

Code TP2 : RP2-S12011

Acronyme : POP

Post-Oil Pavement



Mots-clés (6 maxi) : Liants alternatifs, chaussées, recyclage, biomasse, calcification endogène,

Responsable IFSTTAR

Emmanuel Chailleux, MAST MIT

Autre Responsable

Sarah Goyer, Cerema

Axe de rattachement : 2

Durée : 4 ans (2012-2015)

Enjeux et objectifs

Le contexte industriel et environnemental de ce début de 21^{ème} siècle implique un certain nombre de questions quant à l'utilisation de la ressource pétrolière. Ce produit fossile va inéluctablement se raréfier, et son utilisation en tant que combustible engendre des émissions rapides de composés carbonés, alors que des millions d'années ont été nécessaires à leur transformation. Les infrastructures routières sont, à plusieurs titres, consommatrices de cette ressource. Des matériaux issus du raffinage du pétrole, tels que les bitumes, les huiles et les polymères synthétiques, sont largement employés pour la fabrication des enrobés routiers. De plus, la fabrication des matériaux pour chaussées (liants hydraulique et pétrolier) et, surtout, la circulation des véhicules utilise à l'heure actuelle des sources d'énergie directement issues du pétrole.

Le monde de la route devra d'autre part faire face à une rareté de la ressource financière, compte-tenu de l'état des comptes des maîtres d'ouvrage, et de la concurrence subie par les dépenses en matière de transport avec d'autres postes jugés parfois plus importants (éducation, santé etc.). Est-il possible de concevoir des infrastructures routières moins, voire non consommatrices en produit pétrolier ? Peut-on aussi faire et entretenir des routes à moindre coût global, assurant une mobilité suffisante pour les besoins de la population ? C'est ce à quoi l'opération de recherche POP va tenter de répondre.

Sujets traités et résultats majeurs visés

- Sujet N°1 : mélanges traités aux liants organiques d'origine végétale (E. Chailleux)
- Sujet N°2 : matériaux pour chaussées hydrauliques à faible impact environnemental (T. Sedran)

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (ordre de grandeur) : 40 hm/an, Autre partenaire institutionnel (le cas échéant) : 39 hm/an

Produits majeurs

Méthode de caractérisation des liants végétaux pour enrobés routier, Evaluation des performances des liants végétaux (dans les enrobés recyclés ou non), Connaissance des potentialité d'utilisation des micro-algues comme bio-masse pour liant végétaux, ACV des liants alternatifs, Etat de l'art sur les liants hydrauliques à faible empreinte CO₂ à usage routier, Carte d'identité de mélanges traités aux LBCE, Méthode de formulation de BCR vert, Traitement et caractéristiques de surface du BHP et du BCR.

Partenariats et contrats

- IFSTTAR : DS, Départements Matériaux et Structures, EASE
- CEREMA (CETE Méditerranée, Ouest, Lyon, Sud-ouest, Ile de France)
- Extérieurs : Univ Nantes (GEPEA, CEISAM), ALgosource Technologie, Alpha Biotech, LMDC (INSA de Toulouse), EPSILON, Eiffage TP, INRETS, Agilis (groupe NGE).

Thèses

- Thèses demandées : Une thèse est demandé pour 2015 (Réalisation et caractérisation d'un liant, alternatif au bitume pétrolier, produit à partir de biomasses renouvelables) sous la co- direction de E. Chailleux (IFSTTAR) et B. Bujoli (CNRS)
- Thèses obtenues :
- Thèse sur le développement de liants hydrocarbonés à base d'algues
- Thèse sur Formulation de matériaux hydrauliques excavables pour tranchées
- Thèse sur l'incorporation d'Asphaltite dans des bitumes de grade élevé
- Thèse sur la calcification endogène (début octobre 2014)

Bilan depuis le lancement de l'outil incitatif

Sujet 1: Identifier et caractériser des matériaux visco-élastique alternatifs, capables de se substituer aux liants et enrobés bitumineux

Rédaction d'un ouvrage : Advances in asphalt materials (Woodhead Publishing) / Chapter: alternative binders from biomass - E Chailleux, MAudo, C Queffelec, S Goyer, O Marzouk en cours - Avancement 2014 : Date prévisionnelle : chapitre à livrer pour fin septembre

Sujet 1.1 : Retour de chantier

DLRB : Mesures NAT (piste cyclable + RD 16) : comportement élastique fragile. Difficulté à obtenir des matériaux au jeune âge pour simulation de la cinétique de vieillissement

Sujet 1.2: Liants végétaux modèles, s'approprier ce nouveau matériau et répondre aux problématiques identifiées en S1.1

IFSTTAR (C. Petiteau) : Mise au point d'une méthode de suivi de cinétique de désenrobage (liant à base d'algue) sur petits échantillons d'enrobé (stage Benjamin Ruau) - Vieillessement : UV + eau - enrobé 0/6 ou 0/10 : sciage de petits barreaux (épaisseur du granulat), testés en flexion (module complexe) (concept : favoriser diffusion eau ou UV dans dimension peu sollicitée : en flexion c'est la longueur qui est la grandeur représentative)

Résultats après immersion dans l'eau : une isotherme (15°C) à plusieurs fréquence (plan Black) : décalage des courbes (module vitreux diminue : changement de la structure du matériau = augmentation des vides, Einfini dépend des % de constituants, et des modules vitreux des constituants : signifierai un désenrobage

Résultats après UV : décalage ressemblant à un vieillissement thermique (glissement le long de la courbe de Black)

CEREMA (ERA25) : études sur désenrobage permettant l'identification des liant végétal (rapport envoyé) / liant synthétique ou mélange végétal / synthétique - vieillissement en fines couches sur lames (A faire avant fin 2014), difficulté de réalisation des modules complexes (passage très rapide à l'état liquide) → nécessité d'adapter les plateaux et les choix de température (comportement différent d'un bitume) et protocole à définir

DSC (calorimétrie différentielle à balayage) programmé sur liants végétaux fin 2014, et DSR (rhéomètre) sur protocole défini suite aux essais préliminaires sur matériau neuf, essais comparatifs à faire avec bitume classique (étalon, 50/70 ?)

Sujet 1.3: Algoroute, évaluer le potentiel d'utilisation d'une biomasse d'avenir pour la chimie verte: les micro-algues

Thèse soutenue en octobre 2013, projet ANR en cours de finalisation (dépôt prévu pour 2015)

Résultats : thèse (M. Audo), brevet (demande d'extension à l'international en septembre 2014)

Sujet 1.4: Asphaltite d'Albanie

CEREMA (ex-CETE IdF / LEM) : 2ème stage de Master pour évaluer la robustesse des résultats 2013,

et poursuite du plan d'expérience (type d'huile, %huile injecté dans l'asphaltite, temps de malaxage asphaltite + huile, dope d'adhésivité), optimisation du protocole de mélange asphaltite / huile - optimisation des dosages en huiles (par rapport à fourchette 20-30% obtenue dans le stage précédent) + dopes (%masse de bitume) : obtention de matériaux très visqueux même à haute température

Formulation d'enrobé BBSG 0/10 classe 3 (Duriez) avec Huiles de Colza et Lin (+dopes, ou chaux) sur squelette granulaire fixe (comparaisons aux spécifications pour les liants de même pénétrabilité) □ résistance à l'eau faible (améliorée avec des dopes), résistances à la rupture très faibles, le dope ramollit le liant (améliore r/R, mais les résistances diminuent, la chaux dégrade la résistance dans l'eau, le surdosage (sans dope) permet d'améliorer les résistances à la rupture

Thèse Andrea Themeli : La thèse suit le programme défini. Mise au point d'une méthode de calcul des distributions des masses moléculaires apparentes à partir de l'angle de phase, Etude de formulation d'EME avec asphaltite en cours (liant : bitume pur + asphaltite)

Sujet 1.5 : Liants végétaux et recyclage

DLRB :Analyse du plan d'expérience en cours (identification des paramètres d'essai les plus pertinents, diamètre des plots, vitesse de sollicitation : identification de 3 comportements rhéologiques différents), comparaison des effets des différents fluxants en cours, rapport en cours de rédaction (rédaction d'un article prévu)

Sujet 1.6: ACV des liants végétaux

Enquête et exploitation des données relatives à l'entretien des couches de roulement : En attente du stage LEM (R. IDIR)

Sujet 2 : ré-examiner la famille des matériaux hydrauliques routiers de façon à dégager des solutions à empreinte carbone réduite

Sujet 2.1: Liants hydrauliques à faible empreinte carbone DALETT : étude Argiliant

CETE IdF : Action proposée par le PCI Eco-matériaux de Sourdun sur un liant obtenu par l'activation alcaline de poudre de verre pour grave traitée : non réalisé (congé maternité)

Sujet 2.2: Mélanges traités aux liants Biologiques à Calcification Endogène (LBCE)

Démarrage de la thèse (Marion Medevielle) en octobre 2014 (étudiante microbiologiste)

Sujet 2.3 : Bétons Compactés au Rouleau

CEREMA (ex LR Autun); validation des mélanges à l'aide de l'essai proctor modifié (formules avec différents % de bétons de démolition), étude de dimensionnement d'une structure en BCR réalisée + évaluation impact environnemental par rapport aux solutions traditionnelles (bétons de ciment) avec ECORCE 2 : énergie et GES

Rédaction d'un article pour le colloque 12th International Symposium on Concrete Pavement en septembre 2014 : poster retenu (présenté par T. Sedran)

Formulation de BCR avec métakaolin (accélération de la prise, reprise des actions DALETT), évaluation de la résistance en fatigue (éprouvettes réalisées, essais à programmer). Planche expérimentale sur chaussée circulée : marché infructueux, relancé avec CG 71 fin 2014, travaux prévus en 2015.

Formulation à 10% de métakaolin ajouté à un CEM III (avec 0, 15 et 100% de bétons de démolition), utilisation du modèle MEC pour optimisation de la courbe granulaire : accélération de la prise confirmée, peu d'évolution au delà de 10 jours (interférence du laitier avec les métakaolins : risque de chutes de performances, avec problèmes éventuels de gonfles), métakaolin très fin (réactivité accrue)

Sujet 2.4 : Thèse E Genesseeux sur la formulation de matériaux hydrauliques excavables pour tranchées

Poursuite de la campagne expérimentale : Incorporation de bulle d'air dans les bétons excavables

(avec savon : billes de la même taille), ajouts de billes polystyrène 1 et 4 mm (augmentation de la résistance avec billes de 1mm, à excavabilité identique)

Résultats attendus pour l'année à venir ([ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement](#))

Sujet 1: Identifier et caractériser des matériaux visco-élastique alternatifs, capables de se substituer aux liants et enrobés bitumineux

Sujet 1.1 : Retour de chantier

DLRB : bilan des travaux réalisés (mesures de module en laboratoire et relevés de dégradation) sur les différentes planches aux liants végétaux

Sujet 1.2: Liants végétaux modèles, s'approprier ce nouveau matériau et répondre aux problématiques identifiées en S1.1

IFSTTAR (C. Petiteau) : La méthode mise au point sur à tester sur petits échantillons d'enrobé est à tester sur barreaux au liant végétal modèle (contact Eiffage à engager pour mise à disposition de liant végétal)

CEREMA (ex LR Aix / ERA25) : poursuite des essais DSC et DSR sur protocole défini suite aux essais préliminaires sur matériau neuf, et analyse des essais comparatifs sur bitume classique connu. E. Chailleux essaye d'obtenir du liant végétal de chez Eiffage pour poursuite des études de vieillissement

Sujet 1.3: Algoroute, évaluer le potentiel d'utilisation d'une biomasse d'avenir pour la chimie verte: les micro-algues

Dépôt du projet ANR algoroute

Sujet 1.4: Asphaltite d'Albanie

CEREMA (ex CETE IdF / LEM) : asphaltite, poursuite du plan d'expérience :

- temps de mûrissement avant mise dans l'eau pour le Duriez pour amélioration des performances de résistance en compression
- Temps de malaxage huile / asphaltite plus longs pour améliorer l'homogénéité du liant
- caractérisation de la maniabilité (PCG) à réaliser

Analyse de la possibilité de travaux communs avec un industriel (financement d'un stage, thèse, post-doc?) LEM / IFSTTAR

IFSTTAR : Thèse Andrea Themeli: Fin prévue en Mars 2015.

Sujet 1.5 : Liants végétaux et recyclage

DLRB : poursuite du plan d'expérience DLRB (après identification des paramètres pertinents) : essais de pull-off sur différents couples liants neufs / liants anciens, corrélation des transferts (diffusivité d'un liant à un autre) et sollicitation en cisaillement en collaboration avec Ifsttar/MIT (utilisation du DSR)

Sujet 1.6: ACV des liants végétaux

Enquête et exploitation des données relatives à l'entretien des couches de roulement.

Lien à engager avec les opérations CERI et MBDE sur les actions ACV (questionnaire commun ?)

Sujet 2 : ré-examiner la famille des matériaux hydrauliques routiers de façon à dégager des solutions à empreinte carbone réduite

Sujet 2.1: Liants hydrauliques à faible empreinte carbone CEREMA (DALETT) : étude Argiliant

CEREMA (ex-CETE IdF) : action proposée par le PCI Eco-matériaux de Sourdun sur un liant obtenu par l'activation alcaline de poudre de verre pour grave traitée : abandon de cette action

Sujet 2.2: Mélanges traités aux liants Biologiques à Calcification Endogène (LBCE)

Thèse de Marion Medevielle (début octobre 2014)

Sujet 2.3 : Bétons Compactés au Rouleau

CEREMA (ex-LRAutun) ; analyse des interactions métakaolins / laitiers avant définition du programme de travaux : formulation

labo (évaluation des performances pour dosages plus faibles, du fait de la forte réactivité), dosage optimal avec LHR à définir via pré-études (essais sur mortiers 4*4*16 pour compatibilité des liants, différents % dosages métakaolin, différents ciments) → essais avec teneur en métakaolin supérieure à 10% (l'impact environnemental sera toujours inférieur au ciment), ajout à CEM I ou CEM II (pour éviter interaction avec laitier)

Sujet 2.4 : Thèse E Genesseaux sur la formulation de matériaux hydrauliques excavables pour tranchées

Soutenance : printemps 2015