
Comportement thermomécanique des agrégats d'enrobés compactés non saturés

Gaillard Laura¹, Chazallon Cyrille²

¹ Génie Civil et Energétique (GCE), Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube, UMR 7357, CNRS, INSA de Strasbourg, Université de Strasbourg), INSA de Strasbourg, 24 Boulevard de la Victoire Strasbourg Cedex, France, laura.gaillard@insa-strasbourg.fr

² Génie Civil et Energétique (GCE), Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube, UMR 7357, CNRS, INSA de Strasbourg, Université de Strasbourg), INSA de Strasbourg, 24 Boulevard de la Victoire Strasbourg Cedex, France, cyrille.chazallon@insa-strasbourg.fr

RÉSUMÉ. Les agrégats d'enrobés proviennent de la démolition des couches bitumineuses des chaussées routières et sont recyclés soit dans des enrobés chauds, soit dans des enrobés tièdes. Le projet ORRAP (Optimal Recycling of Reclaimed Asphalts in low traffic Pavements) s'intéresse au recyclage à froid des agrégats d'enrobés dans les couches d'assise des chaussées à faible trafic. Etablir les conditions requises pour leur réemploi dans les chaussées à faible trafic est l'un des principaux objectifs de ce projet, sachant que ces chaussées représentent 70% du réseau national français. D'un point de vue expérimental, l'effet de la température sur le comportement mécanique est un élément clé. En effet, l'enrobage de l'agrégat rend le matériau sensible à la température. Dans un premier temps, les conditions d'échantillonnage sont étudiées. Puis, ces matériaux granulaires cohésifs sont soumis à des essais de rupture, des essais triaxiaux à chargements répétés et à différentes températures (entre 20 et 50 degrés). Les comportements réversible et irréversible des échantillons seront observés.

ABSTRACT. The asphalt aggregates arise from the demolition of asphalt road layers and are recycled with either hot mix asphalt or warm mix asphalt. The ORRAP project (Optimal Recycling of Reclaimed Asphalts in low traffic Pavements) analyses the cold recycling of asphalt aggregates in low traffic road layers without binder addition. The required conditions for their reuse in low traffic roads is one of the main objectives of this project, considering that they represent 70% of national road network in France. From an experimental point of view, the effect of the temperature on the mechanical behaviour is key element. Indeed, the aggregate, which is covered with bitumen, is susceptible to the temperature. First, the sampling conditions will be studied. Then, the laboratory study concerns these cohesive granular materials which are then subjected to monotonic triaxial tests, repeated load triaxial tests and different temperatures (between 20 and 50 degrees Celsius). The reversible and irreversible behaviours of the samples will be studied.

MOTS-CLÉS : comportement thermomécanique, recyclage à froid, échantillonnage, essai de rupture, essai triaxial à chargements répétés

KEY WORDS: thermo-mechanical behaviour, cold recycling, sampling, monotonic triaxial test, repeated load triaxial test

1. Introduction

Les agrégats d'enrobés, issus de la démolition des couches bitumineuses des chaussées, sont principalement valorisés dans des enrobés à chaud. Le projet européen ORRAP ambitionne de développer une stratégie de recyclage à froid des agrégats d'enrobés sans addition de liant, dans les couches d'assise des chaussées à faible trafic. Celles-ci représentent environ 70% du réseau national. Les objectifs sont d'augmenter le recyclage des agrégats d'enrobés afin d'économiser les ressources non renouvelables et également de réduire l'impact environnemental. En effet, le taux de HAP des agrégats d'enrobés régit leurs conditions de recyclage, exposées dans le tableau 1.

Taux T de HAP [mg/kg]	$0 < T < 50$	$0 < T < 500$	$500 < T < 1000$	$T > 1000$
Procédure	Recyclage à chaud	Recyclage à froid	Stockage classe 2	Stockage classe 1

Tableau 1. Procédure de recyclage des agrégats d'enrobés en fonction du taux de HAP

En Suède, le recyclage à froid sans addition de liant est déjà développé. Dans un premier temps, les couches d'assise sont réalisées en agrégats d'enrobés. Puis la chaussée est ouverte à la circulation pendant 6 mois afin de permettre un post-compactage des agrégats d'enrobés. Dans un second temps, la couche de roulement est mise en œuvre rectifiant les défauts. Afin d'établir les conditions de réemploi des agrégats d'enrobés, une campagne d'essais est en cours pour décrire leur comportement mécanique. Ce matériau étant sensible à la température, en raison de l'enrobage des agrégats, les essais sont réalisés à différentes températures.

2. Matériau étudié et échantillonnage

2.1. Caractéristiques du matériau

Les agrégats d'enrobés testés proviennent majoritairement de couches de roulement et présentent un taux de HAP de 300 mg/kg. La courbe granulométrique est exposée sur la figure 1.

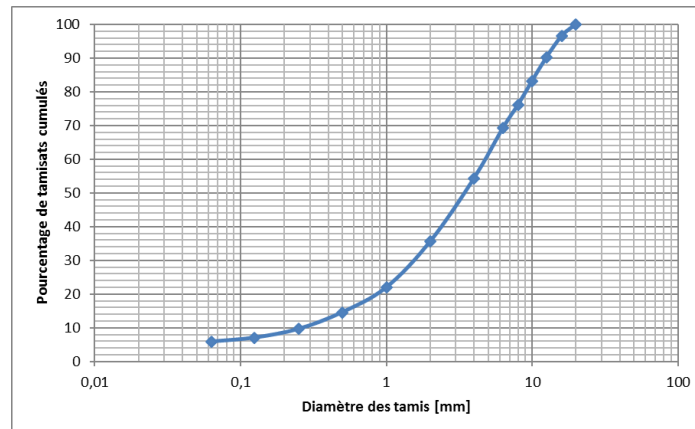


Figure 1. Courbe granulométriques des agrégats d'enrobés

2.2. Echantillonnage

Afin de garantir une homogénéité, notamment granulométrique, une procédure d'échantillonnage a été établie. Le matériau est prélevé à différents endroits de la pile de stockage puis est réparti sous forme pyramidale en couches longitudinales successives. Enfin, la quantité d'agrégats d'enrobés nécessaire pour un essai est prélevée par tranches transversales.



Figure 2. Stockage des agrégats d'enrobés

3. Essais en laboratoire

La campagne d'essais en laboratoire est en cours de réalisation.

3.1. Fabrication des échantillons

Les agrégats sont séchés en étuve pendant 48 à 72 heures à 45°C, afin d'éviter une cohésion trop élevée et une émanation trop importante des HAP. Une quantité d'eau est incorporée au matériau sec dans le malaxeur, celui-ci est chauffant pour réaliser le malaxage à la température d'essai souhaitée. La teneur en eau visée est celle obtenue à l'optimum Proctor modifié moins 2%, soit 2,86%. Le mélange est compacté au marteau vibrant en sept couches dans un moule en aluminium. Pour réaliser le compactage à la température désirée, le moule est préalablement placé en étuve puis enroulé d'un isolant afin d'éviter les pertes de chaleur. L'échantillon obtenu a un diamètre de 150 mm et une hauteur de 300 mm. Le compactage est exécuté de façon à obtenir une masse volumique sèche égale à 1,96 Mg/m³. L'échantillon d'agrégats d'enrobés est ensuite recouvert d'une membrane en néoprène pour garantir son étanchéité lors de l'essai.

3.2. Equipement

Pour réaliser les essais à différentes températures, nous disposons d'une cellule triaxiale thermo-régulée avec trois rubans chauffants. La température de l'eau est régulée par une sonde de température puis nous disposons de deux sondes de température aux extrémités de l'échantillon. Les déformations sont mesurées par deux capteurs axiaux et un capteur radial positionnés directement sur l'échantillon.

3.3. Essais de rupture

Les essais de rupture sont menés à température ambiante (environ 20°C) et à 50°C avec des pressions de confinement de 0 kPa à 70 kPa. L'objectif est d'étudier l'influence de la température sur la résistance à la rupture des agrégats d'enrobés.

3.4. Essais triaxiaux à chargements répétés (TCR)

Le but est notamment d'étudier les comportements à court et long termes des agrégats d'enrobés en fonction de la température. Le test TCR est réalisé à 20°C, 35°C et 50°C. Durant cet essai, l'échantillon est soumis aux sollicitations suivantes, simulant les chargements routiers :

- une pression de confinement constante σ_3 ,
- une sollicitation axiale cyclique q , appelée contrainte déviatorique.

Nous appelons p la contrainte moyenne [1].

$$p = (2 \sigma_1 + \sigma_3) / 3 \quad [1]$$

3.4.1. Comportement à court terme

Afin d'observer les déformations réversibles, le test se compose de deux phases. Durant la première, le conditionnement, l'échantillon est soumis pendant 20 000 cycles à un chargement élevé permettant la stabilisation des déformations permanentes. La seconde phase consiste à tester différents chemins de contraintes pendant 100 cycles afin d'observer le comportement résilient du matériau. La figure 3 présente les différents chemins de contraintes avec des pressions de confinement de 20 à 150 kPa.

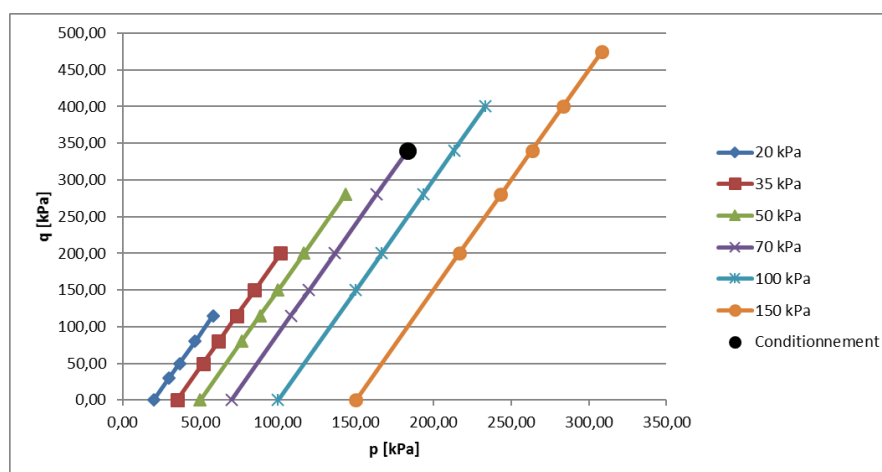


Figure 3. Chemins de contraintes pour l'essai résilient

3.4.2. Comportement à long terme

L'évolution des déformations permanentes peut être observée au cours de 80 000 cycles minimum avec le chargement correspondant au conditionnement présenté en 3.4.1. De plus, afin de limiter le nombre d'essais, le chargement par paliers permet également d'étudier les déformations permanentes. Les différents chemins de contraintes sont appliqués successivement à la même éprouvette durant 10 000 cycles, de la séquence 1 avec une pression de confinement de 20 kPa à la séquence 4 avec 150 kPa. Sur la figure 4, les chemins de contraintes sont exposés.

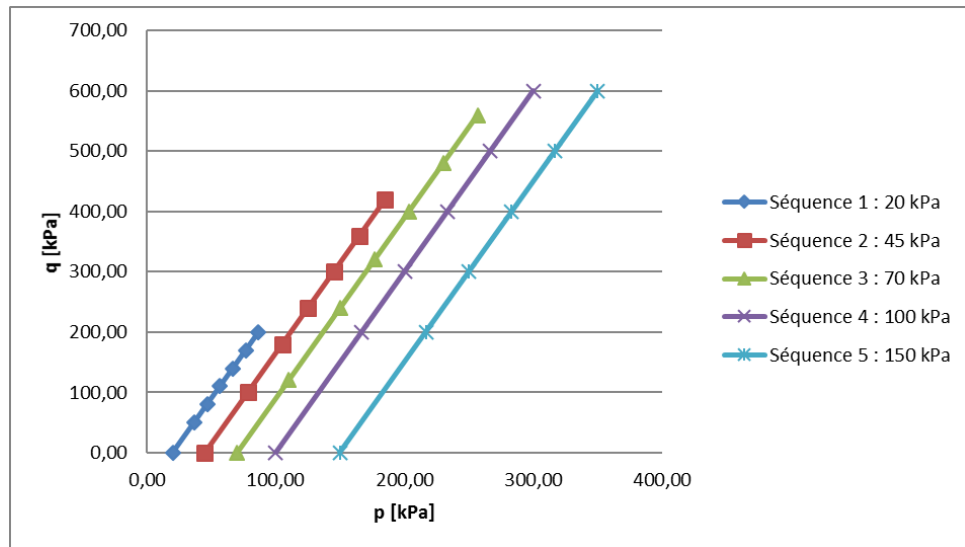


Figure 4. Chemins de contraintes pour l'essai par paliers

4. Conclusion

L'ambition de développer le recyclage à froid des agrégats d'enrobés dans les chaussées à faible trafic nécessite une étude mécanique et thermique via les procédés cités précédemment. La campagne d'essais explicitera le comportement mécanique des agrégats d'enrobés pour des températures comprises entre 0 et 50°C. Par conséquent, la perspective est de compléter le travail expérimental par une modélisation numérique afin d'atteindre des domaines de températures non accessibles expérimentalement.

5. Bibliographie

[GAB 12] GABET T., WAYMAN M., Sampling Procedure for Reclaimed Asphalt, report of deliverable 1.3 Re-Road – End of life strategies of asphalt pavements, 26 novembre 2012, p. 8-18.

[JAC 11] JACOBSON T., VTI notat 25-2010 - Återvinning av asfaltgranulat vid motorvägsbygget på E4, Markaryd Uppföljningar åren 2005–2010, Bilaga 1 Teknisk beskrivning för asfaltgranulat som bärlager, 2011.

[MIA 16] MIAO Y., HUANG Y., ZHANG Q., WANG L., « Effect of temperature on resilient modulus and shear strength of unbound granular materials containing fine RAP », *Construction and Building Materials*, vol. 124, 15 octobre 2016, p. 1132-1141.

[JIN 17] JIN P., Etude de l'effet des fines et de la teneur en eau sur le comportement hydromécanique des matériaux granulaires, thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 2017.

NF EN 13286-7, *Mélanges avec ou sans liant hydraulique - Partie 7 : Essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique.*