

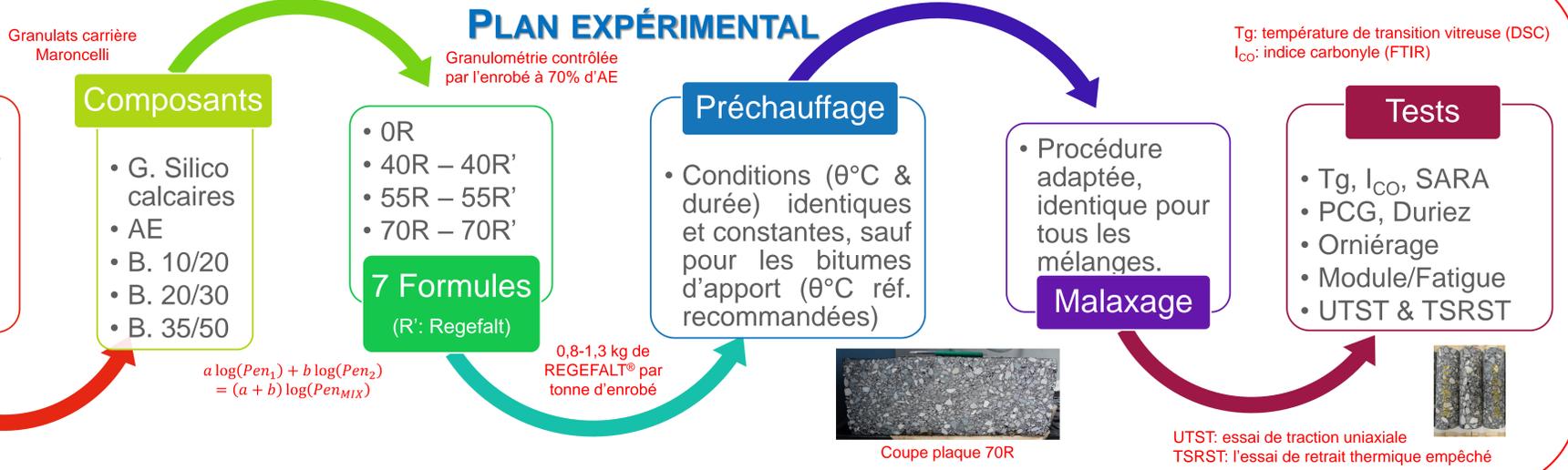
Nelson ALVARADO - Responsables: Juan MARTINEZ & Emile LOPEZ

OBJECTIFS

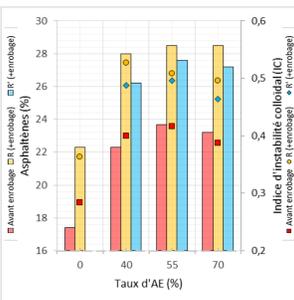
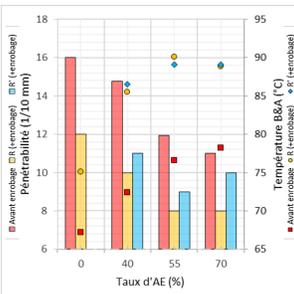
- ✓ Évaluer : (a) l'impact des agrégats d'enrobé (AE) sur les performances thermomécaniques des enrobés bitumineux recyclés (voire recyclage exclusif à 100%) - (b) l'efficacité de l'additif REGEFALT® (Innov. Routes 2009) sur les enrobés bitumineux recyclés issus du procédé de régénération des bitumes vieillis en liants routiers rajeunis (technologie FENIXFALT®).
- ✓ Étudier l'évolution des propriétés physico-chimiques des liants issus du recyclage.

APPROCHE ET CADRE

- ✓ Convention CIFRE entre l'ANRT et FENIXFALT SAS. Thèse réalisée à l'INSA de Rennes - École doctorale SPI-UBL en coparticipation avec les entreprises routières : BRAJA VESIGNE, LE FOLL TP et ROGER MARTIN.
- ✓ Étude expérimentale sur EME2 : témoin + 3 taux d'AE (40, 55 et 70%) avec ajout de l'additif REGEFALT® en relation avec la teneur en AE.
- ✓ Paramètres opératoires strictement identiques sur toutes les fabrications.



ANALYSES SUR LES LIANTS



- Effet Enrobage:**
- ↘ pénét. du liant final et ↗ TBA.
 - ↗ asphaltènes (même ordre de grandeur que formule témoin)
- Effet Additif:**
- ↗ pénét. du liant final et ↔ TBA (effet polymère).
 - ↘ asphaltènes (à même taux d'AE)

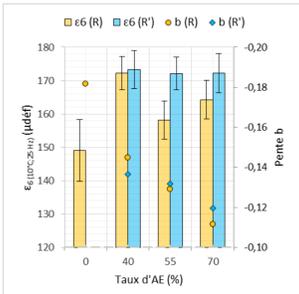
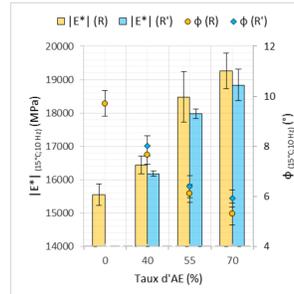
APPROCHE EMPIRIQUE

Tableau 1. PCG, Duriez et résistance à l'orniéragé des enrobés.

Paramètres	Formules							
	OR	40R	40R'	55R	55R'	70R	70R'	
PCG	Vides à 10 girations (%)	11,8	11,9	11,7	11,7	10,6	11,5	10,2
	Vides à 60 girations (%)	4,3	4,5	4,4	4,3	3,5	4,1	3,2
	Vides à 100 girations (%)	2,4	2,8	2,7	2,6	2,4	2,6	2,3
	Vides à 200 girations (%)	1,1	1,8	1,6	1,5	1,9	2,0	1,9
Rapport i/C (%)	91	94	96	94	94	90	97	
Duriez	Résistance à l'air C ₀ (MPa)	23,1	22,8	21,5	22,8	24,9	26,7	28,3
	Résistance à l'eau C _w (MPa)	21,1	21,4	20,6	21,4	23,4	23,9	27,4
Orniéragé	% de Vides	3,8	5,3	4,7	6,0	5,9	6,0	5,8
	P _{N=30000} (%)	6,1	3,4	3,7	1,8	1,8	1,3	1,7

- ✓ Résultats conformes aux spécifications
- ✓ Maniabilité favorisée par les granulats (Si-Ca)
- ✓ Performances à l'orniéragé améliorées par l'AE, difficulté au compactage liée à $\theta^\circ\text{C}$

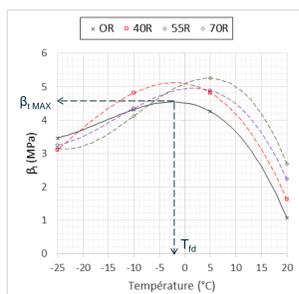
APPROCHE FONDAMENTALE



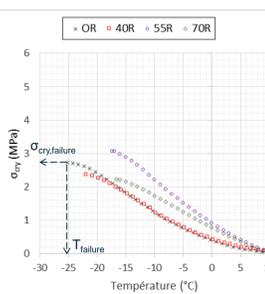
- Effet AE:**
- ↗ rigidité |E*| et résistance en fatigue (ϵ_6).
- Effet Additif:**
- ↗ ϵ_6 sans trop ↘ |E*| (effet positif sur dimensionnement).

PERFORMANCES À BASSES TEMPÉRATURES

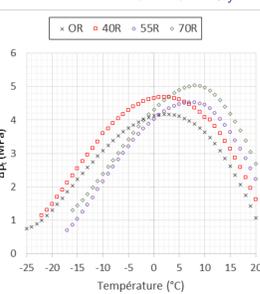
Traction uniaxiale (UTST)



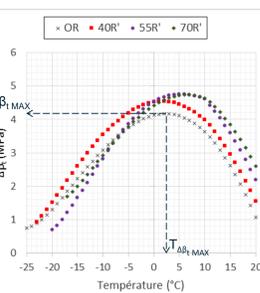
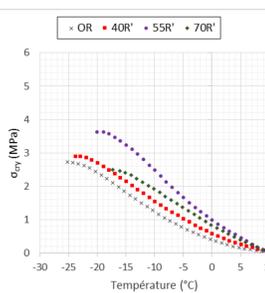
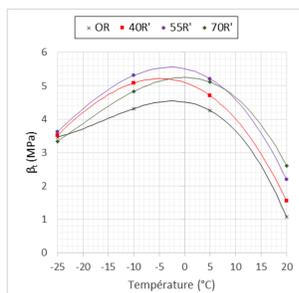
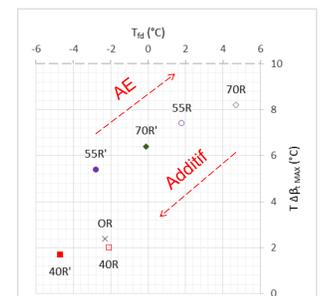
Retrait empêché (TSRST)



Réserve: $\Delta\beta_t = \beta_t - \sigma_{cy}$



- Effet AE:**
- ↗ Température: T_{fid} (UTST), T_{faillure} (TSRST) & T_{Δβt MAX} (Réserve) => dégradation!
 - ↗ Résistance: $\beta_{t MAX}$ (UTST) & $\Delta\beta_{t MAX}$ (Réserve).



- Effet Additif:**
- ↘ Température: T_{fid} (UTST), T_{faillure} (TSRST) & T_{Δβt MAX} (Réserve) => récupération partielle!
 - ↔ Résistance: $\beta_{t MAX}$ (UTST) & $\Delta\beta_{t MAX}$ (Réserve).
- Importance des performances en retrait empêché.

CONCLUSIONS

- ✓ L'incorporation d'AE améliore la résistance à l'orniéragé, accroît la rigidité (|E*|) et la résistance à la fatigue (ϵ_6) par rapport à l'enrobé témoin. Toutefois, à froid, les performances des enrobés recyclés diminuent avec le taux d'AE.
- ✓ L'usage de l'additif de régénération accroît la maniabilité et la résistance en fatigue, sans pénaliser la rigidité et la tenue à l'orniéragé. Les performances à basses températures sont également améliorées par l'additif et présentent une température de rupture en retrait empêché (T_{faillure}) plus basse que celle des enrobés recyclés non régénérés.
- ✓ Les analyses des fractions SARA des bitumes montrent une réduction du taux d'asphaltènes et de l'indice d'instabilité colloïdal (IC) pour les enrobés recyclés régénérés par rapport aux enrobés non régénérés. De manière générale, le taux élevé d'asphaltènes du liant des enrobés recyclés ne semble pas dégrader les performances en fatigue.