
Analyse et modélisation des caractéristiques mécaniques du béton de fraisât

Sawssen El Euch Ben Saïd¹, Saloua El Euch Khay²,
Taoufik Achour³, Amara Loulizi²

1. Institut supérieur des études technologiques de Radès, laboratoire matériaux, optimisation et énergie pour la durabilité (LR-MOED-ENIT), BP 172, 2098 Radès, Tunisie
sawsseneleuch@yahoo.fr
2. LR-MOED-ENIT, université Tunis El Manar, École nationale d'ingénieurs de Tunis (ENIT), BP 37, Le Belvédère, 1002 Tunis, Tunisie
eleuchsaloua@yahoo.fr, amlouliz@vt.edu
3. Laboratoire de génie civil de l'ENIT, université Tunis Carthage, École nationale d'architecture et d'urbanisme, rue El Quods, Carthage, 2026 Tunis, Tunisie
achour_taoufik@yahoo.fr

RÉSUMÉ. La valorisation des fraisât d'enrobés dans les bétons hydrauliques est une technique moderne qui présente plusieurs avantages sur les plans techniques, économiques et environnementaux. Toutefois, l'incorporation de ce déchet dans le béton entraîne une diminution de ses performances mécaniques due à une baisse d'adhérence dans la zone de transition fraisât-pâte de ciment. Une vaste étude expérimentale menée dans le cadre de ce travail sur des bétons hydrauliques aux différents pourcentages de fraisât ont permis d'étudier l'influence de la variation de ces teneurs sur les propriétés mécaniques du béton (résistance à la compression, résistance à la traction par fendage et module d'élasticité). En plus, et pour mieux appréhender le comportement mécanique du béton de fraisât et afin de prédire sa résistance à la traction et son module d'élasticité, deux modèles existants de la littérature ont été utilisés. Les résultats de la modélisation ont confirmé les résultats expérimentaux en montrant que l'incorporation de fraisât dans le béton hydraulique diminue sa résistance à la traction ainsi que son module d'élasticité. Les modèles semblent donc appropriés pour prédire les propriétés mécaniques des bétons de fraisât.

ABSTRACT. The reuse of reclaimed asphalt pavement (RAP) in producing Portland cement concrete (PCC) is a modern technique that offers several technical, economic, and environmental advantages. However, the incorporation of this waste material in PCC results in a decrease in its mechanical performance due to a reduction in adhesion in the transition zone between RAP and cement paste. A large experimental study carried out on PCC mixes incorporating different percentages of RAP made it possible to quantify the effects of RAP content on the mechanical properties of concrete (compressive strength, indirect tensile strength, and modulus of elasticity). In addition, and in order to predict the tensile strength and modulus of elasticity of RAP concrete, two existing models were used. Modelling results confirmed the experimental findings by showing that the incorporation of RAP in PCC decreases its tensile strength as well as its modulus of

elasticity. The models seem therefore to be appropriate for predicting mechanical properties of RAP concretes.

MOTS CLÉS : recyclage, fraisât, caractéristiques mécaniques, modélisation.

KEYWORDS: recycling, RAP, mechanical properties modelling.

DOI: 10.3166/rcma.2017.00013 © 2017 Lavoisier

Extended abstract

Reuse of reclaimed asphalt pavement (RAP) is part of a sustainable development approach since not only it takes advantage of a waste material but also limits the use of natural aggregate resources. One of the possible techniques for reusing RAP is to incorporate it in the formulation of Portland cement concrete (PCC) in rigid pavement construction. Existing design methods for this type of pavement make use of two concrete properties, among others, namely the tensile strength and the modulus of elasticity. In fact, truck loadings induce tensile stresses at the bottom of the rigid concrete layer; the repetition and magnitude (mainly with respect to the tensile strength) of these stresses lead to fatigue cracking. The induced tensile stresses are of course a function of the applied load, thickness and elastic modulus of the concrete layer. This paper begins by briefly presenting the models used to predict the tensile strength and the modulus of elasticity of the different concrete mixtures used in this study, namely the models developed by de Larrard and le Roy. Then, the extensive experimental program performed during this research effort is presented by showing the results of the identification tests made on the different used materials as well as the formulation of the six concrete mixtures made with different percentages of RAP going from 0% to 100%. The natural aggregates used in this study are calcareous crushed sand and gravel supplied by the same quarry, while RAP was obtained from the milling process of a national road. The RAP material was screened into two fractions: sand fraction and gravel fraction with the same gradation as their respective natural aggregates. The formulation of the control mixture (0% RAP) was carried out using the compressible packing model developed by the “laboratoire centrale des Ponts et Chaussées (LCPC)” through the use of their software BétonLabPro. The other five concrete mixtures were obtained by replacing different percentages of the volume fraction occupied by the natural aggregates by RAP. To test the performance of the produced six concrete mixtures, their compressive strength, indirect tensile strength, and modulus of elasticity were determined at different ages. The testing results show that the higher the percentage of RAP incorporated in the concrete mixture, the lower the measured mechanical properties. However, a replacement ratio of up to 60% produced PCC that meets the specifications for usage in rigid pavement construction. The last part of the paper deals with the validation of existing models for predicting the tensile strength and the modulus of elasticity of RAP concrete. The two evaluated models are those of de Larrard and le Roy originally established for conventional concrete. It was found that the evaluated models could be used to predict the tensile strength and modulus of elasticity of RAP concretes. The coefficient k_t , which relates the tensile strength of a

mixture to its compressive strength varied significantly from one mixture to another depending on the RAP percentage. This coefficient was found to decrease as the RAP percentage increases, which confirms that it is controlled by the nature of the granular constituents of the mixture (natural aggregates and/or RAP). In addition, the modulus of elasticity of the aggregates E_g decreased with an increase in the percentage of RAP in the concrete, which is mainly attributed to the presence of bitumen in RAP.

1. Introduction

En Tunisie, la construction et l'entretien du réseau routier mobilisent des quantités importantes de matériaux, environ 20 millions de tonnes de granulats, dont les opérations d'extraction, de fabrication, de transport et de mise en œuvre sont des facteurs importants de consommation d'énergie, d'émissions de gaz à effet de serre et de gêne aux usagers et aux riverains. Cependant, il est possible d'atténuer ces impacts tout en réalisant des économies importantes, en considérant les matériaux des anciennes chaussées comme un gisement que l'on peut valoriser par un traitement approprié.

Les fraisât d'enrobé sont des déchets issus de la déconstruction des couches supérieures de la chaussée lors de son entretien. Ils sont constitués de granulats de différentes tailles (pour environ 94 à 96 %) et d'un bitume (4 à 6 %). En Tunisie, ils sont actuellement considérés comme déchets sans valeur. Ils sont parfois utilisés pour assurer des comblements ou des calages d'accotement. De plus, les travaux de fraisage des couches de l'ancienne chaussée ne sont pas réalisés automatiquement. Ils ne le sont que si la chaussée est sujette de problèmes d'ornières et d'ondulations. Cependant, le fraisage de l'ancienne chaussée présente plusieurs avantages tels que : enlever la surface abîmée, corriger la texture et le profil de la surface, laisser une surface striée susceptible d'améliorer l'adhérence entre ancienne et nouvelle chaussée et entraînera une augmentation ultérieure de la quantité de fraisât générée. La quantité moyenne annuelle de fraisât est estimée à 200 milles tonnes entre les années 2012 et 2016.

Plusieurs équipes de recherches se sont intéressées au béton de fraisât et en particulier à l'étude de l'influence de l'introduction du fraisât sur les résistances du béton et notamment sa résistance à la compression tels que Al-Oraimi *et al.* (2009), Brand *et al.* (2012), Bermel (2011), Delwar *et al.* (1997), Hassan *et al.* (2000), Huang *et al.* (2006), Koliass (1996), Li *et al.* (1998), Nabil Hossiney *et al.* (2010), Okafor (2010) et Sommer (1994) et sa résistance à la traction en fendage tels que Brand *et al.* (2012), Huang *et al.* (2006), Koliass (1996), Mathias *et al.* (2004), Nabil Hossiney *et al.* (2010) et Sommer (1994). Tous les résultats trouvés affirment que les résistances diminuent en fonction de l'augmentation du pourcentage de fraisât introduit. Cependant, ces caractéristiques restent acceptables pour un pourcentage inférieur à un seuil donné. Certaines recherches ont examiné entre autres l'effet du fraisât sur le module d'élasticité du béton telles que Bermel (2011), Delwar *et al.* (1997), Koliass (1996), Hassan *et al.* (2000), Huang *et al.* (2006) et Nabil Hossiney *et al.* (2010). Le même effet a été observé : le béton devient plus souple en présence de fraisât.

Dans le présent article, on donne un aperçu sur le modèle proposé par de Larrard et le Roy (1992), un modèle reposant sur un calcul d'homogénéisation et prenant en compte la compacité maximale limitée du squelette granulaire. Ensuite, on présente les résultats d'une vaste étude expérimentale menée sur des bétons hydrauliques avec différents pourcentages d'ajout de fraisât. Puis et en appliquant le modèle proposé au béton de fraisât, on détermine enfin les paramètres relatifs à la résistance à la traction et module d'élasticité de ce dernier.

2. Présentation des modèles utilisés

Le béton est un matériau hétérogène dont le comportement est complexe et dépend de plusieurs facteurs. Les modèles utilisés dans cet article sont proposés par de Larrard et le Roy (1992). Ils sont basés sur une combinaison du modèle trisphère et de l'approche empirique des modèles du laboratoire centrale des Ponts et Chaussées (LCPC).

2.1. Modèle de la résistance à la traction

La résistance à la traction par fendage f_t est déduite de la résistance à la compression, selon l'équation (1) :

$$f_t = k_t (f_c)^{0,57}, \quad (1)$$

où k_t est un paramètre qui dépend de la nature des granulats. Il doit vérifier, d'après de Larrard (1999), la condition (2) :

$$0,32 \leq k_t \leq 0,47. \quad (2)$$

Il est à noter que la précision du modèle est de l'ordre 0,17 MPa (de Larrard, 1999).

2.2. Modèle du module d'élasticité

Le modèle considère le béton comme un matériau composite constitué de granulats et d'une matrice cimentaire liante. Le béton est ainsi formé d'un empilement de cellules sphériques de taille variable. Chaque cellule est composée de trois sphères concentriques : un noyau central pâteux, une couche intermédiaire représentant le granulat et une croûte externe en pâte de ciment (figure 1).

Le module d'élasticité est déterminé par la théorie d'homogénéisation en se basant sur le modèle trisphère de de Larrard et le Roy (1992). Il est donné par la relation (3) :

$$E = \left[1 + 2g \frac{E_g^2 - E_m^2}{(g^* - g)E_g^2 + 2(2 - g^*)E_g E_m + (g^* + g)E_m^2} \right] E_m, \quad (3)$$

où g et g^* sont respectivement la proportion volumique de granulats de dimension supérieur à 80 μm dans 1 m^3 de béton et le volume maximum de granulats qui serait

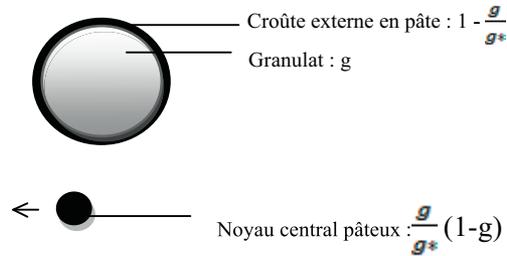


Figure 1. Cellule élémentaire dans la représentation trisphère

physiquement possible de placer dans un volume unité de béton appelée également compacité granulaire optimale de l'empilement sec. E_g et E_m sont les modules d'élasticité respectives des agrégats et de la matrice. E_m est donné à partir de la résistance à la compression du béton par la formule empirique (4) :

$$E_m = 226f_c. \quad (4)$$

Il est à noter que l'erreur moyenne du modèle est de l'ordre 3,2 GPa (de Larrard, 1999).

3. Étude expérimentale

Dans cette partie, les caractéristiques des matériaux utilisés, les essais de laboratoire réalisés ainsi que les principaux résultats obtenus sont présentés.

3.1. Identification des matériaux

Le béton de fraisât est composé de fraisât d'enrobé et de matériaux neufs. Le ciment utilisé lors de cette étude expérimentale est un ciment Portland de classe CEM I. 42,5 répandant à la norme tunisienne NT 47-01. Ce ciment a une résistance à la compression garantie d'au moins 40 MPa et une densité spécifique de 3,1. Selon son fabricant, les pourcentages par masse de ses constituants principaux sont les suivants : 54,4 % des silicates tricalciques (C3S), 18,6 % des silicates dicalciques (C2S), 2,2 % des aluminates tricalciques (C3A), et 9 % des tétracalciques aluminoferrite (C4AF). Les granulats neufs utilisés dans cette étude sont : un gravier 4/16 et un sable de concassage 0/4 provenant d'une carrière locale. Le fraisât d'enrobé utilisé provient du fraisage de la chaussée d'une route nationale. Sa teneur en bitume est de 5 % en moyenne. Ce dernier est de classe 35/50 et de 14 ans d'âge.

Les essais de caractérisation des granulats ont été réalisés selon les normes en vigueur. Les courbes granulométriques des matériaux sont représentées sur la figure 2.

La masse volumique absolue MVA, la teneur en filler, le coefficient d'absorption (Ab), l'indice de plasticité (Ip), l'équivalent de sable (ES), le coefficient Los Angeles (LA) et la compacité des matériaux utilisés sont déterminés et montrés dans le tableau 1.

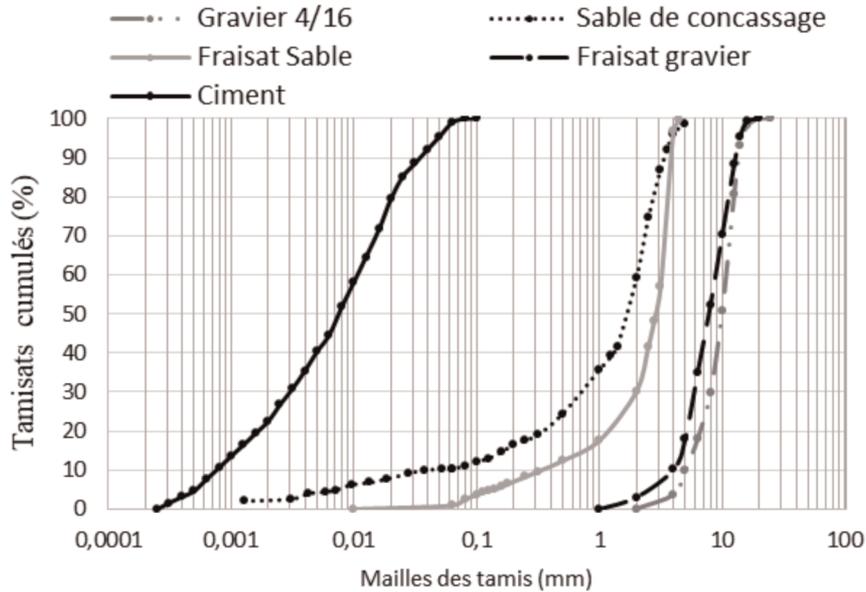


Figure 2. Courbes granulométriques des différents constituants

Tableau 1. Caractéristiques des matériaux

	MVA (g/cm ³)	< 80 μm (%)	Ab (%)	Ip	ES (%)	LA	Compacité
Gravier	2,70	0,8	0,8	Indéterminable	-	19	0,6285
Sable	2,69	12	0,6	Indéterminable	88	-	0,7173
Gravier de fraisât	2,45	0,8	0,3	Indéterminable	-	35	0,5302
Sable de fraisât	2,49	9	0,3	Indéterminable	79	-	0,5531

Les compacités des ciments et des fillers sont déterminées par un essai de demande en eau, alors que celles des graviers et sable sont déterminées à sec sous vibration et compression de 10 kPa.

3.2. Formulation

Pour la formulation et l'optimisation des proportions des différents composants de béton de fraisât, et afin d'optimiser sa compacité, la méthode d'empilement

Tableau 2. Composants des formules de béton de fraisât

Formule	Fraisât (%)	Eau (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	Fraisât 0/4 (kg/m ³)	Fraisât 4/20 (kg/m ³)	Gravier 4/16 (kg/m ³)	Sable 0/4 (kg/m ³)
F0	0	223	330	0	0	816	965
F20	20	223	330	179	148	653	772
F40	40	223	330	357	296	490	579
F60	60	223	330	536	444	326	386
F75	75	223	330	670	555	204	241
F100	100	223	330	893	740	0	0

compressible du LCPC a été utilisée à travers le logiciel BétonLab. Six formules ont été testées, avec des teneurs en fraisât variant de 0 % à 100 %, avec un pas de 20 % du volume total des granulats, afin d'étudier l'influence de l'introduction de ce déchet sur les différentes caractéristiques du béton hydraulique.

Les constituants des 6 formules testées sont montrés dans le tableau 2. Pour toutes les formules, le rapport E/C est gardé constant égal à 0,67. L'affaissement est entre 6 et 7 cm. Le dosage en ciment a été fixé à 330 kg/m³, un dosage fréquemment utilisé pour les bétons routiers.

3.2.1. Résistances à la compression

Des essais de compression ont été réalisés sur des éprouvettes cylindriques 10 cm × 20 cm à différentes échéances : 1, 3, 7, 14, 28, 60 et 90 jours de la date de confection des éprouvettes pour les six formules de bétons testées. La figure 3 montre les résultats trouvés. Il est clair depuis la figure 3 que l'évolution de la résistance à la compression des bétons formulés avec le déchet est similaire au béton témoin (les courbes ont une allure similaire). Toutefois, la résistance diminue en présence de ce déchet.

3.2.2. Résistances à la traction par fendage

L'essai de fendage est couramment utilisé pour déterminer les propriétés des matériaux en utilisation routière. Les résultats de cet essai, illustrés sur la figure 4, confirment que la résistance à la traction par fendage décroît pareillement en augmentant le taux de fraisât.

3.2.3. Module d'élasticité

L'histogramme illustré sur la figure 5 récapitule les valeurs des modules d'élasticité mesurées à différentes échéances pour les six formules testées. La même tendance a été

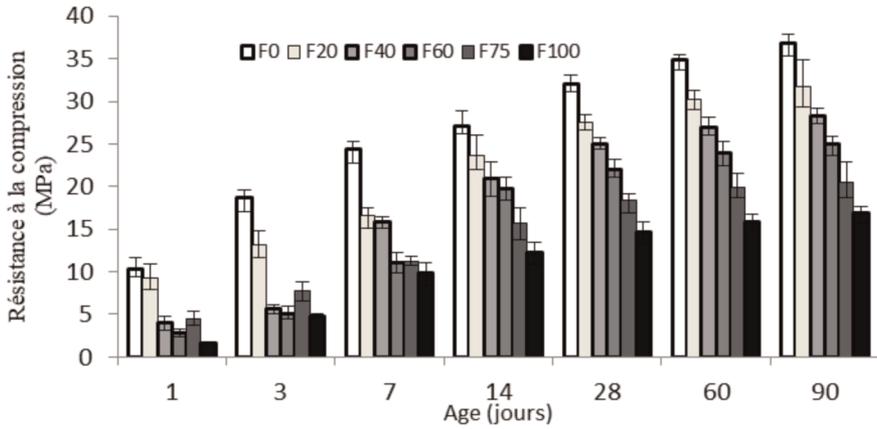


Figure 3. Résistance à la compression en fonction de l'âge des bétons testés

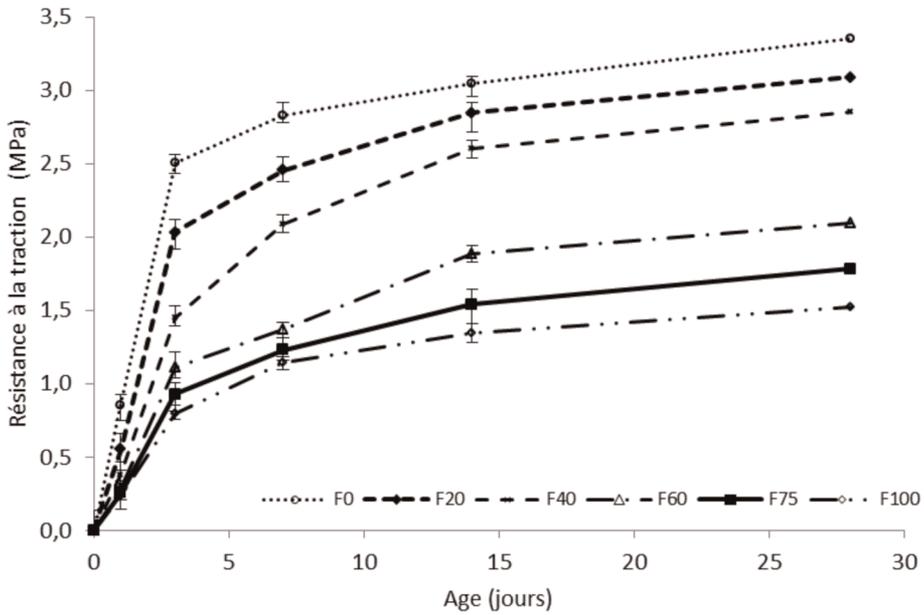


Figure 4. Évolution de la résistance à la traction par fendage en fonction de l'âge

observée : la valeur du module d'élasticité diminue lorsque le taux de déchet dans le béton augmente. Cela est prévisible puisque le fraisât est un granulat enrobé de bitume qui est un matériau souple à module bas.

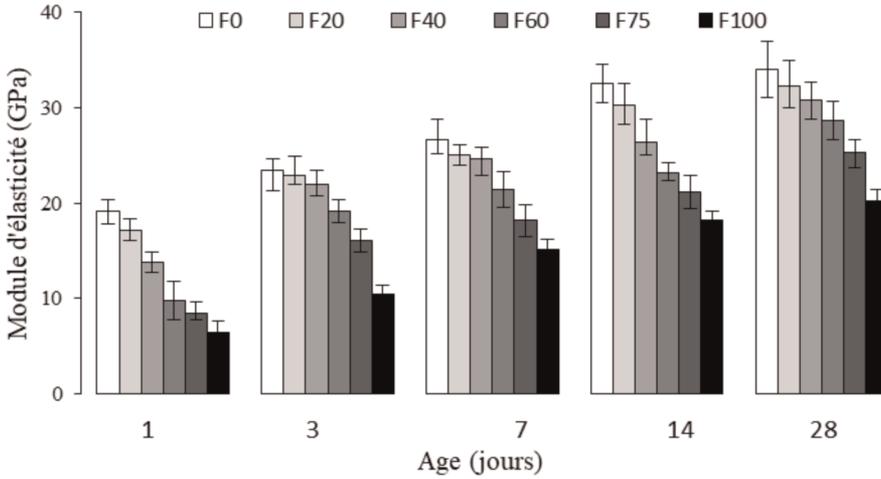


Figure 5. Valeurs de module d'élasticité en fonction de l'âge

3.2.4. Interprétation des résultats des essais mécaniques

Les résultats des différents essais mécaniques réalisés montrent que la substitution des granulats neufs par du fraisât dans le béton s'accompagne d'une diminution claire des résistances à la compression et à la traction par fendage (figure 6). Cette baisse de résistances est accompagnée d'une diminution du module d'élasticité. En outre, la variation des différentes caractéristiques est presque linéaire en fonction du taux de déchet contenu dans le béton (figure 6). Ces résultats rejoignent ceux trouvés par d'autres chercheurs tels que Al-Oraimi *et al.* (2009), Brand *et al.* (2012), Bermel (2011), Delwar *et al.* (1997), Hassan *et al.* (2000), Huang *et al.* (2006), Koliass (1996), Li *et al.* (1998), Nabil Hossiney *et al.* (2010), Okafor (2010) et Sommer (1994). La diminution des résistances est due essentiellement à des défauts dans la zone de transition pâte-granulat et plus précisément à une baisse de l'adhérence entre ces deux phases de béton.

4. Prédiction de la résistance à la traction et du module d'élasticité au béton de fraisât

Pour utiliser le modèle de de Larrard et le Roy (1992) dans le cas de béton de fraisât, nous avons fait l'hypothèse suivante : le fraisât (qui est un granulat enrobé de bitume) est considéré comme un nouveau granulat caractérisé par sa granulométrie, sa densité et sa compacité. Ces dernières caractéristiques sont différentes de celles des granulats neufs.

4.1. Résistance à la traction

L'approche proposée par de Larrard et le Roy est donnée par la relation (1). La modélisation consiste à déterminer les paramètres $k_t F0$, $k_t F20$, $k_t F40$, $k_t F60$, $k_t F75$ et $k_t F100$ relatives aux six formules étudiées.

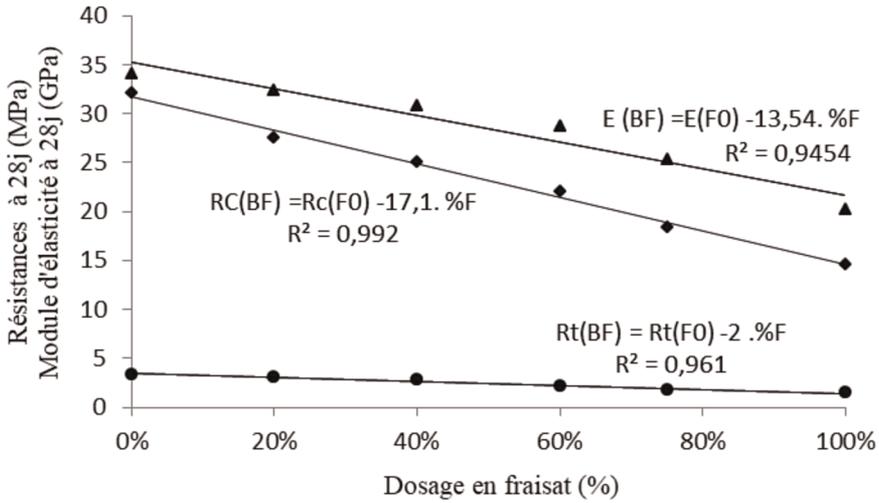


Figure 6. Variation des caractéristiques mécaniques en fonction de pourcentage de fraisât à 28 j

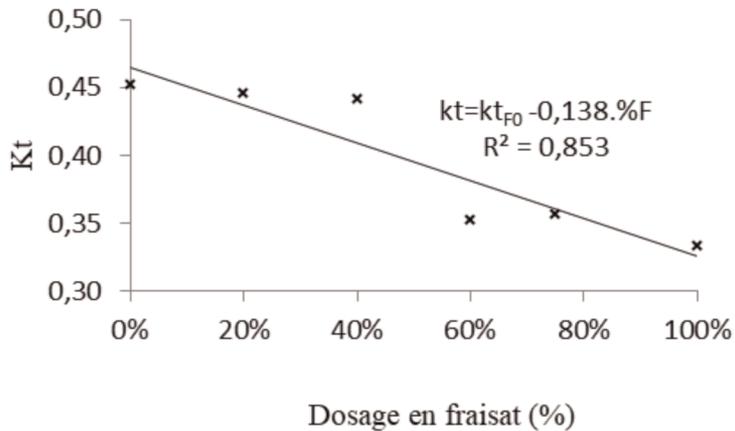


Figure 7. Évolution du coefficient k_t en fonction du %F

Les coefficients k_t sont obtenus en utilisant la méthode des moindres carrés (en minimisant l'écart entre les valeurs expérimentales et théoriques). La figure 7 illustre l'évolution du coefficient k_t en fonction du %F. Le coefficient k_t varie significativement d'une formulation à une autre, ce qui confirme bien qu'il est contrôlé par la nature des constituants granulaires du mélange (granulats neufs et fraisât d'enrobés). Les mélanges réalisés avec les fraisât d'enrobés ont donné des coefficients k_t plus faibles que celui de la formule témoin (sans fraisât). Cependant, les valeurs de k_t pour tous les mélanges vérifient la condition (2).

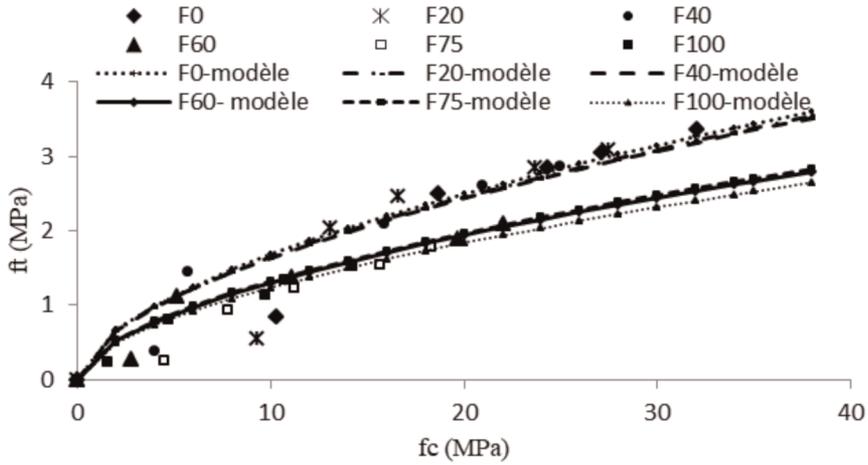


Figure 8. Variation de la résistance à la traction en fonction de la résistance à la compression

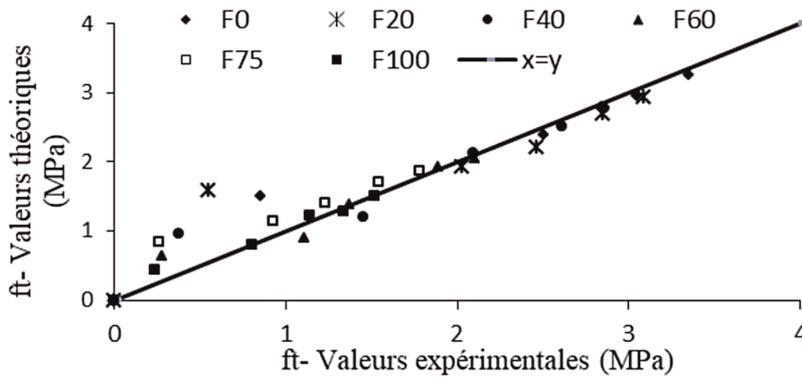


Figure 9. Variation de f_t théoriques en fonction de f_t du modèle

La figure 8 illustre les courbes représentant le modèle pour les différentes formules ainsi que les points expérimentaux. Ces derniers encadrent bien les courbes du modèle.

La figure 9 montre la variation des résistances en traction théoriques (calculées par le modèle) en fonction de celles expérimentales. La bissectrice longe bien les points expérimentaux. Ce qui prouve la convenance du modèle aux mélanges étudiés.

4.2. Module d'élasticité

La modélisation du module d'élasticité E à travers le modèle de le Roy et de de Larrard est établie suivant la formule (3). Cette dernière prend en considération la

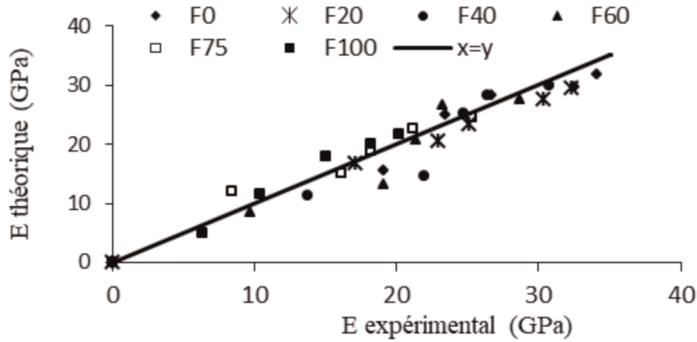


Figure 10. Variation de E théorique en fonction de E expérimental

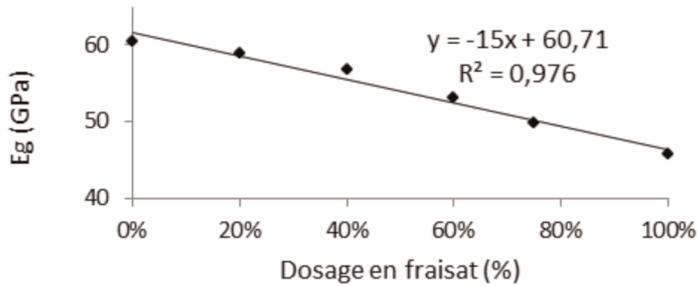


Figure 11. Variation de E_g en fonction du %F

compacité granulaire du mélange g et la compacité granulaire maximale g^* ainsi que l'élasticité des deux phases présentes dans le mélange : le granulat à travers son module E_g et la matrice par son module E_m calculé à partir de la relation empirique (4).

Le module du granulat E_g est déterminé par calage en minimisant l'écart entre les modules calculés et les modules mesurés expérimentalement. La figure 10 représente la variation du module d'élasticité calculé par le modèle en fonction du module mesuré expérimentalement. La figure montre bien que la dispersion des résultats obtenus est faible ce qui prouve la bonne prévisibilité du modèle du module de Young des bétons de fraisât. La variation de E_g en fonction du %F est illustrée sur la figure 11.

Il en sort que le module de Young E_g , d'un mélange granulaire composé de granulat neuf et de fraisât, peut être estimé à partir du %F (contenu dans le mélange) et du module de granulat neuf, E_{gGN} , par la relation (5). La présence des fraisât d'enrobé entraîne la diminution du module des granulats E_g dans le béton.

$$E_g = E_{gGN} - 0,15. \%F. \quad (5)$$

5. Conclusion

Le recyclage de fraisât est devenu une impérieuse nécessité, vis-à-vis de la protection de l'environnement et du développement durable, pour économiser les ressources, diminuer la consommation d'énergie et réduire les émissions de gaz à effet de serre. La large campagne expérimentale réalisée a permis d'analyser l'influence de la substitution des granulats neufs par les fraisâts d'enrobés sur les caractéristiques du béton hydraulique routier. Les résultats de l'investigation permettent de tirer les conclusions suivantes :

- le remplacement des granulats neufs par du fraisât entraîne une diminution systématique des résistances mécaniques du béton. Plus le dosage en fraisât est important, plus la baisse de résistance est accentuée. Cela rejoint les résultats trouvés par d'autres chercheurs tels que Al-Oraimi *et al.* (2009), Brand *et al.* (2012), Bermel (2011), Delwar *et al.* (1997), Hassan *et al.* (2000), Huang *et al.* (2006), Koliass (1996), Li *et al.* (1998), Nabil Hossiney *et al.* (2010), Okafor (2010) et Sommer (1994). Toutefois, les caractéristiques mécaniques obtenues satisfont les exigences de la norme en vigueur, jusqu'à un taux de substitution de 60 % ;

- les modèles de de Larrard et le Roy proposés prédisent bien les caractéristiques mécaniques étudiées (résistances à la traction et module d'élasticité) et sont par suite pertinents dans le cas du béton de fraisât ;

- le coefficient k_t varie significativement d'un mélange à un autre en fonction du taux de substitution de fraisât puisqu'il dépend de la nature des constituants granulaires du béton. Toutes les valeurs de k_t restent toutefois dans l'intervalle proposé par de Larrard (1999) ;

- le module d'élasticité des granulats E_g diminue en augmentant le taux de déchet dans le béton suite à la présence de bitume enrobant les fraisât (qui est un matériau relativement souple à module bas).

Bibliographie

- Al-Oraimi S., Hassan H.F., Hago A. (2009). Recycling of reclaimed asphalt pavement in Portland cement concrete. *J. Eng. Res.*, vol. 6, n° 1, p. 37-45.
- Brand A., Roesler J., Al-Qadi I., Shangguan P. (2012). *Fractionated reclaimed asphalt pavement (frap) as a coarse aggregate replacement in a ternary blended concrete pavement*, Illinois Center for Transportation Research Report ICT-12-008.
- Bermel B.N. (2011). *Feasibility of reclaimed asphalt pavement as aggregate in Portland cement concrete pavement*, Master of Science Thesis, Montana State University, Bozeman, Montana, 195 p.
- De Larrard F. (1999). *Concrete mixture proportioning. A scientific approach. Modern concrete technology*, 9, Mindess S., Bentur A., eds. E & FN Spon, London.
- De Larrard F., le Roy R. (1992). Relations entre formulation et quelques propriétés mécaniques des bétons à hautes performances. *Mater. Struct., RILEM*, vol. 25, p. 464-475.

- Delwar M., Fahmy M., Taha R. (1997). Use of reclaimed asphalt pavement as an aggregate in Portland cement concrete. *ACI Mater. J.*, vol. 94, n° 3, p. 251-256.
- Hassan K.E., Brooks J.J., Erdman M. (2000). The use of reclaimed asphalt pavement (RAP) aggregates in concrete. *Waste materials in construction, waste management series*, vol. 1, Elsevier Science, Oxford, p. 121-128.
- Huang B., Shu X., Burdette E.G. (2006). Mechanical properties of concrete containing recycled asphalt pavements. *Mag. Concr. Res.*, vol. 58, n° 5, p. 313-320.
- Kolias S. (1996). Mechanical properties of cement-treated mixtures of milled bituminous concrete and crushed aggregates. *Mater. Struct.*, vol. 29, p. 411-417.
- Li G., Zhao Y., Pang S.-S., Huang W. (1998). Experimental study of cement-asphalt emulsion composite. *Cement Concr. Res.*, vol. 28, n° 5, p. 635-641.
- Mathias V., Sedran T., de Larrard F. (2004). Recycling reclaimed asphalt pavement in concrete roads. *International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures*, Barcelona, Spain, 10 p.
- Hossiney N., Tia M., Bergin M. (2010). Concrete containing RAP for use in concrete pavement. *Int. J. Pavement Res. Technol.*, vol. 3, n° 5, p. 251-259.
- NT47-01, *Ciment, composition, spécification et critères de conformité.*
- Okafor F.O. (2010). Performance of recycled asphalt pavement as coarse aggregate in concrete. *Leonardo Electron. J. Pract. Technol.*, n° 17, p. 47-58.
- Sommer H. (1994). Recycling of concrete for the reconstruction of the concrete pavement of the motorway Vienna-Salzburg. *7th International Concrete Roads Symposium*, Vienna, Austria, p. 5.