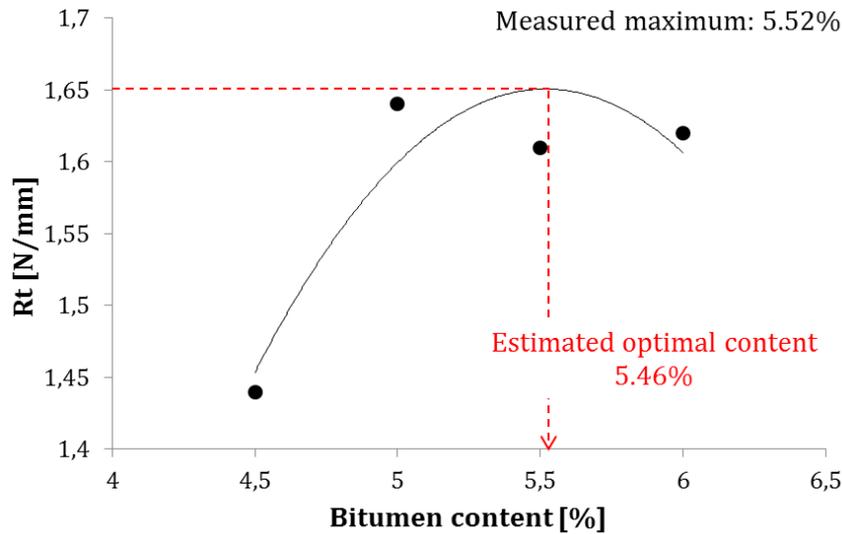


AC B 16 avec 50% de RAP

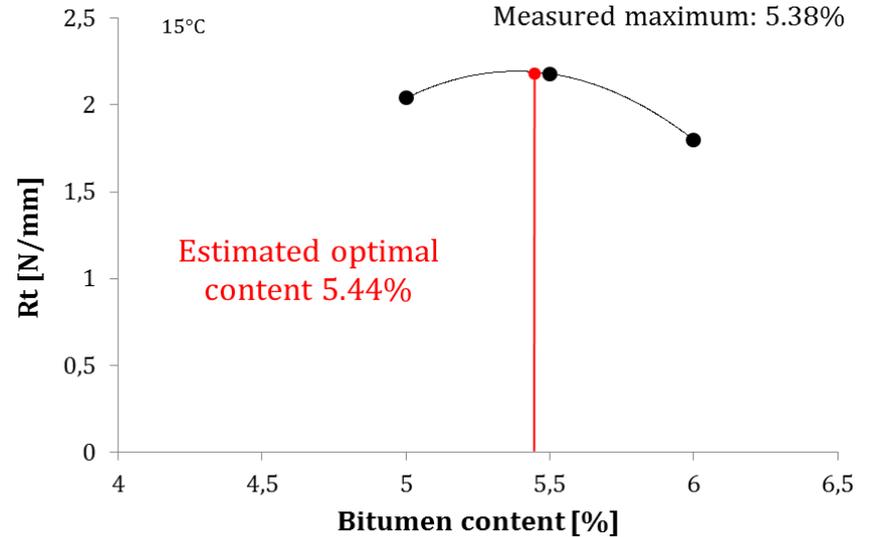


Compression diamétrale à 15°C

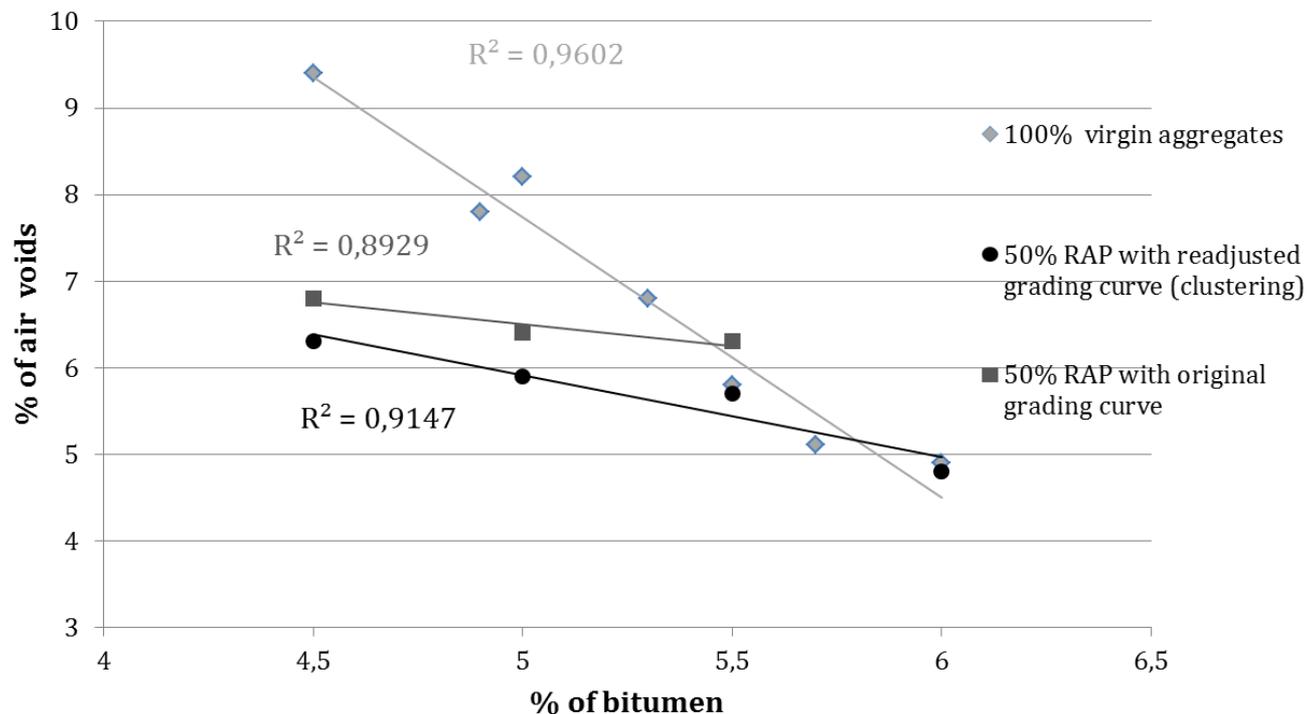
AC B 16 sans RAP



AC B 16 avec 50% de RAP



Presse à cisaillement giratoire PCG



- Présence de vides interstitiels dans les agglomérats de RAP qui ne peuvent être atteints par le bitume d'apport → Baisse de la compactabilité si la courbe n'est pas réajustée.
- Une solution possible pourrait être de choisir une énergie de malaxage appropriée lors de la fabrication.

Contenu de la présentation

- Introduction et objectifs
- Matériaux
- Méthodologie
 - ❑ Granulats d'apport
 - ❑ Filler
 - ❑ Agglomérats de RAP
- Calcul teneur en bitume d'apport: Nouvelle formule théorique
- Vérification au laboratoire
- Conclusions

Conclusions

La méthodologie représente une première étape vers une nouvelle approche d'optimisation de la formulation d'enrobés bitumineux avec fraisat d'enrobé RAP.

Avantages:

- réduction des essais de laboratoire nécessaires, puisque la valeur estimée de la quantité de bitume optimale représente une prédiction fiable de celle mesurée.
- l'épaisseur optimale du film de bitume autour des granulats peut être modifiée en fonction des exigences et il serait potentiellement possible d'utiliser différentes épaisseurs de film de bitume pour des tailles de particules différentes.
- il serait possible de calculer l'agglomération des particules de RAP pour chaque fraction et réajuster la courbe, modifiant la quantité de granulats d'apport pour chaque fraction → meilleure compactabilité.

Merci pour votre
attention

RAP aggregates

Questions?

Virgin aggregate

Binder