

# Thèse de doctorat

## Etude de choix constructifs pour garantir la mise en œuvre et la durabilité des enrobés recyclés à l'émulsion de bitume

Yacouba KONATE – Doctorant INP-HB/ESTP Paris depuis mai 2018

Directeurs de thèse : Xavier CHATEAU, Jean-Eric POIRIER, Athanas KONIN

Encadrantes : Layella ZIYANI, Anne DONY

### CONTEXTE

La technique d'enrobage à froid est considérée comme étant moins consommatrice en énergie et plus respectueuse de l'environnement. Associée au recyclage, elle permet une économie des ressources non renouvelables. Dans une perspective de garantir la constructibilité, tant en France qu'en Côte d'Ivoire, le couplage des deux techniques nécessite la détermination des conditions de formulation, de mise en œuvre et de durabilité, sur la base de la connaissance des phénomènes d'interfaces entre les différents constituants de l'enrobé.

### VERROUS SCIENTIFIQUES

- Interaction et compatibilité émulsion avec granulats et agrégats français et ivoiriens. Quelles nature et teneur optimale d'émulsifiant ?
- Mécanisme d'adsorption des émulsifiants vs nature du substrat ?
- Mécanisme d'adhésion liant/granulats et liant/agrégats ?
- Paramètres optimaux de formulation (teneurs optimales en émulsifiant, liant résiduel et eau totale), cinétique de mûrissement et propriétés mécaniques à court et long terme des enrobés neufs et recyclés ?

### OBJECTIF DE LA THESE

Détermination des phénomènes physico-chimiques aux interfaces émulsion de bitume/granulats et émulsion de bitume/agrégats d'enrobés, afin de mieux appréhender la formulation et l'évolution des propriétés mécaniques des enrobés recyclés à l'émulsion, pour garantir leur mise en œuvre et leur durabilité.

### METHODOLOGIE ET DEMARCHE

#### Etude de formulation d'émulsions et d'enrobés neufs et recyclés : détermination de choix constructifs

Formulation d'émulsions par variation de la teneur en émulsifiant (% massique de 0,6 à 1,5 %). Bitume de base : 70/100 (\*\*) bitume 35/50 optionnel

Emulsion	Nature émulsifiant	Teneur en émulsifiant visée	Teneur en bitume visée
E651	A	1,5 %	65 %
E652	A	1,2 %	65 %
E653	A	0,9 %	65 %
E654	B	1,5 %	65 %
E655	B	1,2 %	65 %
E656	B	0,9 %	65 %
E657	B	0,6 %	65 %

Moulin colloïdal (Laboratoire IRC)

Détermination de choix constructifs d'enrobés neufs et recyclés par essais de mélange (variation de teneurs en eau totale et liant résiduel). (Utilisation de granite ivoirien, diorite française et agrégats des deux pays)

E654 – granite (après 24h)  
Teneur en liant résiduel : 5 %  
Teneur en eau totale : 3 %

E654 – granite (après 24h)  
Teneur en liant résiduel : 5 %  
Teneur en eau totale : 3,5 %

E654 – granite (après 24h)  
Teneur en liant résiduel : 5 %  
Teneur en eau totale : 4 %

#### Etudes microscopiques des phénomènes d'interfaces

- Détermination de tensions de surface d'émulsions formulées en faisant varier la nature et la teneur en émulsifiant
- Etude du mouillage émulsion-granulats et émulsion-agrégats d'enrobés

Tensiomètre (Laboratoire Navier)

#### Etudes macroscopiques : résistance mécanique, tenue à l'eau et maniabilité de choix constructifs

Etude de l'adhésion-liant granulat : essai de tenue à l'eau

- Formulations d'enrobés neufs et recyclés
- Confection d'éprouvettes Duriez
- Conservation à sec et dans l'eau à 35 °C et 20 % HR
- Ecrasement à 20 °C

Malaxeur (Laboratoire IRC)

Press. mécanique (Laboratoire IRC)

Etude de la montée en cohésion : essai de maniabilité

- Formulations d'enrobés neufs et recyclés
- Moulage à t<sub>0</sub>, puis conservation dans le moule pendant 4h et 24h à 20 °C et 35 °C / 20 % HR
- Essai de poussée au manibéliomètre Nynas (volume constant de matériau)

Manibéliomètre à petit moule (Laboratoire IRC)

### QUELQUES RESULTATS ET PREMIERES CONCLUSIONS

#### La nature et la teneur en émulsifiant influencent les propriétés aux interfaces émulsion-granulat (angle de contact)

Angle de contact émulsion (émulsifiant A) - granite

Angle de contact émulsion (émulsifiant B) - granite

#### Existence d'une teneur en émulsifiant optimale à la tenue à l'eau

Résistance en compression enrobés neufs granite (émulsifiant A)

Enrobés neufs granite (émulsifiant B)

#### A t<sub>0</sub>, cohésion plus forte pour les faibles teneurs en émulsifiant (bitume de même grade)

Evolution de la cohésion d'enrobés neufs granite (émulsifiant A) (LR=0,20)

#### La nature et la teneur en émulsifiant influencent les paramètres de formulation de l'enrobé (teneur en eau totale)

Teneurs en eau totale optimale (%pp) (Enrobé avec granite et émulsifiant A)

Teneurs en eau totale optimale (%pp) (Enrobé avec granite et émulsifiant B)

#### Résistances mécaniques des enrobés recyclés ivoiriens supérieures à celles des enrobés neufs pour des teneurs identiques et en croissance avec la teneur et le grade du bitume (avec WT = teneur en eau totale, LR = teneur en liant résiduel)

Résistances en compression des formulations d'enrobés recyclés (émulsifiant B) (WT=7%, LR=5%)

Rapport (C)

#### Après 4h, la cohésion est plus importante pour les fortes teneurs

Niveau de cohésion en fonction de la température enrobés recyclés à 30% de granite avec bitume 35/50 (émulsifiant A) (LR=0,20) (E=5%)

#### Après 24h, l'influence de la température sur la cohésion est plus faible

Après 24h, l'influence de la température est plus importante

La cinétique de cohésion est plus rapide à 35 °C qu'à 20 °C

### PERSPECTIVES

- Etude du mécanisme d'adsorption des tensioactifs sur substrat par spectroscopie XPS et zétamétrie
- Etude de paramètres influençant le mouillage des émulsions sur différents substrats de granulats neufs et d'agréats par tensiométrie
- Détermination des conditions de mûrissement conformément au contexte climatique de la Côte d'Ivoire
- Evaluation des performances mécaniques en laboratoire au jeune âge et après mûrissement
- Réalisation d'un chantier expérimental en Côte d'Ivoire pour la validation des hypothèses d'études de laboratoire

Echelle interfaces

Echelle formulation au laboratoire et comportement réel in situ