# ÉTUDE DU COMPORTEMENT THERMOMÉCANIQUE DES ENROBÉS CONTENANTS DES GRANULATS BITUMINEUX RECYCLÉS (GBR) ET DES BARDEAUX D'ASPHALTE RECYCLÉS

**Projet R802.1**

Abdeldjalil DAOUDI
Alan CARTER
ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec

JUIN 2021

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports et a été financée par la Direction générale de la gestion des actifs routiers et de l'innovation.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports.

© l'École de technologie supérieure, 2021

## SOMMAIRE

L'utilisation des granulats bitumineux recyclés (GBR) et des bardeaux d'asphalte de post-consommation (BPC) en combinaison avec des matériaux neufs semble être une bonne voie pour permettre un gain économique et environnemental. L'objectif principal de ce travail est d'établir les effets de l'addition combinée de GBR et BPC sur le comportement thermomécanique des enrobés et de fixer des pourcentages massiques optimaux en GBR et BPC à utiliser dans la formulation des enrobés.

Pour atteindre cet objectif principal, il est très important de répondre à différents objectifs de recherche ciblés sur le liant bitumineux, à savoir la détermination du taux de mobilisation des bitumes issus des GBR et BPC et l'interaction du bitume d'ajout (neuf) avec ces bitumes contenus dans les matériaux recyclés. Pour ce faire, dans un premier temps, une recherche bibliographique a été établie, portant sur ces problématiques. Ensuite, un plan expérimental a été élaboré sur trois niveaux, à savoir au niveau de la formulation des enrobés avec des matériaux recyclés (caractérisations des différents matériaux de base, validation des formulations), au niveau des liants bitumineux qui régissent le comportement viscoélastique du matériau fini (détermination du comportement rhéologique des bitumes) et au niveau du comportement thermomécanique des enrobés. Huit formulations contenant un mélange de GBR et BPC à un pourcentage qui peut aller à 40 % (par rapport à la masse) sont étudiées et validées. La validation des formulations se fait dans un premier temps avec des essais de compactibilité/maniabilité à l'aide de la presse à cisaillement giratoire et des essais de résistance à l'orniérage. Le comportement thermomécanique des huit formulations qui répondent aux exigences du ministère des Transports du Québec vis-à-vis le compactage et l'orniérage est étudié. Des essais de module complexe, de retrait thermique empêché et de tenue à l'eau sont réalisés.

Les modules complexes des enrobés contenant des GBR et BPC sont plus élevés et leurs courbes maitresses se décalent par rapport à la référence (enrobé sans GBR et sans BPC) d'une translation de l'ordre de 6 °C à 16 °C en fonctions de la quantité de matériaux recyclés. Les résultats du retrait thermique empêché montrent une augmentation de la température minimale de résistance selon une loi linéaire en fonction du ratio de bitume recyclé considéré, tandis que la résistance maximale à la traction reste plus au moins (±15 %) la même. Pour la tenue à l'eau, les enrobés testés répondent aux exigences du MTQ. Cependant, il est nécessaire de signaler que les deux enrobés contenant 30 % et 40 % de matériaux recyclés se situent à la limite de la valeur fixée (70 %).

À l'échelle du bitume, l'étude de l'interaction entre le liant vierge et les liants contenus dans les matériaux recyclés est réalisée en collaboration avec l'École Spéciale des Travaux Publiques de Paris, et son centre de Recherche IRC (Institut de Recherche en Constructibilité). Elle est axée sur l'étude physicochimique, rhéologique et conventionnelle des liants. Seulement une petite partie des résultats est présentée ici. Les résultats ont permis de constater qu'un programme d'essais supplémentaires complet est nécessaire afin de tirer des conclusions utiles.

D'après la campagne d'essai thermomécanique réalisée, un risque de fissuration thermique à basse température non négligeable et une perte de la stabilité conservée (tenue à l'eau) sont observés lorsque le pourcentage de matériaux recyclés est supérieur à 20 %. Il est recommandé de ne pas dépasser cette limite pour respecter la totalité des critères de performances.

# SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'utilisation de granulats bitumineux recyclés (GBR) et de bardeaux d'asphalte post-consommation (BPC) est maintenant relativement courante au Québec. Les résultats de ce projet de recherche effectué en collaboration avec le MTQ a permis de mettre en lumière certains aspects importants quant au comportement thermomécanique des enrobés contenant une combinaison de GBR et BPC. La première conclusion est qu'il est possible d'avoir 20 % de matériaux recyclés (combinaison GBR et BPC) au total sans affecter de manière significative le comportement des enrobés. Pour ce faire, une attention particulière doit être portée pour respecter la granulométrie finale du mélange, et le pourcentage maximal de BPC actuellement prescrit par le MTQ. Les résultats montrent bien que les enrobés contenant jusqu'à 20% de matériaux recyclés, avec ou sans BPC, respectent bien les spécifications du MTQ. Comme attendu, de bonnes résistances à l'orniérage ont été observées avec l'addition de matériaux recyclés. Cette conclusion demeure vraie seulement si la granulométrie des mélanges est bien contrôlée. Un autre point important à tenir compte est la source des matériaux recyclés. Dans la présente étude, deux sources de GBR ont été testées, et les sources qui sont somme toute similaires donnent des résultats comparables. Par contre, si une source de GBR contient un bitume qui est sévèrement oxydé ou bien que le GBR contient une proportion, même faible, de granulats arrondis, les performances seront sensiblement différentes.

Un autre élément important à considérer est le ratio de bitume recyclé (RBR). L'utilisation d'un RBR au lieu d'un pourcentage de matériaux recyclés enlèverait une problématique potentielle qui peut arriver selon la teneur en bitume des matériaux recyclés utilisés. Par contre, avant de pouvoir calculer un RBR précis, il est essentiel d'établir précisément la teneur en bitume considéré effective dans

les matériaux recyclés utilisés. Des travaux sur ce point ont été débutés ici, mais seront exécutés ultérieurement.

Une autre conclusion importante est qu'il serait possible d'augmenter la quantité de matériaux recyclés, jusqu'à 40 % selon les résultats de cette étude, tout en respectant la plupart des critères, sauf la résistance à la fissuration thermique. Il est probable que l'utilisation d'un régénérant ou d'un bitume d'ajout qui résiste mieux à la fissuration thermique règlerait ce problème, mais ce point n'était pas à l'étude ici. Ces résultats ouvrent donc la porte à une plus grande utilisation de matériaux recyclés, pourvu que les performances obtenues soient satisfaisantes. Il serait donc souhaitable de ne pas limiter la teneur en matériaux recyclés, mais de plutôt exiger des performances à court et à long terme.

# TABLE DES MATIÈRES

Page

SOMMAIRE ..... III

SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS ..... V

GLOSSAIRE ..... XIX

LISTE DES SYMBOLES ..... XXI

UNITÉS DE MESURE ..... XXIII

1. INTRODUCTION ..... 21
1.1 Contexte ..... 21
1.2 Objectifs ..... 22
1.3 Problématiques ..... 23
1.4 Contenu du rapport ..... 23

2. REVUE DE LA DOCUMENTATION ..... 25
2.1 La méthode de formulation LC ..... 25
2.2 L'enrobé semi grenu ESG-10 ..... 25
2.3 Les granulats bitumineux recyclés GBR et les bardeaux d'asphaltes ..... 28
2.4 Le comportement thermomécanique des enrobés ..... 29
2.4.1 Le module complexe ..... 30
2.4.2 Le modèle de Huet – Sayegh ..... 35
2.4.3 Le modèle 2S2P1D ..... 36
2.4.4 La formule analytique de Witzcak ..... 38
2.4.5 La résistance à la fatigue ..... 38
2.4.6 La résistance à l'orniérage ..... 40
2.4.7 La tenue à l'eau ..... 40
2.4.8 La résistance à la fissuration thermique ..... 41
2.5 Le vieillissement des liants ..... 44
2.6 Le taux de bitume mobilisable ..... 46
2.7 L'interaction du bitume neuf avec le bitume des matériaux recyclés ..... 49
2.7.1 Chartes de mélange ..... 49
2.7.2 L'approche par modélisation ..... 51
2.8 Le comportement thermomécanique des enrobés contenant des recyclés ..... 55
2.9 La maniabilité ..... 57

3. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL ..... 61
3.1 Description des matériaux utilisés ..... 62
3.2 Échelle liant (partie recherche) ..... 65
3.3 Les enrobés ..... 67
3.3.1 L'orniérage ..... 68

3.3.2 Le module complexe ..... 69
3.3.3 La résistance à la fissuration thermique ..... 71
3.3.4 La stabilité Marshall et la tenue à l'eau ..... 74
3.4 Dimensionnement des chaussées ..... 75

4. Résultats et Analyses ..... 77
4.1 Caractérisation des matériaux et formulation ..... 77
4.2 Résistance à l'orniérage ..... 86
4.3 La stabilité Marshall et la tenue à l'eau ..... 87
4.4 Module complexe ..... 90
4.5 Fluage ..... 102
4.6 Le retrait thermique empêché ..... 107
4.7 Le dimensionnement de chaussées ..... 111
4.8 Les résultats sur les bitumes ..... 114

5. RECOMMANDATIONS ..... 117

6. CONCLUSION GÉNÉRALE ..... 121

7. RÉFÉRENCES ..... 125

ANNEXE A ..... 129

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Caractéristiques granulométriques de l'enrobé ESG-10 formulé selon la méthode LC [Langlois, 2005] ..... 27

Tableau 2 Les exigences pour l'essai à la PCG de l'enrobé ESG-10 selon la méthode LC [Langlois, 2005] ..... 27

Tableau 3 Liste des enrobés formulés ..... 64

Tableau 4 Mélanges entre liants ..... 66

Tableau 5 Forces appliquées durant l'essai de fluage ..... 73

Tableau 6 Densités brutes pour chaque mélange testé ..... 75

Tableau 7 Combiné granulométrique matériaux neufs ..... 78

Tableau 8 Résultats comparatifs de densités et de l'absorption des granulats vierges ..... 78

Tableau 9 Analyse granulométrique des matériaux recyclés ..... 80

Tableau 10 Analyse au four à ignition des matériaux recyclés ..... 81

Tableau 11 Bitume d'ajout, bitume total mobilisé, bitume total, ratios de bitume recyclé et les densités maximales des enrobés testés ..... 83

Tableau 12 Résultats de l'essai à la presse à cisaillement giratoire ..... 85

Tableau 13 L'évolution du pourcentage d'orniérage en fonction des cycles ..... 86

Tableau 14 Résultats des résistances maximales et de la stabilité conservée 87

Tableau 15 Modules moyens à 10°C et 10 Hz des enrobés testés ..... 94

Tableau 16 Paramètres du modèle 2S2P1D ..... 102

Tableau 17 Pourcentages de perte de module dynamique après l'essai de fluage pour le mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1) ..... 103

Tableau 18 Résultats des essais de retrait thermique empêché ..... 108

Tableau 19 Modules dynamiques utilisés pour le dimensionnement et trafic admissible obtenus ..... 113

# ÉTUDE DU COMPORTEMENT THERMOMÉCANIQUE DES ENROBÉS CONTENANT DES GBR ET DES BPC

# LISTE DES FIGURES

Page
Figure 1 Mélange des matériaux vierges et des matériaux recyclés .....22

Figure 2 Schéma de la méthode de formulation LC [Langlois, 2005] .....26

Figure 3 Éprouvette PGC enrobé semi grenu ESG-10.....27

Figure 4 A) Granulats bitumineux recyclés et B) bardeaux d'asphalte de post-consommation .....29

Figure 5 Les grandes familles du comportement mécanique des enrobés [Di Benedetto et Corté, 2005].....30

Figure 6 Chargement cyclique pour la détermination du module complexe (LC 26- 700) .....31

Figure 7 Représentation du module complexe dans le plan Cole-Cole [Doucet et Auger, 2010].....32

Figure 8 Représentation du module complexe d'un enrobé dans l'espace de Black [Doucet et Auger, 2010] .....33

Figure 9 Représentation des isothermes et de la courbe maitresse d'un enrobé bitumineux à la température de référence 10 °C [Doucet et Auger, 2010] .....34

Figure 10 Représentation du modèle de Huet – Sayegh [Doucet et Auger, 2010] .....35

Figure 11 Représentation du modèle 2S2P1D [Olard et Di Bendetto, 2003] ..36

Figure 12 Calibrage des paramètres du modèle 2S2P1D .....37

Figure 13 Représentation de la droite de Wöhler.....39

Figure 14 Résultats types pour un essai de retrait thermique empêché couplé à un essai de traction directe [Di Benedetto et Corté, 2005].....42

Figure 15 Configuration de l'essai de fluage selon AASHTO T322-07 .....43

Figure 16 GPC chromatogrammes basés sur le poids moléculaire [Zhao et coll., 2015] .....47

Figure 17 Variation du taux de mobilisation en fonction des recyclés [Zhao et coll., 2015] .....48

Figure 18 Schéma représentatif de création des échantillons [Bressi et coll., 2015] .....50

Figure 19 La variation de $\boldsymbol{\tau 0}$ par rapport au pourcentage de GBR [Mangiafico et coll., 2012] .....53

Figure 20 Comparaison entre la prédiction, l'expérimentale et le 2S2P1D en plan Cole - Cole [Mangiafico et coll., 2012] .....53

Figure 21 Comparaison entre les courbes maitresses de la prédiction, l'expérimentale et le 2S2P1D [Mangiafico et coll., 2012] .....54

Figure 22 Comparaison entre les résultats expérimentaux et la prédiction pour enrobé avec 40 % de GBR [Mangiafico et coll., 2016a] .....55

Figure 23 Répandage d'un enrobé avec un finisseur et intervention manuelle de l'ouvrier [Technique-TP, 2016] .....57

Figure 24 Maniabilimètre Malet [Béghin et Peyronnet, 2014] .....58

Figure 25 Le maniabilimètre Nynas (ESTP Paris) .....59

Figure 26 Schéma du plan de travail.....62

Figure 27 Schéma du plan de travail.....65

Figure 28 Schéma du plan d'essai .....68

Figure 29 Schéma de carottage des éprouvettes.....70

Figure 30 Préparation et instrumentation des échantillons .....71

Figure 31 Schéma de carottage des éprouvettes pour l'essai TSRST .....72

Figure 32 Schéma de réalisation de l'essai de fluage par traction directe .....73

Figure 33 L'essai de fluage en traction directe.....74

Figure 34 Courbes granulométriques des matériaux recyclés.....81

Figure 35 Courbes granulométriques des formulations étudiées.....82

Figure 36 Résultats de l'essai à la presse à cisaillement giratoire.....85

Figure 37 Résultats des essais d'orniérage .....86

Figure 38 Variation de la stabilité conservée en fonction du ratio de bitume recyclé (RBR) ....88

Figure 39 Résultats des stabilités Marshall humides et saturés ....89

Figure 40 La variation des stabilités Marshall en fonction du ratio de bitume recyclé ....90

Figure 41 Représentation des résultats du module complexe pour l'enrobé de référence dans le plan Cole-Cole....92

Figure 42 Extrapolation linéaire pour E00 (a) et E0 (b) ....93

Figure 43 Représentation du module complexe normalisé dans le plan Cole-Cole ....94

Figure 44 Courbes maitresses du module dynamique à 0 °C ....96

Figure 45 Courbes maitresse du module élastique à 0 °C ....97

Figure 46 Coefficient de renforcement en fonction de la fréquence réduite....97

Figure 47 Courbes maitresse du module visqueux à 0 °C....98

Figure 48 Courbes maitresse de l'angle de phase à 0 °C ....99

Figure 49 la variation du paramètre $\tau$ en fonction de la température ....100

Figure 50 La variation du paramètre $\tau$ avec en fonction du ratio de bitume recyclé ....101

Figure 51 Variation du fluage en fonction du temps et de la température d'essai pour le mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1)....104

Figure 52 courbe maitresse de fluage à 0 ℃ pour le mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1) ....105

Figure 53 Représentation des résultats expérimentaux et les modélisations pour le fluage pour le mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1) ....106

Figure 54 Résultats de calcul de fluage à partir du modèle 2S2P1D....106

Figure 55 Résultats essai de retrait thermique empêché ....109

Figure 56 La variation de la température minimale en fonction du ratio de bitume recyclé (RBR)....110

Figure 57 La variation de la contrainte à la rupture en fonction du ratio de bitume recyclé (RBR)....111

Figure 58 Structure de base utilisée pour faire les calculs de dimensionnement .....112

Figure 59 Résultats de module en cisaillement des bitumes avec différents taux de recyclés dans le plan Cole-Cole .....114

# GLOSSAIRE

| | |
|---|---|
| AASHTO | *American Association of State Highway and Transportation officials* |
| ASTM | *American Society for Testing and Materials* |
| BPC | Bardeaux d'asphalte post-consommation |
| CCDG | Cahier des charges et devis généraux |
| DSR | Rhéomètre à cisaillement dynamique (*Dynamic Shear Rheometer*) |
| ESG | Enrobé semi-grenu |
| ESTP | École Spéciale des Travaux Publics de Paris |
| ÉTS | École de technologie supérieure |
| GBR | Granulats bitumineux recyclés |
| GPC | Chromatographie par perméation au gel (*Gel Permeation chromatography*) |
| LC | Laboratoire des chaussées |
| LCPC | Laboratoire central des ponts et chaussées |
| MTQ | Ministère des Transports du Québec |
| PAV | *Pressure Aging Vessel* |
| PG | Grade de performance (*Performance grade*) |
| RBR | Ratio de bitume recyclé |
| RTFOT | *Rolling Thin Film Oven Test* |
| TSRST | Essai de retrait thermique empêché (Thermal Stress Restrained Specimen Test) |
| WLF | Williams-Landel-Ferry |

# ÉTUDE DU COMPORTEMENT THERMOMÉCANIQUE DES ENROBÉS CONTENANT DES GBR ET DES BPC

# LISTE DES SYMBOLES

| | |
|---|---|
| b | Coefficient lié à la pente de la droite de Wöhler. |
| C1et C2 | Constantes dépendantes du matériau |
| E* | Module complexe (MPa) |
| \|E*\| | Module dynamique (MPa) |
| E1 | Partie réelle du module complexe (MPa) |
| E2 | Partie imaginaire du module complexe (MPa) |
| $E_{00}$ | Module statique, le module lorsque $\omega\tau \rightarrow 0$ |
| $E_0$ | Module vitreux, le module lorsque $\omega\tau \rightarrow \infty$ |
| i | Nombre complexe défini par $i^2 = -1$ |
| k, h | Exposants tels que $0<k<h<1$ |
| $N_f$ | Durée de vie en fatigue, laquelle correspond au nombre de cycles associé à la rupture |
| t | Temps de chargement (s) |
| $t_{lag}$ | Temps de déphasage entre $\sigma$ et $\varepsilon$ (s) |
| $T_R$ | Température de référence |
| $\tau$ | Temps caractéristique, dont la valeur dépend uniquement de la température |
| $\phi$ | Angle de phase (rad) |
| $\sigma$ | Contrainte (MPa) |
| $\varepsilon$ | Déformation (m/m) |
| $\omega$ | Période (rad/s) |
| ω | Pulsation = 2π*fréquence |
| δ | Constante sans dimension |
| β | Constante sans dimension |
| $\varepsilon_6$ | Amplitude de la déformation pour laquelle $N_f$ correspond à 1 million ($10^6$) de cycles. |

# ÉTUDE DU COMPORTEMENT THERMOMÉCANIQUE DES ENROBÉS CONTENANT DES GBR ET DES BPC

# UNITÉS DE MESURE

| | |
|---|---|
| cm | Centimètre |
| kPa | Kilopascal |
| Hz | Hertz |
| kN | Kilonewton |
| MPa | Mégapascal |
| mm | Millimètre |
| Pa | Pascal |

# ÉTUDE DU COMPORTEMENT THERMOMÉCANIQUE DES ENROBÉS CONTENANT DES GBR ET DES BPC

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 Contexte

Pour répondre à une démarche de développement durable associant des aspects économiques et environnementaux, on procède de plus en plus à l'utilisation de matériaux recyclés dans le domaine des routes, notamment au niveau des chaussées bitumineuses. Parmi les matériaux les plus utilisés, les granulats bitumineux recyclés (GBR) sont des matériaux récupérés des chaussées et constitués de granulats et de bitume oxydé par son vieillissement. Au Québec, il est autorisé d'utiliser jusqu'à 20 % de GBR en combinaison avec des matériaux neufs sur le réseau du ministère des Transports du Québec (MTQ). Dans les cas des autoroutes, ce pourcentage est de 10 % au maximum. [CCDG13.3.2.2.2 et Norme 4202 du MTQ].

Cette dernière décennie, on voit également de plus en plus l'utilisation des bardeaux d'asphalte de post-consommation (BPC) comme matériaux réutilisés dans les chaussées. Ils sont constitués de bitume (de 25 % à 40 % en masse) et de matériaux fins, et sont destinés initialement à l'imperméabilisation des toitures. À la fin de leur cycle de vie, ils sont récupérés, déchiquetés et broyés afin d'être, entre autres, introduits avec des matériaux neufs dans la fabrication des enrobés bitumineux à chaud. Le cahier des charges et devis généraux (CCDG) du MTQ permet d'en utiliser jusqu'à 5 % en masse dans une couche de base et jusqu'à 3 % dans une couche de surface [CCDG13.3.2.2.2 et Norme 4202 du MTQ]. La norme 4202 permet une utilisation jusqu'à 20 % d'un combiné de matériaux recyclés, mais les BPC ne sont pas permis en surface sur les autoroutes.

## 1.2 Objectifs

Ce travail de recherche mené à l'ÉTS est essentiellement financé par le ministère des Transports du Québec (MTQ). Il est réalisé en collaboration avec l'IRC (Institut de recherche en Constructibilité) de l'École Spéciale des Travaux Publics de Paris (ESTP) en France.

Dans un esprit de développement durable, l'utilisation d'un combiné constitué de granulats bitumineux recyclés (GBR) et de bardeaux d'asphalte de post-consommation (BPC) dans les enrobés semble une démarche intéressante si on vérifie que la technologie est économiquement viable et que le comportement thermomécanique des enrobés résultants est équivalent, voire supérieur à celui des enrobés à chaud classiques, c'est-à-dire sans matériaux recyclés. L'objectif principal de ce projet de recherche est de mesurer les effets de l'addition d'un combiné de (GBR et BPC) sur le comportement thermomécanique des enrobés afin de pouvoir fixer des pourcentages optimaux en termes de quantité de GBR et de BPC et leur répartition potentielle (Figure 1).

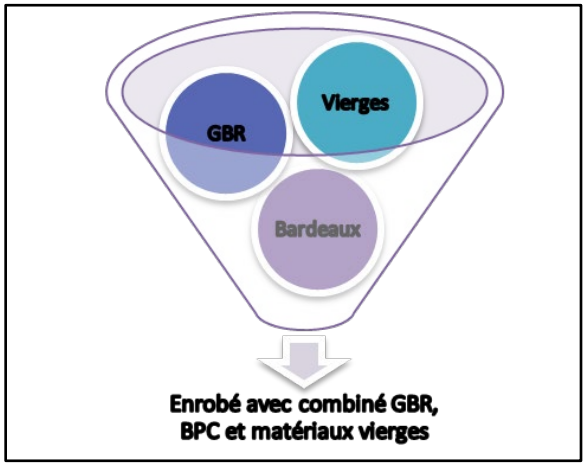



**Figure 1 Mélange des matériaux vierges et des matériaux recyclés**

Une plus grande compréhension de l'effet de ces ajouts permettra dans un premier temps au Ministère d'optimiser la formulation d'enrobés avec ajout

simultané de GBR et de bardeaux d'asphalte. Fixer des limites pourra conduire à l'établissement éventuel de nouvelles spécifications pour les enrobés avec GBR et BPC, mais nécessite d'avoir une corrélation entre les résultats de laboratoire et le comportement sur la chaussée.

## 1.3 Problématiques

Pour mener à bien cette étude, il faut bien comprendre et savoir répondre à deux problématiques principales. La première problématique est de connaitre la quantité de bitume contenu dans les matériaux recyclés (GBR et BPC) qui peut interagir avec le bitume neuf. C'est ce qu'on appelle le taux de bitume mobilisable. Ce taux de bitume mobilisable peut varier de 0 % à 100 %. À 0 %, les particules du GBR ou du BPC se comportent comme une roche noire (*black rock* en anglais). Les roches noires sont des granulats enrobés de bitume avec lesquels aucune réduction en quantité de bitume d'apport n'est considérée. À 100 %, la totalité du liant des GBR et BPC est mobilisée. Cela signifie que le bitume contenu dans les GBR peut être soustrait à la teneur en bitume de la formule, afin de déterminer le bitume d'ajout.

La deuxième problématique est de comprendre l'interaction entre les trois bitumes contenus dans la formulation (bitume neuf, bitume des GBR et le bitume BPC). Il est très intéressant d'étudier le mélange entre les liants ainsi que les paramètres l'influençant.

## 1.4 Contenu du rapport

Ce rapport est séparé en trois parties principales. Il y a d'abord la revue de la documentation, chapitre 2, qui est axée sur la méthode de formulation des enrobés proposée par le MTQ et sur le comportement thermomécanique des enrobés et des liants. Elle a permis de bien cibler la problématique et d'établir la méthodologie à adopter afin d'atteindre les objectifs de cette étude. La deuxième partie, le chapitre 3, présente le plan général du travail. Les résultats

et l’analyse de ces derniers forment la troisième partie (chapitre 4). Finalement, une conclusion générale est élaborée et des recommandations sont proposées.

# 2. REVUE DE LA DOCUMENTATION

## 2.1 La méthode de formulation LC

La méthode de formulation LC (Figure 2) s'appuie principalement sur deux méthodes, à savoir la méthode du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) développée en France et la méthode Superpave américaine. Elle consiste à fixer un volume exprimé en pourcentage de bitume effectif selon le type d'enrobé (12,2 % pour un enrobé de type ESG-10) et l'utilisation d'une granulométrie optimisée qui peut répondre à des spécifications en termes de pourcentage de vides (Vi) (LC 26-004). La méthode exige la connaissance des caractéristiques des granulats (granulométrie, densité brute, densité apparente et le pourcentage d'absorption) et du bitume (la classe de performance (PG), la viscosité, la densité). L'enrobé formulé à l'aide de la méthode LC doit être validé en répondant à des exigences de pourcentages de vide (LC 26-003) et de résistance à l'orniérage (LC 26-410).

## 2.2 L'enrobé semi grenu ESG-10

L'enrobé ESG-10 (Figure 3) est l'enrobé le plus utilisé au Québec avec 55,7 % des enrobés produits [MTQ, 2016]. Il présente une bonne macrotexture, il est appliqué en couche de surface, et il est formulé en utilisant un volume de bitume effectif ($V_{be}$) qui est égal à 12,2 %. L'ESG-10 peut être formulé avec toutes les classes (PG) de bitume. Les spécifications en termes de granulométrie et pourcentage de vides à la presse à cisaillement giratoire sont mentionnées dans les Tableaux 1 et 2 respectivement.

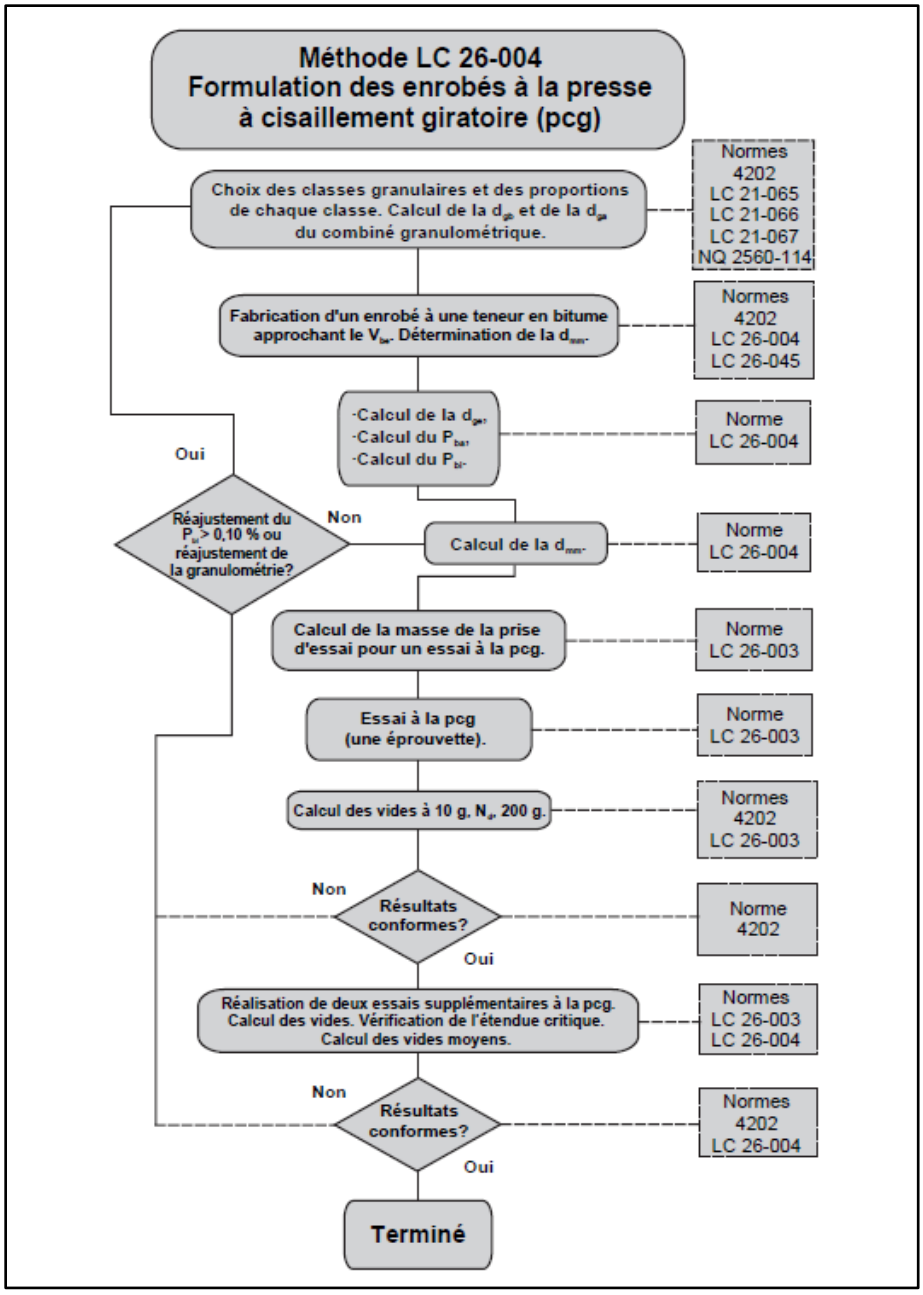



**Figure 2 Schéma de la méthode de formulation LC [Langlois, 2005]**

**Figure 3 Éprouvette PGC enrobé semi grenu ESG-10**

**Tableau 1 Caractéristiques granulométriques de l'enrobé ESG-10 formulé selon la méthode LC [Langlois, 2005]**

| Tamis (mm) | (%) Passant |
|---|---|
| 20 | 100 |
| 14 | 100 |
| 10 | 92-100 |
| 5 | 52-65 |
| 0,08 | 4,0-10,0 |
| **$V_{be}$** | **12,2** |

**Tableau 2 Les exigences pour l'essai à la PCG de l'enrobé ESG-10 selon la méthode LC [Langlois, 2005]**

| Nombre de giration | 10 | 80 | 200 |
|---|---|---|---|
| **Vi (%)** | ≥ 11 % | 4 % – 7 % | ≥ 2 % |

## 2.3 Les granulats bitumineux recyclés GBR et les bardeaux d'asphaltes

Les GBR (Figure 4 A) sont des matériaux qui proviennent des anciennes chaussées à la fin de leur durée de vie. Puisque ce sont des enrobés décohésionnés, ils sont composés de granulats et de bitume. La norme 4202 permet l'utilisation des GBR en combinaison avec des matériaux neufs à un pourcentage maximum de 20 %. Ce pourcentage est fixé à 10 % pour les enrobés de couche de surface d'autoroutes y compris les bretelles, les collecteurs et les accotements.

Les bardeaux d'asphalte sont constitués de bitume (de 25 % à 40 % en masse [Grzybowski 1993, Noël et coll. 2006, Sengoz et Topal, 2005] et de matériaux fins et sont destinés initialement à l'imperméabilisation des toitures ; à la fin de leur cycle de vie ils sont récupérés, déchiquetés et broyés (Figure 4 B) afin d'être introduits avec des matériaux neufs dans la fabrication des enrobés bitumineux à chaud. Le CCDG permet d'en utiliser jusqu'à 5 % en masse dans une couche de base et jusqu'à 3 % dans une couche de surface [CCDG13.3.2.2.2 et Norme 4202]. La norme 4202 permet l'utilisation jusqu'à 20 % de la masse du combiné granulométrique d'un mélange constitué de granulats bitumineux recyclés GBR et de bardeaux d'asphalte en combinaison avec des matériaux neufs, sauf en couche de surface sur les autoroutes où les BPC ne sont pas permis.

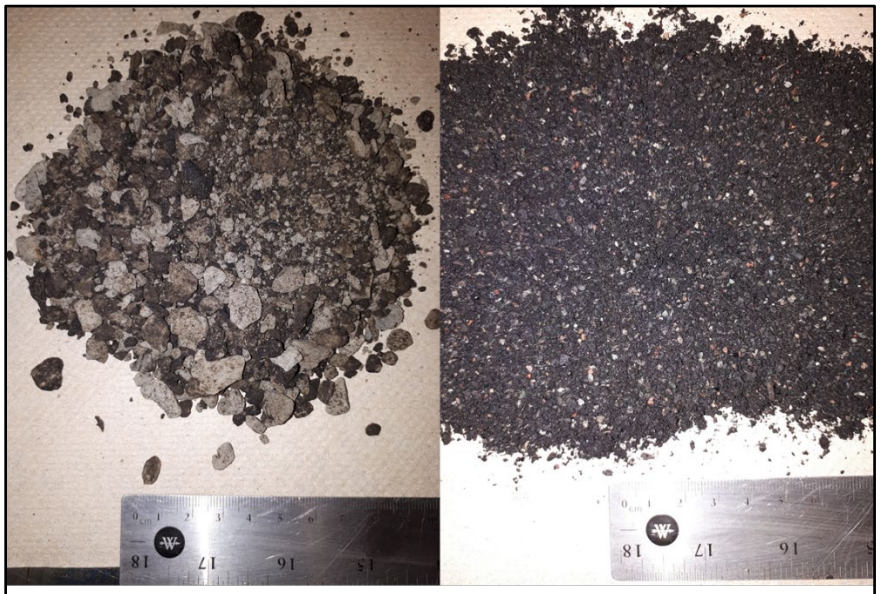



**Figure 4 A) Granulats bitumineux recyclés et B) bardeaux d'asphalte de post-consommation**

## 2.4 Le comportement thermomécanique des enrobés

Le comportement mécanique des enrobés bitumineux peut être classifié en quatre grandes familles [Di Benedetto et Corté, 2005] (Figure 5). Pour de faibles amplitudes de déformation (< $10^{-4}$) et quelques centaines de cycles de chargement, un comportement viscoélastique linéaire est observé. Pour des dizaines de milliers de cycles, le phénomène de fatigue se manifeste. L'orniérage se crée par accumulation de déformations permanentes irréversibles causées par des amplitudes proches de la rupture.

La variation de la température peut engendrer des déformations de quelques pourcents. Le comportement observé est fortement non linéaire, et des fissurations par apparition de contraintes sont observées.

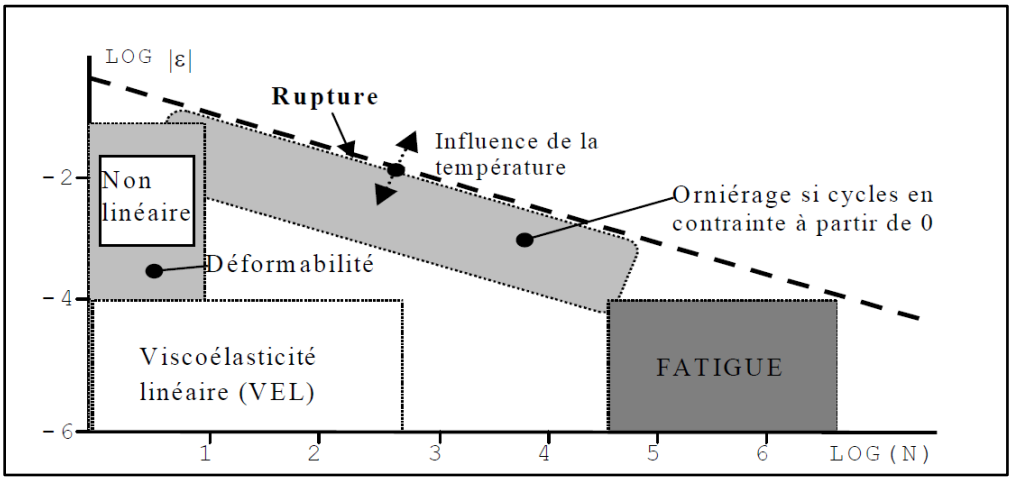



**Figure 5 Les grandes familles du comportement mécanique des enrobés [Di Benedetto et Corté, 2005]**

### *2.4.1 Le module complexe*

Pour les matériaux viscoélastiques tels que les enrobés bitumineux, c'est-à-dire des matériaux dont le comportement mécanique dépend de la température et la fréquence de chargement, la rigidité est représentée par le module complexe $E^*$. Le module complexe est déterminé à l'aide d'un essai à chargement cyclique sinusoïdal (Figure 6) en petites déformations (comportement viscoélastique linéaire), et représente le rapport entre la contrainte cyclique et la déformation cyclique (Eq. 1).

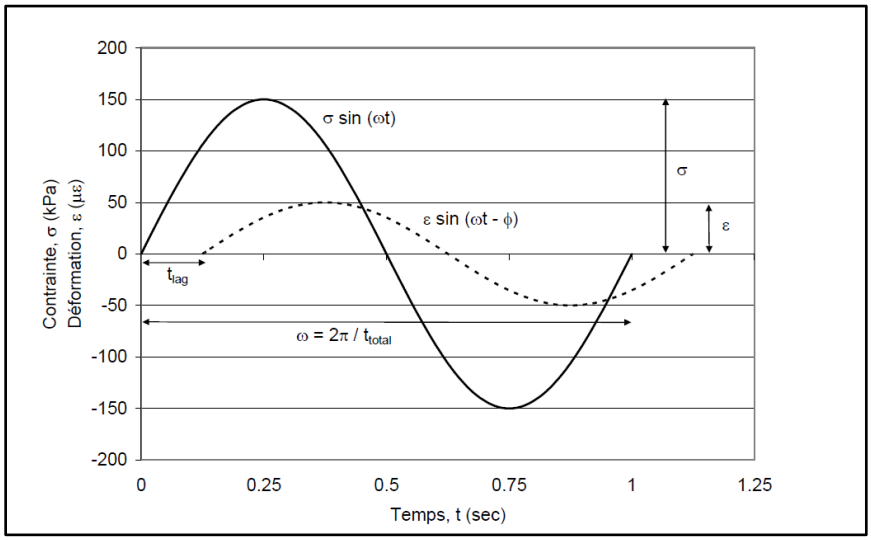



**Figure 6 Chargement cyclique pour la détermination du module complexe (LC 26- 700)**

$$E^* = \frac{\sigma \sin(\omega t)}{\varepsilon \sin(\omega t - \varphi)}$$

(Eq.1)

Les résultats d'essai du module complexe peuvent être représentés dans l'espace Cole-Cole (E1 : partie réelle, E2 : partie imaginaire ») (Figure 7), ce qui permet d'écrire les relations suivantes :

$$E^* = E_1 + iE_2 = |E^*| (cos\ \varphi + i \sin \varphi) \quad \text{(Eq. 2)}$$

Avec :

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad \text{(Eq. 3)}$$

Et :

$$\varphi = \arctan \frac{E_2}{E_1} \quad \text{(Eq. 4)}$$

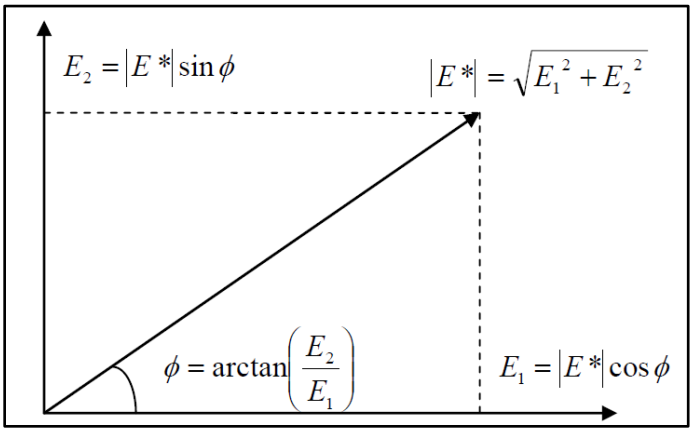



**Figure 7 Représentation du module complexe dans le plan Cole-Cole [Doucet et Auger, 2010]**

Où

- $E^*$ = module complexe (MPa)
- $|E^*|$ = module dynamique (MPa)
- $E_1$ = partie réelle du module complexe (MPa)
- $E_2$ = partie imaginaire du module complexe (MPa)
- $\phi$ = angle de phase (rad)
- $\sigma$ = contrainte (MPa)
- $\varepsilon$ = déformation (m/m)
- $\omega$ = période (rad/s)
- t = temps de chargement (s)
- $t_{lag}$ = temps de déphasage entre $\sigma$ et $\varepsilon$ (s).

On peut également représenter les résultats du module complexe dans l'espace de Black (Log|E*|, $\phi$), cette représentation permet de voir le maximum de |E*| et $\phi$.

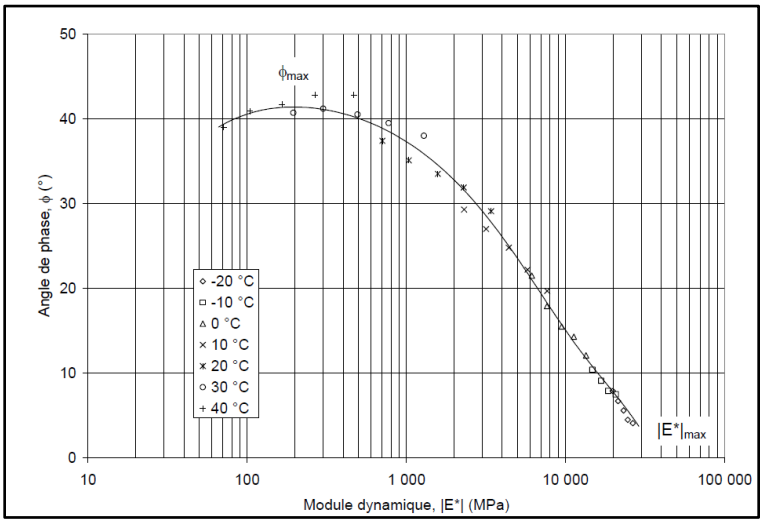



**Figure 8 Représentation du module complexe d'un enrobé dans l'espace de Black [Doucet et Auger, 2010]**

Les résultats de |E*|, $\phi$, $E_1$ et $E_2$ peuvent être tracés en fonction de la fréquence (isothermes) ou en fonction de la température (isochrones). Le principe d'équivalence temps – température permet d'utiliser une seule variable réduite pour décrire la variation du module complexe avec la température et la fréquence. Ce principe permet donc de construire une courbe unique pour une température de référence choisie arbitrairement. Cette courbe appelée courbe maitresse est obtenue par translation des isothermes d'un facteur ($a_t$) et elle permet d'obtenir des valeurs de module pour des fréquences inaccessibles par l'expérimentation (Figure 9).

Plusieurs équations sont proposées pour déterminer le facteur de translation at, les plus utilisées sont la WLF (Williams–Landel–Ferry, Eq 5).

$$\log a_t = \frac{-C_1 (T - T_r)}{C_2 + (T - T_r)} \qquad \text{(Eq.5)}$$

Avec

- C1et C2 : Constantes dépendant du matériau
- $T_R$ : La température de référence

- T : La température d'essai

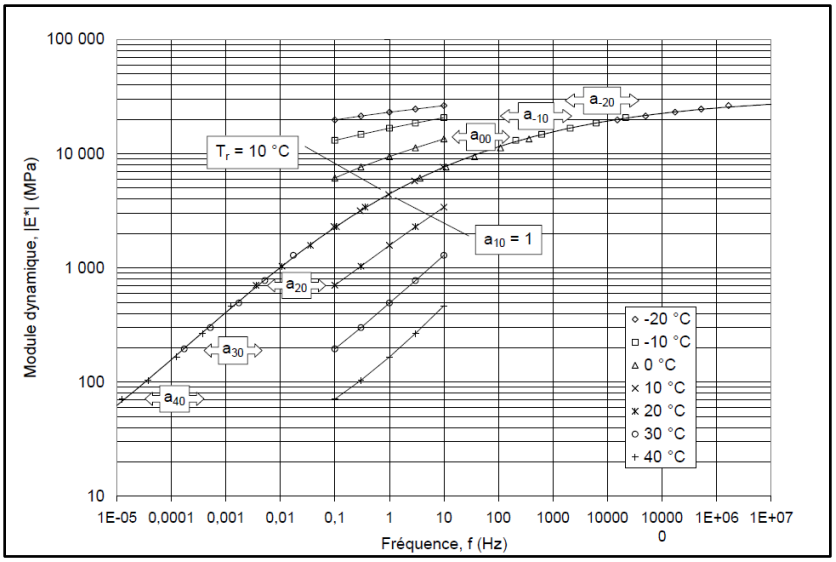



**Figure 9 Représentation des isothermes et de la courbe maitresse d'un enrobé bitumineux à la température de référence 10 °C [Doucet et Auger, 2010]**

Les normes AASHTO, ASTM et EN présentent plusieurs configurations pour la réalisation de l'essai. La méthode d'essai LC26-700 propose de travailler avec une configuration en traction compression directe sur éprouvette cylindrique. Cette configuration offre un chargement homogène sur l'éprouvette permettant de calculer l'état de contrainte et de déformation de manière directe.

Pour décrire le comportement viscoélastique linéaire, généralement deux types de modélisation sont proposés. Le premier type est basé sur l'assemblage d'éléments simples, tels que les ressorts et les amortisseurs (modèles rhéologiques analogiques). Le deuxième type consiste à donner des relations analytiques obtenues par des travaux statistiques basés sur la comparaison de résultats d'essais de modules complexes obtenus pour de nombreux enrobés.

### *2.4.2 Le modèle de Huet – Sayegh*

On retrouve dans la littérature plusieurs modèles rhéologiques analogiques pour décrire le comportement viscoélastique linéaire des enrobés. Parmi les modèles les plus utilisés, le modèle de Huet Sayegh est constitué de deux ressorts en parallèle et deux éléments paraboliques en série (Figure 10).

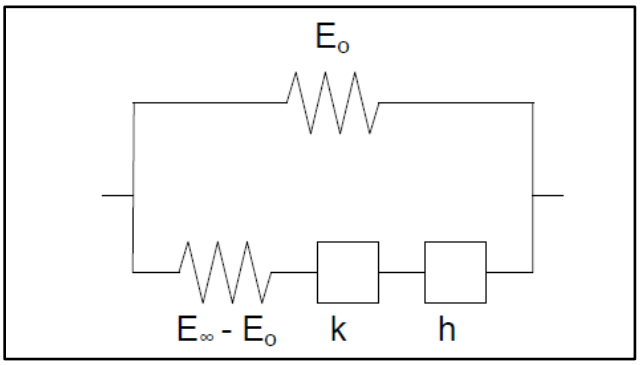



**Figure 10 Représentation du modèle de Huet – Sayegh [Doucet et Auger, 2010]**

Le module complexe du modèle est donné par la relation suivante :

$$E^* = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{1 + \delta(i\omega\tau)^{-k} + (i\omega\tau)^{-h}} \quad \text{(Eq. 6)}$$

Avec :

- i : nombre complexe défini par $i^2 = -1$,
- ω = la pulsation = 2π*fréquence,
- k, h : exposants tels que 0<k<h<1,
- δ : constante sans dimension,
- $E_0$ (“module statique”) le module lorsque ωτ → 0,
- $E_\infty$ (“module vitreux”) le module lorsque ωτ → ∞,
- τ : temps caractéristique, dont la valeur dépend uniquement de la température,

### *2.4.3 Le modèle 2S2P1D*

Ce modèle est une généralisation du modèle analogique de Huet-Sayegh. Il est constitué d'une combinaison d'éléments analogiques simples (ressort, amortisseur linéaire et élément parabolique) (Figure 11).

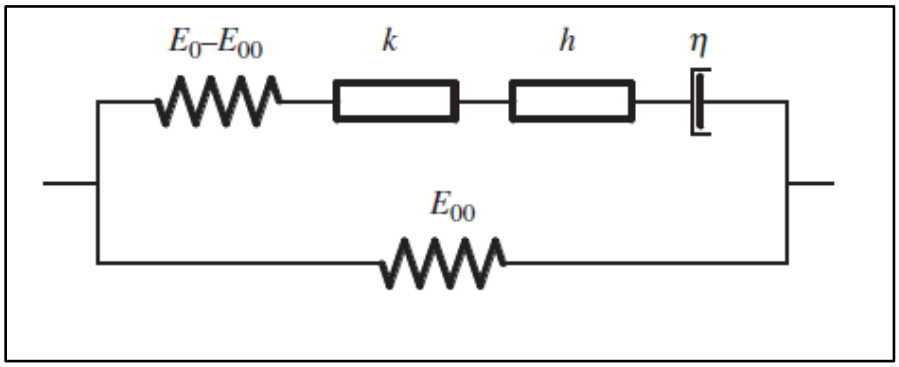



**Figure 11 Représentation du modèle 2S2P1D [Olard et Di Bendetto, 2003]**

La seule différence entre le modèle 2S2P1D et le modèle de Huet – Sayegh est l'ajout d'un amortisseur linéaire en série avec les deux éléments paraboliques. Cela a permis de décrire encore mieux le comportement viscoélastique linéaire des enrobés et des bitumes sur une large gamme de fréquences et de températures. Le modèle 2S2P1D possède sept constantes et son module complexe s'exprime selon l'équation 7.

$$E^*(i\omega\tau) = E_{00} + \frac{E_0 - E_{00}}{1 + \delta(i\omega\tau)^{-k} + (i\omega\tau)^{-h} + (i\omega\beta\tau)^{-1}} \qquad \text{(Eq. 7)}$$

Avec :

- i : nombre complexe défini par $i^2 = -1$,
- ω = la pulsation = 2π*fréquence,

- k, h : exposants tels que 0<k<h<1,
- δ : constante sans dimension,
- $E_{00}$ (module statique) le module lorsque ωτ → 0,
- $E_0$ (module vitreux) le module lorsque ωτ → ∞,
- τ : temps caractéristique, dont la valeur dépend uniquement de la température,
- β : constante sans dimension,

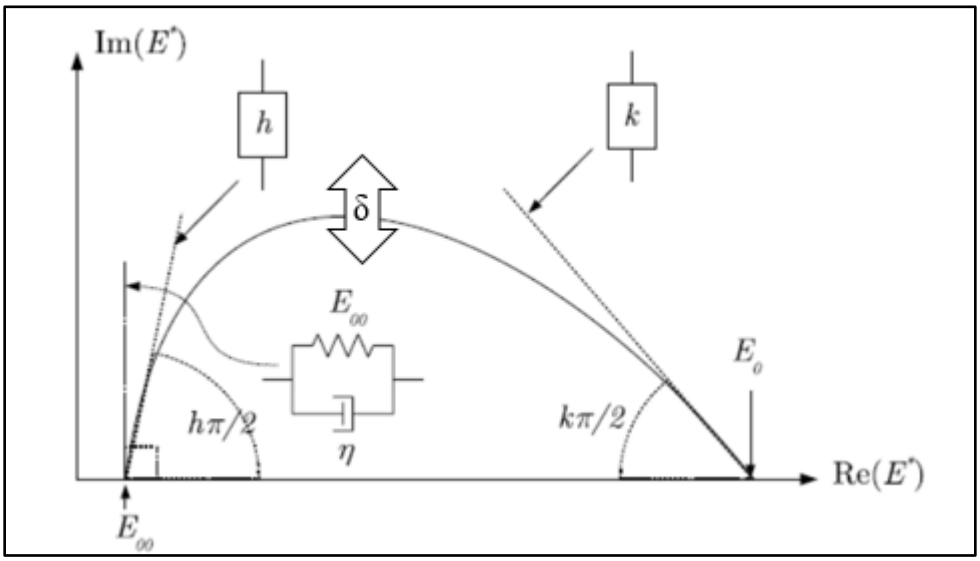



**Figure 12 Calibrage des paramètres du modèle 2S2P1D**

La Figure 12 illustre les étapes pour le calibrage des paramètres du modèle 2S2P1D. La première étape consiste à tracer les données d'essai dans un plan Cole – Cole. Le module statique $E_{00}$ et le module vitreux $E_0$ représentent les deux points ou la partie imaginaire est nulle. Ces points sont souvent inaccessibles par l'expérimentation, ce qui implique qu'une extrapolation linéaire est réalisée. Le paramètre h et le paramètre k représentent respectivement la pente à partir de $E_{00}$ et $E_0$. Le Paramètre δ représente la hauteur de la courbe.

Pouget et coll. [Pouget et coll., 2011] proposent le module complexe normalisé $E^*_{norm}$ (Eq.8, 9 et 10) et montrent que les courbes obtenues des valeurs du $E^*_{norm}$

sont fixées par le bitume seulement et sont indépendants du squelette granulaire. Deux courbes de $E^*_{norm}$ identiques signifient que les paramètres k, h, δ, et β sont identiques et le bitume est le même.

$$E^*_{norm} = \frac{E^* - E_{00}}{E_0 - E_{00}} \quad \text{(Eq.8)}$$

$$E_{1_{norm}} = \frac{E_1 - E_{00}}{E_0 - E_{00}} \quad \text{(Eq.9)}$$

$$E_{2_{norm}} = \frac{E_2}{E_0 - E_{00}} \quad \text{(Eq.10)}$$

### *2.4.4 La formule analytique de Witzcak*

La relation de Witzcak permet de décrire le module dynamique (la norme du module complexe) en fonction des caractéristiques des enrobés. Cette relation empirique prend en considération le type de bitume utilisé ainsi qu'un facteur de vieillissement et la granulométrie des granulats utilisés (Eq. 11).

$$log|E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1+e^{(\beta+\gamma log fr)}}$$

(Eq. 11)

Où

- |E*| = module dynamique (MPa),
- fr = fréquence réduite (Hz),
- δ, α, β, γ= coefficients de régression.

### *2.4.5 La résistance à la fatigue*

L'endommagement par fatigue des enrobés se manifeste par l'apparition des microfissures au sein du matériau sous l'effet d'un chargement cyclique (avec un nombre de cycles > 10 000) et dont l'amplitude est bien inférieure à celle conduisant à la rupture au premier chargement. L'apparition de

microfissurations engendre une baisse progressive du module complexe $E^*$ de l'enrobé.

La résistance à la fatigue d'un enrobé peut être caractérisée en mesurant la variation de son module complexe $E^*$ en fonction du nombre de cycles de chargement à l'aide d'un essai à chargement cyclique (avec un nombre de cycles > 10 000). L'essai peut être réalisé en imposant un déplacement ou une force et on prend généralement comme critère de rupture le nombre de cycles conduisant à la perte de 50 % ($N_{f50\%}$) de la valeur initiale du module complexe de l'enrobé [AASHTO, 2011a ; ASTM, 2010a ; AFNOR, 2005].

En réalisant plusieurs essais à des sollicitations imposées, la droite de Wöhler peut être tracée. Elle représente la variation du nombre de cycles conduisant à la rupture ($N_{f50\%}$) en fonction de l'amplitude de la sollicitation imposée (Figure13).

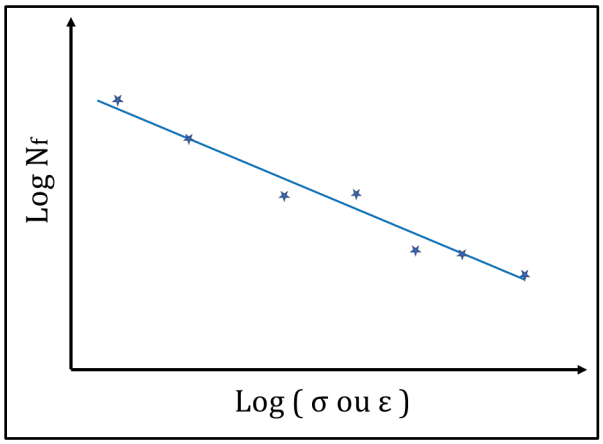



**Figure 13 Représentation de la droite de Wöhler**

En réalisant l'essai en déformation imposée, la droite peut être caractérisée par l'équation :

$$\varepsilon = \varepsilon_6 \left(\frac{N_f}{10^6}\right)^{\frac{-1}{b}} \qquad \text{(Eq. 12)}$$

Avec :

- $N_f$ : durée de vie en fatigue, laquelle correspond au nombre de cycles associés à la rupture.
- $\varepsilon$ : l'amplitude de déformation cyclique à une température et une fréquence donnée.
- $\varepsilon_6$ l'amplitude de la déformation pour laquelle $N_f$ correspond à 1 million ($10^6$) de cycles.
- b : Coefficient lié à la pente de la droite de Wöhler.

### *2.4.6 La résistance à l'orniérage*

L'essai à l'orniéreur est un essai semi-empirique qui simule l'action du trafic sur la chaussée. Il est essentiellement utilisé pour évaluer la résistance aux déformations permanentes. L'essai consiste à l'application de cycles répétés d'une charge roulante en surface d'une plaque d'enrobé compacté. La charge simule des conditions analogues à celles qui sont engendrées par le passage des véhicules lourds. La température d'essai est choisie en fonction de la classe du bitume utilisé. La température de l'essai est toutefois limitée à 60 °C. Le nombre de cycles et l'épaisseur de plaque (5 ou 10 cm) sont fixés par rapport aux types d'enrobés, soit un enrobé pour couche de surface ou un enrobé pour couche de base.

Durant l'essai, le but est de suivre l'évolution de la profondeur d'ornière en fonction du nombre de cycles. L'orniérage est influencé par plusieurs paramètres de formulation, à savoir l'angularité des granulats utilisés, la quantité de fines, la teneur en liant et la classe du liant [Delorme et coll. 2007].

### *2.4.7 La tenue à l'eau*

La tenue à l'eau ou la stabilité conservée est associée à la perte de résistance et de durabilité suite à un conditionnement dans l'eau dans des conditions de température bien définie. Les propriétés mécaniques et de durabilités sont

assurées principalement par les propriétés cohésives du liant, la qualité de l'adhésion entre le bitume et les granulats et la stabilité du squelette granulaire. Plusieurs méthodes d'essai existent. La norme européenne EN 12697-12 propose plusieurs méthodes de caractérisation de la tenue à l'eau.

La méthode « A » consiste à évaluer le rapport entre les résistances en traction indirecte des éprouvettes sèches et conditionnées. Le conditionnement est réalisé après saturation sous vide des échantillons. Par la suite, les éprouvettes saturées sont mises dans un bain d'eau à 40 °C pendant 72 heures. La méthode « B » consiste à calculer le rapport entre les résistances en compression directe des échantillons saturés et humides. Le conditionnement se fait en gardant les éprouvettes cylindriques saturées sous vide dans un bain d'eau à 18 °C pendant sept jours.

La norme LC 26-001 propose de caractériser la tenue à l'eau en calculant le rapport des stabilités Marshall entre les échantillons humides (immergés dans l'eau pendant 30 à 40 min à 60 °C) et saturés (saturation sous vide puis vieillissement accéléré dans un bain d'eau à 60 °C pendant 24 heures).

### *2.4.8 La résistance à la fissuration thermique*

L'essai pour caractériser la résistance à la fissuration thermique des enrobés à basses températures est l'essai de retrait thermique empêché (TSRST) proposé par SHRP [AASHTO TP 10-93]. Il consiste à appliquer un abaissement de température de -10 °C/h tout en empêchant les déformations (la contraction thermique) dans une éprouvette cylindrique. Cela génère une contrainte de traction au sein de l'échantillon et par conséquent sa rupture lorsque la limite en traction est atteinte. Les résultats de l'essai permettent de tracer l'évolution de la contrainte de traction en fonction de la température (Figure 14). Il est possible de compléter l'essai TSRST par un essai de traction directe à température et à vitesse de chargement contrôlées, la combinaison des deux essais permettant

une meilleure compréhension des résultats. L'écart entre les deux courbes constitue la résistance en traction emmagasinée au sein de l'éprouvette.

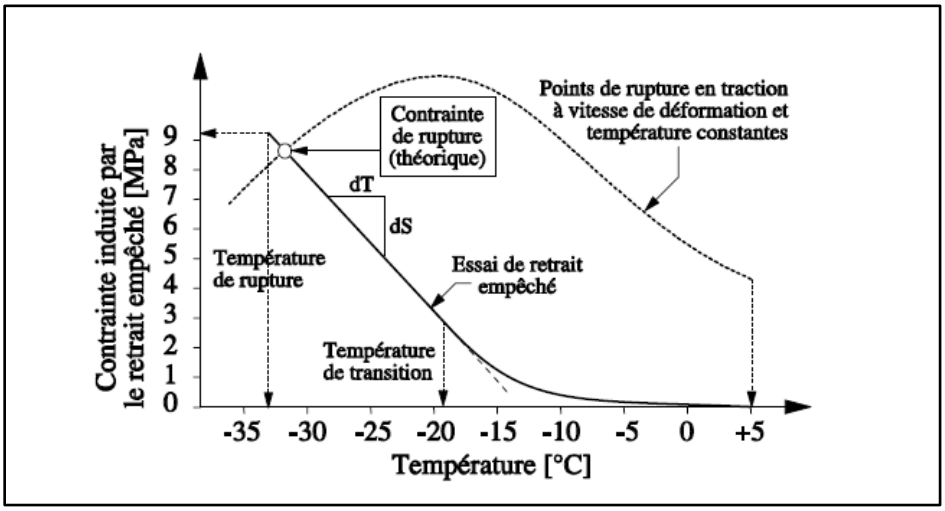



**Figure 14 Résultats types pour un essai de retrait thermique empêché couplé à un essai de traction directe [Di Benedetto et Corté, 2005]**

Le fluage et la relaxation des enrobés sont des facteurs très importants permettant de juger la résistance à basse température des enrobés. Ces deux facteurs permettent à l'enrobé de soulager les contraintes engendrées par baisse de température. Un enrobé qui présente un plus grand potentiel de fluage résiste mieux à des températures faibles, mais cela peut augmenter le risque d'orniérage aux températures de service. Généralement, l'ajout des matériaux recyclés conduit à des enrobés avec un module plus élevé et donc une baisse de la capacité de fluage. Cela explique l'amélioration de la résistance à l'orniérage et l'augmentation du risque de fissuration thermique à basse température pour ces matériaux.

L'essai de fluage (*creep compliance*) est décrit par la norme AASHTO T322. Celle-ci propose de travailler avec une configuration en traction indirecte sur des éprouvettes cylindriques ayant un diamètre de 150 mm et une épaisseur de 38

ou 50 mm. Une charge statique est imposée le long d'un axe diamétral à l'éprouvette à une température contrôlée pendant une période de temps spécifiée (généralement 100 s) (Figure 15). L'essai de fluage est un essai non destructif, donc la charge imposée est fixée afin de ne pas dépasser la limite élastique du matériau.

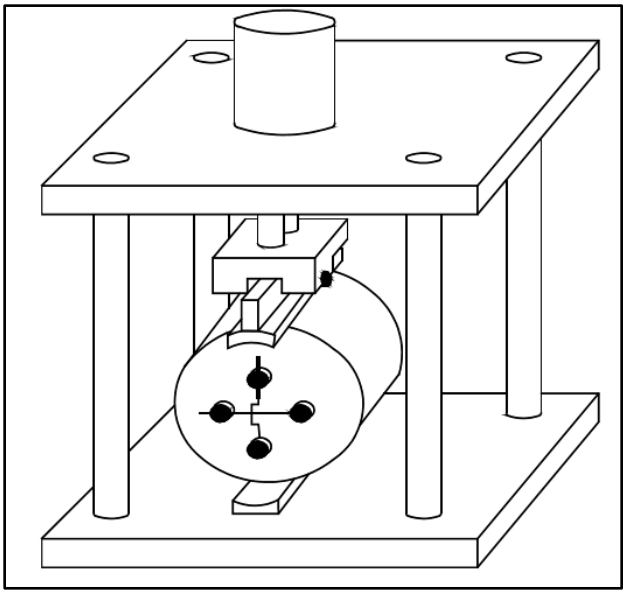


**Figure 15 Configuration de l'essai de fluage selon AASHTO T322-07**

Les résultats de l'essai de fluage peuvent être directement déduits à partir des résultats de l'essai de module complexe en réalisant, dans un premier temps, une transformation du module complexe (Eq.13) au fluage complexe (Eq.14) à l'aide des équations 16 et 17. Dans un deuxième temps, une transformation du domaine fréquentiel au domaine temporel est effectuée en utilisant l'équation de Kopelman (Eq. 18) [Olard et coll. 2003] est effectuée.

$$E^* = E_1 + iE_2 \quad \text{(Eq. 13)}$$

$$D^* = D_1 - iD_2 \quad \text{(Eq. 14)}$$

$$D^* * E^* = 1 \quad \text{(Eq. 15)}$$

$$D_1 = \frac{E_1}{E_1^2 + E_2^2} \quad \text{(Eq. 16)}$$

$$D_2 = \frac{E_2}{E_1^2+E_2^2} \quad \text{(Eq. 17)}$$

$$D(t) = |D(w)|_{\omega=1/t} \quad \text{(Eq. 18)}$$

Une deuxième méthode, proposée par Carret et coll. [Carret et coll., 2015], consiste à passer du modèle 2S2P1D au modèle Kelvin Voigt généralisé ou Maxwell généralisé. À partir de ces modèles, en utilisant les $\eta_i$ et les $E_i$ (paramètres modèles), il est facile d'obtenir la réponse à une sollicitation en fluage (calcul analytique suivant l'équation 19 « série de Prony »).

$$D(t) = \frac{1}{E_0} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{E_i}\left(1 - e^{\frac{t}{\tau_i}}\right) + \frac{1}{\eta_n} \quad \text{(Eq.19)}$$

## 2.5 Le vieillissement des liants

Le vieillissement des liants est un facteur très important régulant les possibilités de recyclage des enrobés ; il cause une augmentation de la rigidité du bitume et des changements dans ses propriétés physicochimiques comme la ductilité et l'adhérence aux granulats engendrant ainsi des changements des propriétés thermomécaniques de l'enrobé. Le vieillissement est principalement dû à quatre mécanismes : l'oxydation, l'évaporation, l'exsudation et le durcissement physique. L'oxydation est un processus irréversible causé par réaction entre le liant et l'oxygène (par diffusion). Ces réactions oxydatives sont favorisées par des énergies plus élevées (des températures élevées et l'exposition à la lumière). L'oxydation conduit à un changement dans la composition chimique du liant qui se traduit par une augmentation de sa rigidité. L'augmentation de la rigidité du liant peut conduire à des enrobés avec une meilleure résistance à l'orniérage, mais aussi à une réduction de la résistance aux fissurations thermiques et de fatigue des enrobés.

L'évaporation se produit par la volatilisation de la fraction légère du liant (en particulier du film de bitume) à haute température (durant la fabrication de l'enrobé et sa mise en œuvre). Cela conduit à un changement de la structure chimique du liant et une perte de masse contribuant ainsi à sa rigidification.

L'exsudation résulte de la perte des composants huileux qui se diffusent du liant vers les granulats. Ce type de vieillissement est influencé par la chimie du liant ainsi que par la porosité et l'absorption des granulats.

Le durcissement physique se produit lors de la structuration moléculaire (réorganisation des molécules d'asphaltènes dans le bitume). L'effet du durcissement physique peut être inversé, par variation de la température [Karlsson et Isacsson 2008].

Afin de restaurer les caractéristiques des liants vieillis inclus dans les matériaux recyclés, l'utilisation des régénérants est proposée. Puisque le phénomène d'oxydation est irréversible, le régénérant vise habituellement à remplacer la fraction volatile perdue du bitume et ainsi, corriger le ratio entre les pourcentages d'asphaltènes et de maltènes [Karlsson et Isacsson 2008].

Lors de la fabrication des enrobés recyclés, les granulats recyclés (GBR et BPC) sont recouverts d'un film mince de vieux bitume très visqueux. L'ajout des régénérants fera en sorte que ces granulats recyclés soient doublement recouverts (le régénérant en couche extérieure et le vieux bitume en couche intérieure) et puis, par diffusion, l'ajout pénètre dans le vieux bitume et diminue sa viscosité. Dony et coll. 2009 [Dony et coll. 2009], ont étudiés l'impact du bitume d'ajout et le type de régénérant sur les propriétés conventionnelles et rhéologiques du liant recyclé à court et long terme. Trois types d'agents régénérants étaient utilisés dans cette étude : une huile aromatique, une huile végétale et un bitume mou de classe 160/220. Pour caractériser les qualités des bitumes recyclés à court et à long terme, des essais conventionnels (pénétrabilité et point de ramollissement bille et anneau) et rhéologiques (DSR) étaient faits juste après le mélange entre les liants (neuf, vieilli et régénéré), après des vieillissements à court et long terme.

Le taux de recyclage du bitume issu des matériaux recyclés était fixé à 60 % du mélange total, et deux contraintes étaient respectées lors de la production des mélanges :

- Tous les mélanges devaient avoir la même pénétration finale au jeune âge.
- Les proportions du bitume vieilli et des bitumes vierges étaient respectivement 60 % et 40 %.

L'étude montre que les agents régénérants peuvent produire des mélanges recyclés qui ont les mêmes caractéristiques conventionnelles qu'un bitume vierge. On peut aussi constater que le comportement rhéologique de ces mélanges recyclés peut varier en fonction des étapes de vieillissement à court et à long terme qu'ils ont subies. Après vieillissement à court et à long terme, le bitume de référence (bitume vierge 35/50) montre une plus grande susceptibilité thermique, un indicateur de résistance à l'orniérage moins élevé (le facteur $G^*/\sin \delta$) et un indicateur de résistance à la fatigue plus élevé (le facteur $G^*.\sin \delta$).

## 2.6 Le taux de bitume mobilisable

Le bitume mobilisable est défini comme le bitume inclus dans les matériaux recyclés et qui participe à la cohésion des nouveaux enrobés. C'est un élément très important pour faire une formulation correcte, car ça permet de savoir le taux de participation du bitume recyclé et la réduction associée du bitume d'ajout. Selon la norme 4202, la totalité du bitume inclus dans les GBR est mobilisable (le taux de mobilisation = 100 %), alors que ce taux diminue à 25 % pour les BPC.

Plusieurs recherches se sont penchées sur cette problématique, notamment l'étude de Zhao et coll. en 2015 [Zha et coll., 2015]. Dans cette étude, ils ont développé une procédure de laboratoire pour quantifier le taux de bitume recyclé mobilisable pour des mélanges contenant jusqu'à 80 % de GBR et 10 % de

BPC. L'étude est basée sur l'analyse chimique de la distribution du poids moléculaire du liant (chromatographie par perméation de gel (GPC)) étant donné que le liant bitumineux des BPC est plus dur que celui des GBR, et contient donc des molécules de poids moléculaires plus élevés.

Un nouveau paramètre basé sur la distribution du poids moléculaire du bitume et son seuil (LMS (%)) est développé, puis une relation linéaire est établie entre le LMS (%) et la quantité du bitume GBR / Bardeau (Figure 16).

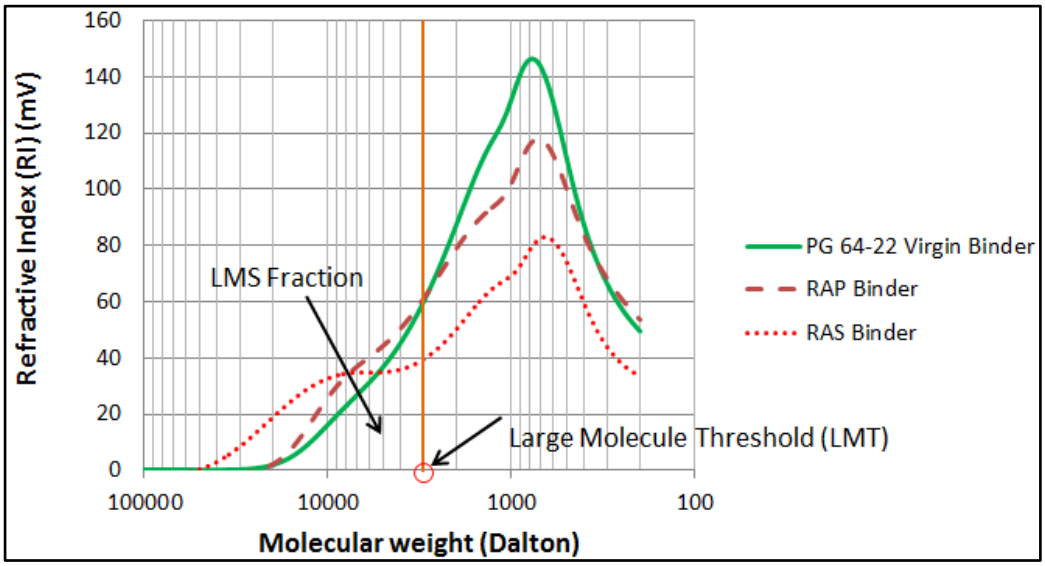



**Figure 16 GPC chromatogrammes basés sur le poids moléculaire [Zhao et coll., 2015]**

Cette étude conclut que :

- Le taux de mobilisation du liant contenu dans le GBR varie en fonction de la quantité de GBR (Figure 17). Une diminution est remarquée avec l'augmentation du pourcentage de GBR dans le mélange total. Le taux de mobilisation est proche de 100 % pour les mélanges qui contiennent jusqu'à 20 % de GBR, et il baisse de 73 % à 24 % avec un pourcentage de GBR variant de 30 % à 80 %.

- Par rapport au bardeau d'asphalte, le taux de mobilisation augmente puis diminue en fonction de la quantité utilisée. On remarque un pic de mobilisation d'environ 61 % pour une utilisation de 5 %.

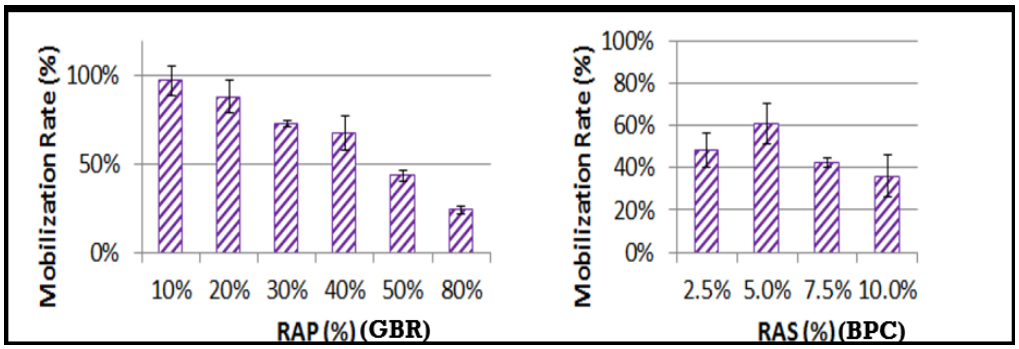



**Figure 17 Variation du taux de mobilisation en fonction des recyclés [Zhao et coll., 2015]**

Dans le but de caractériser les propriétés du mélange entre le bitume vierge et le bitume recyclé, Navarro et coll. [Navarro et coll., 2010] ont étudié l'impact du temps et de la température de malaxage sur les enrobés bitumineux contenant des matériaux recyclés. Dans cette étude, la méthode d'extraction séquencée du bitume est développée. Elle consiste à éplucher progressivement le bitume contenu dans un granulat d'enrobé couche par couche. Par la suite, les produits issus de cette extraction séquencée sont analysés directement à l'aide de la technique de la spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).

Le liant recyclé est quantifié dans la solution grâce à l'analyse des pics carboxyle et en utilisant l'indice du pic à droite (IPAD). Navarro et coll. concluent que la température de mélange prédomine sur la durée du malaxage dans le mécanisme d'homogénéisation du bitume vierge et du bitume recyclé.

## 2.7 L'interaction du bitume neuf avec le bitume des matériaux recyclés

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à la problématique de l'interaction du bitume neuf avec le bitume contenu dans les matériaux recyclés (GBR ou BPC). Ils ont mis en évidence que le mélange entre les bitumes n'est que partiel, et ils ont proposé des modèles statistiques, généralement linéaires, qui peuvent prédire le comportement rhéologique du mélange, appelés chartes de mélange.

Une deuxième voie qui semble être très prometteuse pour l'étude de l'interaction des bitumes (bitume neuf avec le bitume contenu dans les GBR et BPC) est l'approche par la modélisation. En se basant sur les modèles rhéologiques existants dans la littérature, il est possible de prédire le comportement rhéologique du mélange à l'échelle du liant, puis à l'échelle de l'enrobé.

### *2.7.1 Chartes de mélange*

Dans la littérature, plusieurs types de chartes de mélange sont proposées pour prédire les caractéristiques du mélange final, notamment l'étude de Bressi en 2015 [Bressi et coll., 2015] portant sur l'interaction du bitume neuf avec le bitume du GBR. Ils ont proposé un modèle non linéaire de prédiction du comportement rhéologique du mélange final (à savoir le module complexe « G* » et l'angle de phase « δ »). Ce modèle prend en compte plusieurs paramètres à savoir la classe du bitume vierge, la classe du bitume des GBR, la quantité du bitume des GBR, la fréquence de chargement et la température d'essais.

Les essais ont été réalisés à l'aide du DSR (*Dynamic Shear Rheometer*) sur des mélanges fabriqués en utilisant deux classes de bitume vierge non modifié (50/70 et 70/100) en combinaison avec plusieurs pourcentages de bitume artificiellement vieilli. Le vieillissement des bitumes était réalisé par le RTFOT « *Rolling Thin Film Oven Test* » et le PAV « *Pressure Ageing Vessel* » selon la norme ASTM D 6521.

Pour la réalisation des mélanges, les bitumes vierges 50/70 et 70/100 ainsi que les bitumes vieillis étaient chauffés respectivement à 136, 133 et 135 °C (selon leur viscosité) pendant une heure. Une heure a été sélectionnée pour s'assurer de l'homogénéité de la température. Par la suite, tous les mélanges ont subi un vieillissement à court terme par le RTFOT afin de simuler une fabrication d'enrobé (Figure 18).

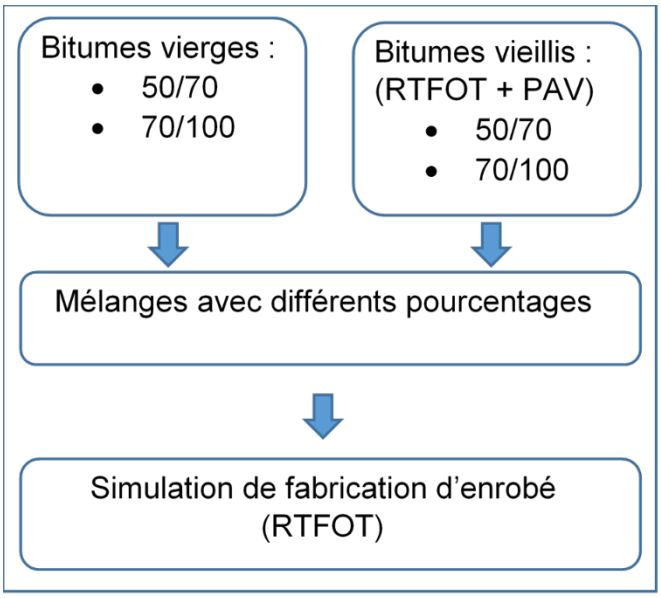



**Figure 18 Schéma représentatif de création des échantillons [Bressi et coll., 2015]**

Les essais de module complexe en cisaillement au DSR étaient réalisés à 21 fréquences de chargement (de 0.16 à 16.7 Hz) et à quatre températures, à savoir : 30 °C, 40 °C, 50 °C et 60 °C. Une analyse de sensibilité a été réalisée pour identifier le facteur le plus influant sur les résultats.

Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

- L'utilisation de petites quantités de GBR (≤ 20 %) a peu d'influence sur les caractéristiques rhéologiques du mélange final.
- Les effets de chaque paramètre deviennent plus importants lorsque la température augmente.

- À température moyenne (30 °C), la rigidité du liant vierge a plus d'influence que la rigidité du bitume vieilli. Cette conclusion n'est pas vérifiée à haute température (50 °C et 60 °C), où les deux paramètres ont une influence comparable sur la rhéologie du mélange.
- La teneur en bitume des GBR et la fréquence de chargement sont les paramètres qui ont le plus d'influence sur les caractéristiques rhéologiques du mélange.
- La rhéologie du mélange final est plus influencée par la teneur en bitume des GBR que par la rhéologie de ce liant.

Une autre étude statistique proposée par Mangiafico et coll. [Mangiafico et coll., 2015] a été menée cette fois à l'échelle de l'enrobé. Cette étude s'intéresse à l'influence de l'ajout de GBR sur les caractéristiques rhéologiques (E* à 15 °C et 10 Hz) et sur la fatigue ($\varepsilon_6$ et 1/b à 10 °C, 25 Hz) des enrobés.

Une partie de ce travail avait pour but d'estimer l'influence de la variation de la quantité de GBR et du degré de pénétrabilité du bitume vierge sur le module complexe (E* (15 °C, 10 Hz)) et les caractéristiques de fatigue ($\varepsilon_6$ et pente de la fatigue 1/b à 10 °C, 25 Hz) des enrobés préparés avec des matériaux recyclés (GBR). Le modèle quadratique proposé décrit de manière satisfaisante les résultats expérimentaux du module complexe, bien que certains coefficients n'aient pas été estimés statistiquement comme étant significatifs. Les seules divergences sont observées pour les mélanges produits avec un bitume neuf dur et des taux de GBR élevés, probablement en raison de problèmes de mélange entre les liants [Mangiafico et coll., 2015].

### *2.7.2 L'approche par modélisation*

Une deuxième approche récente proposée par Mangiafico sur l'étude de l'interaction du bitume neuf avec les bitumes recyclés est basée sur la modélisation. Les travaux de Mangiafico et coll. [Mangiafico et coll., 2012 ; Mangiafico et coll., 2014] avaient pour but d'étudier l'influence du bitume des

GBR sur le comportement viscoélastique linéaire du mélange final (bitume inclus dans le GBR + le bitume vierge). Des essais de module complexe sont réalisés à l'aide du DSR (*Dynamic Shear Rheometer*) sur des mélanges fabriqués en utilisant trois classes de bitumes vierges (15/25, 35/50 et 70/100) en combinaison avec plusieurs pourcentages de bitume extrait de GBR (0 %,20 %, 40 % et 60 %).

Les résultats expérimentaux sont analysés en utilisant le modèle rhéologique 2S2P1D [Olard et Di Benedetto, 2003].
Après l'analyse des résultats, Mangiafico a remarqué que :

- $E_0$ varie linéairement avec la quantité de bitume des GBR en suivant l'équation 20 ;
- $\tau_0$ du mélange tend linéairement vers $\tau_0$ du bitume des GBR en suivant l'équation 21 (Figure 19).

Puis, les autres paramètres du modèle 2S2P1D étaient prédits en utilisant l'équation 22, qui est une forme générale des équations 20 et 21. Les résultats de la prédiction décrivent de manière très satisfaisante les résultats expérimentaux et les résultats analysés par le modèle 2S2P1D dans les plans Cole-Cole, Black et les courbes maitresses (Figure 20 et 21).

$$\mathrm{E}\,0_{x\%} = \mathrm{E}\,0_{0\%} + x\,(\mathrm{E}\,0_{GBR} - \mathrm{E}\,0_{0\%}) \quad \text{(Eq. 20)}$$

$$\log \tau_{x\%} = \log \tau_{0\%} + x\,(\log \tau_{GBR} - \log \tau_{0\%}) \quad \text{(Eq. 21)}$$

$$A\,x_{x\%} = \mathrm{A}\,x_{0\%} + x\,(\mathrm{A}\,x_{GBR} - \mathrm{A}\,x_{0\%}) \quad \text{(Eq. 22)}$$

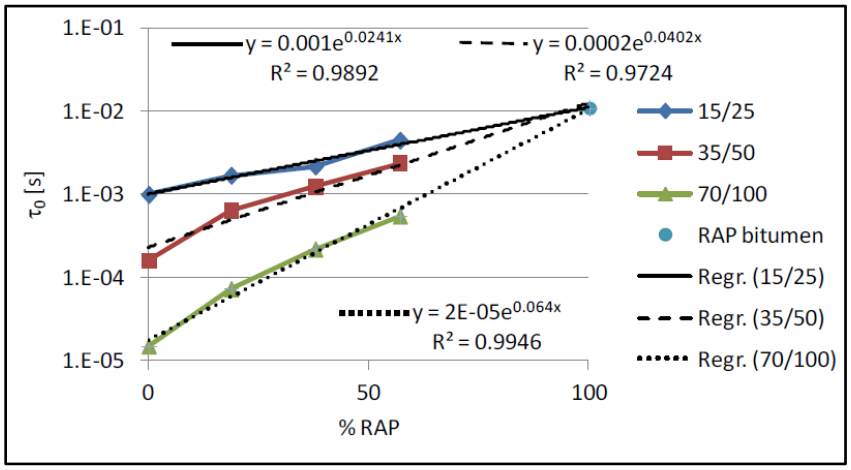



**Figure 19 La variation de $\tau_0$ par rapport au pourcentage de GBR [Mangiafico et coll., 2012]**

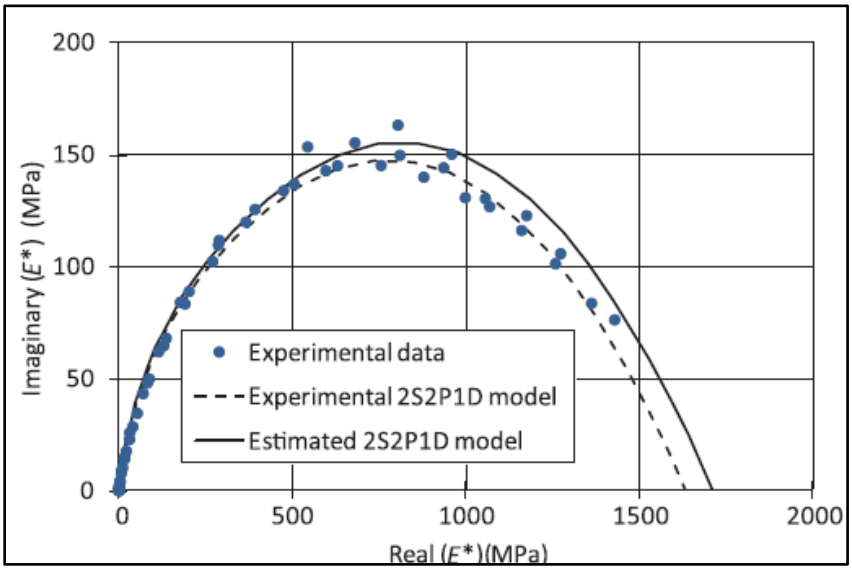



**Figure 20 Comparaison entre la prédiction, l'expérimentale et le 2S2P1D en plan Cole - Cole [Mangiafico et coll., 2012]**

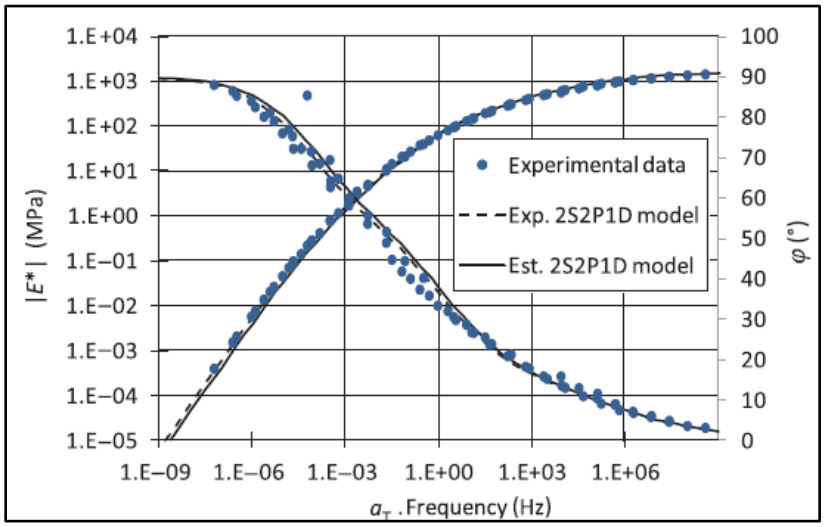



**Figure 21 Comparaison entre les courbes maitresses de la prédiction, l'expérimentale et le 2S2P1D [Mangiafico et coll., 2012]**

À partir de ces résultats, le comportement des enrobés correspondants est estimé par la transformation analytique SHStS (Shift, Homothety, Shift in time, Shift) proposée par Olard et Di Benedetto [Olard et Di Benedetto, 2003]. La transformation SHStS est un outil simple permettant d'aller du comportement rhéologique du bitume au comportement mécanique de l'enrobé correspondant sur toute une gamme de fréquences et de températures. Cette transformation s'écrit comme suit :

$$E^*(\omega,T) = E_{00\ enrobé} + [E^*_{bitume}(10^{\alpha}\omega,T) - E_{00\ bitume}]\frac{E_{0\ enrobé} - E_{00\ enrobé}}{E_{0\ bitume} - E_{00\ bitume}} \qquad \text{(Eq. 23)}$$

La transformation compte 3 constantes à définir, $E_{00\ enrobé}$, $E_{0\ enrobé}$ et α. $E_{00\ enrobé}$, et $E_{0\ enrobé}$ sont respectivement le module statique et le module vitreux de l'enrobé déterminés respectivement à très basse fréquence et à très haute fréquence. Le paramètre α dépend de la formulation de l'enrobé et du vieillissement durant l'enrobage ; il est défini par l'équation 24.

$$10^{\alpha} = \frac{\tau_{0\ enrobé}}{\tau_{0\ bitume}} \qquad \text{(Eq. 24)}$$

Une excellente correspondance est remarquée entre les résultats expérimentaux et la prédiction (Figure 22). Un léger écart dans l'axe horizontal est observé pour les deux mélanges ayant une teneur élevée en GBR (≥ 40 %). Cet écart peut être expliqué du fait que le mélange est incomplet entre les bitumes vierges et provenant des GBR dans les enrobés. Cette dernière conclusion confirme les résultats de Zhao et coll. 2015 [Zhao et coll., 2015].

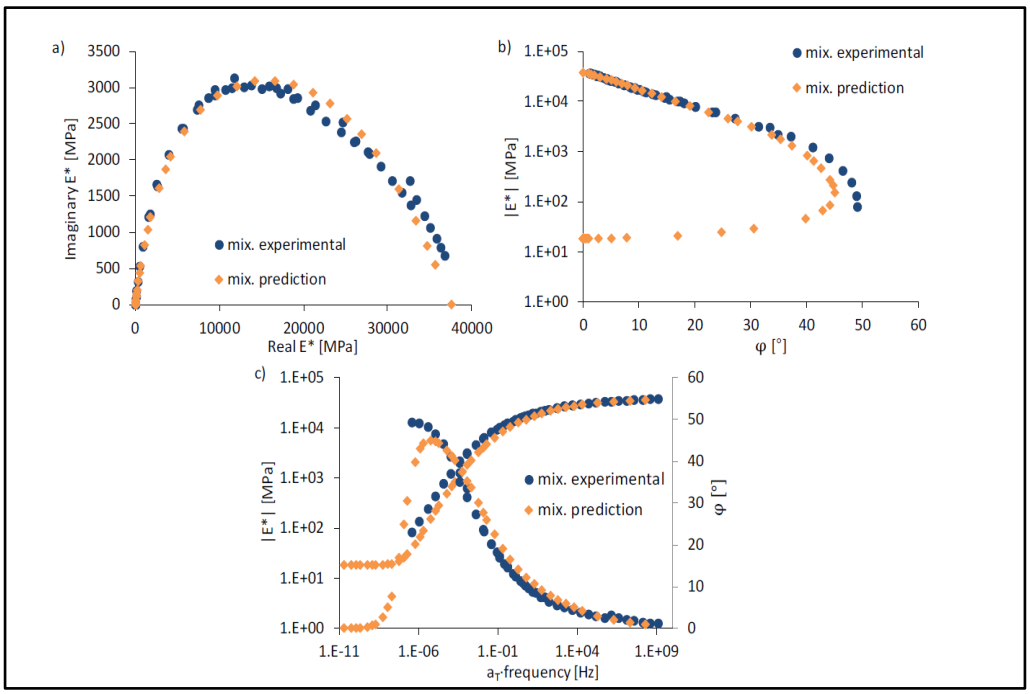



**Figure 22 Comparaison entre les résultats expérimentaux et la prédiction pour enrobé avec 40 % de GBR [Mangiafico et coll., 2016a]**

## 2.8 Le comportement thermomécanique des enrobés contenant des recyclés

Plusieurs études ont démontré que l'utilisation d'un combiné GBR et bardeaux peut donner d'excellentes performances vis-à-vis la résistance à l'orniérage, mais des craintes demeurent au niveau du comportement à basse température et notamment au niveau de la fissuration thermique [Falchetto et coll., 2016 ;

Ghabchi et coll., 2016 ; Zhou et coll., 2014]. Par rapport à la résistance à la fatigue, des recherches démontrent que la quantité et la nature du bitume utilisé jouent un rôle très important, car l'utilisation de liants durs peut augmenter la vitesse d'évolution des fissures au sein du matériau [Baaj et coll., 2005].

Par ailleurs, Ghabchi et coll. [Ghabchi et coll., 2016] ont montré que :

- La combinaison de 5 % de bardeaux avec 5 % de GBR offrait une meilleure résistance à la fatigue que l'enrobé vierge de référence.
- Lorsqu'un bitume de classe PG 70-28 était utilisé, l'ajout de GBR et/ ou de bardeaux a entraîné une diminution de la résistance à la fatigue.
- L'utilisation de 6 % de bardeaux en combinaison avec des matériaux neufs a entraîné la diminution maximale de la résistance à la fatigue.
- Les enrobés fabriqués avec un bitume polymère (avec et sans matériaux recyclés) se comportent mieux vis-à-vis la fatigue par rapport à ceux avec un liant d'ajout non modifié.
- L'ajout des bardeaux et/ou des GBR aux enrobés provoque une augmentation du module complexe. Cela peut entraîner une meilleure performance d'orniérage.
- L'utilisation du bardeau et/ou des GBR conduit à des enrobés plus rigides, ce qui a abaissé le potentiel de fluage par rapport à ceux sans bardeau et/ou GBR. Cela peut augmenter le risque de fissuration à basse température.

Zhou et coll. [Zhou et coll., 2014] ont présenté une recherche bibliographique sur l'utilisation d'un recyclé constitué de GBR et bardeaux (BPC ou BPF) dans les enrobés bitumineux à chaud et tièdes. Ils ont noté que les enrobés contenants des matériaux recyclés ont une meilleure résistance à l'orniérage, mais une mauvaise résistance à la fissuration thermique et à la fissuration par fatigue.

## 2.9 La maniabilité

La maniabilité est la propriété de l'enrobé bitumineux qui décrit la facilité de mise en œuvre, à la main. Cette caractéristique entre en jeu lors de la pose de l'enrobé (Figure 23). Elle est plus ou moins importante selon le type de chantier. Ainsi, pour un chantier totalement mécanisé (c'est-à-dire une application systématique de l'enrobé au finisseur), elle ne sera que très ponctuelle, mais pas inexistante. Par contre, dans le cadre d'un chantier urbain en présence de regards, de bouches d'égout et de bordures de trottoirs, cette maniabilité va être primordiale, car les ouvriers doivent très souvent intervenir manuellement avec une pelle ou un râteau sur le chantier.

**Figure 23 Répandage d'un enrobé avec un finisseur et intervention manuelle de l'ouvrier [Technique-TP, 2016]**

La détermination de l'aptitude d'un enrobé à se mettre en œuvre aisément (maniabilité) peut ainsi être très importante lors des opérations d'épandage et de compactage sur chantier. Cette évaluation ne fait pas partie des étapes classiques de formulation d'un enrobé bitumineux. Elle peut être gérée en adaptant par exemple la température de mise en œuvre des enrobés. Cependant, le développement des techniques tièdes a fait apparaître des

problématiques de maniabilité [Fabre des Essart, 2016]. De même, l'incorporation de matériaux recyclés composés de bitumes plus vieux, donc plus durs, amène à être vigilant sur cette caractéristique.

Principalement deux méthodes sont utilisées pour l'estimation de la maniabilité des enrobés. La première méthode consiste en une mesure de couple dans un enrobé foisonné. Ainsi, Alain Béghin a développé en France un outil spécifique qui permet d'estimer la maniabilité des enrobés (chaud et tiède) consistant à mesurer le couple maximum nécessaire à déstructurer l'échantillon placé dans un moule cylindrique à une température donnée [Béghin et Peyronet, 2014]. La courbe de l'évolution de la mesure de couple par rapport à la température permet une estimation de la maniabilité (Figure 24), montrant notamment l'influence ou non d'additif pour enrobé tiède.

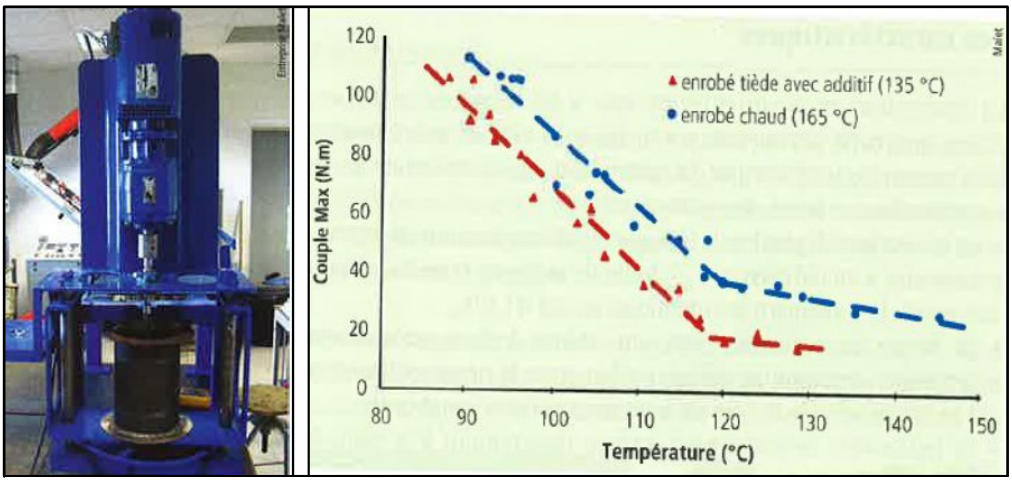



**Figure 24 Maniabilimètre Malet [Béghin et Peyronnet, 2014]**

La deuxième méthode consiste à mesurer une force de poussée maximale appliquée par un vérin nécessaire pour cisailler un échantillon (maniabilimètre Nynas) (Figure 25). L'essai au maniabilimètre Nynas est développé en France en premier lieu pour les enrobés à froid, puis il est récemment normalisé (NF P98-258-1) pour tous les enrobés à chaud, tièdes et à froid. Peu de travaux réalisés avec ce dispositif ont été publiés. On peut noter le travail de thèse

d'Angélique Fabre des Essarts [Fabre des Essarts, 2014 ; Fabre des Essarts et coll., 2015]. Un protocole d'essai est proposé, notamment avec l'intérêt de travailler à une compacité constante, quelle que soit la température (toujours introduire la même masse dans le même volume de moule en appliquant si nécessaire un compactage manuel pour comparer un même enrobé à différentes températures).

Faucon-Dumont et coll. [Faucont-Dumont et coll., 2015] ont proposé des limites de maniabilité en utilisant le maniabilimètre Nynas en comparaison à des constatations des ouvriers sur chantier, et à des mesures de couple sur malaxeur. En adoptant un protocole à compacité constante, la limite proposée est de 300 N pour un niveau de compacité foisonné de l'enrobé de 70 %.

**Figure 25 Le maniabilimètre Nynas (ESTP Paris)**

Enfin, Baptiste et coll. [Baptiste et coll. 2016] utilisent également ce même maniabilimètre dans une étude d'enrobé tiède avec recyclés. On note qu'ils ont appliqué la norme en vigueur (travail à volume constant), et qu'ils proposent la limite de maniabilité à 100 N.

# 3. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

L'objectif principal du projet de recherche est d'établir les effets de l'ajout de granulats bitumineux recyclés (GBR) et/ ou de bardeaux d'asphalte de post-consommation (BPC) sur le comportement thermomécanique des enrobés. La détermination des caractéristiques de module complexe, de fluage, de retrait thermique empêché et de tenue à l'eau aide à déterminer des pourcentages optimaux en termes de quantité de GBR et BPC afin de proposer une formulation d'enrobé contenant un combiné de GBR/BPC et présentant les mêmes performances voire de meilleures que pour un enrobé sans matériaux recyclés.

L'enrobé avec le combiné de GBR et BPC doit répondre aux exigences fixées par la norme 4202 du tome VII Matériaux vis-à-vis de l'aptitude au compactage et de la résistance à l'orniérage. De plus, ces enrobés doivent avoir des résistances à la fissuration thermique et à la tenue à l'eau équivalentes ou supérieures aux enrobés standards. L'enrobé avec GBR et BPC doit aussi présenter de bonnes caractéristiques de mise en œuvre (la maniabilité) afin qu'il se mette en place facilement.

Comme précisé précédemment, pour atteindre l'objectif principal, il faut répondre à des objectifs de recherche (partie à l'ÉTS et l'ESTP), à savoir l'étude du taux de mobilisation et de l'interaction des bitumes. Pour ce faire, un plan de travail sur trois niveaux était défini (Figure 26).

- La formulation des enrobés
- L'échelle des liants
- L'échelle des enrobés

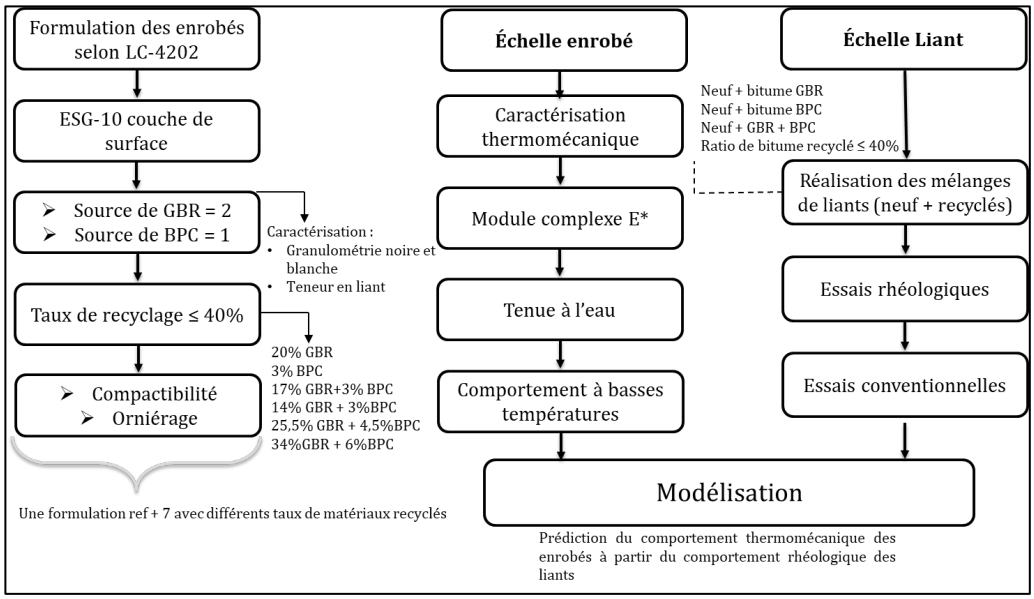



**Figure 26 Schéma du plan de travail**

## 3.1 Description des matériaux utilisés

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous avons travaillé sur des matériaux vierges de granulométrie 0-10 mm qui sont répartis en trois classes granulaires, soit 5-10 mm, 0-2,5 mm, et 0-1,25 mm. Le filler d'ajout est un filler calcaire. Les granulométries de ces matériaux sont déterminées à l'aide de l'essai d'analyse granulométrique (LC 21-040), alors que leurs densités et leurs absorptions en eau sont déterminées en utilisant les méthodes d'essais LC 21-065, LC 21-066, LC 21-067.

Le bitume d'ajout utilisé est de classe PG 58-34, il est caractérisé par :

- La classe de performance (AASHTO T315, AASHTO T313) ;
- La pénétrabilité à l'aiguille (NF EN 1426) ;
- La température de ramollissement après stockage (LC 25-003) ;
- La teneur en cendre (LC 25-008) ;
- La stabilité au stockage (LC 25-003) ;
- La recouvrance d'élasticité à 10 °C (LC 25-005) ;

- La perte en masse au RTFOT (AASHTO T 240) ;
- La viscosité Brookfield (AASHTO T 316) ;
- Le point éclair (ASTM D 92).

Les caractéristiques du bitume d'ajout sont présentées en annexe. Il est important de préciser que le bitume fournit par le MTQ pour ce projet, bien qu'officiellement un PG 58-34, devrait être classé comme un PG 52-34. Après discussion avec le MTQ, il a été décidé de continuer le projet avec ce bitume.

Les matériaux recyclés utilisés dans cette étude sont caractérisés par leurs courbes granulométriques avant et après four à ignition, ainsi que par leurs teneurs en liant déterminées après calcination du bitume. Les liants inclus dans les matériaux recyclés sont caractérisés après extraction/ récupération par des essais conventionnels et rhéologiques. Des précisions sur ce point sont présentées dans la section 3.2, et les caractéristiques des matériaux utilisés sont présentées au chapitre 4. Deux sources de GBR de la région Québec et une source de BPC sont incorporées en combinaison avec les matériaux neufs. La quantité de GBR et BPC incorporée dans les enrobés est fixée en tenant compte de la norme LC 4202 et de la revue de la littérature. Pour la première source de GBR, le taux d'utilisation massique varie entre trois différents pourcentages (20 %, 17 % et 14 %). Pour la deuxième source de GBR, des taux plus élevés ont été choisis (17 %, 25,5 % et 34 %). Finalement, pour les BPC, trois différents pourcentages massiques (3 %, 4,5 % et 6 %) ont été mis à l'essai.

Pour la première source de GBR (GBR 1), les taux d'utilisation des matériaux recyclés (GBR et/ou BPC) respectent la limite permise par la norme LC 4202, soit un pourcentage massique maximale de 20 %. Pour la deuxième source de GBR (GBR 2), un ratio fixe de GBR sur BPC (GBR/BPC) était utilisé avec des pourcentages massiques de matériaux recyclés allant de 20 % à 40 %. Le ratio sélectionné (3/17) a été fixé en se basant sur la quantité maximale de bardeaux pour le GBR 1 en respectant le pourcentage maximal total de 20 % (3 % de BPC et 17 % de GBR).

La formulation de l'enrobé de référence est réalisée en suivant le schéma présenté sur la Figure 2. Les enrobés contenant des matériaux recyclés sont formulés en respectant la méthode décrite à la méthode d'essai LC 26-003 annexe B. Les taux de mobilisation en bitume ont été considérés à 100 % pour les GBR et 25 % pour les BPC, comme indiqué dans la norme 4202. Les GBR et BPC sont chauffés à 60 °C à l'étuve pendant au moins une heure, puis introduits avec les granulats vierges chauffés à la température de fabrication (165 °C) et malaxés pendant 1 minute. La quantité de bitume vierge nécessaire pour chaque mélange est introduite au moment du malaxage par des pesées négatives. Le mélange avec le bitume est malaxé pendant 3 minutes. Le malaxage a été effectué dans un malaxeur thermorégulé. Le Tableau 3 présente les différents enrobés réalisés. Les formulations sont complétées par des essais de détermination d'aptitude au compactage à la presse à cisaillement giratoire et par l'essai de résistance à l'orniérage.

**Tableau 3 Liste des enrobés formulés**

| Mélanges | Taux de BPC (%) | Taux de GBR (%) | Taux de matériaux recyclés (%) | Ratio BPC/GBR | Taux de participation en bitume (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Référence** | 0 | 0 | 0 | - | - |
| **ESG-10 3 % BPC+0% GBR 1** | 3 | 0 | 3 | - | 0,17 |
| **ESG -10 0 % BPC+20% GBR 1** | 0 | 20 | 20 | - | 1,09 |
| **ESG -10 3 % BPC+17% GBR 1** | 3 | 17 | 20 | 0,18 | 0,17 + 0,89 = 1,06 |
| **ESG -10 3 % BPC+14% GBR 1** | 3 | 14 | 17 | 0,21 | 0,17 + 73 = 0,90 |
| **ESG -10 3 % BPC+17% GBR 2** | 3 | 17 | 20 | 0,18 | 0,17 + 0,93 = 1,10 |
| **ESG -10 4,5% BPC+25,5% GBR 2** | 4,5 | 25,5 | 30 | 0,18 | 0,26 + 1,39 = 1,64 |
| **ESG -10 6 % BPC+34% GBR 2** | 6 | 34 | 40 | 0,18 | 0,34 + 1,85 = 2,19 |

Le taux de participation du bitume montré au Tableau 3 est calculé en tenant compte de la quantité de matériaux recyclés, du pourcentage de bitume de ces matériaux et du pourcentage de bitume mobilisable de ces matériaux. Par exemple, pour le mélange avec seulement 3 % de BPC, qui contient 22,9 % de bitume dont seulement 25 % est considéré mobilisable, le calcul donne 0,17 % (3 % x 22,9 % x 25 %). Plus de détails sont donnés au chapitre 4.

## 3.2 Échelle liant (partie recherche)

L'étude de l'interaction entre le liant vierge et les liants contenus dans les matériaux recyclés est réalisée en collaboration avec l'École Spéciale des Travaux Publiques de Paris, et son centre de Recherche IRC (Institut de Recherche en Constructibilité). Elle est axée sur l'étude du comportement rhéologique et conventionnel des liants. Le plan de travail est montré à la Figure 27.

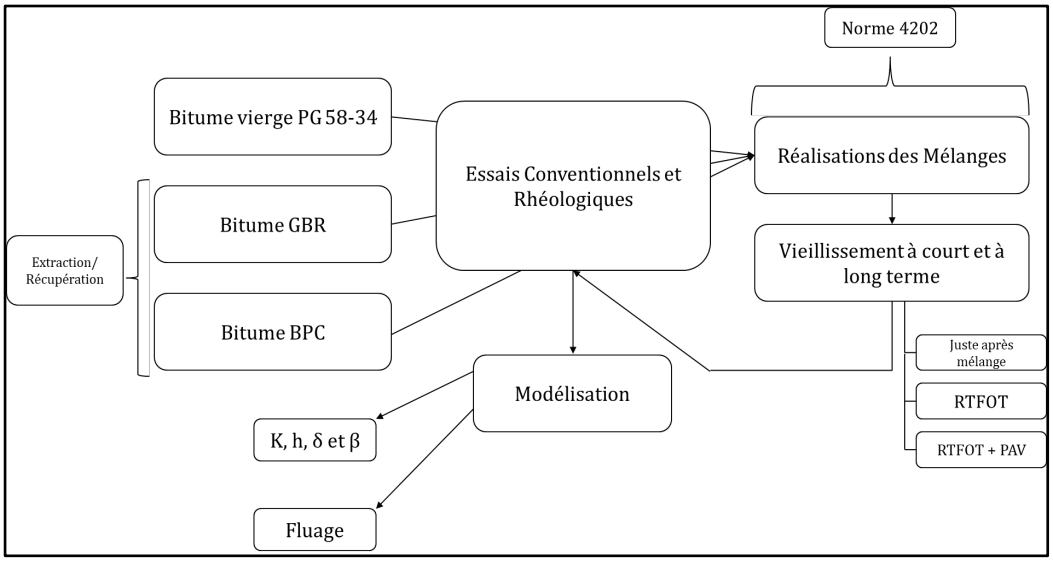



**Figure 27 Schéma du plan de travail**

Après les opérations d'extraction et de récupération des liants contenus dans les GBR et BPC réalisés à l'aide de l'*asphalt analyzer*, les bitumes récupérés sont mélangés au bitume vierge (PG 58-34) à plusieurs ratios de bitume recyclé

(RBR) jusqu'à 40 % en masse. Les mélanges sont caractérisés par des essais conventionnels (pénétration et point de ramollissement bille et anneau), rhéologiques (module du complexe en cisaillement G*) et physico-chimiques (spectroscopie infrarouge (FTIR), calorimétrie différentielle à balayage (DSC)).

Les essais rhéologiques sont réalisés à l'aide du rhéomètre à cisaillement dynamique sur le liant vierge, le liant des granulats bitumineux recyclés (GBR), le liant des bardeaux d'asphalte (BPC) et sur des mélanges en différentes proportions des trois bitumes. Ces derniers (bitume vierge + bitume GBR + bitume BPC) sont réalisés d'abord en s'appuyant sur les pourcentages de mobilisation donnés par la norme 4202 du MTQ, c'est-à-dire 100 % de mobilisation pour un taux de recyclage inférieur à 20 % pour les GBR et 25 % pour les BPC avec un taux de recyclage de 3 %. Le Tableau 4 présente les douze mélanges entre liants. Les essais au DSR sont réalisés à des températures variant de -35 °C à 65 °C par pas de 10 °C et avec un balayage de fréquence de 0.1 Hz à 10 Hz (21 fréquences par température). Principalement, deux géométries plat - plat sont utilisées (diamètre 8 mm (PP8) et diamètre 25 mm (PP25)). Les paramètres d'essai (la contrainte, la déformation) sont fixés en se basant sur les résultats des essais de linéarité réalisés à -35 °C, 5 °C et 65 °C.

**Tableau 4 Mélanges entre liants**

| **bitume vierge + bitume GBR** | | **bitume vierge + bitume BPC** | | **bitume vierge + bitume GBR et BPC** | |
|---|---|---|---|---|---|
| **% bitume GBR** | **% bitume BPC** | **% bitume GBR** | **% bitume BPC** | **% bitume GBR** | **% bitume BPC** |
| 15 | 0 | 0 | 3 | 13,5 | 1,5 |
| 20 | 0 | 0 | 4,5 | 17 | 3 |
| 30 | 0 | 0 | 6 | 25,5 | 4,5 |
| 40 | 0 | - | - | 30 | 5 |
| - | - | - | - | 34 | 6 |

Après la réalisation des mélanges, trois niveaux de vieillissement sont choisis, à savoir :

- Niveau 0, juste après la réalisation du mélange et sans aucun vieillissement artificiel
- Niveau 1 correspondant à un vieillissement à court terme réalisé à l'aide du RTFOT
- Niveau 2 correspondant à un vieillissement à long terme réalisé à l'aide du RTFOT + PAV

Le modèle 2S2P1D est utilisé pour décrire les données expérimentales pour le bitume vierge et les mélanges. La calibration des sept paramètres du modèle est réalisée sur le bitume de référence (vierge). Ensuite, connaissant les modules vitreux et statiques (Cole-Cole) de tous les mélanges, les courbes normalisées sont tracées et l'évolution des paramètres du modèle par rapport au taux de recyclage est étudiée. La transformation « *Shift-Homothety-Shift, in time-Shift transformation »* (SHStS) est appliquée pour vérifier la correspondance des comportements viscoélastiques linéaires des liants et des enrobés correspondants.

## 3.3 Les enrobés

Cette partie est axée sur l'étude de l'influence de l'ajout d'un combiné de GBR et BPC sur le comportement thermomécanique des enrobés tel que schématisé à la Figure 28. Elle comporte des essais d'orniérage, de module complexe, de résistance à la fissuration thermique et de tenue à l'eau. Suite à une discussion entre l'ÉTS et le MTQ, les essais de mesure de la résistance à la fatigue prévue initialement n'ont pas eu lieu par manque de temps et de matériaux et aussi parce que les enrobés testés sont des enrobés de surface, habituellement non testé en fatigue.

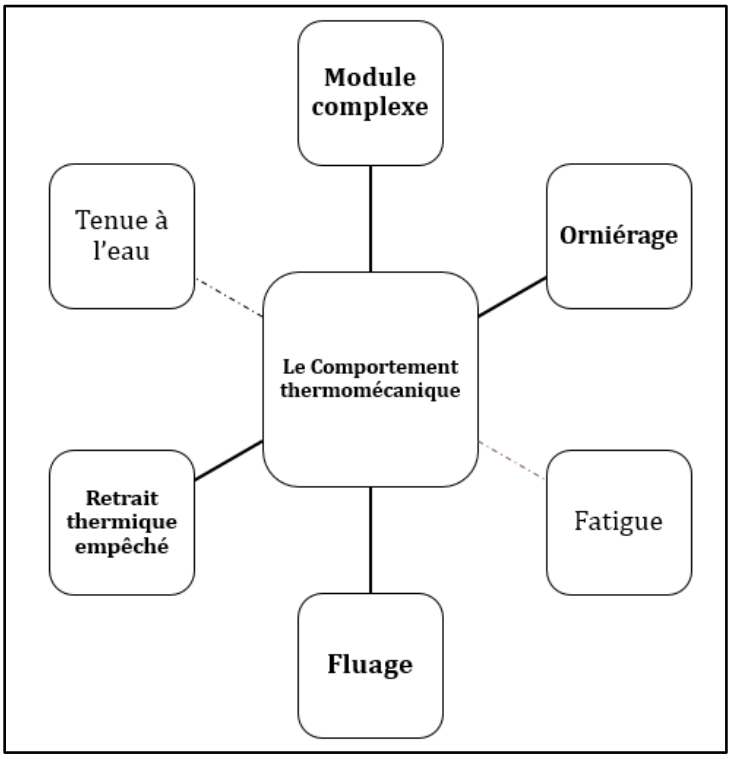



**Figure 28 Schéma du plan d'essai**

### *3.3.1 L'orniérage*

Les essais sont faits sur des plaques de 50 mm d'épaisseur et les pourcentages d'orniérage sont mesurés jusqu'à 30 000 cycles à 58 °C selon la méthode d'essai LC 26-410. La méthode de formulation LC fixe des limites à ne pas dépasser en termes de pourcentages d'orniérage. Pour les enrobés de type ESG-10, les limites sont de 10 % et 15 % à 1000 et 3000 cycles respectivement. Il est à noter que dans le cadre de cette étude, les essais de résistance à l'orniérage ont été allongés au-delà du nombre de cycles habituels, soit jusqu'à 30 000 cycles.

Les enrobés sont compactés en suivant la méthode LC 26-400. Après fabrication, ils sont introduits directement dans les moules de 50 mm. Aucun conditionnement à l'étuve n'est réalisé. Le compactage est réalisé en suivant le plan proposé dans l'annexe C de la méthode LC 26-400 en termes de nombre

de passes, la position et la pression de la roue, la hauteur d'éprouvette et la force du vérin. L'éprouvette confectionnée est mise à l'air libre pendant 48 heures et, par la suite, avant de démarrer l'essai, des pesées hydrostatiques sont réalisées pour déterminer le pourcentage de vides.

Les conditions d'essai sont fixées à une pression de pneu de 0,600 MPa ± 0,030 MPa et une charge roulante de 5 kN ± 0,05 kN à toutes les températures d'essai. L'essai est réalisé en deux étapes. La première étape consiste à appliquer 1000 cycles à froid (température de la pièce). Ensuite l'éprouvette est conditionnée à la température d'essai. Dans le cas d'un bitume de classe PG 58-34, la température est de 58 °C ± 2 °C.

### *3.3.2 Le module complexe*

Pour la détermination du module complexe, les essais sont réalisés en traction-compression directe à cinq fréquences (0,1 Hz, 0,3 Hz, 1 Hz, 3 Hz et 10 Hz) et 8 températures (-30 °C, -20 °C, -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C, 30 °C et 40 °C). Cette configuration permet de bien décrire le comportement viscoélastique linéaire des enrobés. Les éprouvettes sont fabriquées en suivant la méthode LC 26-690 et l'essai est réalisé selon la méthode d'essai LC 26–700 en y ajoutant la température de -30ºC.

Comme indiqué à la méthode LC 26–690, après la fabrication, les enrobés sont conditionnés dans une étuve pendant quatre heures à la température de compactage (140 ºC pour un bitume PG 58-34). Le compactage est réalisé à l'aide du compacteur LPC en visant un pourcentage de vides de 5 %. Le carottage des éprouvettes est réalisé 24 heures après le compactage en suivant le schéma de carottage présenté sur la Figure 29. Une étape de vérification des densités est réalisée par la suite afin de s'assurer que tous les échantillons ont plus ou moins le même pourcentage de vides (5 % ± 1 %).

Avant la réalisation des essais, deux casques d'aluminium sont collés aux extrémités des éprouvettes, puis des extensomètres de longueur de 50 mm sont installés. Ces derniers sont espacés les uns des autres d'un angle de 120° (Figure 30). Avant la réalisation des essais, un conditionnement de quatre heures par température est appliqué.

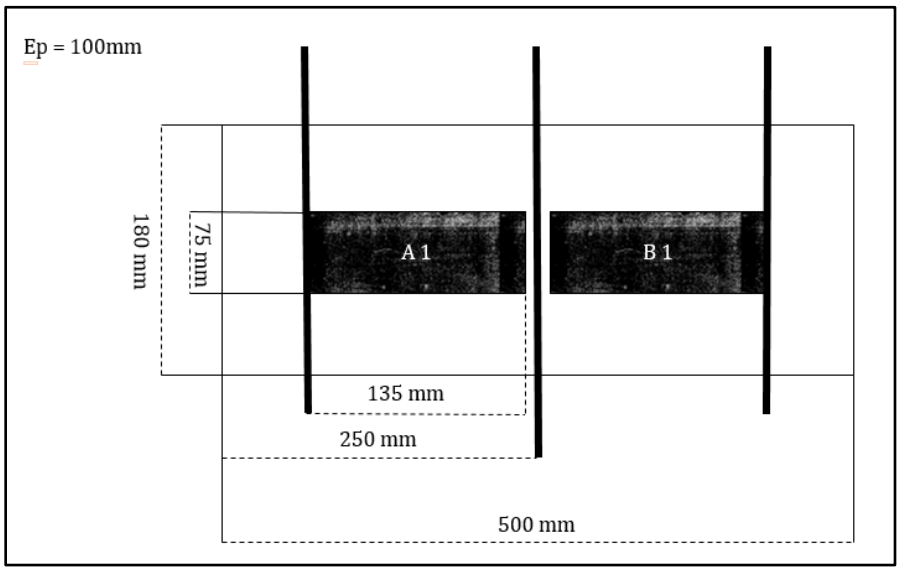



**Figure 29 Schéma de carottage des éprouvettes**

**Figure 30 Préparation et instrumentation des échantillons**

À la fin de l'essai, les éprouvettes sont récupérées pour la réalisation de l'essai de fluage en traction directe.

### *3.3.3 La résistance à la fissuration thermique*

Pour mesurer la résistance à la fissuration thermique des enrobés avec un combiné de GBR et BPC, des essais de retrait thermique empêché (TSRST) sont réalisés sur les huit mélanges formulés. Une descente en température contrôlée de 10 °C/h est appliquée (AASHTO TP10-93) tout en gardant la déformation à zéro. Les éprouvettes de diamètre de 60 mm et de hauteur de 200 mm sont fabriquées à partir des plaques réalisées suivant la méthode LC-26-690 puis carottées selon le schéma de la Figure 31. Il est à noter que la norme AASHTO TP10-93 dicte une longueur d'éprouvette de 250 mm, mais qu'une longueur de 200 mm a été utilisée ici suite à une discussion entre l'ÉTS et le MTQ en se basant sur l'expérience de l'ÉTS sur cet essai. Les résultats de cet essai ne peuvent pas être utilisés directement dans un dimensionnement mécaniste-empirique de chaussées avec des outils comme le logiciel PavementME.

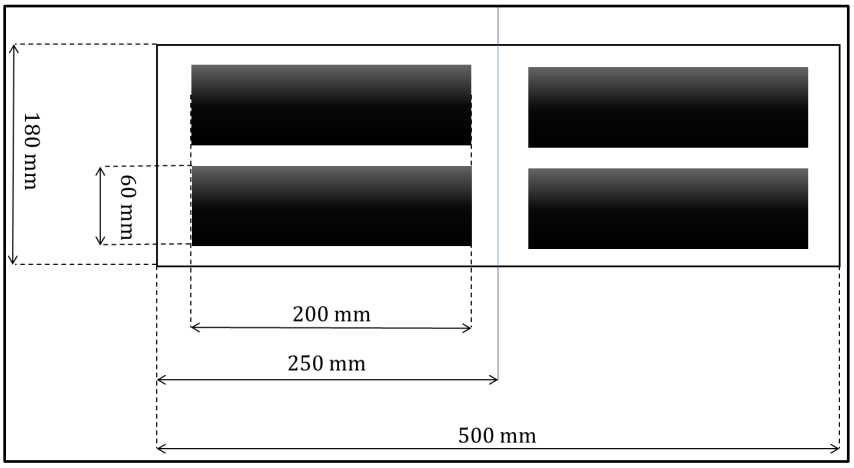



**Figure 31 Schéma de carottage des éprouvettes pour l'essai TSRST**

Des essais de fluage à basse température sont également réalisés. La norme AASHTO T 322-07 propose de travailler avec une configuration en traction indirecte (chapitre 2). Dans le cadre de ce programme de recherche, les tests sont effectués durant les essais de module complexe sur éprouvette cylindrique en configuration traction directe et compression directe, ainsi que selon la méthode proposée dans la norme AASHTO T 322. De plus, il est possible de calculer le fluage à partir des résultats de module complexe ; des calculs sont donc effectués en ce sens pour étudier la possibilité de prédiction du comportement en fluage à partir des essais de module complexe (essai cyclique) sans avoir à faire l'essai. Cependant, il est très intéressant de coupler les analyses des deux essais afin de bien étudier le comportement à basse température (TSRST et fluage).

Les essais de fluage sont réalisés en traction directe et en compression directe à quatre températures différentes -20, -10, 0 et 10 °C sur les huit formulations. Le chargement est piloté en force avec une rampe en traction ou en compression de 0,1 seconde, puis la charge reste constante pendant 300 secondes. Le schéma de l'essai est représenté ci-dessous (Figures 32 et 33).

Le fluage est défini comme le rapport entre la déformation dans le temps par la contrainte maximale appliquée. Les forces appliquées sont tirées des résultats du module complexe de façon à avoir une déformation égale 25 µdef à 0,1 seconde. Le Tableau suivant présente les forces appliquées lors de l'essai de fluage en traction directe.

**Tableau 5 Forces appliquées durant l'essai de fluage**

| Températures (°C) | Force (N) |
|---|---|
| -20 | 2000 ± 14 |
| -10 | 1800 ± 11 |
| 0 | 1500 ± 10 |
| 10 | 900 ± 5 |

Afin de s'assurer de ne pas dépasser la limite du comportement viscoélastique linéaire, des essais de module sont réalisés avant et après la traction directe.

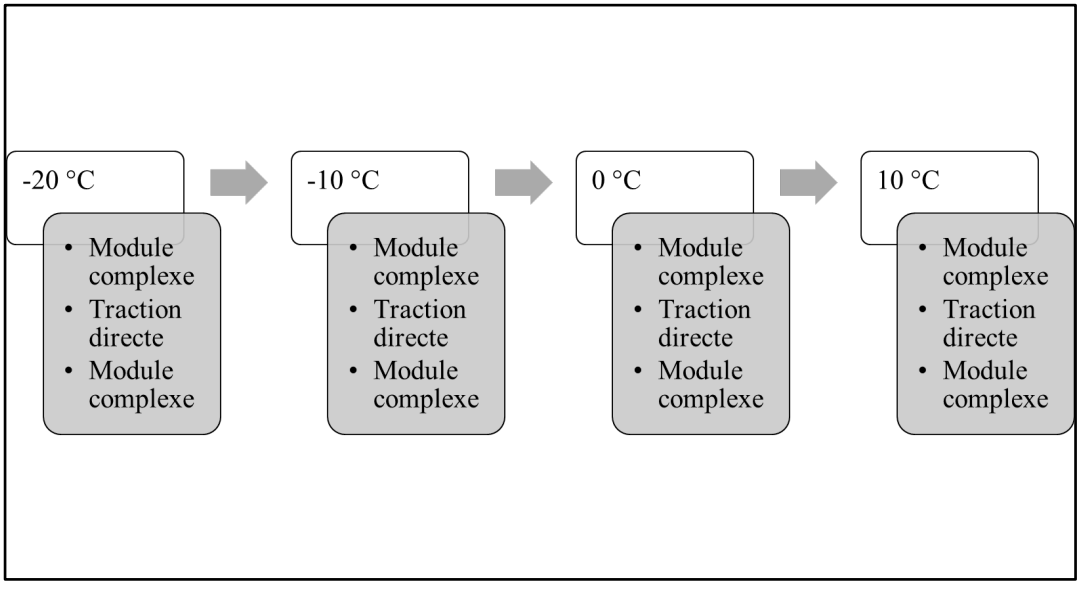



**Figure 32 Schéma de réalisation de l'essai de fluage par traction directe**

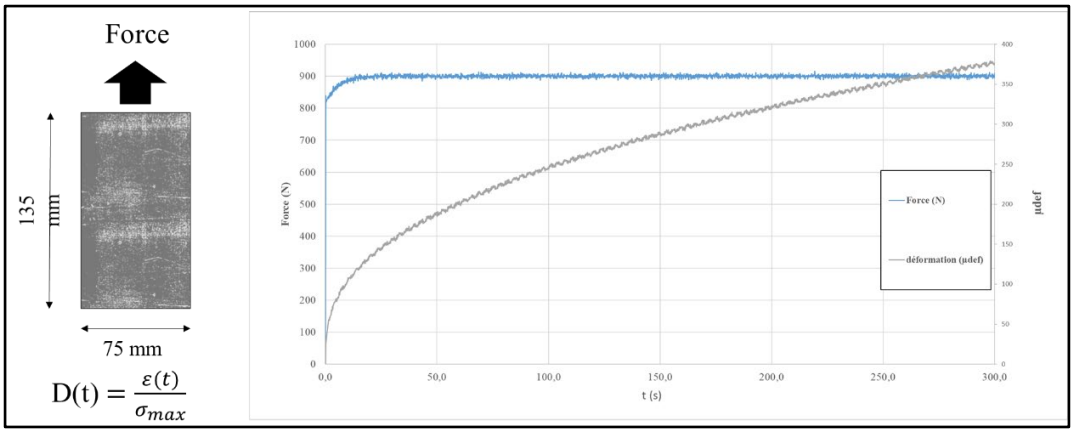



**Figure 33 L'essai de fluage en traction directe**

### *3.3.4 La stabilité Marshall et la tenue à l'eau*

Les essais de tenue à l'eau sont réalisés sur six formulations en suivant la méthode d'essai LC 26-001. Après la fabrication des enrobés (environ 10 kg), une étape de réduction est faite selon la méthode LC 26-010 afin d'avoir 8 échantillons de 1 200 g par mélange. Ensuite, l'enrobé est conditionné à la température de compactage (140 °C) pendant 30 minutes. Les échantillons de 104 mm de diamètre sont compactés à l'aide d'un compactage par impact suivant la méthode LC 26-020 en réalisant 40 coups sur chaque face. Le démoulage est réalisé 24 heures après la confection des éprouvettes. Les densités et les pourcentages de vides sont vérifiés par pesées hydrostatiques (Tableau 6). Les échantillons sont séparés en deux lots de manière à avoir des densités très proche dans chaque lot. Le premier lot est conditionné dans un bain d'eau à la température de 60 °C pendant 30 à 40 minutes, puis l'essai est réalisé dans les 30 secondes à partir du moment où l'échantillon n'est plus en contact avec l'eau. La charge maximale enregistrée est corrigée par un facteur calculé par rapport à la hauteur de l'échantillon (LC 26-001). Les échantillons du deuxième lot sont saturés sous vide à l'aide d'un dessiccateur. Une pression de 30 mm de HG est maintenue à l'intérieur du dessiccateur pendant 30 minutes. Ensuite, on rajoute de l'eau puis l'ensemble est placé dans un bain d'eau à 60 °C

pendant une heure. Enfin, la pression est relâchée et les échantillons restent dans le bain pendant 24 heures avant de réaliser l'essai.

**Tableau 6 Densités brutes pour chaque mélange testé**

| Enrobés | | Densité brute |
|---|---|---|
| **REF** | Lot 1 | 2,492 ± 0,002 |
| | Lot 2 | 2,501 ± 0,003 |
| **0 % BPC+20% GBR 1** | Lot 1 | 2,483 ± 0,007 |
| | Lot 2 | 2,481 ± 0,008 |
| **3 % BPC+0% GBR 1** | Lot 1 | 2,508 ± 0,006 |
| | Lot 2 | 2,503 ± 0,006 |
| **3 % BPC+17% GBR 1** | Lot 1 | 2,508 ± 0,006 |
| | Lot 2 | 2,503 ± 0,006 |
| **4,5% BPC+25,5% GBR 2** | Lot 1 | 2,421 ± 0,010 |
| | Lot 2 | 2,420 ± 0,010 |
| **6 % BPC+34% GBR 2** | Lot 1 | 2,434 ± 0,003 |
| | Lot 2 | 2,436 ± 0,001 |

## 3.4 Dimensionnement des chaussées

La formulation et l'optimisation de matériaux bitumineux sont des étapes essentielles pour s'assurer de l'amélioration de la performance des chaussées. Par contre, il est important de ne pas se concentrer seulement sur l'aspect matériaux; il faut également regarder l'aspect structure de la chaussée. Dans ce projet de recherche, il était initialement prévu de faire un dimensionnement mécaniste-empirique des chaussées avec les enrobés contenant des matériaux recyclés avec des outils comme PavementME et OPPECC. Par contre, puisqu'il a été conjointement décidé de ne pas faire de mesure de la résistance en

fatigue, l'utilisation de ces outils s'avère incomplète, donc peu utile. Pour ces raisons, la partie dimensionnement a donc été réalisée avec une méthode de dimensionnement empirique, soit Chaussée2. Une structure de chaussée typique a été sélectionnée, et seulement le module de la couche de surface a été modifié selon les résultats de module complexe obtenus en laboratoire sur les différents enrobés testés.

# 4. RÉSULTATS ET ANALYSES

Dans cette section, les résultats des essais sont présentés. Tout d'abord, la caractérisation des matériaux vierges et recyclés, et, par la suite, l'étape de formulation et validation par presse à cisaillement giratoire des enrobés sont présentées. Ensuite, les résultats des essais d'orniérage sont présentés et, enfin, les résultats des essais de détermination du module complexe et de fluage. Comme entendu avec le MTQ, les essais de maniabilités prévues n'ont pas été effectués à cause d'un manque de matériaux. Suite aux résultats sur la partie enrobés, les résultats de la partie dimensionnement sont présentés avant une courte présentation de certains résultats sur la partie des travaux sur les bitumes.

## 4.1 Caractérisation des matériaux et formulation

La granulométrie de chaque classe granulaire reçue du MTQ ainsi que celle du combiné granulométrique, selon les proportions du MTQ, sont présentées au Tableau 7. Il est clair que le combiné obtenu et celui attendu sont pour ainsi dire identiques. Les densités et les absorptions sont, quant à elles, présentées au Tableau 8. Encore une fois, les résultats du LCMB concordent avec ceux du MTQ.

**Tableau 7 Combiné granulométrique matériaux neufs**

| Tamis (mm) | 5-10 | 0-2,5 | Sable | Fillers | Combiné | MTQ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 49,0 % | 33,0 % | 15,0 % | 3,0 % | | |
| 20 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | **100** |
| 14 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | **100** |
| 10 | 90 | 100 | 100 | 100 | 95 | **95** |
| 5 | 7,8 | 100 | 99 | 100 | 55 | **55** |
| 2,5 | 1,5 | 82 | 96 | 100 | 45 | **45** |
| 1,25 | 1,2 | 53 | 88 | 100 | 34 | **33** |
| 0,63 | 1,1 | 35 | 69 | 100 | 25 | **24** |
| 0,315 | 1,0 | 24 | 33 | 100 | 16 | **16** |
| 0,16 | 0,9 | 17 | 8,5 | 97 | 10 | **10** |
| 0,08 | 0,5 | 12 | 1,6 | 86 | 7,1 | **7,0** |

**Tableau 8 Résultats comparatifs de densités et de l'absorption des granulats vierges**

| | | 5-10 | 0-2,5 | Sable |
|---|---|---|---|---|
| **Densité brute ($g/cm^3$)** | ÉTS | 2,807 | 2,803 | 2,693 |
| | MTQ | 2,803 | 2,797 | 2,688 |
| **Densité Apparente ($g/cm^3$)** | ÉTS | 2,918 | 2,925 | 2,733 |
| | MTQ | 2,906 | 2,922 | 2,725 |
| **Coefficient d'absorption (%)** | ÉTS | 1,35 | 1,60 | 0,54 |
| | MTQ | 1,28 | 1,36 | 0,49 |

Les essais d'analyse granulométriques (Tableau 7) et les essais de détermination des densités et du pourcentage d'absorption (Tableau 8) ont été réalisés sur les matériaux vierges selon les méthodes d'essai LC 21- 040, LC 21- 065, LC 21 - 066 et LC 21 - 067.

L’étape suivante consiste à caractériser les GBR et BPC. Les résultats sont présentés au Tableau 9 et à la Figure 35. Les teneurs en bitume des GBR et BPC sont mesurées par différence de masse avant et après brulage au four à ignition. Les résultats sont présentés au Tableau 10.

**Tableau 9 Analyse granulométrique des matériaux recyclés**

| | Avant four à ignition | | | Après four à ignition | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **GBR 1** | **GBR 2** | **BPC** | **GBR 1** | **GBR 2** | **BPC** |
| **Tamis (mm)** | **% Passant** | | | | | |
| **20** | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| **14** | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| **10** | 100 | 95 ± 1,3 | 100 | 100 | 98 ± 0,76 | 100 |
| **5** | 67 ± 0,4 | 64 ± 1,5 | 100 | 76 ± 0,5 | 74 ± 2,4 | 100 |
| **2,5** | 42 ± 0,2 | 40 ± 1,5 | 99 ± 0,1 | 57 ± 0,5 | 56 ± 3,0 | 100 ± 0,0 |
| **1,25** | 26 ± 0,2 | 23 ± 1 | 74 ± 0,4 | 43 ± 0,3 | 43 ± 2,6 | 81 ± 0,2 |
| **0,625** | 15 ± 0,3 | 13 ± 0,2 | 42 ± 0,3 | 33 ± 0,4 | 32 ± 1,6 | 51 ± 0,0 |
| **0,315** | 7 ± 0,4 | 6 ± 0,8 | 24 ± 0,2 | 20 ± 0,5 | 22 ± 0,8 | 41 ± 0,1 |
| **0,16** | 2,2 ± 0,4 | 2,9 ± 0,7 | 5,5 ± 0,1 | 10,4 ± 0,3 | 14,6 ± 0,3 | 32,7 ± 0,1 |
| **0,08** | 1,4 ± 0,1 | 1,3 ± 0,4 | 2,3 ± 0,1 | 5,5 ± 0,2 | 8,8 ± 0,1 | 25,0 ± 0,2 |

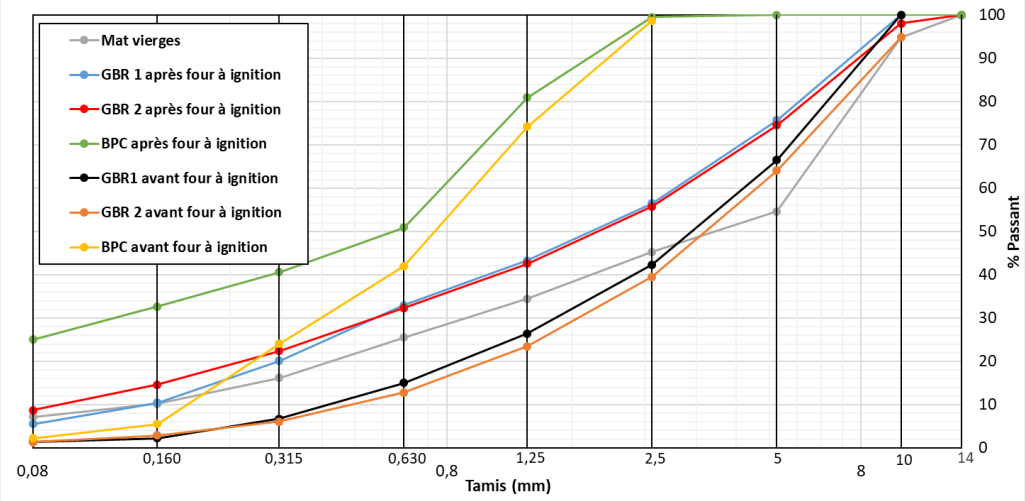



**Figure 34 Courbes granulométriques des matériaux recyclés**

**Tableau 10 Analyse au four à ignition des matériaux recyclés**

| | GBR 1 | | GBR 2 | | BPC | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| **Masse plateau(g)** | 2837,0 | 2850,9 | 2851,1 | 2837,2 | 2837,1 | 2851,1 |
| **Masse plateau + échantillon (g)** | 3988,3 | 4011,7 | 4113,4 | 4360,7 | 3588,1 | 3504,7 |
| **Masse après four à ignition (g)** | 3928,3 | 3951,3 | 4045,2 | 4278,2 | 3416,5 | 3354,7 |
| **Perte (g)** | 60,0 | 60,4 | 68,2 | 82,5 | 171,6 | 150,0 |
| **% de perte (bitume)** | 5,21 | 5,20 | 5,40 | 5,42 | 22,85 | 22,95 |
| **Moyenne** | 5,21 % | | 5,42 % | | 22,9 % | |
| **Écart type** | 0,006 | | 0,009 | | 0,007 | |

L'analyse au four à ignition était réalisée selon la méthode d'essai LC 26-006. Les résultats semblent être en accord avec ce qu'on trouve dans la littérature, notamment le taux de bitume des GBR et BPC, mais aussi l'augmentation du taux des particules fines après le brulage au four à ignition. Il est à noter que, selon les résultats montrés à la Figure 34, les courbes granulométriques avant

et après le brulage au four à ignition de la première source de GBR et la deuxième sont très proches. La différence entre les deux sources se trouve au niveau de la teneur en liant (5,21 % pour le GBR 1 et 5,42 % pour le GBR 2). Pour s'assurer que les deux sources de GBR sont le plus différentes possible, la deuxième source de GBR est vieillie artificiellement à l'étuve en utilisant une température de 85 °C pendant trois jours.

Comme convenu avec le MTQ, les courbes granulométriques blanches (après brulage au four à ignition) sont utilisées pour faire les combinés. La Figure 35 présente les courbes granulométriques des mélanges 1 à 8. Tous les combinés étudiés suivent plus ou moins une même courbe granulométrique (fuseau ESG-10), ce qui élimine la possibilité que les résultats soient affectés par la granulométrie.

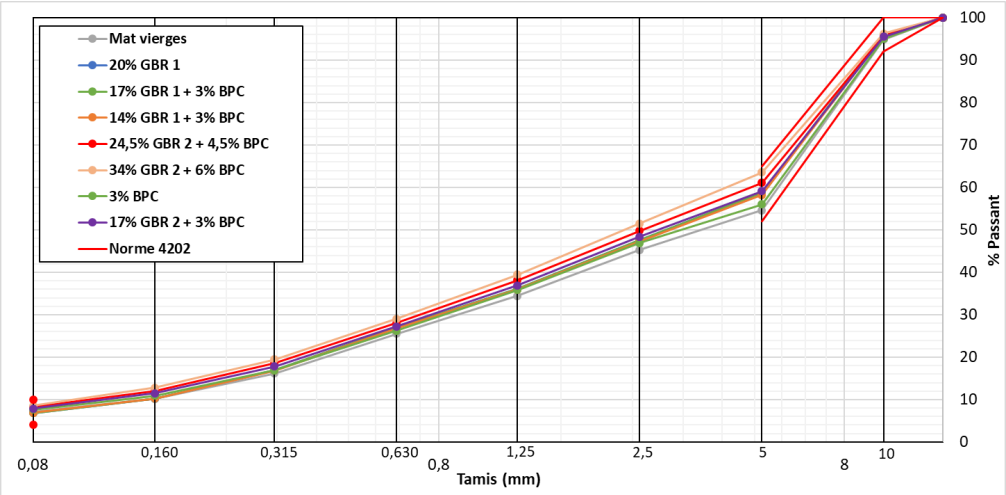



**Figure 35 Courbes granulométriques des formulations étudiées**

La teneur en bitume mobilisée totale pour chaque mélange est maintenue constante (5,14 %). Le Tableau 11 présente la variation de la densité maximale (LC 26-045) des enrobés, et en fonction du bitume d'ajout.

Le ratio de bitume recyclé (RBR) est calculé avec l'équation 25. Il représente le taux de participation (mobilisation) considéré du bitume des GBR et/ou BPC par rapport au pourcentage de bitume requis selon la méthode de formulation LC (5,14 %).

$$RBR\ (\%) = \frac{P_{bm}}{P_{bi}} * 100 \qquad (\text{Eq. } 25)$$

Avec :

$P_{bm}$ Pourcentage de bitume mobilisable des GBR et /ou BPC

$P_{bi}$ Pourcentage de bitume requis selon la méthode LC

**Tableau 11 Bitume d'ajout, bitume total mobilisé, bitume total, ratios de bitume recyclé et les densités maximales des enrobés testés**

| Mélanges | GBR | BPC | Bitume d'ajout | Bitume total mobilisé | Bitume total | RBR | Dmm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Vierges** | 0 % | 0 % | 5,14 % | 5,14 % | 5,14 % | 0 % | 2,598 |
| **20 % GBR 1** | 20 % | 0 % | 4,10 % | | 5,14 % | 20,2 % | 2,589 |
| **3 % BPC** | 0 % | 3 % | 4,97 % | | 5,66 % | 3,3 % | 2,579 |
| **17 %GBR 1 + 3 %BPC** | 17 % | 3 % | 4,08 % | | 5,66 % | 20,6 % | 2,577 |
| **14 %GBR 1 + 3 %BPC** | 14 % | 3 % | 4,24 % | | 5,66 % | 17,5 % | 2,573 |
| **17 %GBR 2 + 3 %BPC** | 14 % | 3 % | 4,04 % | | 5,66 % | 21,4 % | 2,556 |
| **25,5 %GBR 2 + 4,5 %BPC** | 25,5 % | 4,5 % | 3,50 % | | 5,91 % | 31,9 % | 2,562 |
| **34 %GBR 2 + 6 %BPC** | 34 % | 6 % | 2,95 % | | 6,17 % | 42,6 % | 2,575 |

Le RBR est utile car il permet de prendre en compte la teneur en bitume des matériaux recyclés dans le calcul du taux de recyclage et non seulement la masse de matériaux recyclés. Dans le cas présent, si on prend l'enrobé avec

20 % de GBR, ce dernier contient 5,21 % de bitume. Donc puisque l'on considère que 100 % du bitume des GBR est mobilisable, cette source de GBR apporte 100 % x 20 % x 5,21 % = 1,04 % de bitume dans le mélange. Puisque les enrobés sont confectionnés avec un bitume total de 5,14 %, le RBR est de 1,04 % / 5,14 % = 20,2 %. 20 % de GBR 2 donne un RBR de 21,0 %.

Pour les enrobés contenants des matériaux recyclés, le taux du bitume d'ajout est fixé en suivant la méthode présentée à la méthode d'essai LC 26-003. On remarque que la densité maximale varie en fonction du taux de bitume d'ajout et en fonction des types de mélanges.

Le Tableau 12 et la Figure 36 présentent les résultats de l'essai à la presse à cisaillement giratoire. Cet essai est réalisé sur les huit formulations. La température de compactage a été fixée à 140 °C, comme indiqué à la méthode d'essais LC 26-003 (bitume PG 58-34). Il est remarqué que les enrobés testés répondent aux spécifications en termes de pourcentages de vides fixés par la norme LC 26-004. Les mélanges contenant 17 % GBR 1 + 3 % BPC présentent des pourcentages de vides légèrement plus faibles (1,7 % à 0,5 % de différence) par rapport aux autres mélanges, mais globalement, toutes les formulations testées suivent une même pente de compactage, ce qui indique qu'elles présentent une même compactibilité.

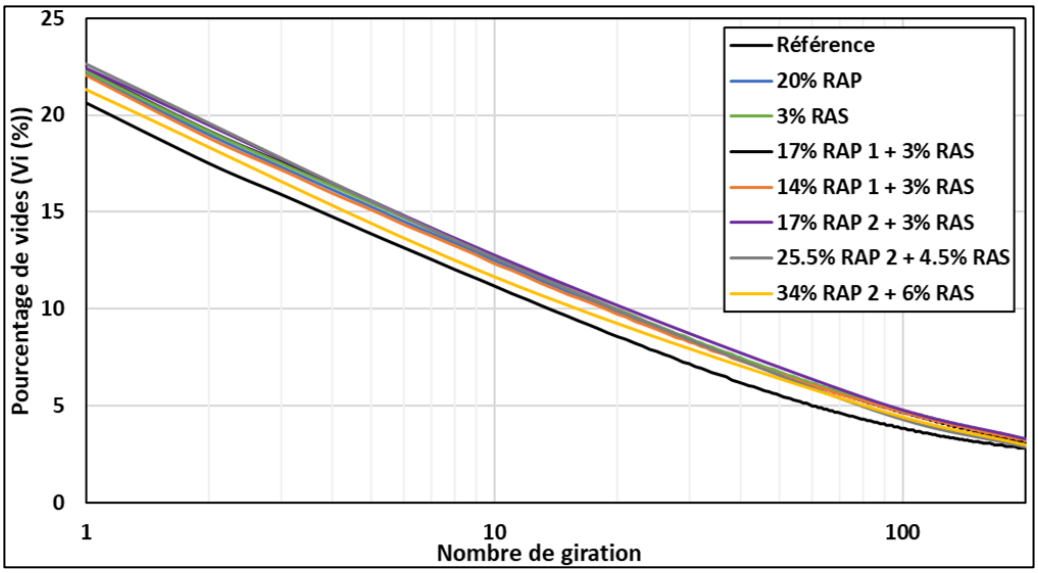



**Figure 36 Résultats de l'essai à la presse à cisaillement giratoire**

**Tableau 12 Résultats de l'essai à la presse à cisaillement giratoire**

| Mélange | Le bitume d'ajout | V% 0 giration | V% 10 girations | V% 80 girations | V% 200 girations |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vierge** | 5,14 % | 22,35 ± 0,07 | 12,65 ± 0,14 | 5,23 ± 0,28 | 3,08 ± 0,17 |
| **20 % GBR** | 4,10 % | 22,14 ± 0,07 | 12,51 ± 0,14 | 5,31 ± 0,06 | 3,24 ± 0,06 |
| **17 % GBR 1 + 3 % BPC** | 4,08 % | 20,66 ± 0,10 | 11,20 ± 0,14 | 4,33 ± 0,00 | 2,83 ± 0,06 |
| **14 % GBR 1 + 3 % BPC** | 4,24 % | 22,30 ± 0,12 | 12,65 ± 0,10 | 5,12 ± 0,00 | 3,12 ± 0,06 |
| **3 % BPC** | 4,97 % | 22,30 ± 0,33 | 12,65 ± 0,33 | 5,35 ± 0,33 | 3,28 ± 0,12 |
| **17 % GBR 2 + 3 % BPC** | 4,04 % | 22,45 ± 0,30 | 12,78 ± 0,23 | 5,43 ± 0,23 | 3,28 ± 0,12 |
| **25.5 % GBR 2 + 4.5 % BPC** | 3,50 % | 22,65 ± 0,45 | 12,65 ± 0,42 | 4,96 ± 0,12 | 2,87 ± 0,00 |
| **34 % GBR 2 + 6 % BPC** | 2,95 % | 21,31 ± 0,14 | 11,64 ± 0,14 | 5,00 ± 0,06 | 2,95 ± 0,00 |

## 4.2 Résistance à l'orniérage

La résistance à l'orniérage est mesurée sur les six mélanges contenant un pourcentage de matériaux recyclés inférieur ou égal à 20 %. Le Tableau 13 et la Figure 37 présentent les résultats d'essais.

**Tableau 13 L'évolution du pourcentage d'orniérage en fonction des cycles**

| | | Pourcentage d'orniérage (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Mélanges** | **Bitume d'ajout** | **1000 cycles** | **3 000 cycles** | **10 000 cycles** | **30 000 cycles** |
| **Vierges** | 5,14 % | 3,6 ± 0,7 | 4,9 ± 0,7 | 8,3 ± 1,4 | 10,5 ± 2,2 |
| **20 % GBR** | 4,10 % | 3,6 ± 0,3 | 5,1 ± 0,4 | 6,3 ± 0,3 | 8,1 ± 0,3 |
| **17 %GBR 1+ 3 %BPC** | 4,08 % | 3 ± 0,3 | 4,4 ± 0,2 | 5,6 ± 0,7 | 6,0 ± 0,7 |
| **14 %GBR 1+ 3 %BPC** | 4,24 % | 2,7 ± 0,3 | 4,0 ± 0,4 | 4,6 ± 0,4 | 6,0 ± 0,6 |
| **3 %BPC** | 4,97 % | 2,6 ± 0,1 | 4,3 ± 0,1 | 4,6 ± 0,5 | 6,2 ± 0,6 |
| **17 %GBR 2+ 3 %BPC** | 4,04 % | 2,9 ± 0,4 | 4,5 ± 0,4 | 5 ± 0,2 | 5,9 ± 0,6 |

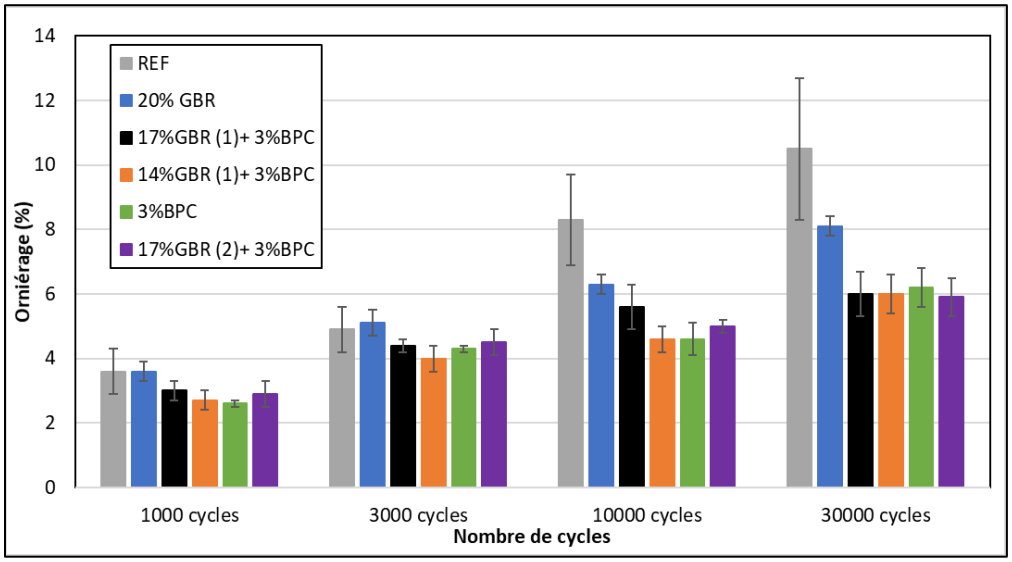



**Figure 37 Résultats des essais d'orniérage**

Comme il peut être constaté, l'enrobé de référence, le ESG-10 sans GBR ou BPC, résiste très bien à l'orniérage ; le pourcentage est de 10 % à 30 000 cycles. À 1 000 et 3 000 cycles, l'ajout de 20 % de GBR n'a pas un effet significatif sur la résistance à l'orniérage comparativement à l'enrobé de référence. Ensuite, une amélioration est constatée de l'ordre de 24 % à 10 000 cycles et 23 % à 30 000 cycles.

Les enrobés contenant des BPC ont une meilleure résistance à l'orniérage, les taux d'améliorations observées ont été de 20 %, 18 %, 46 % et 43 % à 1 000, 3 000, 10 000 et 30 000 cycles respectivement. Pour les proportions testées, la variation de la source des GBR n'a pas d'effet significatif sur la résistance à l'orniérage, les écarts types entre la formule 17%GBR 1 + 3 % BPC et la formule 17 % GBR 2 + 3 % BPC variant de 0,07 % à 0,4 %.

### 4.3 La stabilité Marshall et la tenue à l'eau

Les essais de stabilité Marshall et de tenue à l'eau (stabilité conservée) sont réalisés sur six formulations avec un taux de matériaux recyclés variant de 0 % à 40 %. Le Tableau 14 et les Figures 38 et 39 montrent les résultats de la stabilité à l'eau et les résistances maximales des échantillons humides et saturés.

**Tableau 14 Résultats des résistances maximales et de la stabilité conservée**

| | Résistance max (N) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Ref** | **20 % GBR** | **3 % BPC** | **17 %GBR1 + 3 %BPC** | **25,5 %GBR2 + 4,5 %BPC** | **34 %GBR2 + 6 %BPC** |
| **Humide** | 11643 | 14217 | 14333 | 14369 | 15270 | 16162 |
| **Saturé** | 10761 | 11726 | 12466 | 11955 | 11310 | 11570 |
| **Stabilité conservée** | 92,43 % | 82,48 % | 86,97 % | 83,20 % | 74,06 % | 71,59 % |
| **bitume d'ajout** | 5,14 % | 4,10 % | 4,97 % | 4,08 % | 3,50 % | 2,95 % |
| **RBR** | 0,00 % | 20,23 % | 3,31 % | 20,62 % | 31,91 % | 42,61 % |

La norme 4202 fixe une valeur minimale de la stabilité conservée. Pour les enrobés de type ESG-10, la valeur minimale est 70 %. Les six enrobés testés répondent à cette exigence. Cependant, il est nécessaire de signaler que les deux enrobés contenant plus que 30 % et 40 % de matériaux recyclés se situent à la limite de la valeur fixée.

La valeur la plus élevée de la tenue à l'eau est remarquée pour l'enrobé de référence (93 %), puis une diminution est remarquée en augmentant le taux de ratio de bitume recyclé. La Figure 38 présente la variation de la tenue à l'eau en fonction du ratio de bitume recyclé.

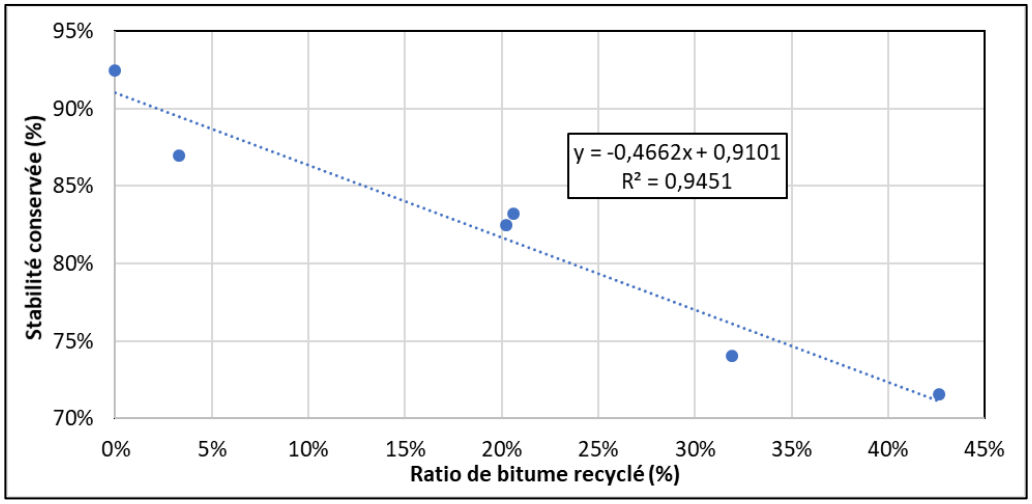



**Figure 38 Variation de la stabilité conservée en fonction du ratio de bitume recyclé (RBR)**

Une perte de la stabilité conservée (tenue à l'eau), soit le rapport entre la contrainte maximale des échantillons saturés et la contrainte maximale des échantillons humides, est notée en augmentant le ratio de bitume recyclé. Cette perte suit une relation linéaire avec une très bonne régression ($R^2$ = 0.95). Cette tendance peut être expliquée par le fait que le liant perd de plus en plus en viscosité et en cohésion et que l'adhésion entre le bitume et le granulat devient de plus en plus faible avec l'augmentation, en proportion, de bitume recyclé.

La Figure 39 montre la stabilité Marshall des échantillons humides et saturés. Pour les échantillons humides, la résistance maximale est observée pour l'enrobé contenant 40 % de matériaux recyclés (34 % GBR 2 + 6 % BPC). L'ajout de matériaux recyclés conduit à des résistances plus élevées. Pour les formules avec moins de 20 % de recyclé, les taux d'amélioration sont de l'ordre de 22 % à 23 %. Pour les matériaux avec de 30 % et 40 % de matériaux recyclés, les taux d'amélioration sont respectivement 31 % et 39 %.

Pour les échantillons saturés, les améliorations de la résistance maximale sont comprises entre 8 % à 16 % par rapport à l'enrobé de référence. On peut aussi noter que les stabilités Marshall des échantillons saturés (avec trempage) contenants des matériaux recyclés sont plus élevées que la stabilité Marshall de l'enrobé de référence humide (sans trempage).

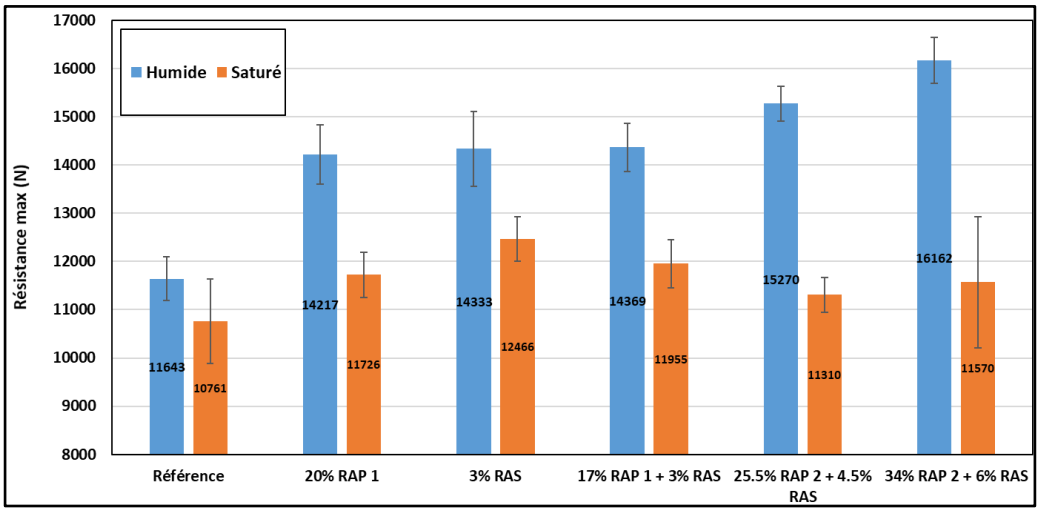



**Figure 39 Résultats des stabilités Marshall humides et saturés**

La Figure 40 présente la variation des stabilités Marshall des échantillons humides et saturés contenants des combinaisons de GBR et BPC. Les pourcentages de recyclés sont 0 % (enrobés de référence), 20 % (17 % GBR « 1 et 2 » + 3 % BPC), 30 % (25,5 % GBR 2 + 4,5 % BPC) et 40 % (34 % GBR 2 et 6 % BPC). Pour les échantillons humides, une augmentation de la

stabilité Marshall suivant une relation linéaire est remarquée avec le ratio de bitume recyclé. Cela peut signifier que le bitume moyen dans les échantillons devient de plus en plus dur, donc ces résultats peuvent indiquer qu'un mélange entre le bitume vierge et les bitumes recyclés existe.

Pour les échantillons saturés, la variation suit toujours une relation linéaire, mais avec une très faible pente (petite augmentation de l'ordre de 8 % à 16 %) et un très faible $R^2$. Cela indique qu'il reste toujours du bitume non mobilisé dans le mélange ou que la cohésion entre le bitume vierge et les bitumes recyclés n'est pas assez forte pour résister à la pression de l'eau qui tend à séparer les granulats les uns des autres.

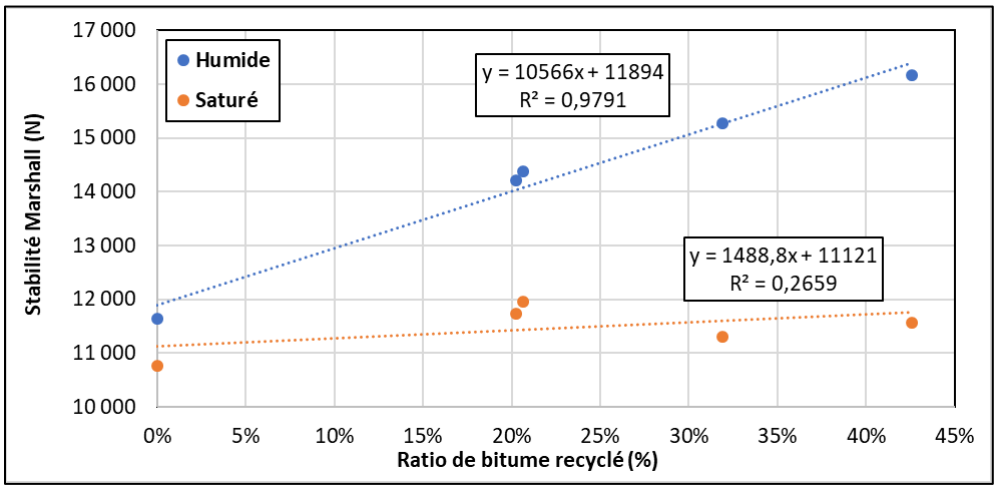



**Figure 40 La variation des stabilités Marshall en fonction du ratio de bitume recyclé**

### 4.4 Module complexe

Les essais de module complexe sont réalisés sur les huit formulations avec deux répétitions pour chaque mélange. Les températures d'essais varient de -30 °C à 40 °C avec un balayage de fréquence de 0.1 Hz à 10 Hz. Les résultats des essais sont traités avec le modèle 2S2P1D. La calibration des sept paramètres du modèle est réalisée d'abord sur l'enrobé de référence en minimisant l'écart entre les points expérimentaux et la modélisation. Ensuite, connaissant les

modules vitreux ($E_0$) et statiques ($E_{00}$) des mélanges, les modules normalisés sont tracés dans le plan Cole - Cole et la calibration est réalisée par rapport à l'enrobé de référence. Les modules $E_0$ et $E_{00}$ des mélanges dans le plan Cole-Cole sont présentés à la Figure 41, et les extrapolations de ces derniers à la Figure 42.

La Figure 43 montre le plan Cole-Cole normalisé. On peut noter que les paramètres k et h sont identiques pour tous les mélanges testés. La seule différence notable se trouve au niveau de la hauteur des courbes, ce qui implique que seul le paramètre δ change.

Rappelons que deux courbes qui se superposent parfaitement signifient que les paramètres k, h, δ et β sont identiques et que le bitume n'a pas changé. Pour la construction des courbes maitresse, la loi WLF est utilisée pour modéliser le principe d'équivalence temps-température (PETT). La température de référence choisie arbitrairement est 0 °C. Les Figures 44, 45, 46, 47 et 48 présentent les courbes maitresses des modules dynamiques, des modules élastiques, des modules visqueux et des angles de phase (points expérimentaux et 2S2P1D) en fonction de la fréquence réduite.

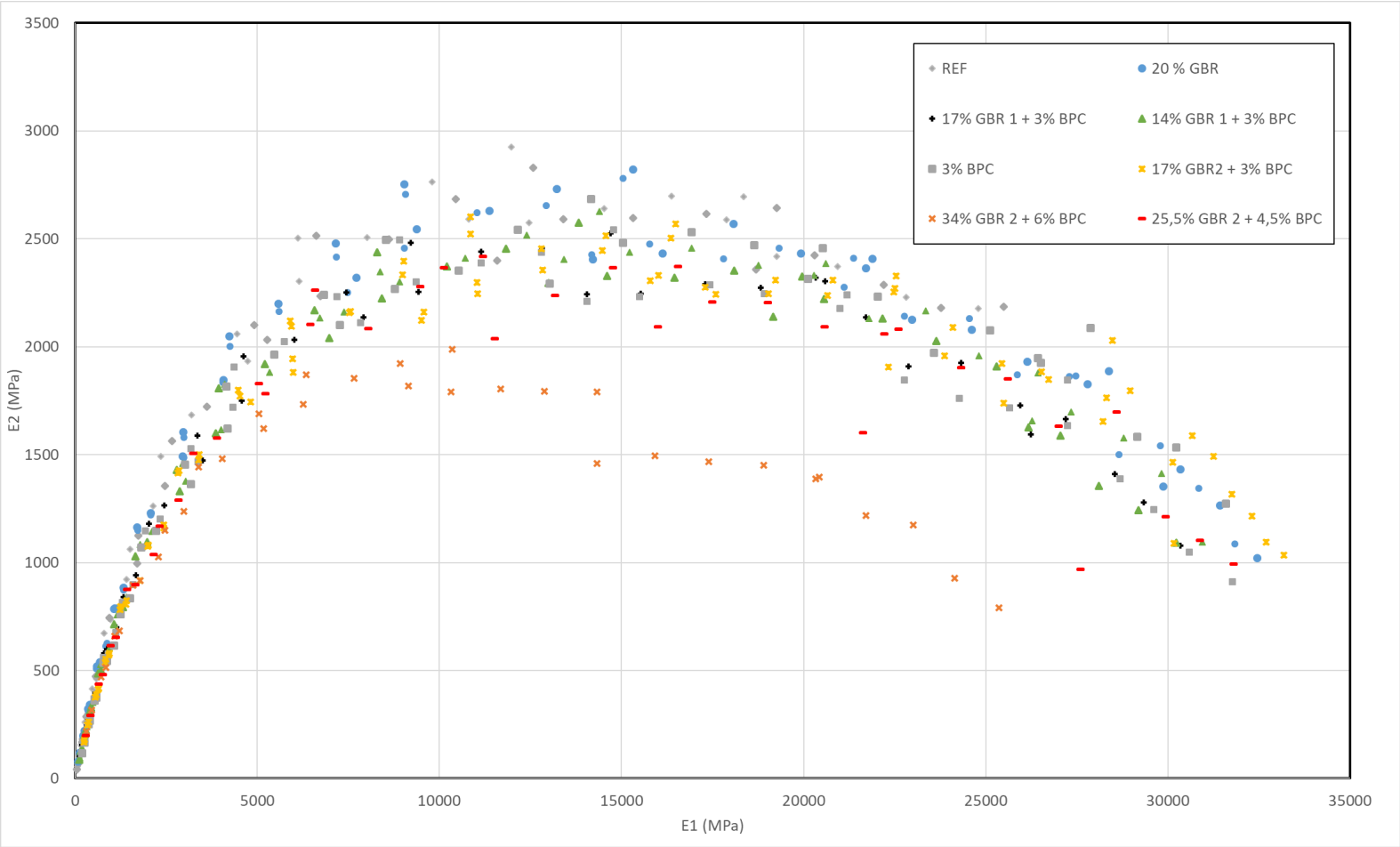
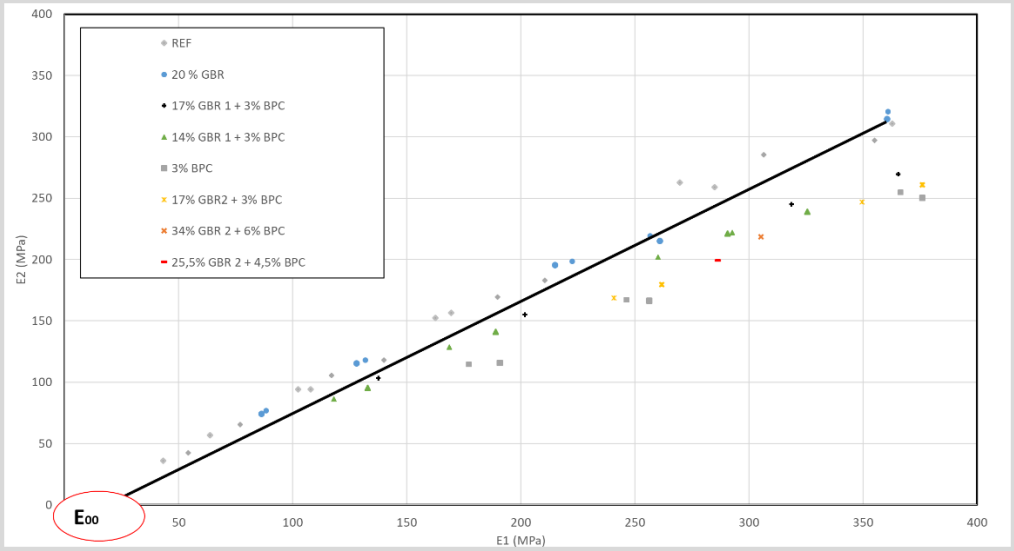
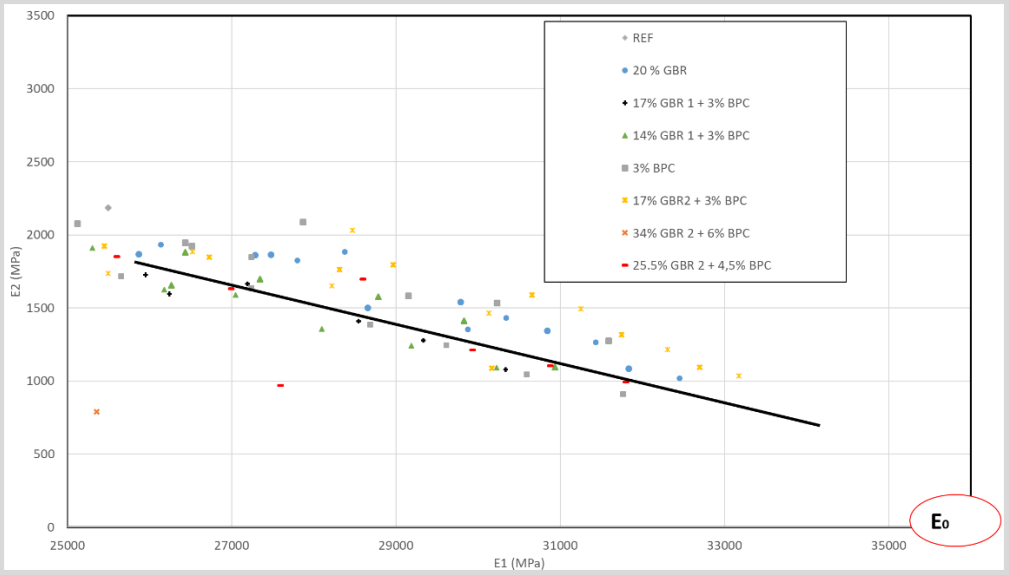



**Figure 41 Représentation des résultats du module complexe pour l'enrobé de référence dans le plan Cole-Cole**




a)




b)

**Figure 42 Extrapolation linéaire pour E00 (a) et E0 (b)**

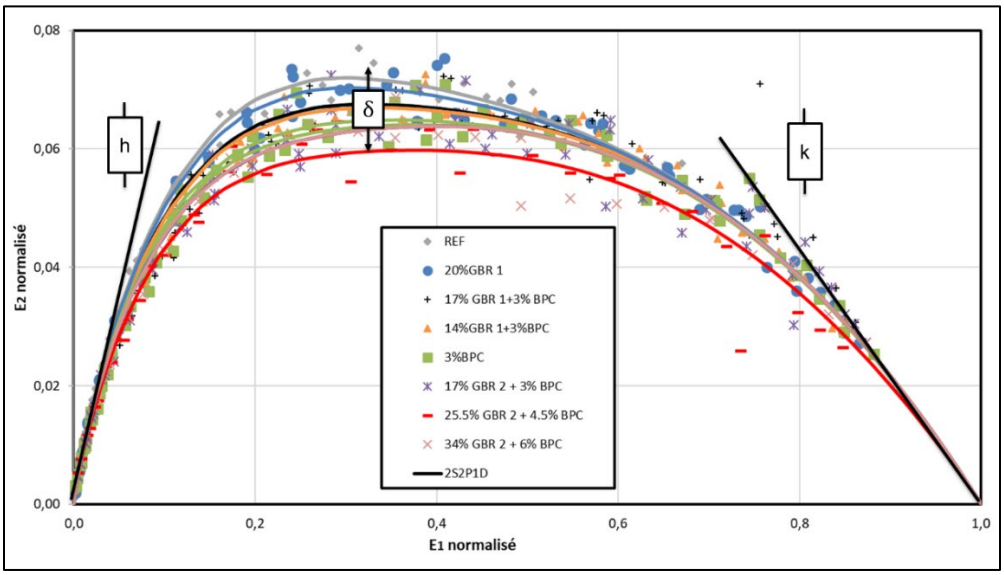



**Figure 43 Représentation du module complexe normalisé dans le plan Cole-Cole**

Le Tableau 15 présente les modules dynamiques, les modules élastiques et les modules visqueux à 10 °C et 10 Hz.

**Tableau 15 Modules moyens à 10°C et 10 Hz des enrobés testés**

| | \|E*\| ± 5 % (MPa) (10 °C , 10 Hz) | E1 ± 5 % (MPa) (10 °C , 10 Hz) | E2 ± 5 % (MPa) (10 °C , 10 Hz) |
|---|---|---|---|
| **REF** | 6 612 | 6 366 | 2 507 |
| **20 % GBR 1** | 9 454 | 9 051 | 2 729 |
| **17 % GBR 1 + 3 % BPC** | 9 789 | 9 484 | 2 424 |
| **14 % GBR 1 + 3 % BPC** | 8 673 | 8 336 | 2 391 |
| **3 % BPC** | 9 066 | 8 716 | 2 495 |
| **17 % GBR 2 + 3 % BPC** | 11 153 | 10 855 | 2 562 |
| **25,5 % GBR 2 + 4,5 % BPC** | 11 457 | 11 199 | 2 418 |
| **34 % GBR 2 + 6 % BPC** | 10 542 | 10 353 | 1 989 |

Une augmentation significative du module dynamique et du module élastique est remarquée avec l'ajout de matériaux recyclés, l'ajout de 20 % de GBR a conduit à une augmentation d'environ 43 % du module dynamique et du module élastique. Dans le cas où seuls les 3 % de BPC sont introduits dans la formulation, l'amélioration a été de l'ordre de 38 %. Lorsque les GBR et BPC sont combinés dans la formulation à un pourcentage inférieur à 20 %, les améliorations ont varié de 32 % à 70 %. Dans ce cas-ci, la source du GBR semble être un facteur très influant. Pour l'utilisation de la première source de GBR, l'amélioration a été de l'ordre de 43 %, alors que pour la deuxième source le module dynamique et le module élastique ont été augmentés d'environ 70 %. Ce résultat était attendu puisque le GBR 2 a été vieilli artificiellement en laboratoire. Ce vieillissement a donc bien oxydé le bitume, ce qui cause l'augmentation de rigidité observée ici. Lorsque le pourcentage des matériaux recyclés a été supérieur à 20 % (GBR 2), l'amélioration des modules dynamiques et élastiques a atteint un pic de 75 % à 30 % de matériaux recyclés (25,5 % GBR 2 + 4,5 % BPC), puis redescend à 58 % pour 40 % de matériaux recyclés.

Les modules visqueux ne semblent pas varier et restent autour d'une valeur de 2 500 MPa ±116 MPa pour l'utilisation de jusqu'à 30 % de matériaux recyclés, puis une baisse d'environ 21 % est notée pour un pourcentage de matériaux recyclés de 40 %. Pour des pourcentages de matériaux recyclés inférieurs à 30 %, la variation des modules visqueux ne dépend pas de la nature du matériau recyclé utilisé. Le fait d'introduire 3 % de BPC ou 20 % de GBR ou combiner les deux a conduit à la même chose.

Les courbes maitresses des modules dynamiques sont présentées dans la Figure 44. Afin de mieux visualiser l'effet de l'ajout des matériaux recyclés sur le comportement mécanique des enrobés, le coefficient de renforcement est tracé en fonction de la fréquence réduite. Ce coefficient représente le rapport entre le module dynamique des mélanges avec GBR et/ou BPC et le module dynamique de l'enrobé de référence (Figure 46). À très haute fréquence

(supérieure à 100 Hz), les modules semblent converger sauf pour l'enrobé contenant 40 % de matériaux recyclés, qui présente une valeur un peu faible. Pour des fréquences inférieures à 100 Hz, les modules commencent à diverger jusqu'à atteindre le maximum de divergence à très basses fréquences.

Les enrobés avec la première source de GBR et l'enrobé contenant 3 % de BPC semblent avoir le même comportement sur toute la gamme de fréquences et se décalent par rapport à l'enrobé de référence de 6 °C (Figure 44). Le décalage en température veut dire que le comportement viscoélastique linéaire de ces enrobés (température de référence = 0 °C) est équivalent au comportement de l'enrobé de référence à -6 °C. Pour l'utilisation de la deuxième source de GBR, les décalages varient de 10 °C à 16 °C selon le pourcentage de matériaux recyclés utilisé (10 °C pour 20 % de matériaux recyclés et 16 °C pour 30 % et 40 %). Ces mêmes tendances sont notées pour les courbes maitresses des modules élastiques.

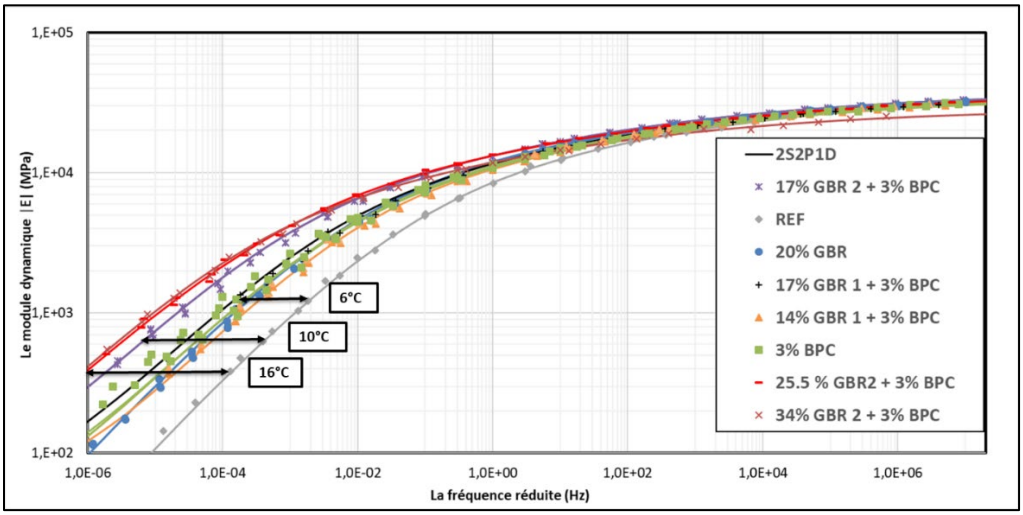



**Figure 44 Courbes maitresses du module dynamique à 0 °C**

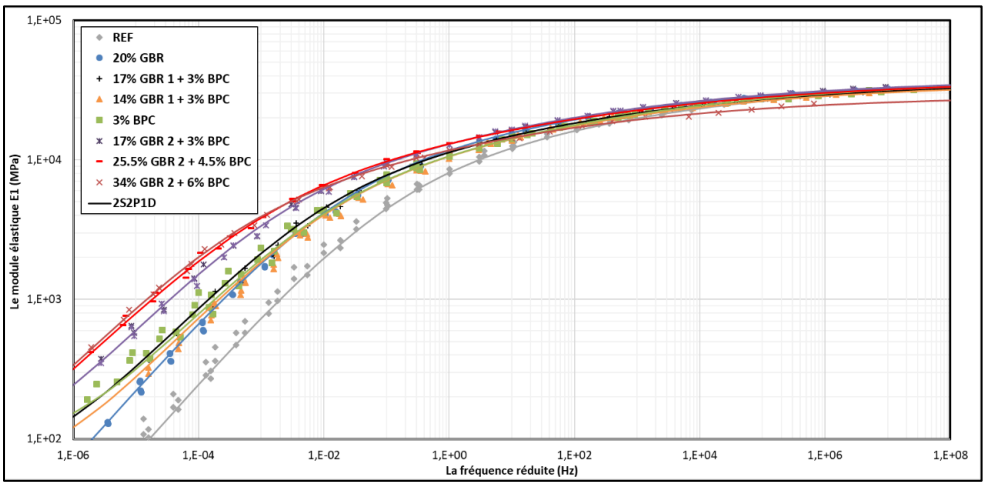



**Figure 45 Courbes maitresse du module élastique à 0 °C**

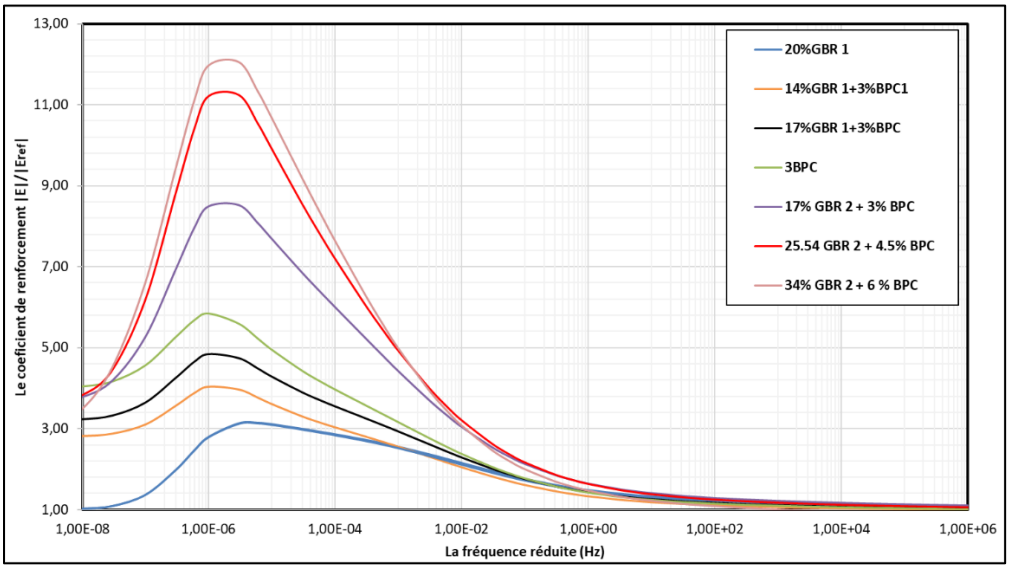



**Figure 46 Coefficient de renforcement en fonction de la fréquence réduite**

En analysant les courbes maitresses des modules visqueux (Figure 47), trois zones sont distinguées. Pour la première zone à très basses fréquences (entre $10^{-6}$ Hz à 1 Hz), il est remarqué que le module visqueux de l'enrobé de référence sans matériaux recyclés est moins élevé par rapport aux autres mélanges. Pour les fréquences hautes, cette tendance est inversée. La troisième zone correspond à la zone des pics (sommets) des modules visqueux. Il est noté que

le module visqueux maximum de l'enrobé de référence est plus élevé par rapport aux autres mélanges. Pour des pourcentages de matériaux recyclés inférieurs ou égaux à 30 %, les pics sont quasi identiques.

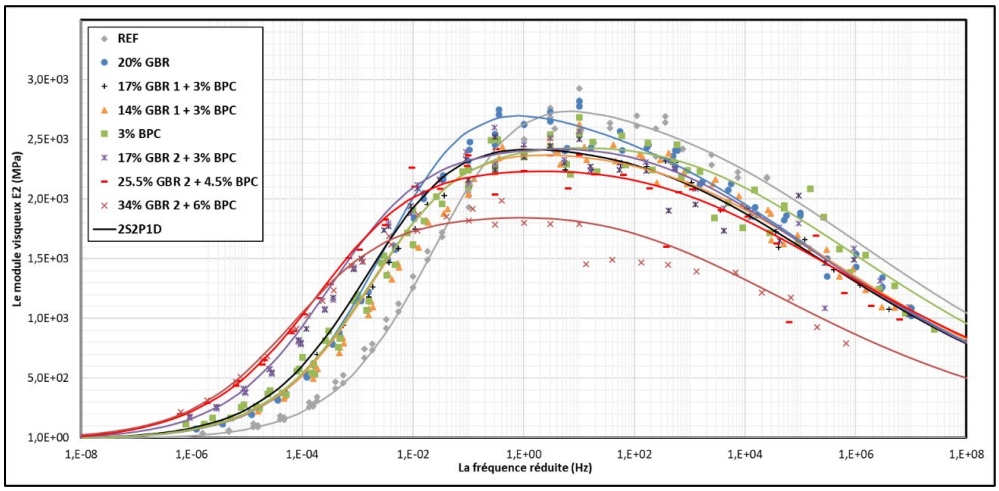



**Figure 47 Courbes maitresse du module visqueux à 0 °C**

Les courbes maitresses des angles de phase (Figure 48) montrent les mêmes tendances que le module dynamique. C'est-à-dire qu'il y a une zone de convergence à haute fréquence et une divergence à basse fréquence avec un décalage en température de l'ordre de 6 °C pour l'utilisation de la première source de GBR et de 10 °C à 15 °C pour l'utilisation de la deuxième source.

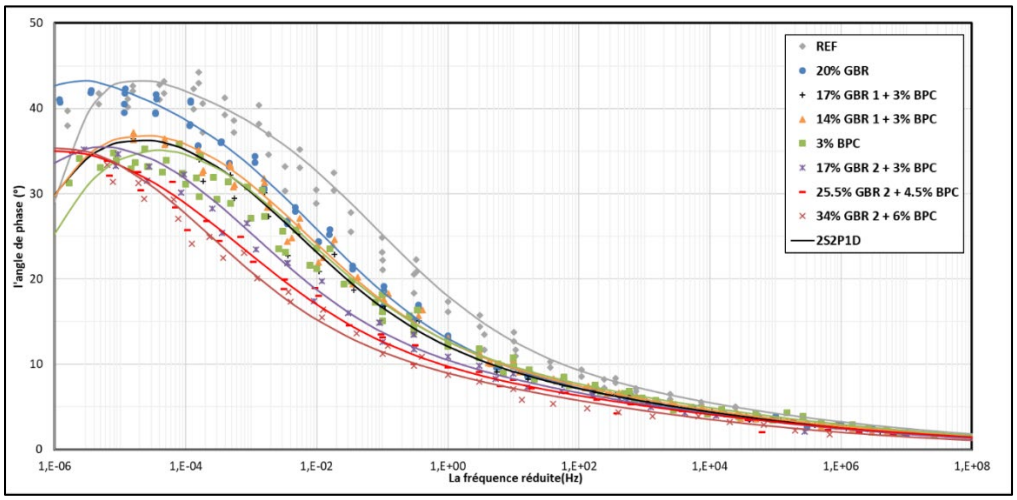



**Figure 48 Courbes maitresse de l'angle de phase à 0 °C**

La Figure 49 montre la variation du paramètre $\tau$ en fonction de la température d'essai. Ce paramètre représente le temps caractéristique du modèle. Selon la Figure 49, il est remarqué que la variation du Log($\tau$) est quasi-linéaire par rapport à la température d'essai. Il est aussi à noter que toutes les courbes sont parallèles et décalées en température par rapport à la courbe de l'enrobé de référence. Le décalage semble être influencé par la source de GBR et par le taux de matériaux recyclé. Ceci montre encore une fois que l'oxydation du bitume des GBR, la source 2 ayant été vieilli artificiellement en laboratoire, à un impact majeur sur le comportement des enrobés. Pour l'utilisation de la première source de GBR et/ou BPC, un décalage de 6 °C est observé. En utilisant la deuxième source de GBR, le décalage était de 10 °C pour des pourcentages de matériaux recyclés de 20 % (17 % GBR 2 + 3 % BPC) et de 30 % (25.5 % GBR 2 + 4.5 % BPC). Pour 40 % de matériaux recyclés (34 % GBR 2 + 6 % BPC), le décalage était de 16 °C. Les décalages remarqués expliquent ceux des courbes maitresses.

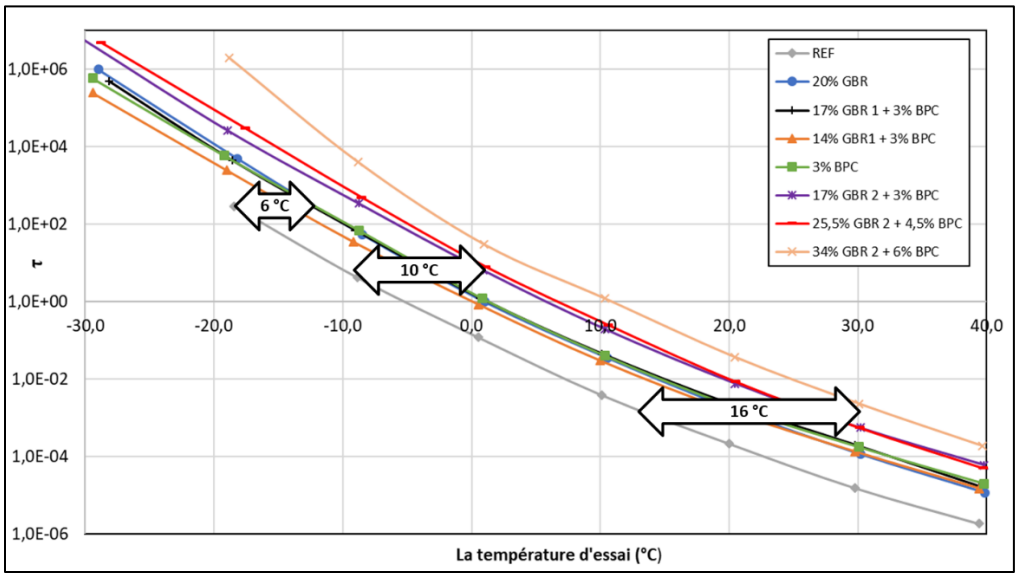



**Figure 49 la variation du paramètre τ en fonction de la température**

La Figure 50 montre la variation du paramètre τ à la température de référence ($\tau_0$). La variation semble suivre une loi exponentielle avec un bon facteur de régression $R^2$. Ceci explique la faible variation de comportement par rapport à l'enrobé de référence pour l'utilisation d'un pourcentage de recyclés inférieure à 20 %.

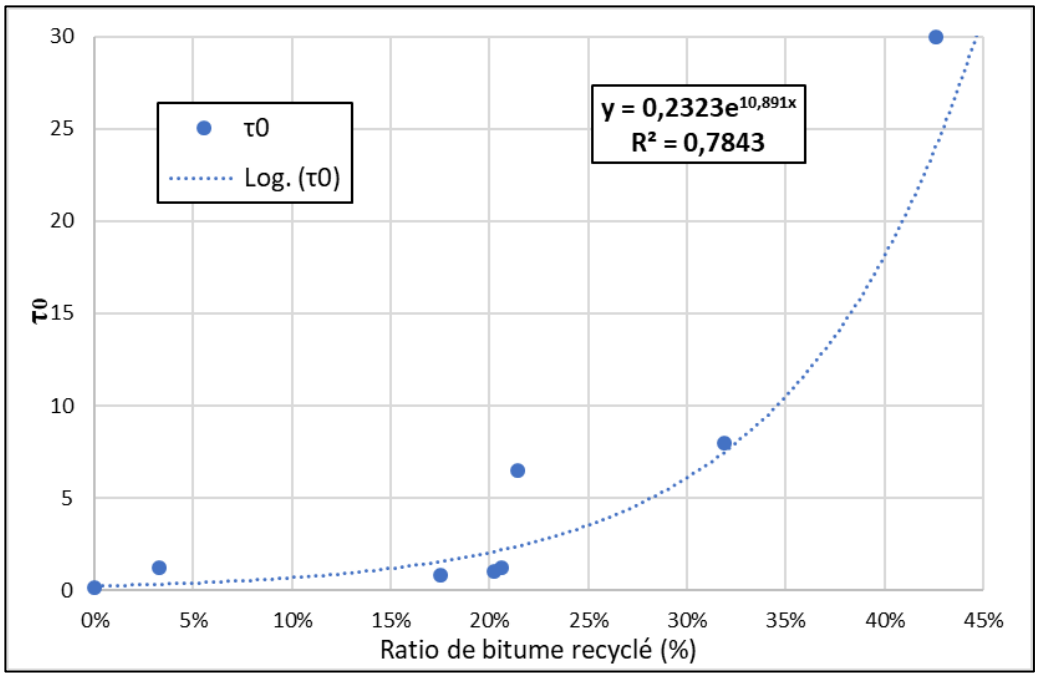



**Figure 50 La variation du paramètre τ avec en fonction du ratio de bitume recyclé**

Le Tableau 16 présente les constantes du modèle 2S2P1D ; les valeurs trouvées semblent être en concordance avec la littérature pour l'utilisation d'un bitume PG 58-34, sauf pour la première éprouvette du mélange 4 qui présente un module statique $E_{00}$ très élevé (résultats aberrants provenant probablement d'une erreur dans l'essai).

En analysant les résultats montrés au Tableau 16, on remarque une augmentation significative du module statique $E_{00}$ lorsque le BPC est utilisé dans la formulation. Ce résultat valide les conclusions établies à partir de l'essai d'orniérage. L'augmentation du module statique (le module à haute température) peut expliquer l'amélioration de la résistance à l'orniérage des formulations contenant des BPC. Les valeurs du module vitreux sont presque identiques pour toutes les formulations testées.

**Tableau 16 Paramètres du modèle 2S2P1D**

| Mélanges | | Bitume d'ajout | RBR | Vi (%) | $E_{00}$ (MPa) | $E_0$ (MPa) | K | h | δ | β |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vierges | R1 | 5,14 % | 0,0 % | 4,3 | 25 | 38000 | 0,151 | 0,49 | 2,4 | 1200 |
| | R2 | 5,14 % | 0,0 % | 4,3 | 25 | 38000 | 0,151 | 0,49 | 2,4 | 1200 |
| 20 % GBR | A1 | 4,10 % | 20,2 % | 4,1 | 25 | 37500 | 0,151 | 0,49 | 2,5 | 1200 |
| | B1 | 4,10 % | 20,2 % | 4,4 | 25 | 37500 | 0,151 | 0,49 | 2,5 | 1200 |
| 17 %GBR 1+ 3% BPC | A1 | 4,08 % | 20,6 % | 3,7 | 900 | 35000 | 0,151 | 0,49 | 2,7 | 1200 |
| | B1 | 4,08 % | 20,6 % | 4,1 | 80 | 35200 | 0,151 | 0,49 | 2,7 | 1200 |
| 14 %GBR 1+ 3 %BPC | A1 | 4,24 % | 17,5 % | 4,0 | 70 | 35500 | 0,151 | 0,49 | 2,75 | 1200 |
| | B1 | 4,24 % | 17,5 % | 4,0 | 60 | 37000 | 0,151 | 0,49 | 2,75 | 1200 |
| 3 %BPC | A1 | 4,97 % | 3,3 % | 3,1 | 100 | 37000 | 0,151 | 0,49 | 2.90 | 1200 |
| | B1 | 4,97 % | 3,3 % | 3,2 | 100 | 37000 | 0,151 | 0,49 | 2,9 | 1200 |
| 17 %GBR 2+ 3 %BPC | A1 | 4,97 % | 21,4 % | 3,4 | 100 | 37000 | 0,151 | 0,49 | 3,1 | 1200 |
| | B1 | 4,97 % | 21,4 % | 3,6 | 100 | 37000 | 0,151 | 0,49 | 3,1 | 1200 |
| 25,5 %GBR 2+ 4,5 %BPC | A1 | 4,97 % | 31,9 % | 3,8 | 90 | 37500 | 0,14 | 0,46 | 3 | 1200 |
| | B1 | 4,97 % | 31,9 % | 4,0 | 90 | 37000 | 0,14 | 0,46 | 3 | 1200 |
| 34 %GBR 2+ 6 %BPC | A1 | 4,97 % | 46,6 % | 4,2 | 70 | 29000 | 0,151 | 0,49 | 3,1 | 1200 |
| | B1 | 4,97 % | 42,6 % | 4,4 | n.d.* | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |

*n.d. : non disponible car éprouvette endommagée durant l'essai

## 4.5 Fluage

Les essais de fluage sont réalisés en traction directe à quatre températures (-20, -10, 0 et 10 °C) sur des éprouvettes de type module complexe. Pour ne pas dépasser la limite du comportement viscoélastique linéaire, des essais de module ont été réalisés avant et après la traction directe, comme indiqué au chapitre précédent.

Le Tableau 17 présente les pourcentages de pertes du module dynamique du mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1) à différentes températures et différentes fréquences. Les autres résultats sont présentés en annexe. Les pertes sont calculées selon l'équation 26.

$$perte = \frac{module\ dynamique_{avant} - module\ dynamique_{aprés}}{module\ dynamique_{avant}} * 100 \quad \text{(Eq. 26)}$$

**Tableau 17 Pourcentages de perte de module dynamique après l'essai de fluage pour le mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1)**

| | | Perte % | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Température (°C) | -20 °C | -10 °C | 0 °C | 10 °C |
| Fréquences (Hz) | 10,0 | -0,32 % | 0,02 % | -0,13 % | 1,50 % |
| | 3,0 | -0,19 % | 0,51 % | 0,35 % | 2,41 % |
| | 1,0 | -0,39 % | 0,53 % | 0,17 % | 2,11 % |
| | 0,3 | 0,05 % | 0,00 % | -1,37 % | 2,17 % |

Des pertes non significatives sont observées de -20 °C à 0 °C et pour toutes les fréquences testées. À 10 °C, les pourcentages de perte augmentent pour toutes la gamme de fréquences, mais ne dépasse jamais les 2.5 %. Ces tendances sont observées pour tous les mélanges testés.

La Figure 51 montre la variation du fluage D(t) en fonction du temps et de la température d'essai. Les points sont calculés à t = 1, 3, 10, 30, 100 et 300 secondes. Une augmentation du fluage est remarquée avec le temps et avec la température d'essai.

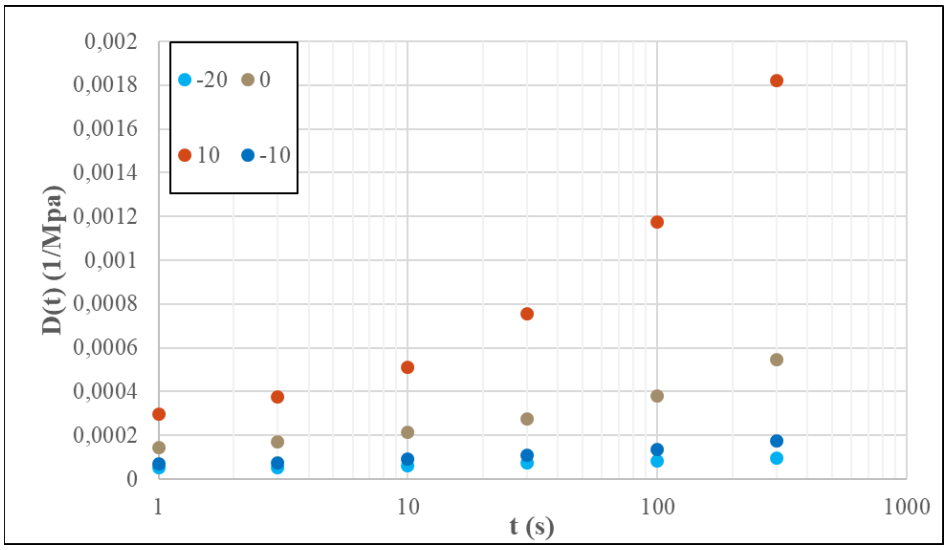



**Figure 51 Variation du fluage en fonction du temps et de la température d'essai pour le mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1)**

Comme pour l'essai de module complexe, en appliquant le principe d'équivalence temps-températures, il est possible d'avoir une seule courbe d'écrivant la variation du fluage en fonction du temps réduit ($tr = t/a_t$) (Figure 52). Les facteurs de translation $a_t$ sont tirés à partir de l'essai du module complexe et de la transposition WLF.

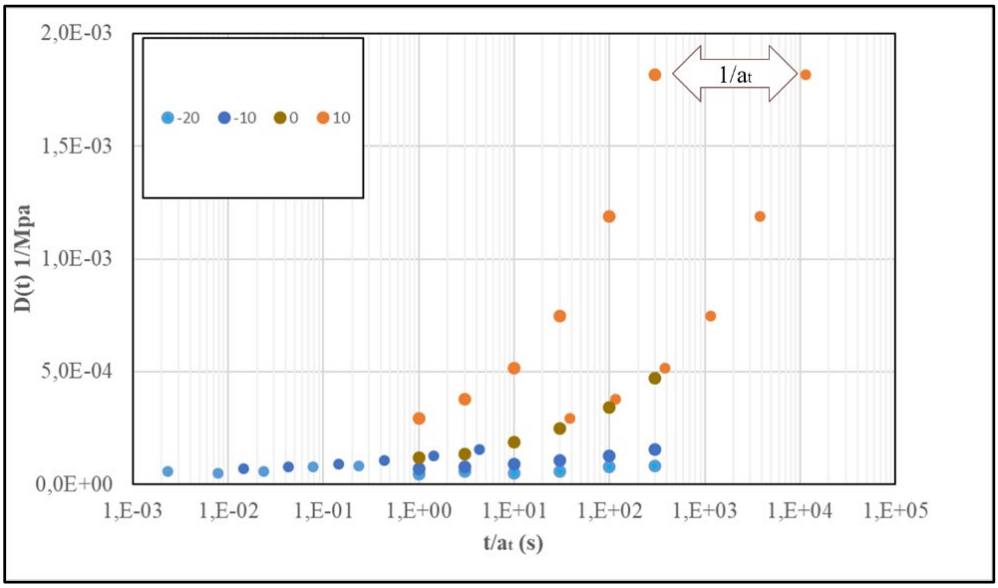



**Figure 52 courbe maitresse de fluage à 0 °C pour le mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1)**

Il est connu que le modèle 2S2P1D et le modèle d'Huet - Sayegh ne possèdent pas une fonction analytique pour le fluage. Afin d'essayer de modéliser les résultats expérimentaux, des points discrets ont été pris du modèle 2S2P1D, puis traduits en fluage en utilisant l'équation de Kopelman. Le passage du modèle 2S2P1D au modèle de Kelvin-Voigt a permis de tracer les séries de Prony.

La modélisation en utilisant des points discrets du modèle 2S2P1D et en utilisant les séries de Prony décrit de manière satisfaisante les résultats expérimentaux de l'essai de fluage en traction directe (Figure 53).

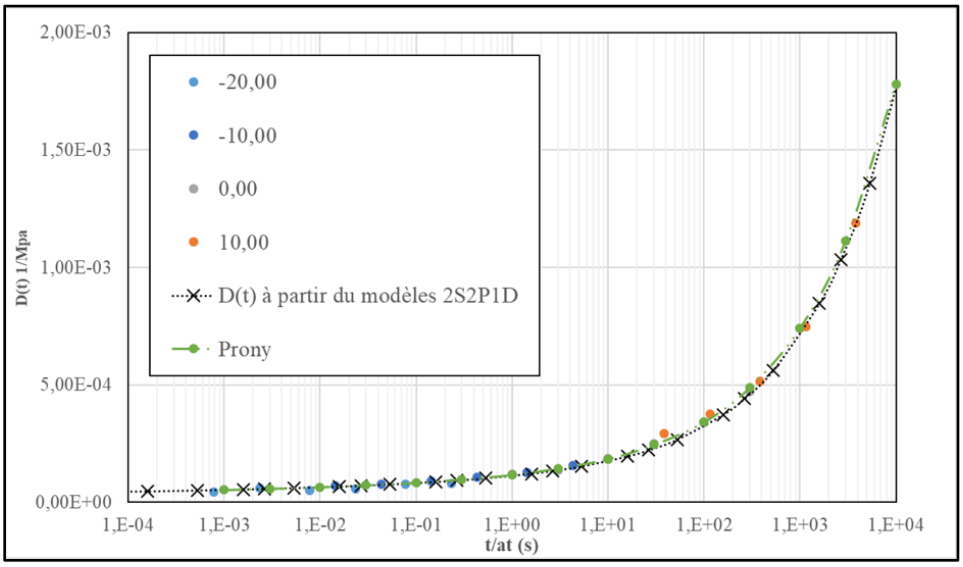



**Figure 53 Représentation des résultats expérimentaux et les modélisations pour le fluage pour le mélange 3 (ESG-10 + 20 % GBR1)**

La Figure 54 présente les résultats de fluage calculés à partir des résultats de module complexe en utilisant des points discrets du modèle 2S2P1D et l'équation de Kopelman.

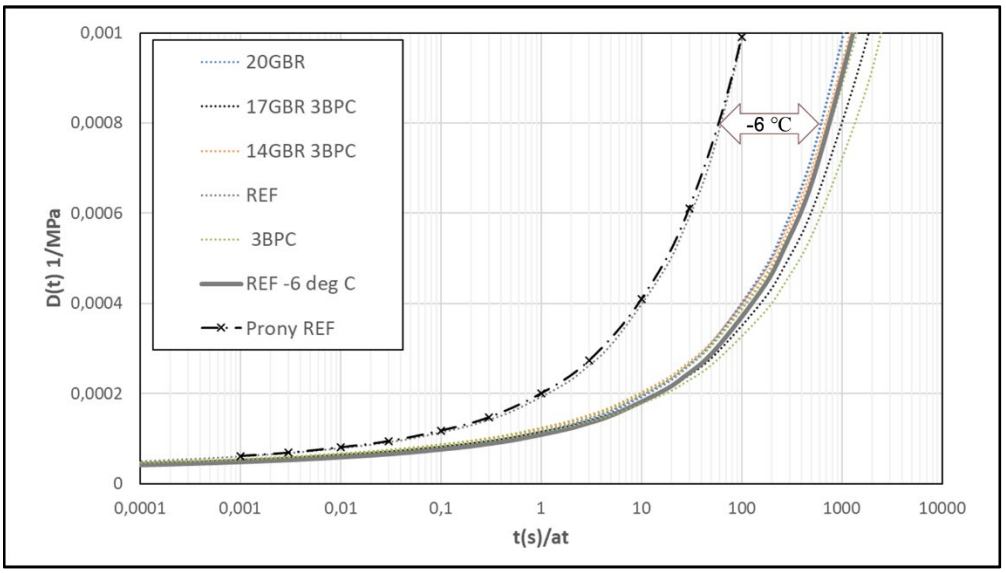



**Figure 54 Résultats de calcul de fluage à partir du modèle 2S2P1D**

Pour des temps d'application très courts, tous les enrobés ont un même comportement vis-à-vis le fluage. Par contre, le comportement diverge pour des temps plus élevés. D'après la Figure 54, il est à noter que les enrobés avec des matériaux recyclés (GBR et/ou BPC) présentent un fluage moins élevé que l'enrobé vierge. Encore une fois, un décalage de 6 °C est remarqué entre les courbes des enrobés contenant des GBR et/ou BPC. Ce décalage en température veut dire que les mélanges avec des matériaux recyclés se saturent plus rapidement en contrainte par rapport à l'enrobé de référence. Un risque de fissuration thermique à basse température peut être observé.

### 4.6 Le retrait thermique empêché

Les essais de retrait thermique empêché sont réalisés sur 7 formulations, soit :

- L'enrobé de référence (0 % matériaux recyclés) ;
- L'enrobé avec 20 % de GBR 1;
- L'enrobé avec 3 % de BPC ;
- L'enrobé contenant 17 % GBR (1) + 3 % BPC ;
- L'enrobé contenant 17 % GBR (2) + 3 % BPC ;
- L'enrobé contenant 25,5 % GBR (2) + 4,5 % BPC (30 % matériaux recyclés) ;
- L'enrobé contenant 34 % GBR (2) + 6 % BPC (40 % matériaux recyclés).

Deux répétitions sont réalisées sur chaque mélange, mais en analysant les résultats, des essais ont été supprimés à cause de problèmes de répétabilité ou autre. Par exemple, le casque en aluminium qui casse pendant l'essai. Les résultats des essais de retrait thermique empêché sont présentés dans le Tableau 18 et à la Figure 55.

**Tableau 18 Résultats des essais de retrait thermique empêché**

| | REF | 20 % GBR | 17 % GBR1+ 3 % BPC | 17 % GBR2+ 3 % BPC | 3 % BPC | 30 % matériaux recyclés | 40 % matériaux recyclés |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Moyenne contraintes max (MPa)** | 3970 | 4413 | 4662 | 4548 | 4077 | 3776 | 4024 |
| **Moyenne température min (°C)** | -35 | -34 | -33 | -32 | -33 | -28 | -25 |
| **RBR** | 0,0 % | 20,2 % | 20,6 % | 21,3 % | 3,3 % | 31,9 % | 42,6 % |

L'enrobé de référence se brise à la température de -35 °C. C'est la température habituellement observée pour l'utilisation d'un bitume PG 58-34. L'ajout de matériaux recyclés a pour effet d'augmenter la température de rupture.

En analysant la variation des contraintes en fonction des températures (Figure 55), on remarque que pour arriver à une même contrainte, un décalage de 6 °C à 10 °C est observé entre l'enrobé de référence et les enrobés contenant un taux de matériaux recyclés inférieur ou égal à 30 %. Cette observation est en accord avec les résultats de l'essai de fluage qui a prédit une saturation en contrainte plus rapide pour les enrobés avec des matériaux recyclés et un décalage de 6 °C.

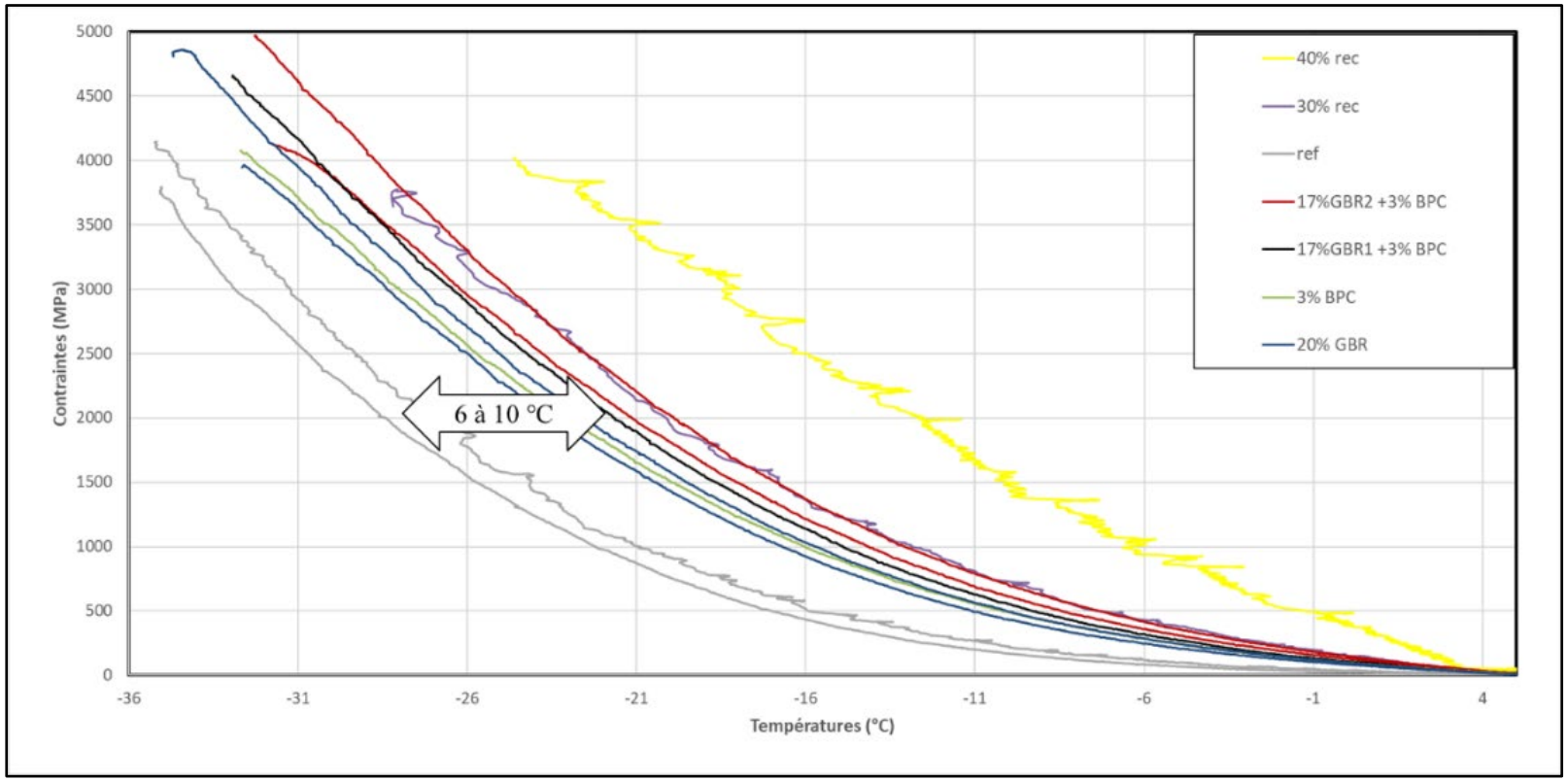



**Figure 55 Résultats essai de retrait thermique empêché**

Pour mieux visualiser l'effet combiné des deux matériaux recyclés, seuls les points contenant des combinaisons de GBR et BPC ont été choisis pour tracer la courbe de la Figure 56. La Figure 56 montre la variation de la température de rupture en fonction du ratio de bitume recyclé. Une augmentation de la température de rupture avec l'augmentation du ratio de bitume recyclé est remarquée. Cette tendance suit une loi linéaire avec une très bonne régression ($R^2 = 0.96$).

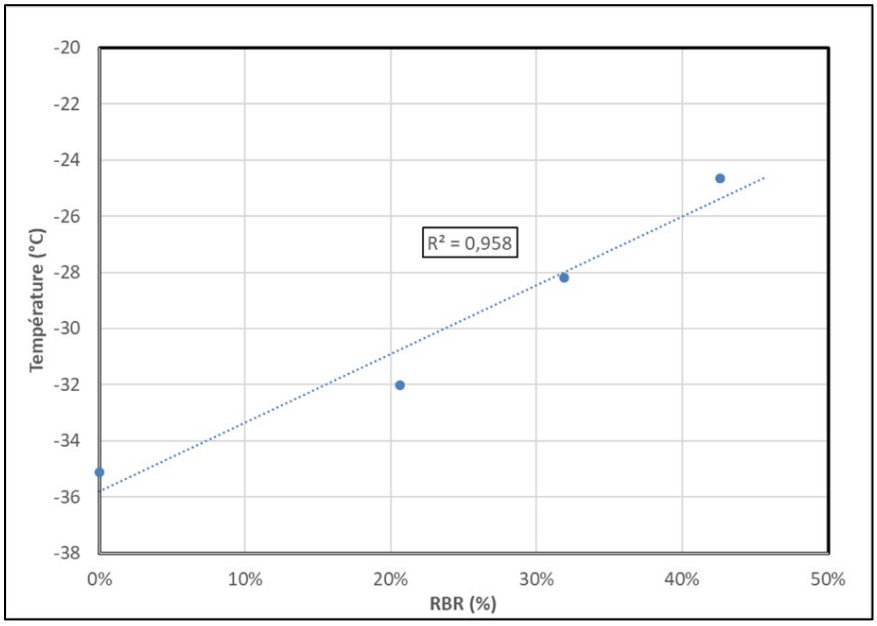



**Figure 56 La variation de la température minimale en fonction du ratio de bitume recyclé (RBR)**

L'ajout des matériaux recyclés joue aussi sur la contrainte maximale des enrobés. Pour des pourcentages inférieurs ou égaux à 20 %, une augmentation de la contrainte maximale est remarquée. Pour des pourcentages plus élevés, on revient au mêmes niveaux de contrainte que l'enrobé de référence. Toutefois, il faut signaler que ces variations ne sont pas très significatives et restent dans la précision de l'essai (± 15 % par rapport à l'enrobé de référence). La Figure 57 montre la variation de la contrainte maximale en fonction du ratio de bitume

recyclé. Il n'y a pas de lien clair entre la contrainte à la rupture et le RBR comme il peut être remarqué avec un $R^2$ très faible.

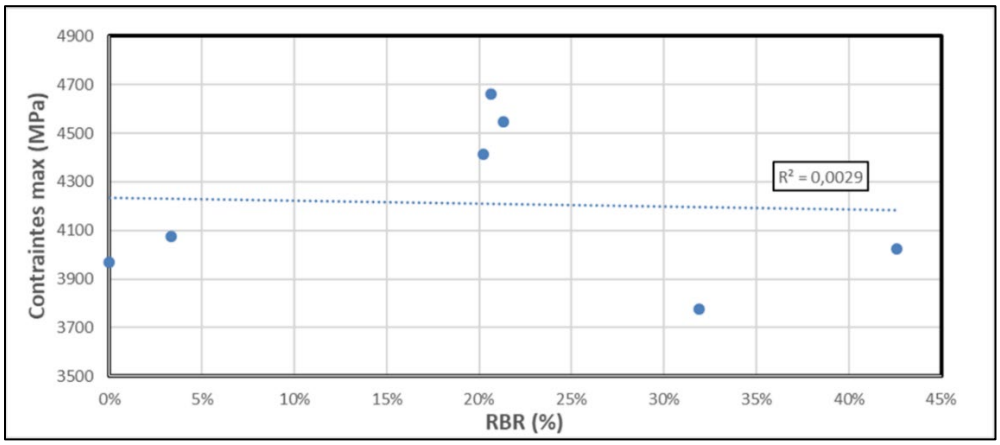



**Figure 57 La variation de la contrainte à la rupture en fonction du ratio de bitume recyclé (RBR)**

Globalement, l'ajout de matériaux recyclés n'induit pas une très grande variation de la résistance à la fissuration thermique à basse température. Malgré la saturation rapide en contrainte, on remarque aussi une augmentation de la résistance maximale (jusqu'à 15 %), et la température de rupture a augmenté de 1 °C à 3 °C. L'influence est beaucoup plus marquée dans le cas d'utilisation de 30 % et de 40 % de GBR et BPC. Une diminution de la contrainte maximale et une augmentation des températures de rupture sont notées.

## 4.7 Le dimensionnement de chaussées

Les calculs de dimensionnement de chaussées ont été effectués avec le logiciel Chaussée2 du MTQ. Cette partie sert essentiellement à voir si les différences observées en termes de rigidité sont suffisantes pour avoir un impact sur le dimensionnement de chaussées. Comme mentionné précédemment, puisqu'aucun essai de fatigue n'a été effectué, l'utilisation d'outils plus avancés, comme PavementME ou OPPECC, n'a pas été possible.

Pour faire le dimensionnement, une structure de chaussée générique standard a été choisie. Il est clair que le choix de la structure a une influence sur les résultats des calculs, mais la différence entre les résultats, les tendances observées, demeurerait les mêmes avec une autre structure. La structure sélectionnée est composée de couches d'enrobés sur une couche de MG 20 qui repose sur une couche de MG 112 (Figure 58).

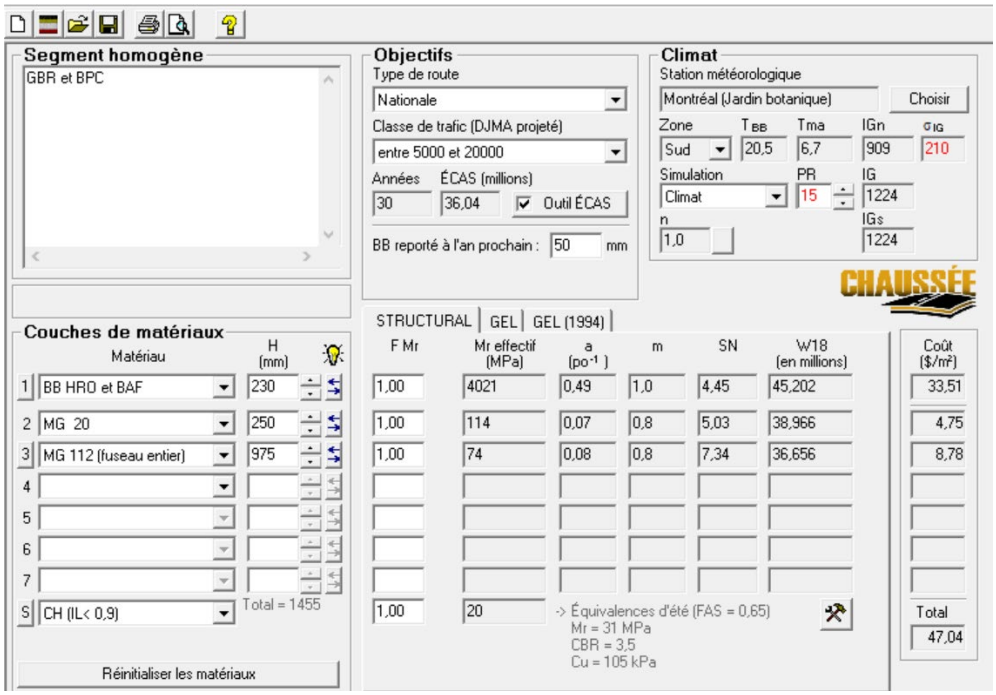



**Figure 58 Structure de base utilisée pour faire les calculs de dimensionnement**

La seule modification au niveau dimensionnement est au niveau du module de la partie enrobé. Les modules utilisés ainsi que le trafic admissible (W18) sont montrés au Tableau 19. Les modules sélectionnés sont les modules obtenus à 10°C et 10 Hz.

**Tableau 19 Modules dynamiques utilisés pour le dimensionnement et trafic admissible obtenus**

| | Module dynamique \|E*\| (MPa) | Trafic admissible - W18 (en millions) | % d'augmentation p/r à la référence |
|---|---|---|---|
| **Référence** | 6 612 | 129 | - |
| **20% GBR 1** | 9 454 | 339 | 163 |
| **20% GBR 2** | 9 462 | 341 | 164 |
| **3% BPC** | 9 066 | 310 | 140 |
| **17% GBR 1 + 3% BPC** | 9 789 | 366 | 184 |
| **14% GBR 1 + 3% BPC** | 8 673 | 281 | 118 |
| **17% GBR 2 + 3% BPC** | 11 153 | 483 | 274 |
| **25.5% GBR 2 + 4.5% BPC** | 11 457 | 511 | 296 |
| **34% GBR 2 +6% BPC** | 10 542 | 429 | 233 |

Les résultats du Tableau 19 montrent bien qu'avec les augmentations de modules observés dans les essais, les structures de chaussées peuvent, en théorie, résister à beaucoup plus de trafic. Ces résultats ne sont malheureusement pas utilisables tels quels puisqu'une augmentation en rigidité ne veut pas nécessairement dire qu'il y aura une augmentation de la durée de vie. Les résultats d'orniérage obtenus montrent bien une bonne résistance à l'orniérage, mais les résultats à la fissuration thermique montrent une problématique potentielle à basse température. Ces deux éléments ne sont pas pris en compte dans le dimensionnement empirique effectué ici, pas plus que la résistance à la propagation des fissures ou la résistance à la fatigue. Des travaux supplémentaires sont nécessaires pour tirer des conclusions précises en termes de dimensionnement de chaussées.

## 4.8 Les résultats sur les bitumes

Le but des essais sur les bitumes était d'évaluer le mélange des bitumes recyclés avec le bitume vierge et aussi de mieux comprendre et caractériser le ratio de bitume recyclé (RBR). Malheureusement, il a été rapidement clair que plusieurs essais supplémentaires sont nécessaires pour compléter cette partie de l'étude, comme des essais sur la partie mastic (mélange de bitume et fines) et des essais avec différentes procédures de fabrication en laboratoire (différents temps et températures de malaxage par exemple) qui peuvent influencer les résultats.

Les résultats de mesure complexe en cisaillement sur les bitumes sont montrés à la Figure 59. Il est important de préciser que les bitumes ont été extraits des matières premières (GBR et BPC) puis mélangés avec le bitume vierge (BV) avant d'être testés. Comme mentionné précédemment, le RBR est la quantité de bitume recyclé divisée par le bitume total du mélange. Les RBR obtenus ici varient entre 17,5% et 42,6% comme montré au Tableau 11 (partie 4.1). Sur la Figure 59, il n'y a pas de tendance claire entre le RBR, qui augmente en fonction de la teneur en matériaux recyclés, et le module de cisaillement.

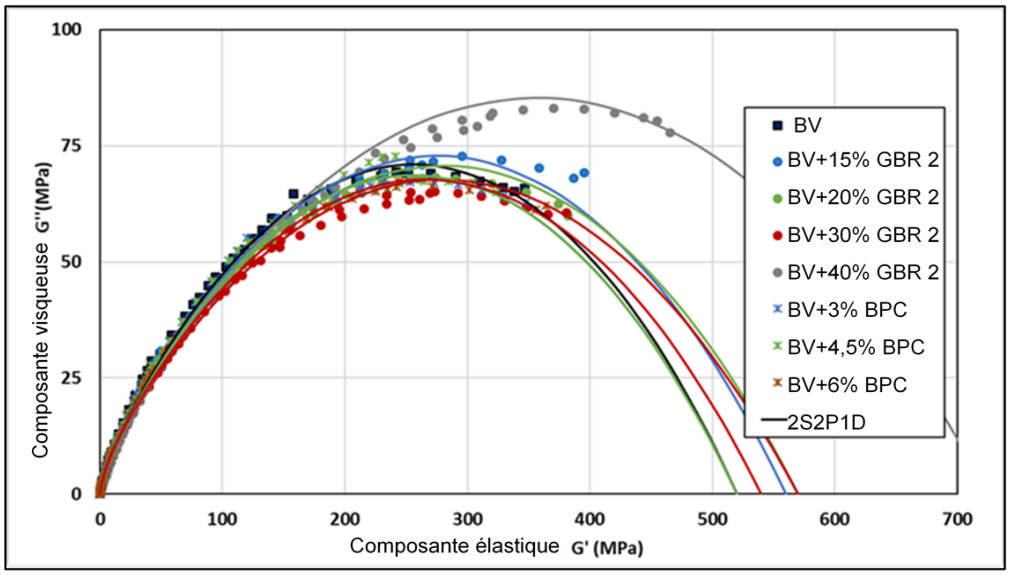



**Figure 59 Résultats de module en cisaillement des bitumes avec différents taux de matériaux recyclés dans le plan Cole-Cole**

Afin de mieux comprendre l'interaction entre les bitumes, des essais avec différents bitumes, différents taux de matériaux recyclés et différentes procédures de fabrication des enrobés sont toujours en cours à l'ÉTS. Une partie importante des résultats obtenus jusqu'à maintenant sont disponibles dans la thèse de doctorat d'Abdeldjalil Daoudi effectuée à l'ÉTS.

# 5. RECOMMANDATIONS

L'objectif principal de cette étude était d'établir les effets de l'ajout d'un combiné constitué de granulats bitumineux recyclés (GBR) et de bardeaux d'asphalte de post-consommation (BPC) sur le comportement thermomécanique des enrobés. Un des buts de l'étude était également de fixer les pourcentages optimaux de matériaux recyclés à utiliser. Voici quelques recommandations suivant les résultats obtenus dans le cadre de ce projet de recherche :

- Les limites en termes de quantité massique de matériaux recyclés sont confirmées. L'ajout de jusqu'à 20 % de GBR + BPC avec un taux maximal de BPC de 3 % (3 % BPC, 20 % GBR et 17%GBR + 3 % BPC) induit une amélioration du module complexe, de la résistance à l'orniérage, de la stabilité Marshall et de la résistance maximale en traction. Ces limites sont établies sans changement du bitume d'ajout. Il est conseillé de faire des essais avec un bitume d'ajout ayant une température basse de classe de performance inférieure afin de bien cerner l'effet du bitume.
- Puisque la forte rigidité des bitumes des GBR et BPC peuvent nuire au comportement à basse température des enrobés, il serait utile de vérifier l'impact d'ajout de régénérant dans les mélanges.
- L'ajout de GBR et/ou BPC provoque une perte en termes de stabilité à l'eau. On propose d'ajouter systématiquement l'essai de tenue à l'eau pour la validation des formulations contenant des matériaux recyclés.
- Les résultats de l'essai à la PCG sont principalement influencés par la teneur en bitume et le combiné granulométrique. D'après nos résultats, on remarque un comportement identique à la PCG pour les huit formulations testées et donc on confirme la méthode de formulation proposée par le MTQ.

- L’essai de fluage en traction simple ou en compression simple semble être un bon indicateur pour la fissuration thermique, mais l’essai de retrait thermique empêché propose plus d’informations, à savoir la température minimale et la contrainte maximale de rupture. De plus, il est possible de déduire les résultats du module de fluage directement à partir des résultats du module complexe sans avoir à faire un l’essai de fluage.
- Les essais thermomécaniques ont été réalisés après la fabrication des enrobés, donc au jeune âge. Il serait nécessaire d’étudier l’évolution de ces paramètres après vieillissement. On peut émettre l’hypothèse que le comportement à long terme est moins influencé par la présence de GBR et BPC que le comportement à court terme, car le taux de durcissement du bitume ralentit avec le temps.
- Puisque les essais ont été effectués sur un enrobé de surface, aucun essai de mesure de la résistance à la fatigue a été réalisé. Il serait intéressant de vérifier la résistance en fatigue selon le RBR.
- La méthode de caractérisation de la tenue à l’eau proposée par le MTQ ne permet pas de visualiser l’effet qu’elle peut avoir sur le module complexe et elle ne permet pas d’évaluer l’effet du gel-dégel par exemple. On propose d’évaluer la sensibilité à l’eau en réalisant des essais de module complexe sur des échantillons secs et des échantillons humides ou saturés qui ont subi des cycles de gel-dégel.
- L’utilisation du RBR semble une bonne avenue à étudier. Il est clair que c’est le bitume des matériaux recyclés qui a le plus grand impact sur le comportement des enrobés. L’utilisation du RBR permet donc de s’assurer que non seulement la teneur en matériaux recyclés est bien contrôlée, mais également d’optimiser la teneur en matériaux recyclés. Par exemple, un GBR provenant d’une autoroute, donc avec de bons granulats, mais contenant seulement 3 % de bitume (catégorisé comme un MR5) est limité à 20 % comme un GBR contenant plus de bitume, même si on pourrait en utiliser plus sans impacts négatifs.

- De nouveaux essais en modifiant le bitume vierge d'ajout permettraient de quantifier l'impact d'ajout de plus grandes quantités de matériaux recyclés. Il serait intéressant de faire des essais avec un bitume de classe PG 52-40 pour identifier la quantité maximale de matériaux recyclés utilisable. L'ajout de régénérant est également une avenue à étudier. Les régénérants permettent de diminuer la rigidité des bitumes des GBR et de diminuer leur fragilité à basse température.

# 6. CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour répondre à une démarche de développement durable associant des aspects économiques et environnementaux, on procède de plus en plus à l'utilisation de matériaux recyclés dans le domaine des routes et notamment des chaussées bitumineuses. Parmi les matériaux les plus utilisés, il y a les granulats bitumineux recyclés (GBR) et les bardeaux d'asphalte de post-consommation (BPC). L'utilisation de ces matériaux en combinaison avec des matériaux neufs semble être une bonne voie pour permettre un gain économique et environnemental, à condition de répondre à des enjeux techniques. Le but est d'avoir un enrobé avec matériaux recyclés qui a les mêmes performances thermomécaniques, voire meilleures, qu'un enrobé sans matériaux recyclés. L'objectif principal de ce travail était d'établir les effets de l'addition combinée de GBR et BPC sur le comportement thermomécanique des enrobés et de fixer des pourcentages massiques optimaux en GBR et BPC à utiliser dans la formulation des couches de surface de type ESG-10.

La recherche bibliographique a permis d'identifier les principaux axes d'étude, à savoir les problématiques liées au taux de bitume mobilisable et l'interaction entre le liant vierge et les liants recyclés. L'incorporation des matériaux recyclés dans les formulations conduit à des enrobés plus rigides. Cela peut induire une amélioration de la résistance à l'orniérage et une baisse de la résistance à la fissuration thermique à basse température.

Suite à la revue de la littérature, un plan de travail a été établi. Il comporte trois niveaux d'étude ; le premier est sur l'étude de l'influence d'ajout des matériaux recyclés sur les caractéristiques de mise en œuvre des enrobés. Huit formulations respectant plus ou moins la même courbe granulométrique (ESG-10) et contenant différents pourcentages de GBR et/ou BPC sont étudiées et validées par des essais de compactibilité/maniabilité à la presse à cisaillement giratoire PCG et des essais d'orniérages (méthode de formulation LC niveau 2).

Les résultats montrent un comportement identique à la PCG pour toutes les formulations testées. Une amélioration de la résistance à l'orniérage est notée avec l'utilisation des GBR et/ou BPC. Ce gain de résistance est plus marqué lorsque les BPC sont utilisés.

Le deuxième niveau est axé sur l'étude du comportement rhéologique et conventionnel des liants et des mélanges entre bitume vierge, bitume GBR et bitume BPC, cette partie est réalisée en collaboration avec l'école spéciale des travaux publics de Paris, et n'est pas présentée dans ce rapport.

Le troisième niveau est axé sur le comportement thermomécanique des enrobés contenant des matériaux recyclés. Des essais de module complexe, de fluage, de tenue à l'eau et de résistance à la fissuration thermique à basse température sont réalisés.

Les résultats de module complexe montrent que les enrobés contenant des matériaux recyclés sont plus durs par rapport à l'enrobé de référence dans toute la gamme des températures et des fréquences testées. À 10 °C et 10 HZ, l'ajout de GBR et/ou BPC conduit à une amélioration du module dynamique de 37 % à 73 %. Pour des pourcentages de recyclage inférieur à 20 %, l'augmentation du module dynamique a varié de 37 % à 69 %, dépendamment de la source de GBR utilisée. Cette différence entre les deux sources de GBR est attribuable au vieillissement artificiel en laboratoire de la source GBR2. Le gain de module atteint un pic pour une utilisation de 30 % de matériaux recyclés (73 %), puis diminue à 60 % avec un taux de recyclage de 40 %. En analysant les courbes maitresses, on remarque que, pour un taux de recyclage inférieur ou égal de 20 % (3 % BPC, 20 % GBR, 17 % GBR + 3 % BPC, 14 % GBR + 3 % BPC), le comportement est identique et se décale d'une translation d'environ 6 °C à 10 °C par rapport à la courbe de référence. Ce décalage peut atteindre jusqu'à 16 °C pour l'utilisation de 40 % de matériaux recyclés.

Les essais de fluage sont réalisés en traction directe et en compression directe sur des éprouvettes cylindriques de type module complexe. Les résultats montrent que les fluages en traction directe et en compression directe sont identiques en petite déformation, donc la partie linéaire du comportement viscoélastique des enrobés. Une saturation en contrainte plus rapide est remarquée pour les enrobés contenant des matériaux recyclés. Ceux-ci présentent donc un risque accru de fissuration thermique à basse température. D'après la théorie de viscoélasticité, on peut remarquer qu'il est possible de déduire les résultats de fluage à partir des essais de module complexe. Des calculs dans ce sens ont été réalisés. Les résultats décrivent de manière très satisfaisante les points expérimentaux dans la gamme des températures testées. Il est possible d'avoir les résultats de fluage en petite déformation à partir des résultats de module complexe, et ce, sans avoir recours à l'essai de fluage.

Les essais de retrait thermique empêché (fissuration thermique) confirment les conclusions tirées à partir des résultats de fluage. Pour une même contrainte, les enrobés avec des matériaux recyclés sont décalés de 6 °C à 10 °C par rapport à la référence. Une baisse de la résistance à basse température est notée, mais elle est plus marquée pour un taux de recyclage supérieur à 20 %.

L'ajout de GBR et/ou BPC améliore la stabilité Marshall, une relation linéaire avec le ratio de bitume recyclé étant remarquée. Cependant le rapport des résistances entre les échantillons immergés et saturés (tenue à l'eau) diminue considérablement avec l'augmentation du taux de bitume recyclé. Ces résultats impliquent que l'ajout de matériaux recyclés peut avoir un impact négatif sur la tenue à l'eau. Des essais avec un anti-désenrobage, comme de la chaux, seraient nécessaires pour vérifier si ce point négatif pouvait être facilement corrigé.

Globalement, les résultats de cette étude montrent que l'utilisation d'au maximum 20 % de matériaux recyclés, provenant seulement de GBR ou bien

d'une combinaison GBR et BPC, n'a pas d'impacts négatifs importants si la granulométrie globale de l'enrobé demeure constante. 20 % de matériaux recyclés est donc la valeur optimale entre les performances et l'utilisation de matériaux recyclés lorsqu'aucun changement au niveau du bitume vierge est appliqué. Finalement, la notion du ratio de bitume recyclé semble intéressante. Plus de travaux sont nécessaire, mais le RBR permet de mieux quantifier la quantité de matériaux recyclés utilisés en fonction de la teneur en bitume de ces derniers.

# 7. RÉFÉRENCES

Baaj, H., Di Benedetto, H., & Chaverot, P. (2005). Effect of binder characteristics on fatigue of asphalt pavement using an intrinsic damage approach. Road Materials and Pavement Design, 6(2), 147-174.

Béghin A, Peyronnet M. Entrerpise Malet: le maniabilimètre au service des enrobés tièdes. Revue Générale des Routes et de l'Aménagement. 2014;922:118-9.

Bressi S, Dumont A, Carter A, Bueche N, editors. A multiple regression model for developing a RAP binder blending chart for stiffness prediction. 6th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Thessaloniki (Greece); 2015.

Bapiste, V., Jullien, A., Mogila, O., Urrea, L. O., Oster, M., Pouget, S., ... & Dauvergne, M. (2016, June). Environmental and mechanical evaluation of warm mix asphalts in laboratory and on site. In 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress Prague, Chech Republick

Carret, J. C., Falchetto, A. C., Marasteanu, M. O., Di Benedetto, H., Wistuba, M. P., & Sauzeat, C. (2015). Comparison of rheological parameters of asphalt binders obtained from bending beam rheometer and dynamic shear rheometer at low temperatures. Road Materials and Pavement Design, 16(sup1), 211-227.

Di Benedetto H., Corté J.-F. (2005). Matériaux routiers bitumineux 2: Constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges. Hermès Science publications.

Delorme, J. L., De La Roche, C., & Wendling, L. (2007). Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Dony A, Colin J, Bruneau D, Drouadaine I, Navaro J. Reclaimed asphalt concretes with high recycling rates: Changes in reclaimed binder

properties according to rejuvenating agent. Construction and Building Materials. 2013;41:175-81.

Doucet, F., & Auger, B. (2010). Détermination du module complexe des enrobés au ministère des transports du Québec. Service des matériaux d'infrastructures, Direction des laboratoires des chaussées, ministère des transports du Québec.

Fabre des Essarts A. Etude du comportement des enrobés bitumineux aux températures de mise en œuvre: Paris Est ; 2016.

Fabre des Essart A., A. Dony, j.-N. Roux et V. Gaudefroy, « Influence de la compacité des corps d'épreuves sur l'évaluation en laboratoire de la maniabilité des enrobés tièdes, » Revue générale des routes et de l'aménagement, n° % 1928, pp. 64-68, 2015.

Falchetto AC, Moon KH, Wistuba MP, Marasteanu MO, editors. Rheological Investigation of Asphalt Mixtures Containing RAP and RAS. 8th RILEM International Symposium on Testing and Characterization of Sustainable and Innovative Bituminous Materials; 2016: Springer.

Faucon-Dumont S., F. Delfosse, I. Drouadaine , T. Gianetti et J.-A. Decamps, «Qualification de la maniabilité des enrobé tièdes,» Revue générale des routes et de l'aménagement, vol. 928, pp. 47-54, 2015.

Ghabchi R, Barman M, Singh D, Zaman M, Mubaraki MA. Comparison of laboratory performance of asphalt mixes containing different proportions of RAS and RAP. Construction and Building Materials. 2016;124:343-51.

Grzybowski KF. Recycled Asphalt Roofing Materials--A Multi-Functional, Low Cost Hot-Mix Asphalt Pavement Additive. Use of waste materials in hot-mix asphalt: ASTM International; 1993.

Karlsson R, Isacsson U. Material-related aspects of asphalt recycling—state-of-the-art. Journal of Materials in Civil Engineering. 2006;18(1):81-92.

Lamothe, S. (2014). Endommagement d'un enrobé bitumineux partiellement saturé en eau ou en saumure soumis à des sollicitations cycliques de gel-dégel et mécaniques (Doctoral dissertation, École Nationale des Travaux Publics de l'État [ENTPE]).

Langlois, P., Québec (Province). Ministère des transports, & Québec (Province). Laboratoire des chaussées. (2005). Enrobés: Formulation selon la méthode LC. Québec: Transports Québec.

Mangiafico S, Di Benedetto H, Sauzéat C, Olard F, Pouget S, Dupriet S, et al. Statistical analysis of the influence of RAP and mix composition on viscoelastic and fatigue properties of asphalt mixes. Materials and Structures. 2015;48(4):1187-205.

Mangiafico S, Di Benedetto H, Sauzeat C, Olard F, Pouget S, Planque L, editors. Viscoelastic properties of bitumen blends obtained from pure and RAP-extracted binders. Proceedings of the 5th Eurasphalt & Eurobitume congress; 2012.

Mangiafico S, Di Benedetto H, Sauzéat C, Olard F, Pouget S, Planque L. New method to obtain viscoelastic properties of bitumen blends from pure and reclaimed asphalt pavement binder constituents. Road materials and pavement design. 2014;15(2):312-29.

Mangiafico S, Di Benedetto H, Sauzéat C, Olard F, Pouget S, Planque L. Influence of reclaimed asphalt pavement content on complex modulus of asphalt binder blends and corresponding mixes: experimental results and modelling. Road Materials and Pavement Design. 2013;14(sup1):132-48.

Mangiafico S, Sauzéat C, Di Benedetto H, Pouget S, Olard F, Planque L. Prediction of LVE Behavior of Mixtures Containing RAP from Properties of Base Constituents. Transportation Research Procedia. 2016a;14:3552-61.

Mangiafico S, Di Benedetto H, Sauzéat C, Olard F, Pouget S, Planque L. Relations between Linear ViscoElastic Behaviour of Bituminous Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement and Colloidal Structure of Corresponding Binder Blends. Procedia Engineering. 2016b;143:138-45.

Navaro, J., Bruneau, D., Drouadaine, I., Colin, J., & Dony, A. (2010). Caractérisation d'un mélange de liants bitumineux par dissolution en couche mince d'un enrobé recyclé.

Noël F, Perraton D, Carter A. Incorporation de particules de bardeaux d'asphalte de postconsommation dans les enrobés bitumineux : Université du Québec, École de technologie supérieure ; 2006.

Olard F, Di Benedetto H. General “2S2P1D” model and relation between the linear viscoelastic behaviours of bituminous binders and mixes. Road materials and pavement design. 2003;4(2):185-224.

Olard, F., Di Benedetto, H., Eckmann, B., & Triquigneaux, J. P. (2003). Linear viscoelastic properties of bituminous binders and mixtures at low and intermediate temperatures. Road materials and pavement design, 4(1), 77-107.

Olard, F. (2003). Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basses températures. Relations entre les propriétés du liant et de l'enrobé (Doctoral dissertation, INSA de Lyon).

Paradis, M. (2008). Les enrobés du MTQ : relation entre leurs caractéristiques, leur mise en œuvre et leur performance sur la route. Services des matériaux d’infrastructure, Colloque Bitume Québec, La mise en œuvre des enrobés, Boucherville

Read J, Whiteoak D. The shell bitumen handbook: Thomas Telford ; 2003.

Sengoz B, Topal A. Use of asphalt roofing shingle waste in HMA. Construction and Building Materials. 2005;19(5):337-46.

«Technique-TP,» [En ligne]. Available: http://technique-tp.leforum.eu/t807-agence-malet-de-tarbes.htm?start=30. [Accès le 14 06 2016]. Di Benedetto, H., & Corté, J. F. (Eds.). (2004).

Touhara, R. (2012). Étude de la résistance en fatigue des matériaux bitumineux (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).

Zhao S, Huang B, Shu X, Woods ME. Quantitative characterization of binder blending: how much recycled binder is mobilized during mixing? Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2015(2506):72-80.

Zhou F, Estakhri CK, Scullion T. Literature review: Performance of RAP/RAS mixes and new direction. Texas A&M Transportation Institute; 2014.

# ANNEXE A
# RÉSULTATS BRUTS

| LCMB | RAPPORT CARACTÉRISATION BITUME | AQ-300 |
|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **# PRB** | : | 0 | **# Échantillon** | : | PG 58-34 |
| **# LCMB** | : | 1900-01-00 | **# Bon de commande** | : | 0 |
| **Date de réception** | : | 01-sept-17 | **Classe de bitume** | : | PG 58-34 |
| **Raffinerie** | : | Bitumar | **Provenance** | : | 0 |
| **Responsable** | : | 0 | | | |

## ESSAIS COMPLÉMENTAIRES

| | | |
|---|---|---|
| Point d'éclair (°C) | ASTM D 92 | **255** |
| Stabilité au stockage (°C) | LC 25-003 | **0,0** |
| Pt. ramollissement moyen après Stab.Stock.(°C) | LC 25-003 | **42,7** |
| Recouvrance d'élasticité (%), à 10 °C | LC 25-005 | **55,0** |
| Masse volumique (g/cm³) | --- | **---** |
| Perte en masse au RTFOT (%) | AASHTO T 240 | **-0,17** |
| Viscosité Brookfirld (Pa*s), à 135 °C | AASHTO T 316 | **0,360** |
| Viscosité Brookfirld (Pa*s), à 165 °C | AASHTO T 316 | **0,112** |
| Pénétration à 25°C | --- | **---** |
| Teneur en cendre (%) | LC 25-008 | **0,76** |

## ESSAIS DE CONTRÔLE

**Cisaillement dynamique sur bitume d'origine (AASHTO T 315)**

| T (°C) | Ø (mm) | % déf. | G*(kPa) | δ ( ° ) | G*/sin δ (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| **52** | **25** | **12,02** | **1,443** | **75,07** | **1,493** |
| **58** | **25** | **12,04** | **0,755** | **76,79** | **0,775** |

| | |
|---|---|
| Température pour G*/sin δ = 1.0 kPa | Te : |
| | **55,7** |

**Cisaillement dynamique sur bitume vieilli au RTFOT (AASHTO T 315)**

| T (°C) | Ø (mm) | % déf. | G*(kPa) | δ ( ° ) | G*/sin δ (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| **58** | **25** | **9,94** | **2,164** | **71,27** | **2,2845** |
| **64** | **25** | **10** | **1,904** | **73,51** | **1,986** |

| | |
|---|---|
| Température pour G*/sin δ = 2.2 kPa | **Te :** |
| | **59,6** |

**Flexion de poutre sur bitume vieilli au RTFOT et PAV (AASHTO T 313)**

| T (°C) | s(60) (mPa) | m(60) | T (°C) | s(60) (mPa) | m(60) |
|---|---|---|---|---|---|
| **-24** | **172** | **0,306** | **-30** | **391** | **0,252** |
| **-24** | **198** | **0,305** | **-30** | **383** | **0,265** |
| **Moyenne** | **185** | **0,306** | **Moyenne** | **387** | **0,259** |

| | | |
|---|---|---|
| Température pour m(60) = 0,300 : | **-24,7** | Tb : |
| Température pour s(60) = 300 mPa : | **-27,9** | **-34,7** |

## REMARQUES

Essai réalisé selon la norme du MTQ 4101

| | | | |
|---|---|---|---|
| Préparé par :<br>Francis Bilodeau | Date : | Approuvé par : | Date : |

| LCMB | RAPPORT<br>CONTRÔLE DE BITUME | AQ-302 |
|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| **# PRB** | 0 | **# Échantillon** | PG 58-34 |
| **# LCMB** | 1900-01-00 | **# Bon de commande** | 0 |
| **Date de réception** | 01-sept-17 | **Classe de bitume** | PG 58-34 |
| **Client** | 0 | **Fabricant** | Bitumar |
| **Responsable** | 0 | | |

**Viscosité Brookfield (AASHTO T316)**

| T (°C) | temps (min) | vitesse (rpm) | torsion (%) | viscosité (Pa·s) |
|---|---|---|---|---|
| 135,0 | 3 | 100 | 72,1 | 0,360 |
| 135,0 | 4 | 100 | 72,1 | 0,360 |
| 135,0 | 5 | 100 | 72,0 | 0,360 |
| | | **Moyenne:** | **72,1** | **0,360** |

| T (°C) | temps (min) | vitesse (rpm) | torsion (%) | viscosité (Pa·s) |
|---|---|---|---|---|
| 165,0 | 3 | 100 | 22,5 | 0,112 |
| 165,0 | 4 | 100 | 22,5 | 0,112 |
| 165,0 | 5 | 100 | 22,5 | 0,112 |
| | | **Moyenne:** | **22,5** | **0,112** |

**RTFOT - variation de masse (AASHTO T-240)**

| Essai # | Masse (gr.) | | | variation de masse (%) | moyenne |
|---|---|---|---|---|---|
| | bouteille vide | bouteille + bitume | bouteille après essai | | |
| A | 164,731 | 199,549 | 199,488 | -0,175 | -0,169 |
| B | 161,845 | 196,759 | 196,702 | -0,163 | |
| | | **exigence essai** | | | |
| | | **exigence norme** | | | |

**Recouvrance d'élasticité (%), à 10 °C (LC 25-005)**

| Essai # | Allongement à 0,25cm près | Lecture finale à 0,25cm près | % |
|---|---|---|---|
| 1 | 20,00 | 9,00 | 55,0 |
| 2 | 20,00 | 9,00 | 55,0 |
| | | **Moyenne :** | **55,0** |
| | **exigence essai** | | |
| | **exigence norme** | | |

**REMARQUES**

Essai réalisé selon la norme du MTQ 4101

| Préparé par : | Date : | Approuvé par : | Date : |
|---|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| LCMB LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX | **RAPPORT DE BITUME essais complémentaires** | **AQ-304** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **# PRB** | 0 | **# Échantillon** | PG 58-34 |
| **# LCMB** | 1900-01-00 | **# Bon de commande** | 0 |
| **Date de réception** | 01-sept-17 | **Classe de bitume** | PG 58-34 |
| **Client** | 0 | **Fabricant** | Bitumar |
| **Responsable** | 0 | | |

## ESSAIS COMPLÉMENTAIRE

**Densité brute du bitume @ 25°C (ASTM D70-9e1)**

| Essai # | A | B | C | D | | Densité |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 33,924 | 57,537 | 49,396 | 57,786 | | 1,013 |
| 2 | 35,430 | 60,213 | 51,350 | 60,470 | | 1,013 |
| | | | | Écart < 0,0023 : | | 0,0001 |
| | | **exigence essai** | | | | |
| | | **exigence norme** | | | | |

**Pénétration @ 25°C (ASTM D5-97)**

| Essai # | Mesures (mm) | | | | Moyenne 3 points |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | 164 | 165 | 157 | | 162 |
| 2 | | | | | |
| | **exigence essai** | | | | |
| | **exigence norme** | | | | |

## REMARQUES

| | | | |
|---|---|---|---|
| Préparé par : | Date : | Approuvé par : | Date : |

| LCMB LABORATOIRE SUR LES CHAUSSÉES ET MATÉRIAUX BITUMINEUX | **RAPPORT CONTRÔLE DE BITUME** | **AQ-303** |
|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| **# PRB** | 0 | **# Échantillon** | PG 58-34 |
| **# LCMB** | 1900-01-00 | **# Bon de commande** | 0 |
| **Date de réception** | 01-sept-17 | **Classe de bitume** | PG 58-34 |
| **Client** | 0 | **Fabricant** | Bitumar |
| **Responsable** | 0 | | |

**Stabilité au stockage & TBA moyenne (LC-25-003)**

| Essai | température haut | température bas | TBA moyen | stabilité au stockage | D2S |
|---|---|---|---|---|---|
| tube #1 | 42,7 | 42,7 | 42,7 | 0 | --- |
| tube #2 | | | | | |
| | | Moyenne : | **42,7** | **0,0** | |
| | | **exigence essai** | | | |
| | | **exigence norme** | | | |

**Taux en cendres (LC 25-008)**

| Essai | Masse (gr.) | | | Taux en cendres (%) | D2S |
|---|---|---|---|---|---|
| | creuset vide | creuset + bitume | creuset + cendres | | |
| 1 | 18,138 | 21,025 | 18,16 | 0,76 | --- |
| 2 | 18,921 | 21,805 | 19 | 0,76 | |
| | | | Moyenne : | **0,76** | **---** |
| | | **exigence essai** | | | |
| | | **exigence norme** | | | |

**Point éclair**

| Essai | Température (°C) |
|---|---|
| 1 | 255 |
| **exigence essai** | |
| **exigence norme** | |

**REMARQUES**

Essai réalisé selon la norme du MTQ 4101

| Préparé par : | Date : | Approuvé par : | Date : |
|---|---|---|---|
| | | | |

*Tableaux des mesures hydrostatique des éprouvettes de module complexe et fluage*

| Ref | A1 | B1 |
|---|---|---|
| m seche | 1414,2 | 1402,7 |
| m dans l eau | 846,5 | 839,5 |
| m sss | 1415,3 | 1403,6 |
| Db | 2,486 | 2,487 |
| Dmm | 2,598 | |
| V% | 4,30 | 4,29 |
| C% | 95,70 | 95,71 |

| 20% GBR | A1 | B1 |
|---|---|---|
| m seche | 1449,4 | 1430 |
| m dans l eau | 867,4 | 853,5 |
| m sss | 1450,9 | 1431,5 |
| Db | 2,484 | 2,474 |
| Dmm | 2,589 | |
| V% | 4,06 | 4,44 |
| C% | 95,94 | 95,56 |

| 17% GBR + 3% BPC | A1 | B1 |
|---|---|---|
| m seche | 1425,4 | 1420,7 |
| m dans l eau | 851,3 | 849,3 |
| m sss | 1426,4 | 1421,7 |
| Db | 2,479 | 2,482 |
| Dmm | 2,577 | |
| V% | 3,82 | 3,69 |
| C% | 96,18 | 96,31 |

| 17% GBR + 3% BPC | A1 | B1 |
|---|---|---|
| m seche | 1444,2 | 1417 |
| m dans l eau | 863,15 | 844,2 |
| m sss | 1444,9 | 1417,3 |
| Db | 2,483 | 2,473 |
| Dmm | 2,577 | |
| V% | 3,67 | 4,05 |
| C% | 96,33 | 95,95 |

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

| 14% GBR + 3% BPC | A1 | B1 |
|---|---|---|
| m seche | 1484,8 | 1478,1 |
| m dans l eau | 891,3 | 886,6 |
| m sss | 1485,1 | 1478,4 |
| Db | 2,501 | 2,498 |
| Dmm | 2,579 | |
| V% | 3,04 | 3,15 |
| C% | 96,96 | 96,85 |

| 17% GBR2 + 3% BPC | A1 | B1 |
|---|---|---|
| m seche | 1439 | 1451 |
| m dans l eau | 858,4 | 867,9 |
| m sss | 1439,3 | 1451,3 |
| Db | 2,477 | 2,487 |
| Dmm | 2,556 | |
| V% | 3,08 | 2,69 |
| C% | 96,92 | 97,31 |

| 34% GBR 2 + 6% BPC | A1 | B1 |
|---|---|---|
| m seche | 1444,2 | 1415,5 |
| m dans l eau | 857,2 | 838,8 |
| m sss | 1446,4 | 1416,9 |
| Db | 2,451 | 2,449 |
| Dmm | 2,575 | |

| | | |
|---|---|---|
| V% | 4,81 | 4,91 |
| C% | 95,19 | 95,09 |

| 25,5% GBR 2 + 4,5% BPC | A1 | B1 |
|---|---|---|
| m seche | 1448,8 | 1413,3 |
| m dans l eau | 865 | 842,1 |
| m sss | 1449,1 | 1413,8 |
| Db | 2,480 | 2,472 |
| Dmm | 2,562 | |
| V% | 3,19 | 3,51 |
| C% | 96,81 | 96,49 |

*Les mesures Hydrostatiques pour les éprouvettes de retrait thermique empêcher*

| 20% GBR1 | 1 | 2 |
|---|---|---|
| m seche | 1255,5 | 1254,8 |
| m dans l eau | 746,4 | 746,9 |
| m sss | 1256,6 | 1256,2 |
| Db | 2,461 | 2,464 |
| Dmm | 2,589 | |
| V% | 4,95 | 4,84 |
| C% | 95,05 | 95,16 |

| 17%GBR2 | 1 | 2 |
|---|---|---|
| m seche | 1262,1 | 1262,4 |
| m dans l eau | 753,1 | 753,1 |
| m sss | 1263,2 | 1262,4 |
| Db | 2,474 | 2,479 |
| Dmm | 2,556 | |
| V% | 3,20 | 3,02 |
| C% | 96,80 | 96,98 |

| 17%GBR1 | 1 | 2 |
|---|---|---|
| m seche | 1250,4 | 1251 |
| m dans l eau | 744,3 | 745,6 |
| m sss | 1251,4 | 1251,5 |
| Db | 2,466 | 2,473 |

| Dmm | 2,577 | |
|---|---|---|
| V% | 4,32 | 4,04 |
| C% | 95,68 | 95,96 |

| Référence | 1 | 2 |
|---|---|---|
| m seche | 1256,4 | 1256,2 |
| m dans l eau | 749 | 749 |
| m sss | 1257,8 | 1257,1 |
| Db | 2,469 | 2,472 |
| Dmm | 2,598 | |
| V% | 4,95 | 4,84 |
| C% | 95,05 | 95,16 |

| 17%GBR1 | 1 | 2 |
|---|---|---|
| m seche | 1264,8 | 1266,7 |
| m dans l eau | 757,3 | 758,9 |
| m sss | 1265,7 | 1267,2 |
| Db | 2,488 | 2,492 |
| Dmm | 2,573 | |
| V% | 3,31 | 3,15 |
| C% | 96,69 | 96,85 |

*Les mesures hydrostatiques des éprouvettes de tenue à l'eau*

Enrobé vierge

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M s | 1216,9 | 1219,4 | 1219,7 | 1220,3 | 1220,1 | 1219 | 1219,9 | 1218,3 |
| M e | 730,1 | 734,6 | 733,6 | 731,9 | 732,5 | 731 | 733,4 | 732 |
| M sss | 1218,5 | 1220,4 | 1220,7 | 1221,6 | 1221,1 | 1220,2 | 1220,2 | 1218,9 |
| Db | 2,492 | 2,510 | 2,504 | 2,492 | 2,497 | 2,492 | 2,506 | 2,502 |
| Dmm | 2,598 | | | | | | | |
| V% | 4,10% | 3,38% | 3,62% | 4,08% | 3,88% | 4,09% | 3,54% | 3,69% |

| | | |
|---|---|---|
| Lot 1 (1,4,6) | 2,492 | 0,0002 |
| Lot 2 (3,5,8) | 2,501 | 0,0036 |

20%GBR

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M s | 1200,7 | 1199,7 | 1199,6 | 1198,7 | 1200,2 | 1198,5 | 1199 | 1197,6 |
| M e | 719,9 | 717,6 | 717,7 | 717,2 | 717 | 716,1 | 718,6 | 711,9 |
| M sss | 1202,1 | 1201,1 | 1202 | 1201,4 | 1201,8 | 1200,3 | 1200,1 | 1201,1 |
| Db | 2,490 | 2,481 | 2,477 | 2,476 | 2,476 | 2,475 | 2,490 | 2,448 |
| Dmm | 2,589 | | | | | | | |
| V% | 3,82% | 4,16% | 4,33% | 4,38% | 4,38% | 4,39% | 3,82% | 5,44% |

| | | |
|---|---|---|
| Lot 1 (1,2,3) | 2,483 | 0,0067 |
| Lot 2 (4,6,8) | 2,480 | 0,0084 |

40%GBR+BPC

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M s | 1197,1 | 1197,8 | 1198,2 | 1194,4 | 1195,7 | 1191,7 | 1199,1 | 1200,8 |
| M e | 707,7 | 709,3 | 707 | 706,9 | 706,4 | 700,9 | 704,4 | 708,5 |
| M sss | 1199 | 1201,5 | 1200 | 1197,2 | 1197,1 | 1194,5 | 1201,5 | 1201,8 |
| Db | 2,437 | 2,434 | 2,430 | 2,436 | 2,437 | 2,414 | 2,412 | 2,434 |
| Dmm | 2,575 | | | | | | | |
| V% | 5,37% | 5,49% | 5,61% | 5,40% | 5,37% | 6,24% | 6,32% | 5,47% |

| | | |
|---|---|---|
| Lot 1 (1,2,3) | 2,434 | 0,0031 |
| Lot 2 (4,6,8) | 2,436 | 0,0013 |

3%GBR+BPC

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M s | 1196,7 | 1194 | 1193,7 | 1194,6 | 1194,6 | 1201,3 | 1198,6 | 1185,3 |
| M e | 721,6 | 719,2 | 717,6 | 719,5 | 718,4 | 721,1 | 719,9 | 711,1 |
| M sss | 1197,8 | 1194,8 | 1194,9 | 1195,5 | 1195,8 | 1202,2 | 1199,7 | 1186,2 |
| Db | 2,513 | 2,511 | 2,501 | 2,510 | 2,502 | 2,497 | 2,498 | 2,495 |
| Dmm | 2,579 | | | | | | | |
| V% | 2,56% | 2,66% | 3,03% | 2,69% | 2,97% | 3,18% | 3,14% | 3,26% |

| | | |
|---|---|---|
| Lot 1 (1,2,3) | 2,508 | 0,0064 |
| Lot 2 (4,5,6) | 2,503 | 0,0064 |

30%GBR+BPC

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M s | 1197 | 1198,3 | 1197,9 | 1197,7 | 1199,4 | 1196,1 | 1199,8 | 1201,7 |
| M e | 703 | 704,4 | 704,6 | 708,1 | 706,3 | 698,3 | 698,3 | 710,7 |
| M sss | 1200,8 | 1199,7 | 1201,1 | 1200,5 | 1201 | 1209,8 | 1209,8 | 1205,1 |
| Db | 2,405 | 2,419 | 2,413 | 2,432 | 2,424 | 2,338 | 2,346 | 2,431 |
| Dmm | 2,562 | | | | | | | |
| V% | 6,14% | 5,57% | 5,83% | 5,06% | 5,37% | 8,73% | 8,44% | 5,13% |

| | | |
|---|---|---|
| Lot 1 (2,3,4) | 2,421 | 0,010 |
| Lot 2 (1,5,8) | 2,420 | 0,014 |

*Résultats des stabilité Marshall humides et saturés de l'enrobé de référence*

| ÉCHANTILLONS humides | | | |
|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | | | |
| **Épaisseur 1 (mm)** | : | **63,2** | **63,1** |
| **Épaisseur 2 (mm)** | : | 63,1 | 63,3 |
| **Épaisseur 3 (mm)** | : | 63,3 | 63,2 |
| **Diamètre 1 (mm)** | : | | |
| **Diamètre 2 (mm)** | : | | |
| **Diamètre 3 (mm)** | : | | |
| **Température (°C)** | : | 60,000 | 60,000 |
| **Charge maximale (N)** | : | 11955,800 | 11330,100 |
| **Déformation initiale (mm)** | : | 0,000 | 0,000 |
| **Déformation finale (mm)** | : | 3,400 | 3,800 |
| **Facteur de correction** | : | 1,008 | 1,008 |
| **Charge maximale corrigée (N)** | : | 12052,852 | 11421,037 |
| **Fluage (mm)** | : | -3,4 | -3,8 |

| ÉCHANTILLONS saturés | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | | | | |
| **Épaisseur 1 (mm)** | : | **62,9** | **62,1** | **63,1** |
| **Épaisseur 2 (mm)** | : | 62,9 | 62,3 | 63,3 |
| **Épaisseur 3 (mm)** | : | 62,9 | 61,9 | 63,2 |
| **Diamètre 1 (mm)** | : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** | : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** | : | | | |
| **Température (°C)** | : | 60,000 | 60,000 | 60,000 |
| **Charge maximale (N)** | : | 11451,900 | 9524,800 | 10665,600 |
| **Déformation initiale (mm)** | : | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| **Déformation finale (mm)** | : | 5,700 | 4,600 | 6,000 |
| **Facteur de correction** | : | 1,016 | 1,039 | 1,008 |
| **Charge maximale corrigée (N)** | : | 11638,667 | 9893,772 | 10751,204 |
| **Fluage (mm)** | : | -5,7 | -4,6 | -6,0 |

*Résultats des stabilité Marshall humides et saturés de l'enrobé +20%GBR*

| ÉCHANTILLONS humides | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | | **1** | **2** | **3** |
| **Épaisseur 1 (mm)** | : | **60,2** | **61,4** | **61,5** |
| **Épaisseur 2 (mm)** | : | 60,9 | 61,5 | 61,3 |
| **Épaisseur 3 (mm)** | : | 61,3 | 61,1 | 60,9 |
| **Diamètre 1 (mm)** | : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** | : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** | : | | | |
| **Température (°C)** | : | 60,000 | 60,000 | 60,000 |
| **Charge maximale (N)** | : | 14436,700 | 13644,800 | 14569,600 |
| **Déformation initiale (mm)** | : | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| **Déformation finale (mm)** | : | 4,800 | 4,300 | 5,200 |
| **Facteur de correction** | : | 1,078 | 1,061 | 1,065 |
| **Charge maximale corrigée (N)** | : | 15563,296 | 14480,757 | 15521,646 |
| **Fluage (mm)** | : | -4,8 | -4,3 | -5,2 |

| ÉCHANTILLONS saturés | | | |
|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | **4** | **5** | **7** |
| **Épaisseur 1 (mm)** : | **61,1** | **61,1** | **60,3** |
| **Épaisseur 2 (mm)** : | 60,7 | 60,7 | 60,2 |
| **Épaisseur 3 (mm)** : | 60,8 | 60,8 | 60,3 |
| **Diamètre 1 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** : | | | |
| **Température (°C)** : | 60,000 | 60,000 | 60,000 |
| **Charge maximale (N)** : | 10671,100 | 10615,700 | 11208,200 |
| **Déformation initiale (mm)** : | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| **Déformation finale (mm)** : | 5,800 | 5,600 | 5,100 |
| **Facteur de correction** : | 1,076 | 1,077 | 1,094 |
| **Charge maximale corrigée (N)** : | 11483,253 | 11427,944 | 12266,229 |
| **Fluage (mm)** : | -5,8 | -5,6 | -5,1 |

*Résultats des stabilité Marshall humides et saturés de l'enrobé +3% BPC*

| ÉCHANTILLONS humides | | | |
|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | **1** | **2** | **3** |
| **Épaisseur 1 (mm)** : | **60,2** | **61,4** | **61,5** |
| **Épaisseur 2 (mm)** : | 60,9 | 61,5 | 61,3 |
| **Épaisseur 3 (mm)** : | 61,3 | 61,1 | 60,9 |
| **Diamètre 1 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** : | | | |
| **Température (°C)** : | 60,0 | 60,0 | 60,0 |
| **Charge maximale (N)** : | 14962,8 | 14359,2 | 13678,0 |
| **Déformation initiale (mm)** : | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| **Déformation finale (mm)** : | 6,5 | 6,1 | 5,6 |
| **Facteur de correction** : | 1,078 | 1,061 | 1,065 |
| **Charge maximale corrigée (N)** : | 16130,5 | 15238,9 | 14571,8 |
| **Fluage (mm)** : | -6,5 | -6,1 | -5,6 |

| ÉCHANTILLONS saturés | | | |
|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | **4** | **5** | **6** |
| **Épaisseur 1 (mm)** : | **60,3** | **59,9** | **60,9** |
| **Épaisseur 2 (mm)** : | 59,9 | 59,9 | 60,7 |
| **Épaisseur 3 (mm)** : | 59,5 | 60,5 | 60,4 |
| **Diamètre 1 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** : | | | |
| **Température (°C)** : | 60,000 | 60,000 | 60,000 |
| **Charge maximale (N)** : | 11224,900 | 11950,300 | 11379,900 |
| **Déformation initiale (mm)** : | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| **Déformation finale (mm)** : | 7,000 | 7,000 | 7,100 |
| **Facteur de correction** : | 1,106 | 1,100 | 1,081 |
| **Charge maximale corrigée (N)** : | 12414,151 | 13144,598 | 12303,906 |
| **Fluage (mm)** : | -7,0 | -7,0 | -7,1 |

*Résultats des stabilité Marshall humides et saturés de l'enrobé +30% recyclés*

| ÉCHANTILLONS humides | | | |
|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | **2** | **3** | **4** |
| **Épaisseur 1 (mm)** : | **62,2** | **62,8** | **61,9** |
| **Épaisseur 2 (mm)** : | 62,2 | 62,5 | 61,8 |
| **Épaisseur 3 (mm)** : | 62,6 | 62,7 | 62,4 |
| **Diamètre 1 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** : | | | |
| **Température (°C)** : | 60,0 | 60,0 | 60,0 |
| **Charge maximale (N)** : | 15270,1 | 15765,7 | 14774,5 |
| **Déformation initiale (mm)** : | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| **Déformation finale (mm)** : | 6,9 | 5,9 | 5,3 |
| **Facteur de correction** : | 1,033 | 1,022 | 1,042 |
| **Charge maximale corrigée (N)** : | 15769,8 | 16119,7 | 15389,4 |
| **Fluage (mm)** : | -6,8 | -5,9 | -5,3 |

| ÉCHANTILLONS saturés | | | |
|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | **1** | **5** | **8** |
| **Épaisseur 1 (mm)** : | **63,0** | **62,2** | **62,7** |
| **Épaisseur 2 (mm)** : | 62,4 | 62,9 | 63,0 |
| **Épaisseur 3 (mm)** : | 62,3 | 62,0 | 62,8 |
| **Diamètre 1 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** : | | | |
| **Température (°C)** : | 60,000 | 60,000 | 60,000 |
| **Charge maximale (N)** : | 10833,533 | 9403,000 | 11418,700 |
| **Déformation initiale (mm)** : | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| **Déformation finale (mm)** : | 7,000 | 6,800 | 7,200 |
| **Facteur de correction** : | 1,027 | 1,032 | 1,019 |
| **Charge maximale corrigée (N)** : | 11122,498 | 9700,897 | 11630,353 |
| **Fluage (mm)** : | -7,0 | -6,8 | -7,2 |

Résultats des stabilité Marshall humides et saturés de l'enrobé +40% recyclés

| ÉCHANTILLONS humides | | | |
|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | **1** | **2** | **3** |
| **Épaisseur 1 (mm)** : | **62,2** | **62,8** | **62,1** |
| **Épaisseur 2 (mm)** : | 62,0 | 62,6 | 62,3 |
| **Épaisseur 3 (mm)** : | 61,7 | 62,2 | 62,1 |
| **Diamètre 1 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** : | | | |
| **Température (°C)** : | 60,0 | 60,0 | 60,0 |
| **Charge maximale (N)** : | 15979,9 | 16790,2 | 15715,9 |
| **Déformation initiale (mm)** : | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| **Déformation finale (mm)** : | 7,0 | 6,4 | 5,6 |
| **Facteur de correction** : | 1,043 | 1,027 | 1,037 |
| **Charge maximale corrigée (N)** : | 16672,7 | 17247,5 | 16300,6 |
| **Fluage (mm)** : | -7,0 | -6,4 | -5,6 |

| ÉCHANTILLONS saturés | | | |
|---|---|---|---|
| **Échantillon numéro** | **4** | **5** | **7** |
| **Épaisseur 1 (mm)** : | **61,1** | **61,1** | **60,3** |
| **Épaisseur 2 (mm)** : | 60,7 | 60,7 | 60,2 |
| **Épaisseur 3 (mm)** : | 60,8 | 60,8 | 60,3 |
| **Diamètre 1 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 2 (mm)** : | | | |
| **Diamètre 3 (mm)** : | | | |
| **Température (°C)** : | 60,000 | 60,000 | 60,000 |
| **Charge maximale (N)** : | 11540,500 | 12465,300 | 9796,100 |
| **Déformation initiale (mm)** : | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| **Déformation finale (mm)** : | 6,900 | 7,000 | 6,900 |
| **Facteur de correction** : | 1,076 | 1,077 | 1,094 |
| **Charge maximale corrigée (N)** : | 12418,822 | 13419,063 | 10720,830 |
| **Fluage (mm)** : | -6,9 | -7,0 | -6,9 |

*Table 1 Résultats PCG de l'enrobé de référence*

| Ng | H1 | H2 | V1 | V2 | V moy | Ecart type | C% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 148 | 148,2 | 22,30 | 22,40 | 22,35 | 0,07 | 77,65 |
| 2 | 142,2 | 142,5 | 19,13 | 19,30 | 19,21 | 0,12 | 80,79 |
| 3 | 139,5 | 139,6 | 17,56 | 17,62 | 17,59 | 0,04 | 82,41 |
| 4 | 137,6 | 137,6 | 16,42 | 16,42 | 16,42 | 0,00 | 83,58 |
| 5 | 136,1 | 136,1 | 15,50 | 15,50 | 15,50 | 0,00 | 84,50 |
| 6 | 134,9 | 134,9 | 14,75 | 14,75 | 14,75 | 0,00 | 85,25 |
| 7 | 134 | 133,8 | 14,18 | 14,05 | 14,11 | 0,09 | 85,89 |
| 8 | 133,1 | 133 | 13,60 | 13,53 | 13,57 | 0,05 | 86,43 |
| 9 | 132,4 | 132,2 | 13,14 | 13,01 | 13,08 | 0,09 | 86,92 |
| 10 | 131,8 | 131,5 | 12,75 | 12,55 | 12,65 | 0,14 | 87,35 |
| 11 | 131,2 | 131 | 12,35 | 12,21 | 12,28 | 0,09 | 87,72 |
| 12 | 130,7 | 130,4 | 12,01 | 11,81 | 11,91 | 0,14 | 88,09 |
| 13 | 130,3 | 130 | 11,74 | 11,54 | 11,64 | 0,14 | 88,36 |
| 14 | 129,9 | 129,5 | 11,47 | 11,20 | 11,33 | 0,19 | 88,67 |
| 15 | 129,5 | 129,1 | 11,20 | 10,92 | 11,06 | 0,19 | 88,94 |
| 16 | 129,1 | 128,7 | 10,92 | 10,64 | 10,78 | 0,20 | 89,22 |
| 17 | 128,8 | 128,4 | 10,71 | 10,44 | 10,58 | 0,20 | 89,42 |
| 18 | 128,5 | 128,1 | 10,51 | 10,23 | 10,37 | 0,20 | 89,63 |
| 19 | 128,2 | 127,8 | 10,30 | 10,02 | 10,16 | 0,20 | 89,84 |
| 20 | 127,9 | 127,5 | 10,09 | 9,80 | 9,94 | 0,20 | 90,06 |
| 21 | 127,7 | 127,2 | 9,95 | 9,59 | 9,77 | 0,25 | 90,23 |
| 22 | 127,4 | 127 | 9,73 | 9,45 | 9,59 | 0,20 | 90,41 |
| 23 | 127,2 | 126,7 | 9,59 | 9,23 | 9,41 | 0,25 | 90,59 |
| 24 | 127 | 126,5 | 9,45 | 9,09 | 9,27 | 0,25 | 90,73 |
| 25 | 126,8 | 126,3 | 9,31 | 8,95 | 9,13 | 0,25 | 90,87 |
| 26 | 126,6 | 126,1 | 9,16 | 8,80 | 8,98 | 0,25 | 91,02 |
| 27 | 126,4 | 125,9 | 9,02 | 8,66 | 8,84 | 0,26 | 91,16 |
| 28 | 126,2 | 125,7 | 8,87 | 8,51 | 8,69 | 0,26 | 91,31 |
| 29 | 126 | 125,5 | 8,73 | 8,37 | 8,55 | 0,26 | 91,45 |
| 30 | 125,9 | 125,4 | 8,66 | 8,29 | 8,48 | 0,26 | 91,52 |
| 31 | 125,7 | 125,2 | 8,51 | 8,15 | 8,33 | 0,26 | 91,67 |
| 32 | 125,5 | 125 | 8,37 | 8,00 | 8,18 | 0,26 | 91,82 |
| 33 | 125,4 | 124,9 | 8,29 | 7,93 | 8,11 | 0,26 | 91,89 |
| 34 | 125,3 | 124,7 | 8,22 | 7,78 | 8,00 | 0,31 | 92,00 |
| 35 | 125,1 | 124,6 | 8,07 | 7,70 | 7,89 | 0,26 | 92,11 |
| 36 | 125 | 124,5 | 8,00 | 7,63 | 7,82 | 0,26 | 92,18 |
| 37 | 124,9 | 124,3 | 7,93 | 7,48 | 7,70 | 0,31 | 92,30 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 | 124,7 | 124,2 | 7,78 | 7,41 | 7,59 | 0,26 | 92,41 |
| 39 | 124,6 | 124,1 | 7,70 | 7,33 | 7,52 | 0,26 | 92,48 |
| 40 | 124,5 | 124 | 7,63 | 7,26 | 7,44 | 0,26 | 92,56 |
| 41 | 124,4 | 123,8 | 7,56 | 7,11 | 7,33 | 0,32 | 92,67 |
| 42 | 124,3 | 123,7 | 7,48 | 7,03 | 7,26 | 0,32 | 92,74 |
| 43 | 124,2 | 123,6 | 7,41 | 6,96 | 7,18 | 0,32 | 92,82 |
| 44 | 124,1 | 123,5 | 7,33 | 6,88 | 7,11 | 0,32 | 92,89 |
| 45 | 124 | 123,4 | 7,26 | 6,81 | 7,03 | 0,32 | 92,97 |
| 46 | 123,9 | 123,3 | 7,18 | 6,73 | 6,96 | 0,32 | 93,04 |
| 47 | 123,8 | 123,2 | 7,11 | 6,66 | 6,88 | 0,32 | 93,12 |
| 48 | 123,7 | 123,1 | 7,03 | 6,58 | 6,81 | 0,32 | 93,19 |
| 49 | 123,6 | 123 | 6,96 | 6,50 | 6,73 | 0,32 | 93,27 |
| 50 | 123,5 | 123 | 6,88 | 6,50 | 6,69 | 0,27 | 93,31 |
| 51 | 123,4 | 122,9 | 6,81 | 6,43 | 6,62 | 0,27 | 93,38 |
| 52 | 123,3 | 122,8 | 6,73 | 6,35 | 6,54 | 0,27 | 93,46 |
| 53 | 123,3 | 122,7 | 6,73 | 6,28 | 6,50 | 0,32 | 93,50 |
| 54 | 123,2 | 122,6 | 6,66 | 6,20 | 6,43 | 0,32 | 93,57 |
| 55 | 123,1 | 122,6 | 6,58 | 6,20 | 6,39 | 0,27 | 93,61 |
| 56 | 123 | 122,5 | 6,50 | 6,12 | 6,31 | 0,27 | 93,69 |
| 57 | 123 | 122,4 | 6,50 | 6,05 | 6,27 | 0,32 | 93,73 |
| 58 | 122,9 | 122,3 | 6,43 | 5,97 | 6,20 | 0,32 | 93,80 |
| 59 | 122,8 | 122,3 | 6,35 | 5,97 | 6,16 | 0,27 | 93,84 |
| 60 | 122,7 | 122,2 | 6,28 | 5,89 | 6,08 | 0,27 | 93,92 |
| 61 | 122,7 | 122,1 | 6,28 | 5,81 | 6,05 | 0,33 | 93,95 |
| 62 | 122,6 | 122,1 | 6,20 | 5,81 | 6,01 | 0,27 | 93,99 |
| 63 | 122,5 | 122 | 6,12 | 5,74 | 5,93 | 0,27 | 94,07 |
| 64 | 122,5 | 121,9 | 6,12 | 5,66 | 5,89 | 0,33 | 94,11 |
| 65 | 122,4 | 121,9 | 6,05 | 5,66 | 5,85 | 0,27 | 94,15 |
| 66 | 122,4 | 121,8 | 6,05 | 5,58 | 5,81 | 0,33 | 94,19 |
| 67 | 122,3 | 121,8 | 5,97 | 5,58 | 5,78 | 0,27 | 94,22 |
| 68 | 122,2 | 121,7 | 5,89 | 5,51 | 5,70 | 0,27 | 94,30 |
| 69 | 122,2 | 121,7 | 5,89 | 5,51 | 5,70 | 0,27 | 94,30 |
| 70 | 122,1 | 121,6 | 5,81 | 5,43 | 5,62 | 0,27 | 94,38 |
| 71 | 122,1 | 121,6 | 5,81 | 5,43 | 5,62 | 0,27 | 94,38 |
| 72 | 122 | 121,5 | 5,74 | 5,35 | 5,54 | 0,27 | 94,46 |
| 73 | 122 | 121,5 | 5,74 | 5,35 | 5,54 | 0,27 | 94,46 |
| 74 | 121,9 | 121,4 | 5,66 | 5,27 | 5,47 | 0,27 | 94,53 |
| 75 | 121,9 | 121,4 | 5,66 | 5,27 | 5,47 | 0,27 | 94,53 |
| 76 | 121,8 | 121,3 | 5,58 | 5,19 | 5,39 | 0,28 | 94,61 |
| 77 | 121,8 | 121,3 | 5,58 | 5,19 | 5,39 | 0,28 | 94,61 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 78 | 121,7 | 121,2 | 5,51 | 5,12 | 5,31 | 0,28 | 94,69 |
| 79 | 121,7 | 121,2 | 5,51 | 5,12 | 5,31 | 0,28 | 94,69 |
| 80 | 121,6 | 121,1 | 5,43 | 5,04 | 5,23 | 0,28 | 94,77 |
| 81 | 121,6 | 121,1 | 5,43 | 5,04 | 5,23 | 0,28 | 94,77 |
| 82 | 121,5 | 121 | 5,35 | 4,96 | 5,15 | 0,28 | 94,85 |
| 83 | 121,5 | 121 | 5,35 | 4,96 | 5,15 | 0,28 | 94,85 |
| 84 | 121,5 | 121 | 5,35 | 4,96 | 5,15 | 0,28 | 94,85 |
| 85 | 121,4 | 120,9 | 5,27 | 4,88 | 5,08 | 0,28 | 94,92 |
| 86 | 121,4 | 120,9 | 5,27 | 4,88 | 5,08 | 0,28 | 94,92 |
| 87 | 121,3 | 120,8 | 5,19 | 4,80 | 5,00 | 0,28 | 95,00 |
| 88 | 121,3 | 120,8 | 5,19 | 4,80 | 5,00 | 0,28 | 95,00 |
| 89 | 121,2 | 120,8 | 5,12 | 4,80 | 4,96 | 0,22 | 95,04 |
| 90 | 121,2 | 120,7 | 5,12 | 4,72 | 4,92 | 0,28 | 95,08 |
| 91 | 121,2 | 120,7 | 5,12 | 4,72 | 4,92 | 0,28 | 95,08 |
| 92 | 121,1 | 120,7 | 5,04 | 4,72 | 4,88 | 0,22 | 95,12 |
| 93 | 121,1 | 120,6 | 5,04 | 4,64 | 4,84 | 0,28 | 95,16 |
| 94 | 121,1 | 120,6 | 5,04 | 4,64 | 4,84 | 0,28 | 95,16 |
| 95 | 121 | 120,5 | 4,96 | 4,56 | 4,76 | 0,28 | 95,24 |
| 96 | 121 | 120,5 | 4,96 | 4,56 | 4,76 | 0,28 | 95,24 |
| 97 | 121 | 120,5 | 4,96 | 4,56 | 4,76 | 0,28 | 95,24 |
| 98 | 120,9 | 120,4 | 4,88 | 4,49 | 4,68 | 0,28 | 95,32 |
| 99 | 120,9 | 120,4 | 4,88 | 4,49 | 4,68 | 0,28 | 95,32 |
| 100 | 120,8 | 120,4 | 4,80 | 4,49 | 4,64 | 0,22 | 95,36 |
| 101 | 120,8 | 120,4 | 4,80 | 4,49 | 4,64 | 0,22 | 95,36 |
| 102 | 120,8 | 120,3 | 4,80 | 4,41 | 4,60 | 0,28 | 95,40 |
| 103 | 120,8 | 120,3 | 4,80 | 4,41 | 4,60 | 0,28 | 95,40 |
| 104 | 120,7 | 120,3 | 4,72 | 4,41 | 4,56 | 0,22 | 95,44 |
| 105 | 120,7 | 120,2 | 4,72 | 4,33 | 4,52 | 0,28 | 95,48 |
| 106 | 120,7 | 120,2 | 4,72 | 4,33 | 4,52 | 0,28 | 95,48 |
| 107 | 120,6 | 120,2 | 4,64 | 4,33 | 4,48 | 0,22 | 95,52 |
| 108 | 120,6 | 120,1 | 4,64 | 4,25 | 4,44 | 0,28 | 95,56 |
| 109 | 120,6 | 120,1 | 4,64 | 4,25 | 4,44 | 0,28 | 95,56 |
| 110 | 120,5 | 120,1 | 4,56 | 4,25 | 4,41 | 0,22 | 95,59 |
| 111 | 120,5 | 120,1 | 4,56 | 4,25 | 4,41 | 0,22 | 95,59 |
| 112 | 120,5 | 120 | 4,56 | 4,17 | 4,37 | 0,28 | 95,63 |
| 113 | 120,5 | 120 | 4,56 | 4,17 | 4,37 | 0,28 | 95,63 |
| 114 | 120,4 | 120 | 4,49 | 4,17 | 4,33 | 0,23 | 95,67 |
| 115 | 120,4 | 120 | 4,49 | 4,17 | 4,33 | 0,23 | 95,67 |
| 116 | 120,4 | 119,9 | 4,49 | 4,09 | 4,29 | 0,28 | 95,71 |
| 117 | 120,3 | 119,9 | 4,41 | 4,09 | 4,25 | 0,23 | 95,75 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 118 | 120,3 | 119,9 | 4,41 | 4,09 | 4,25 | 0,23 | 95,75 |
| 119 | 120,3 | 119,9 | 4,41 | 4,09 | 4,25 | 0,23 | 95,75 |
| 120 | 120,3 | 119,8 | 4,41 | 4,01 | 4,21 | 0,28 | 95,79 |
| 121 | 120,2 | 119,8 | 4,33 | 4,01 | 4,17 | 0,23 | 95,83 |
| 122 | 120,2 | 119,8 | 4,33 | 4,01 | 4,17 | 0,23 | 95,83 |
| 123 | 120,2 | 119,8 | 4,33 | 4,01 | 4,17 | 0,23 | 95,83 |
| 124 | 120,2 | 119,7 | 4,33 | 3,93 | 4,13 | 0,28 | 95,87 |
| 125 | 120,1 | 119,7 | 4,25 | 3,93 | 4,09 | 0,23 | 95,91 |
| 126 | 120,1 | 119,7 | 4,25 | 3,93 | 4,09 | 0,23 | 95,91 |
| 127 | 120,1 | 119,7 | 4,25 | 3,93 | 4,09 | 0,23 | 95,91 |
| 128 | 120,1 | 119,7 | 4,25 | 3,93 | 4,09 | 0,23 | 95,91 |
| 129 | 120 | 119,6 | 4,17 | 3,85 | 4,01 | 0,23 | 95,99 |
| 130 | 120 | 119,6 | 4,17 | 3,85 | 4,01 | 0,23 | 95,99 |
| 131 | 120 | 119,6 | 4,17 | 3,85 | 4,01 | 0,23 | 95,99 |
| 132 | 120 | 119,6 | 4,17 | 3,85 | 4,01 | 0,23 | 95,99 |
| 133 | 119,9 | 119,5 | 4,09 | 3,77 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 134 | 119,9 | 119,5 | 4,09 | 3,77 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 135 | 119,9 | 119,5 | 4,09 | 3,77 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 136 | 119,9 | 119,5 | 4,09 | 3,77 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 137 | 119,9 | 119,5 | 4,09 | 3,77 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 138 | 119,8 | 119,4 | 4,01 | 3,69 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 139 | 119,8 | 119,4 | 4,01 | 3,69 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 140 | 119,8 | 119,4 | 4,01 | 3,69 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 141 | 119,8 | 119,4 | 4,01 | 3,69 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 142 | 119,8 | 119,4 | 4,01 | 3,69 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 143 | 119,7 | 119,4 | 3,93 | 3,69 | 3,81 | 0,17 | 96,19 |
| 144 | 119,7 | 119,3 | 3,93 | 3,60 | 3,77 | 0,23 | 96,23 |
| 145 | 119,7 | 119,3 | 3,93 | 3,60 | 3,77 | 0,23 | 96,23 |
| 146 | 119,7 | 119,3 | 3,93 | 3,60 | 3,77 | 0,23 | 96,23 |
| 147 | 119,7 | 119,3 | 3,93 | 3,60 | 3,77 | 0,23 | 96,23 |
| 148 | 119,6 | 119,3 | 3,85 | 3,60 | 3,73 | 0,17 | 96,27 |
| 149 | 119,6 | 119,2 | 3,85 | 3,52 | 3,68 | 0,23 | 96,32 |
| 150 | 119,6 | 119,2 | 3,85 | 3,52 | 3,68 | 0,23 | 96,32 |
| 151 | 119,6 | 119,2 | 3,85 | 3,52 | 3,68 | 0,23 | 96,32 |
| 152 | 119,6 | 119,2 | 3,85 | 3,52 | 3,68 | 0,23 | 96,32 |
| 153 | 119,5 | 119,2 | 3,77 | 3,52 | 3,64 | 0,17 | 96,36 |
| 154 | 119,5 | 119,2 | 3,77 | 3,52 | 3,64 | 0,17 | 96,36 |
| 155 | 119,5 | 119,1 | 3,77 | 3,44 | 3,60 | 0,23 | 96,40 |
| 156 | 119,5 | 119,1 | 3,77 | 3,44 | 3,60 | 0,23 | 96,40 |
| 157 | 119,5 | 119,1 | 3,77 | 3,44 | 3,60 | 0,23 | 96,40 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 158 | 119,5 | 119,1 | 3,77 | 3,44 | 3,60 | 0,23 | 96,40 |
| 159 | 119,4 | 119,1 | 3,69 | 3,44 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 160 | 119,4 | 119,1 | 3,69 | 3,44 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 161 | 119,4 | 119 | 3,69 | 3,36 | 3,52 | 0,23 | 96,48 |
| 162 | 119,4 | 119 | 3,69 | 3,36 | 3,52 | 0,23 | 96,48 |
| 163 | 119,4 | 119 | 3,69 | 3,36 | 3,52 | 0,23 | 96,48 |
| 164 | 119,4 | 119 | 3,69 | 3,36 | 3,52 | 0,23 | 96,48 |
| 165 | 119,3 | 119 | 3,60 | 3,36 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 166 | 119,3 | 119 | 3,60 | 3,36 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 167 | 119,3 | 119 | 3,60 | 3,36 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 168 | 119,3 | 118,9 | 3,60 | 3,28 | 3,44 | 0,23 | 96,56 |
| 169 | 119,3 | 118,9 | 3,60 | 3,28 | 3,44 | 0,23 | 96,56 |
| 170 | 119,3 | 118,9 | 3,60 | 3,28 | 3,44 | 0,23 | 96,56 |
| 171 | 119,2 | 118,9 | 3,52 | 3,28 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 172 | 119,2 | 118,9 | 3,52 | 3,28 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 173 | 119,2 | 118,9 | 3,52 | 3,28 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 174 | 119,2 | 118,9 | 3,52 | 3,28 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 175 | 119,2 | 118,8 | 3,52 | 3,20 | 3,36 | 0,23 | 96,64 |
| 176 | 119,2 | 118,8 | 3,52 | 3,20 | 3,36 | 0,23 | 96,64 |
| 177 | 119,2 | 118,8 | 3,52 | 3,20 | 3,36 | 0,23 | 96,64 |
| 178 | 119,1 | 118,8 | 3,44 | 3,20 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 179 | 119,1 | 118,8 | 3,44 | 3,20 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 180 | 119,1 | 118,8 | 3,44 | 3,20 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 181 | 119,1 | 118,8 | 3,44 | 3,20 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 182 | 119,1 | 118,8 | 3,44 | 3,20 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 183 | 119,1 | 118,7 | 3,44 | 3,12 | 3,28 | 0,23 | 96,72 |
| 184 | 119,1 | 118,7 | 3,44 | 3,12 | 3,28 | 0,23 | 96,72 |
| 185 | 119 | 118,7 | 3,36 | 3,12 | 3,24 | 0,17 | 96,76 |
| 186 | 119 | 118,7 | 3,36 | 3,12 | 3,24 | 0,17 | 96,76 |
| 187 | 119 | 118,7 | 3,36 | 3,12 | 3,24 | 0,17 | 96,76 |
| 188 | 119 | 118,7 | 3,36 | 3,12 | 3,24 | 0,17 | 96,76 |
| 189 | 119 | 118,7 | 3,36 | 3,12 | 3,24 | 0,17 | 96,76 |
| 190 | 119 | 118,7 | 3,36 | 3,12 | 3,24 | 0,17 | 96,76 |
| 191 | 119 | 118,6 | 3,36 | 3,04 | 3,20 | 0,23 | 96,80 |
| 192 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |
| 193 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |
| 194 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |
| 195 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |
| 196 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |
| 197 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 198 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |
| 199 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |
| 200 | 118,9 | 118,6 | 3,28 | 3,04 | 3,16 | 0,17 | 96,84 |
| 201 | 118,8 | 118,5 | 3,20 | 2,95 | 3,08 | 0,17 | 96,92 |

*Table 2 Résultats PCG de l'enrobé contenant 20% GBR*

| Ng | H1 | H2 | V1 | V2 | V Moy | Ecart type | C% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 147,60 | 147,80 | 22,09 | 22,19 | 22,14 | 0,07 | 77,86 |
| 2 | 141,70 | 142,30 | 18,84 | 19,18 | 19,01 | 0,24 | 80,99 |
| 3 | 138,90 | 139,40 | 17,21 | 17,50 | 17,36 | 0,21 | 82,64 |
| 4 | 136,90 | 137,50 | 16,00 | 16,36 | 16,18 | 0,26 | 83,82 |
| 5 | 135,50 | 136,00 | 15,13 | 15,44 | 15,29 | 0,22 | 84,71 |
| 6 | 134,30 | 134,80 | 14,37 | 14,69 | 14,53 | 0,22 | 85,47 |
| 7 | 133,40 | 133,80 | 13,79 | 14,05 | 13,92 | 0,18 | 86,08 |
| 8 | 132,60 | 133,00 | 13,27 | 13,53 | 13,40 | 0,18 | 86,60 |
| 9 | 131,90 | 132,30 | 12,81 | 13,08 | 12,94 | 0,19 | 87,06 |
| 10 | 131,20 | 131,70 | 12,35 | 12,68 | 12,51 | 0,24 | 87,49 |
| 11 | 130,70 | 131,10 | 12,01 | 12,28 | 12,15 | 0,19 | 87,85 |
| 12 | 130,20 | 130,60 | 11,67 | 11,94 | 11,81 | 0,19 | 88,19 |
| 13 | 129,70 | 130,10 | 11,33 | 11,61 | 11,47 | 0,19 | 88,53 |
| 14 | 129,30 | 129,70 | 11,06 | 11,33 | 11,20 | 0,19 | 88,80 |
| 15 | 128,90 | 129,30 | 10,78 | 11,06 | 10,92 | 0,20 | 89,08 |
| 16 | 128,60 | 129,00 | 10,58 | 10,85 | 10,71 | 0,20 | 89,29 |
| 17 | 128,30 | 128,60 | 10,37 | 10,58 | 10,47 | 0,15 | 89,53 |
| 18 | 128,00 | 128,30 | 10,16 | 10,37 | 10,26 | 0,15 | 89,74 |
| 19 | 127,70 | 128,00 | 9,95 | 10,16 | 10,05 | 0,15 | 89,95 |
| 20 | 127,40 | 127,80 | 9,73 | 10,02 | 9,87 | 0,20 | 90,13 |
| 21 | 127,20 | 127,50 | 9,59 | 9,80 | 9,70 | 0,15 | 90,30 |
| 22 | 126,90 | 127,30 | 9,38 | 9,66 | 9,52 | 0,20 | 90,48 |
| 23 | 126,70 | 127,00 | 9,23 | 9,45 | 9,34 | 0,15 | 90,66 |
| 24 | 126,50 | 126,80 | 9,09 | 9,31 | 9,20 | 0,15 | 90,80 |
| 25 | 126,30 | 126,60 | 8,95 | 9,16 | 9,05 | 0,15 | 90,95 |
| 26 | 126,10 | 126,40 | 8,80 | 9,02 | 8,91 | 0,15 | 91,09 |
| 27 | 125,90 | 126,20 | 8,66 | 8,87 | 8,77 | 0,15 | 91,23 |
| 28 | 125,70 | 126,10 | 8,51 | 8,80 | 8,66 | 0,21 | 91,34 |
| 29 | 125,60 | 125,90 | 8,44 | 8,66 | 8,55 | 0,15 | 91,45 |
| 30 | 125,40 | 125,70 | 8,29 | 8,51 | 8,40 | 0,15 | 91,60 |
| 31 | 125,30 | 125,60 | 8,22 | 8,44 | 8,33 | 0,16 | 91,67 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | 125,10 | 125,40 | 8,07 | 8,29 | 8,18 | 0,16 | 91,82 |
| 33 | 125,00 | 125,30 | 8,00 | 8,22 | 8,11 | 0,16 | 91,89 |
| 34 | 124,80 | 125,10 | 7,85 | 8,07 | 7,96 | 0,16 | 92,04 |
| 35 | 124,70 | 125,00 | 7,78 | 8,00 | 7,89 | 0,16 | 92,11 |
| 36 | 124,60 | 124,90 | 7,70 | 7,93 | 7,82 | 0,16 | 92,18 |
| 37 | 124,50 | 124,70 | 7,63 | 7,78 | 7,70 | 0,10 | 92,30 |
| 38 | 124,30 | 124,60 | 7,48 | 7,70 | 7,59 | 0,16 | 92,41 |
| 39 | 124,20 | 124,50 | 7,41 | 7,63 | 7,52 | 0,16 | 92,48 |
| 40 | 124,10 | 124,40 | 7,33 | 7,56 | 7,44 | 0,16 | 92,56 |
| 41 | 124,00 | 124,30 | 7,26 | 7,48 | 7,37 | 0,16 | 92,63 |
| 42 | 123,90 | 124,10 | 7,18 | 7,33 | 7,26 | 0,11 | 92,74 |
| 43 | 123,80 | 124,00 | 7,11 | 7,26 | 7,18 | 0,11 | 92,82 |
| 44 | 123,70 | 123,90 | 7,03 | 7,18 | 7,11 | 0,11 | 92,89 |
| 45 | 123,60 | 123,80 | 6,96 | 7,11 | 7,03 | 0,11 | 92,97 |
| 46 | 123,50 | 123,70 | 6,88 | 7,03 | 6,96 | 0,11 | 93,04 |
| 47 | 123,40 | 123,70 | 6,81 | 7,03 | 6,92 | 0,16 | 93,08 |
| 48 | 123,30 | 123,60 | 6,73 | 6,96 | 6,84 | 0,16 | 93,16 |
| 49 | 123,20 | 123,50 | 6,66 | 6,88 | 6,77 | 0,16 | 93,23 |
| 50 | 123,10 | 123,40 | 6,58 | 6,81 | 6,69 | 0,16 | 93,31 |
| 51 | 123,10 | 123,30 | 6,58 | 6,73 | 6,66 | 0,11 | 93,34 |
| 52 | 123,00 | 123,20 | 6,50 | 6,66 | 6,58 | 0,11 | 93,42 |
| 53 | 122,90 | 123,10 | 6,43 | 6,58 | 6,50 | 0,11 | 93,50 |
| 54 | 122,80 | 123,10 | 6,35 | 6,58 | 6,47 | 0,16 | 93,53 |
| 55 | 122,80 | 123,00 | 6,35 | 6,50 | 6,43 | 0,11 | 93,57 |
| 56 | 122,70 | 122,90 | 6,28 | 6,43 | 6,35 | 0,11 | 93,65 |
| 57 | 122,60 | 122,80 | 6,20 | 6,35 | 6,28 | 0,11 | 93,72 |
| 58 | 122,50 | 122,80 | 6,12 | 6,35 | 6,24 | 0,16 | 93,76 |
| 59 | 122,50 | 122,70 | 6,12 | 6,28 | 6,20 | 0,11 | 93,80 |
| 60 | 122,40 | 122,60 | 6,05 | 6,20 | 6,12 | 0,11 | 93,88 |
| 61 | 122,40 | 122,60 | 6,05 | 6,20 | 6,12 | 0,11 | 93,88 |
| 62 | 122,30 | 122,50 | 5,97 | 6,12 | 6,05 | 0,11 | 93,95 |
| 63 | 122,20 | 122,40 | 5,89 | 6,05 | 5,97 | 0,11 | 94,03 |
| 64 | 122,20 | 122,40 | 5,89 | 6,05 | 5,97 | 0,11 | 94,03 |
| 65 | 122,10 | 122,30 | 5,81 | 5,97 | 5,89 | 0,11 | 94,11 |
| 66 | 122,10 | 122,30 | 5,81 | 5,97 | 5,89 | 0,11 | 94,11 |
| 67 | 122,00 | 122,20 | 5,74 | 5,89 | 5,81 | 0,11 | 94,19 |
| 68 | 121,90 | 122,10 | 5,66 | 5,81 | 5,74 | 0,11 | 94,26 |
| 69 | 121,90 | 122,10 | 5,66 | 5,81 | 5,74 | 0,11 | 94,26 |
| 70 | 121,80 | 122,00 | 5,58 | 5,74 | 5,66 | 0,11 | 94,34 |
| 71 | 121,80 | 122,00 | 5,58 | 5,74 | 5,66 | 0,11 | 94,34 |
| 72 | 121,70 | 121,90 | 5,51 | 5,66 | 5,58 | 0,11 | 94,42 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 73 | 121,70 | 121,90 | 5,51 | 5,66 | 5,58 | 0,11 | 94,42 |
| 74 | 121,60 | 121,80 | 5,43 | 5,58 | 5,51 | 0,11 | 94,49 |
| 75 | 121,60 | 121,80 | 5,43 | 5,58 | 5,51 | 0,11 | 94,49 |
| 76 | 121,50 | 121,70 | 5,35 | 5,51 | 5,43 | 0,11 | 94,57 |
| 77 | 121,50 | 121,70 | 5,35 | 5,51 | 5,43 | 0,11 | 94,57 |
| 78 | 121,50 | 121,60 | 5,35 | 5,43 | 5,39 | 0,06 | 94,61 |
| 79 | 121,40 | 121,60 | 5,27 | 5,43 | 5,35 | 0,11 | 94,65 |
| 80 | 121,40 | 121,50 | 5,27 | 5,35 | 5,31 | 0,06 | 94,69 |
| 81 | 121,30 | 121,50 | 5,19 | 5,35 | 5,27 | 0,11 | 94,73 |
| 82 | 121,30 | 121,40 | 5,19 | 5,27 | 5,23 | 0,06 | 94,77 |
| 83 | 121,20 | 121,40 | 5,12 | 5,27 | 5,19 | 0,11 | 94,81 |
| 84 | 121,20 | 121,40 | 5,12 | 5,27 | 5,19 | 0,11 | 94,81 |
| 85 | 121,20 | 121,30 | 5,12 | 5,19 | 5,15 | 0,06 | 94,85 |
| 86 | 121,10 | 121,30 | 5,04 | 5,19 | 5,12 | 0,11 | 94,88 |
| 87 | 121,10 | 121,20 | 5,04 | 5,12 | 5,08 | 0,06 | 94,92 |
| 88 | 121,00 | 121,20 | 4,96 | 5,12 | 5,04 | 0,11 | 94,96 |
| 89 | 121,00 | 121,20 | 4,96 | 5,12 | 5,04 | 0,11 | 94,96 |
| 90 | 121,00 | 121,10 | 4,96 | 5,04 | 5,00 | 0,06 | 95,00 |
| 91 | 120,90 | 121,10 | 4,88 | 5,04 | 4,96 | 0,11 | 95,04 |
| 92 | 120,90 | 121,00 | 4,88 | 4,96 | 4,92 | 0,06 | 95,08 |
| 93 | 120,90 | 121,00 | 4,88 | 4,96 | 4,92 | 0,06 | 95,08 |
| 94 | 120,80 | 121,00 | 4,80 | 4,96 | 4,88 | 0,11 | 95,12 |
| 95 | 120,80 | 120,90 | 4,80 | 4,88 | 4,84 | 0,06 | 95,16 |
| 96 | 120,80 | 120,90 | 4,80 | 4,88 | 4,84 | 0,06 | 95,16 |
| 97 | 120,70 | 120,90 | 4,72 | 4,88 | 4,80 | 0,11 | 95,20 |
| 98 | 120,70 | 120,80 | 4,72 | 4,80 | 4,76 | 0,06 | 95,24 |
| 99 | 120,70 | 120,80 | 4,72 | 4,80 | 4,76 | 0,06 | 95,24 |
| 100 | 120,60 | 120,80 | 4,64 | 4,80 | 4,72 | 0,11 | 95,28 |
| 101 | 120,60 | 120,70 | 4,64 | 4,72 | 4,68 | 0,06 | 95,32 |
| 102 | 120,60 | 120,70 | 4,64 | 4,72 | 4,68 | 0,06 | 95,32 |
| 103 | 120,50 | 120,70 | 4,56 | 4,72 | 4,64 | 0,11 | 95,36 |
| 104 | 120,50 | 120,60 | 4,56 | 4,64 | 4,60 | 0,06 | 95,40 |
| 105 | 120,50 | 120,60 | 4,56 | 4,64 | 4,60 | 0,06 | 95,40 |
| 106 | 120,50 | 120,60 | 4,56 | 4,64 | 4,60 | 0,06 | 95,40 |
| 107 | 120,40 | 120,60 | 4,49 | 4,64 | 4,56 | 0,11 | 95,44 |
| 108 | 120,40 | 120,50 | 4,49 | 4,56 | 4,52 | 0,06 | 95,48 |
| 109 | 120,40 | 120,50 | 4,49 | 4,56 | 4,52 | 0,06 | 95,48 |
| 110 | 120,30 | 120,50 | 4,41 | 4,56 | 4,48 | 0,11 | 95,52 |
| 111 | 120,30 | 120,40 | 4,41 | 4,49 | 4,45 | 0,06 | 95,55 |
| 112 | 120,30 | 120,40 | 4,41 | 4,49 | 4,45 | 0,06 | 95,55 |
| 113 | 120,30 | 120,40 | 4,41 | 4,49 | 4,45 | 0,06 | 95,55 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 114 | 120,20 | 120,40 | 4,33 | 4,49 | 4,41 | 0,11 | 95,59 |
| 115 | 120,20 | 120,30 | 4,33 | 4,41 | 4,37 | 0,06 | 95,63 |
| 116 | 120,20 | 120,30 | 4,33 | 4,41 | 4,37 | 0,06 | 95,63 |
| 117 | 120,20 | 120,30 | 4,33 | 4,41 | 4,37 | 0,06 | 95,63 |
| 118 | 120,10 | 120,30 | 4,25 | 4,41 | 4,33 | 0,11 | 95,67 |
| 119 | 120,10 | 120,20 | 4,25 | 4,33 | 4,29 | 0,06 | 95,71 |
| 120 | 120,10 | 120,20 | 4,25 | 4,33 | 4,29 | 0,06 | 95,71 |
| 121 | 120,10 | 120,20 | 4,25 | 4,33 | 4,29 | 0,06 | 95,71 |
| 122 | 120,00 | 120,20 | 4,17 | 4,33 | 4,25 | 0,11 | 95,75 |
| 123 | 120,00 | 120,10 | 4,17 | 4,25 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 124 | 120,00 | 120,10 | 4,17 | 4,25 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 125 | 120,00 | 120,10 | 4,17 | 4,25 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 126 | 120,00 | 120,10 | 4,17 | 4,25 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 127 | 119,90 | 120,00 | 4,09 | 4,17 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 128 | 119,90 | 120,00 | 4,09 | 4,17 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 129 | 119,90 | 120,00 | 4,09 | 4,17 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 130 | 119,90 | 120,00 | 4,09 | 4,17 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 131 | 119,80 | 119,90 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 132 | 119,80 | 119,90 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 133 | 119,80 | 119,90 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 134 | 119,80 | 119,90 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 135 | 119,80 | 119,90 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 136 | 119,70 | 119,80 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 137 | 119,70 | 119,80 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 138 | 119,70 | 119,80 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 139 | 119,70 | 119,80 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 140 | 119,70 | 119,80 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 141 | 119,70 | 119,70 | 3,93 | 3,93 | 3,93 | 0,00 | 96,07 |
| 142 | 119,60 | 119,70 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 143 | 119,60 | 119,70 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 144 | 119,60 | 119,70 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 145 | 119,60 | 119,70 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 146 | 119,60 | 119,60 | 3,85 | 3,85 | 3,85 | 0,00 | 96,15 |
| 147 | 119,50 | 119,60 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 148 | 119,50 | 119,60 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 149 | 119,50 | 119,60 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 150 | 119,50 | 119,60 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 151 | 119,50 | 119,60 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 152 | 119,50 | 119,50 | 3,77 | 3,77 | 3,77 | 0,00 | 96,23 |
| 153 | 119,40 | 119,50 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |
| 154 | 119,40 | 119,50 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 155 | 119,40 | 119,50 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |
| 156 | 119,40 | 119,50 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |
| 157 | 119,40 | 119,50 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |
| 158 | 119,40 | 119,40 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 0,00 | 96,31 |
| 159 | 119,30 | 119,40 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 160 | 119,30 | 119,40 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 161 | 119,30 | 119,40 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 162 | 119,30 | 119,40 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 163 | 119,30 | 119,40 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 164 | 119,30 | 119,30 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 0,00 | 96,40 |
| 165 | 119,30 | 119,30 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 0,00 | 96,40 |
| 166 | 119,20 | 119,30 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 167 | 119,20 | 119,30 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 168 | 119,20 | 119,30 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 169 | 119,20 | 119,30 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 170 | 119,20 | 119,30 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 171 | 119,20 | 119,20 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 0,00 | 96,48 |
| 172 | 119,20 | 119,20 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 0,00 | 96,48 |
| 173 | 119,10 | 119,20 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 174 | 119,10 | 119,20 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 175 | 119,10 | 119,20 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 176 | 119,10 | 119,20 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 177 | 119,10 | 119,20 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 178 | 119,10 | 119,10 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 179 | 119,10 | 119,10 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 180 | 119,10 | 119,10 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 181 | 119,00 | 119,10 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 182 | 119,00 | 119,10 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 183 | 119,00 | 119,10 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 184 | 119,00 | 119,10 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 185 | 119,00 | 119,00 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 186 | 119,00 | 119,00 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 187 | 119,00 | 119,00 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 188 | 119,00 | 119,00 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 189 | 118,90 | 119,00 | 3,28 | 3,36 | 3,32 | 0,06 | 96,68 |
| 190 | 118,90 | 119,00 | 3,28 | 3,36 | 3,32 | 0,06 | 96,68 |
| 191 | 118,90 | 119,00 | 3,28 | 3,36 | 3,32 | 0,06 | 96,68 |
| 192 | 118,90 | 119,00 | 3,28 | 3,36 | 3,32 | 0,06 | 96,68 |
| 193 | 118,90 | 118,90 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 194 | 118,90 | 118,90 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 195 | 118,90 | 118,90 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 196 | 118,90 | 118,90 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 197 | 118,90 | 118,90 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 198 | 118,80 | 118,90 | 3,20 | 3,28 | 3,24 | 0,06 | 96,76 |
| 199 | 118,80 | 118,90 | 3,20 | 3,28 | 3,24 | 0,06 | 96,76 |
| 200 | 118,80 | 118,90 | 3,20 | 3,28 | 3,24 | 0,06 | 96,76 |
| 201 | 118,80 | 118,90 | 3,20 | 3,28 | 3,24 | 0,06 | 96,76 |

*Table 3 Résultats PCG de l'enrobé contenant 17% GBR + 3% BPC*

| Ng | H1 | H2 | V1 | V2 | V Moy | Écart type | C% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 145,1 | 144,8 | 20,74 | 20,58 | 20,66 | 0,12 | 79,34 |
| 2 | 139,6 | 139,3 | 17,62 | 17,44 | 17,53 | 0,13 | 82,47 |
| 3 | 137 | 136,6 | 16,06 | 15,81 | 15,94 | 0,17 | 84,06 |
| 4 | 135,1 | 134,8 | 14,88 | 14,69 | 14,78 | 0,13 | 85,22 |
| 5 | 133,7 | 133,4 | 13,99 | 13,79 | 13,89 | 0,14 | 86,11 |
| 6 | 132,6 | 132,3 | 13,27 | 13,08 | 13,17 | 0,14 | 86,83 |
| 7 | 131,7 | 131,4 | 12,68 | 12,48 | 12,58 | 0,14 | 87,42 |
| 8 | 130,9 | 130,6 | 12,15 | 11,94 | 12,05 | 0,14 | 87,95 |
| 9 | 130,2 | 130 | 11,67 | 11,54 | 11,61 | 0,10 | 88,39 |
| 10 | 129,6 | 129,4 | 11,27 | 11,13 | 11,20 | 0,10 | 88,80 |
| 11 | 129,1 | 128,8 | 10,92 | 10,71 | 10,82 | 0,15 | 89,18 |
| 12 | 128,6 | 128,4 | 10,58 | 10,44 | 10,51 | 0,10 | 89,49 |
| 13 | 128,2 | 127,9 | 10,30 | 10,09 | 10,19 | 0,15 | 89,81 |
| 14 | 127,8 | 127,5 | 10,02 | 9,80 | 9,91 | 0,15 | 90,09 |
| 15 | 127,4 | 127,2 | 9,73 | 9,59 | 9,66 | 0,10 | 90,34 |
| 16 | 127,1 | 126,8 | 9,52 | 9,31 | 9,41 | 0,15 | 90,59 |
| 17 | 126,8 | 126,5 | 9,31 | 9,09 | 9,20 | 0,15 | 90,80 |
| 18 | 126,5 | 126,2 | 9,09 | 8,87 | 8,98 | 0,15 | 91,02 |
| 19 | 126,2 | 125,9 | 8,87 | 8,66 | 8,77 | 0,15 | 91,23 |
| 20 | 125,9 | 125,7 | 8,66 | 8,51 | 8,58 | 0,10 | 91,42 |
| 21 | 125,7 | 125,5 | 8,51 | 8,37 | 8,44 | 0,10 | 91,56 |
| 22 | 125,5 | 125,2 | 8,37 | 8,15 | 8,26 | 0,16 | 91,74 |
| 23 | 125,3 | 125 | 8,22 | 8,00 | 8,11 | 0,16 | 91,89 |
| 24 | 125 | 124,8 | 8,00 | 7,85 | 7,93 | 0,10 | 92,07 |
| 25 | 124,9 | 124,6 | 7,93 | 7,70 | 7,82 | 0,16 | 92,18 |
| 26 | 124,7 | 124,4 | 7,78 | 7,56 | 7,67 | 0,16 | 92,33 |
| 27 | 124,5 | 124,3 | 7,63 | 7,48 | 7,56 | 0,11 | 92,44 |
| 28 | 124,3 | 124,1 | 7,48 | 7,33 | 7,41 | 0,11 | 92,59 |
| 29 | 124,1 | 123,9 | 7,33 | 7,18 | 7,26 | 0,11 | 92,74 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 124 | 123,8 | 7,26 | 7,11 | 7,18 | 0,11 | 92,82 |
| 31 | 123,8 | 123,6 | 7,11 | 6,96 | 7,03 | 0,11 | 92,97 |
| 32 | 123,7 | 123,5 | 7,03 | 6,88 | 6,96 | 0,11 | 93,04 |
| 33 | 123,6 | 123,3 | 6,96 | 6,73 | 6,84 | 0,16 | 93,16 |
| 34 | 123,4 | 123,2 | 6,81 | 6,66 | 6,73 | 0,11 | 93,27 |
| 35 | 123,3 | 123,1 | 6,73 | 6,58 | 6,66 | 0,11 | 93,34 |
| 36 | 123,2 | 123 | 6,66 | 6,50 | 6,58 | 0,11 | 93,42 |
| 37 | 123,1 | 122,9 | 6,58 | 6,43 | 6,50 | 0,11 | 93,50 |
| 38 | 122,9 | 122,7 | 6,43 | 6,28 | 6,35 | 0,11 | 93,65 |
| 39 | 122,8 | 122,6 | 6,35 | 6,20 | 6,28 | 0,11 | 93,72 |
| 40 | 122,7 | 122,5 | 6,28 | 6,12 | 6,20 | 0,11 | 93,80 |
| 41 | 122,6 | 122,4 | 6,20 | 6,05 | 6,12 | 0,11 | 93,88 |
| 42 | 122,5 | 122,3 | 6,12 | 5,97 | 6,05 | 0,11 | 93,95 |
| 43 | 122,4 | 122,3 | 6,05 | 5,97 | 6,01 | 0,05 | 93,99 |
| 44 | 122,3 | 122,2 | 5,97 | 5,89 | 5,93 | 0,05 | 94,07 |
| 45 | 122,2 | 122,1 | 5,89 | 5,81 | 5,85 | 0,05 | 94,15 |
| 46 | 122,1 | 122 | 5,81 | 5,74 | 5,78 | 0,05 | 94,22 |
| 47 | 122,1 | 121,9 | 5,81 | 5,66 | 5,74 | 0,11 | 94,26 |
| 48 | 122 | 121,8 | 5,74 | 5,58 | 5,66 | 0,11 | 94,34 |
| 49 | 121,9 | 121,8 | 5,66 | 5,58 | 5,62 | 0,05 | 94,38 |
| 50 | 121,8 | 121,7 | 5,58 | 5,51 | 5,54 | 0,05 | 94,46 |
| 51 | 121,7 | 121,6 | 5,51 | 5,43 | 5,47 | 0,05 | 94,53 |
| 52 | 121,7 | 121,5 | 5,51 | 5,35 | 5,43 | 0,11 | 94,57 |
| 53 | 121,6 | 121,5 | 5,43 | 5,35 | 5,39 | 0,06 | 94,61 |
| 54 | 121,5 | 121,4 | 5,35 | 5,27 | 5,31 | 0,06 | 94,69 |
| 55 | 121,5 | 121,3 | 5,35 | 5,19 | 5,27 | 0,11 | 94,73 |
| 56 | 121,4 | 121,3 | 5,27 | 5,19 | 5,23 | 0,06 | 94,77 |
| 57 | 121,3 | 121,2 | 5,19 | 5,12 | 5,15 | 0,06 | 94,85 |
| 58 | 121,3 | 121,2 | 5,19 | 5,12 | 5,15 | 0,06 | 94,85 |
| 59 | 121,2 | 121,1 | 5,12 | 5,04 | 5,08 | 0,06 | 94,92 |
| 60 | 121,1 | 121 | 5,04 | 4,96 | 5,00 | 0,06 | 95,00 |
| 61 | 121,1 | 121 | 5,04 | 4,96 | 5,00 | 0,06 | 95,00 |
| 62 | 121 | 120,9 | 4,96 | 4,88 | 4,92 | 0,06 | 95,08 |
| 63 | 121 | 120,9 | 4,96 | 4,88 | 4,92 | 0,06 | 95,08 |
| 64 | 120,9 | 120,8 | 4,88 | 4,80 | 4,84 | 0,06 | 95,16 |
| 65 | 120,9 | 120,8 | 4,88 | 4,80 | 4,84 | 0,06 | 95,16 |
| 66 | 120,8 | 120,7 | 4,80 | 4,72 | 4,76 | 0,06 | 95,24 |
| 67 | 120,8 | 120,7 | 4,80 | 4,72 | 4,76 | 0,06 | 95,24 |
| 68 | 120,7 | 120,6 | 4,72 | 4,64 | 4,68 | 0,06 | 95,32 |
| 69 | 120,7 | 120,6 | 4,72 | 4,64 | 4,68 | 0,06 | 95,32 |
| 70 | 120,6 | 120,6 | 4,64 | 4,64 | 4,64 | 0,00 | 95,36 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 71 | 120,6 | 120,5 | 4,64 | 4,56 | 4,60 | 0,06 | 95,40 |
| 72 | 120,5 | 120,5 | 4,56 | 4,56 | 4,56 | 0,00 | 95,44 |
| 73 | 120,5 | 120,4 | 4,56 | 4,49 | 4,52 | 0,06 | 95,48 |
| 74 | 120,4 | 120,4 | 4,49 | 4,49 | 4,49 | 0,00 | 95,51 |
| 75 | 120,4 | 120,4 | 4,49 | 4,49 | 4,49 | 0,00 | 95,51 |
| 76 | 120,4 | 120,3 | 4,49 | 4,41 | 4,45 | 0,06 | 95,55 |
| 77 | 120,3 | 120,3 | 4,41 | 4,41 | 4,41 | 0,00 | 95,59 |
| 78 | 120,3 | 120,2 | 4,41 | 4,33 | 4,37 | 0,06 | 95,63 |
| 79 | 120,2 | 120,2 | 4,33 | 4,33 | 4,33 | 0,00 | 95,67 |
| 80 | 120,2 | 120,2 | 4,33 | 4,33 | 4,33 | 0,00 | 95,67 |
| 81 | 120,2 | 120,1 | 4,33 | 4,25 | 4,29 | 0,06 | 95,71 |
| 82 | 120,1 | 120,1 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 0,00 | 95,75 |
| 83 | 120,1 | 120,1 | 4,25 | 4,25 | 4,25 | 0,00 | 95,75 |
| 84 | 120,1 | 120 | 4,25 | 4,17 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 85 | 120 | 120 | 4,17 | 4,17 | 4,17 | 0,00 | 95,83 |
| 86 | 120 | 120 | 4,17 | 4,17 | 4,17 | 0,00 | 95,83 |
| 87 | 120 | 119,9 | 4,17 | 4,09 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 88 | 119,9 | 119,9 | 4,09 | 4,09 | 4,09 | 0,00 | 95,91 |
| 89 | 119,9 | 119,9 | 4,09 | 4,09 | 4,09 | 0,00 | 95,91 |
| 90 | 119,9 | 119,9 | 4,09 | 4,09 | 4,09 | 0,00 | 95,91 |
| 91 | 119,8 | 119,8 | 4,01 | 4,01 | 4,01 | 0,00 | 95,99 |
| 92 | 119,8 | 119,8 | 4,01 | 4,01 | 4,01 | 0,00 | 95,99 |
| 93 | 119,8 | 119,8 | 4,01 | 4,01 | 4,01 | 0,00 | 95,99 |
| 94 | 119,8 | 119,8 | 4,01 | 4,01 | 4,01 | 0,00 | 95,99 |
| 95 | 119,7 | 119,7 | 3,93 | 3,93 | 3,93 | 0,00 | 96,07 |
| 96 | 119,7 | 119,7 | 3,93 | 3,93 | 3,93 | 0,00 | 96,07 |
| 97 | 119,7 | 119,7 | 3,93 | 3,93 | 3,93 | 0,00 | 96,07 |
| 98 | 119,6 | 119,7 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 99 | 119,6 | 119,6 | 3,85 | 3,85 | 3,85 | 0,00 | 96,15 |
| 100 | 119,6 | 119,6 | 3,85 | 3,85 | 3,85 | 0,00 | 96,15 |
| 101 | 119,6 | 119,6 | 3,85 | 3,85 | 3,85 | 0,00 | 96,15 |
| 102 | 119,5 | 119,6 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 103 | 119,5 | 119,5 | 3,77 | 3,77 | 3,77 | 0,00 | 96,23 |
| 104 | 119,5 | 119,5 | 3,77 | 3,77 | 3,77 | 0,00 | 96,23 |
| 105 | 119,5 | 119,5 | 3,77 | 3,77 | 3,77 | 0,00 | 96,23 |
| 106 | 119,5 | 119,5 | 3,77 | 3,77 | 3,77 | 0,00 | 96,23 |
| 107 | 119,4 | 119,4 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 0,00 | 96,31 |
| 108 | 119,4 | 119,4 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 0,00 | 96,31 |
| 109 | 119,4 | 119,4 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 0,00 | 96,31 |
| 110 | 119,4 | 119,4 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 0,00 | 96,31 |
| 111 | 119,3 | 119,4 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 112 | 119,3 | 119,3 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 0,00 | 96,40 |
| 113 | 119,3 | 119,3 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 0,00 | 96,40 |
| 114 | 119,3 | 119,3 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 0,00 | 96,40 |
| 115 | 119,3 | 119,3 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 0,00 | 96,40 |
| 116 | 119,2 | 119,3 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 117 | 119,2 | 119,3 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 118 | 119,2 | 119,2 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 0,00 | 96,48 |
| 119 | 119,2 | 119,2 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 0,00 | 96,48 |
| 120 | 119,2 | 119,2 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 0,00 | 96,48 |
| 121 | 119,1 | 119,2 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 122 | 119,1 | 119,2 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 123 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 124 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 125 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 126 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 127 | 119 | 119,1 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 128 | 119 | 119,1 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 129 | 119 | 119,1 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 130 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 131 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 132 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 133 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 134 | 118,9 | 119 | 3,28 | 3,36 | 3,32 | 0,06 | 96,68 |
| 135 | 118,9 | 119 | 3,28 | 3,36 | 3,32 | 0,06 | 96,68 |
| 136 | 118,9 | 119 | 3,28 | 3,36 | 3,32 | 0,06 | 96,68 |
| 137 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 138 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 139 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 140 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 141 | 118,8 | 118,9 | 3,20 | 3,28 | 3,24 | 0,06 | 96,76 |
| 142 | 118,8 | 118,9 | 3,20 | 3,28 | 3,24 | 0,06 | 96,76 |
| 143 | 118,8 | 118,9 | 3,20 | 3,28 | 3,24 | 0,06 | 96,76 |
| 144 | 118,8 | 118,9 | 3,20 | 3,28 | 3,24 | 0,06 | 96,76 |
| 145 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 146 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 147 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 148 | 118,7 | 118,8 | 3,12 | 3,20 | 3,16 | 0,06 | 96,84 |
| 149 | 118,7 | 118,8 | 3,12 | 3,20 | 3,16 | 0,06 | 96,84 |
| 150 | 118,7 | 118,8 | 3,12 | 3,20 | 3,16 | 0,06 | 96,84 |
| 151 | 118,7 | 118,8 | 3,12 | 3,20 | 3,16 | 0,06 | 96,84 |
| 152 | 118,7 | 118,8 | 3,12 | 3,20 | 3,16 | 0,06 | 96,84 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 153 | 118,7 | 118,8 | 3,12 | 3,20 | 3,16 | 0,06 | 96,84 |
| 154 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |
| 155 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |
| 156 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |
| 157 | 118,6 | 118,7 | 3,04 | 3,12 | 3,08 | 0,06 | 96,92 |
| 158 | 118,6 | 118,7 | 3,04 | 3,12 | 3,08 | 0,06 | 96,92 |
| 159 | 118,6 | 118,7 | 3,04 | 3,12 | 3,08 | 0,06 | 96,92 |
| 160 | 118,6 | 118,7 | 3,04 | 3,12 | 3,08 | 0,06 | 96,92 |
| 161 | 118,6 | 118,7 | 3,04 | 3,12 | 3,08 | 0,06 | 96,92 |
| 162 | 118,6 | 118,7 | 3,04 | 3,12 | 3,08 | 0,06 | 96,92 |
| 163 | 118,6 | 118,7 | 3,04 | 3,12 | 3,08 | 0,06 | 96,92 |
| 164 | 118,6 | 118,7 | 3,04 | 3,12 | 3,08 | 0,06 | 96,92 |
| 165 | 118,6 | 118,6 | 3,04 | 3,04 | 3,04 | 0,00 | 96,96 |
| 166 | 118,6 | 118,6 | 3,04 | 3,04 | 3,04 | 0,00 | 96,96 |
| 167 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 168 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 169 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 170 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 171 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 172 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 173 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 174 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 175 | 118,5 | 118,6 | 2,95 | 3,04 | 2,99 | 0,06 | 97,01 |
| 176 | 118,5 | 118,5 | 2,95 | 2,95 | 2,95 | 0,00 | 97,05 |
| 177 | 118,5 | 118,5 | 2,95 | 2,95 | 2,95 | 0,00 | 97,05 |
| 178 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 179 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 180 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 181 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 182 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 183 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 184 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 185 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 186 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 187 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 188 | 118,4 | 118,5 | 2,87 | 2,95 | 2,91 | 0,06 | 97,09 |
| 189 | 118,4 | 118,4 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 0,00 | 97,13 |
| 190 | 118,4 | 118,4 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 0,00 | 97,13 |
| 191 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 192 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 193 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 194 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 195 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 196 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 197 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 198 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 199 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 200 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |
| 201 | 118,3 | 118,4 | 2,79 | 2,87 | 2,83 | 0,06 | 97,17 |

*Table 4 Résultats PCG de l'enrobé contenant 14% GBR + 3% BPC*

| Ng | H1 | H2 | V1 | V2 | V Moy | Écart type | C% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 147,9 | 148,1 | 22,24 | 22,35 | 22,30 | 0,07 | 77,70 |
| 2 | 142,1 | 142,5 | 19,07 | 19,30 | 19,18 | 0,16 | 80,82 |
| 3 | 139,4 | 139,7 | 17,50 | 17,68 | 17,59 | 0,13 | 82,41 |
| 4 | 137,4 | 137,7 | 16,30 | 16,49 | 16,39 | 0,13 | 83,61 |
| 5 | 135,9 | 136,2 | 15,38 | 15,57 | 15,47 | 0,13 | 84,53 |
| 6 | 134,8 | 135 | 14,69 | 14,81 | 14,75 | 0,09 | 85,25 |
| 7 | 133,8 | 134,1 | 14,05 | 14,24 | 14,15 | 0,14 | 85,85 |
| 8 | 132,9 | 133,2 | 13,47 | 13,66 | 13,57 | 0,14 | 86,43 |
| 9 | 132,2 | 132,5 | 13,01 | 13,21 | 13,11 | 0,14 | 86,89 |
| 10 | 131,5 | 131,8 | 12,55 | 12,75 | 12,65 | 0,14 | 87,35 |
| 11 | 131 | 131,3 | 12,21 | 12,41 | 12,31 | 0,14 | 87,69 |
| 12 | 130,4 | 130,7 | 11,81 | 12,01 | 11,91 | 0,14 | 88,09 |
| 13 | 130 | 130,3 | 11,54 | 11,74 | 11,64 | 0,14 | 88,36 |
| 14 | 129,5 | 129,8 | 11,20 | 11,40 | 11,30 | 0,15 | 88,70 |
| 15 | 129,1 | 129,4 | 10,92 | 11,13 | 11,03 | 0,15 | 88,97 |
| 16 | 128,8 | 129 | 10,71 | 10,85 | 10,78 | 0,10 | 89,22 |
| 17 | 128,4 | 128,7 | 10,44 | 10,64 | 10,54 | 0,15 | 89,46 |
| 18 | 128,1 | 128,4 | 10,23 | 10,44 | 10,33 | 0,15 | 89,67 |
| 19 | 127,8 | 128,1 | 10,02 | 10,23 | 10,12 | 0,15 | 89,88 |
| 20 | 127,5 | 127,8 | 9,80 | 10,02 | 9,91 | 0,15 | 90,09 |
| 21 | 127,3 | 127,5 | 9,66 | 9,80 | 9,73 | 0,10 | 90,27 |
| 22 | 127 | 127,3 | 9,45 | 9,66 | 9,56 | 0,15 | 90,44 |
| 23 | 126,8 | 127 | 9,31 | 9,45 | 9,38 | 0,10 | 90,62 |
| 24 | 126,5 | 126,8 | 9,09 | 9,31 | 9,20 | 0,15 | 90,80 |
| 25 | 126,3 | 126,6 | 8,95 | 9,16 | 9,05 | 0,15 | 90,95 |
| 26 | 126,1 | 126,4 | 8,80 | 9,02 | 8,91 | 0,15 | 91,09 |
| 27 | 125,9 | 126,2 | 8,66 | 8,87 | 8,77 | 0,15 | 91,23 |
| 28 | 125,7 | 126 | 8,51 | 8,73 | 8,62 | 0,15 | 91,38 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | 125,6 | 125,8 | 8,44 | 8,59 | 8,51 | 0,10 | 91,49 |
| 30 | 125,4 | 125,6 | 8,29 | 8,44 | 8,37 | 0,10 | 91,63 |
| 31 | 125,2 | 125,5 | 8,15 | 8,37 | 8,26 | 0,16 | 91,74 |
| 32 | 125,1 | 125,3 | 8,07 | 8,22 | 8,15 | 0,10 | 91,85 |
| 33 | 124,9 | 125,1 | 7,93 | 8,07 | 8,00 | 0,10 | 92,00 |
| 34 | 124,8 | 125 | 7,85 | 8,00 | 7,93 | 0,10 | 92,07 |
| 35 | 124,6 | 124,9 | 7,70 | 7,93 | 7,82 | 0,16 | 92,18 |
| 36 | 124,5 | 124,7 | 7,63 | 7,78 | 7,70 | 0,10 | 92,30 |
| 37 | 124,4 | 124,6 | 7,56 | 7,70 | 7,63 | 0,10 | 92,37 |
| 38 | 124,2 | 124,4 | 7,41 | 7,56 | 7,48 | 0,11 | 92,52 |
| 39 | 124,1 | 124,3 | 7,33 | 7,48 | 7,41 | 0,11 | 92,59 |
| 40 | 124 | 124,2 | 7,26 | 7,41 | 7,33 | 0,11 | 92,67 |
| 41 | 123,9 | 124,1 | 7,18 | 7,33 | 7,26 | 0,11 | 92,74 |
| 42 | 123,8 | 124 | 7,11 | 7,26 | 7,18 | 0,11 | 92,82 |
| 43 | 123,6 | 123,9 | 6,96 | 7,18 | 7,07 | 0,16 | 92,93 |
| 44 | 123,5 | 123,8 | 6,88 | 7,11 | 7,00 | 0,16 | 93,00 |
| 45 | 123,4 | 123,7 | 6,81 | 7,03 | 6,92 | 0,16 | 93,08 |
| 46 | 123,3 | 123,6 | 6,73 | 6,96 | 6,84 | 0,16 | 93,16 |
| 47 | 123,2 | 123,5 | 6,66 | 6,88 | 6,77 | 0,16 | 93,23 |
| 48 | 123,2 | 123,4 | 6,66 | 6,81 | 6,73 | 0,11 | 93,27 |
| 49 | 123,1 | 123,3 | 6,58 | 6,73 | 6,66 | 0,11 | 93,34 |
| 50 | 123 | 123,2 | 6,50 | 6,66 | 6,58 | 0,11 | 93,42 |
| 51 | 122,9 | 123,1 | 6,43 | 6,58 | 6,50 | 0,11 | 93,50 |
| 52 | 122,8 | 123 | 6,35 | 6,50 | 6,43 | 0,11 | 93,57 |
| 53 | 122,7 | 122,9 | 6,28 | 6,43 | 6,35 | 0,11 | 93,65 |
| 54 | 122,6 | 122,8 | 6,20 | 6,35 | 6,28 | 0,11 | 93,72 |
| 55 | 122,6 | 122,8 | 6,20 | 6,35 | 6,28 | 0,11 | 93,72 |
| 56 | 122,5 | 122,7 | 6,12 | 6,28 | 6,20 | 0,11 | 93,80 |
| 57 | 122,4 | 122,6 | 6,05 | 6,20 | 6,12 | 0,11 | 93,88 |
| 58 | 122,3 | 122,5 | 5,97 | 6,12 | 6,05 | 0,11 | 93,95 |
| 59 | 122,3 | 122,5 | 5,97 | 6,12 | 6,05 | 0,11 | 93,95 |
| 60 | 122,2 | 122,4 | 5,89 | 6,05 | 5,97 | 0,11 | 94,03 |
| 61 | 122,1 | 122,3 | 5,81 | 5,97 | 5,89 | 0,11 | 94,11 |
| 62 | 122,1 | 122,3 | 5,81 | 5,97 | 5,89 | 0,11 | 94,11 |
| 63 | 122 | 122,2 | 5,74 | 5,89 | 5,81 | 0,11 | 94,19 |
| 64 | 121,9 | 122,1 | 5,66 | 5,81 | 5,74 | 0,11 | 94,26 |
| 65 | 121,9 | 122,1 | 5,66 | 5,81 | 5,74 | 0,11 | 94,26 |
| 66 | 121,8 | 122 | 5,58 | 5,74 | 5,66 | 0,11 | 94,34 |
| 67 | 121,8 | 121,9 | 5,58 | 5,66 | 5,62 | 0,05 | 94,38 |
| 68 | 121,7 | 121,9 | 5,51 | 5,66 | 5,58 | 0,11 | 94,42 |
| 69 | 121,6 | 121,8 | 5,43 | 5,58 | 5,51 | 0,11 | 94,49 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70 | 121,6 | 121,8 | 5,43 | 5,58 | 5,51 | 0,11 | 94,49 |
| 71 | 121,5 | 121,7 | 5,35 | 5,51 | 5,43 | 0,11 | 94,57 |
| 72 | 121,5 | 121,7 | 5,35 | 5,51 | 5,43 | 0,11 | 94,57 |
| 73 | 121,4 | 121,6 | 5,27 | 5,43 | 5,35 | 0,11 | 94,65 |
| 74 | 121,4 | 121,6 | 5,27 | 5,43 | 5,35 | 0,11 | 94,65 |
| 75 | 121,3 | 121,5 | 5,19 | 5,35 | 5,27 | 0,11 | 94,73 |
| 76 | 121,3 | 121,5 | 5,19 | 5,35 | 5,27 | 0,11 | 94,73 |
| 77 | 121,2 | 121,4 | 5,12 | 5,27 | 5,19 | 0,11 | 94,81 |
| 78 | 121,2 | 121,4 | 5,12 | 5,27 | 5,19 | 0,11 | 94,81 |
| 79 | 121,1 | 121,3 | 5,04 | 5,19 | 5,12 | 0,11 | 94,88 |
| 80 | 121,1 | 121,3 | 5,04 | 5,19 | 5,12 | 0,11 | 94,88 |
| 81 | 121,1 | 121,2 | 5,04 | 5,12 | 5,08 | 0,06 | 94,92 |
| 82 | 121 | 121,2 | 4,96 | 5,12 | 5,04 | 0,11 | 94,96 |
| 83 | 121 | 121,1 | 4,96 | 5,04 | 5,00 | 0,06 | 95,00 |
| 84 | 120,9 | 121,1 | 4,88 | 5,04 | 4,96 | 0,11 | 95,04 |
| 85 | 120,9 | 121,1 | 4,88 | 5,04 | 4,96 | 0,11 | 95,04 |
| 86 | 120,8 | 121 | 4,80 | 4,96 | 4,88 | 0,11 | 95,12 |
| 87 | 120,8 | 121 | 4,80 | 4,96 | 4,88 | 0,11 | 95,12 |
| 88 | 120,8 | 120,9 | 4,80 | 4,88 | 4,84 | 0,06 | 95,16 |
| 89 | 120,7 | 120,9 | 4,72 | 4,88 | 4,80 | 0,11 | 95,20 |
| 90 | 120,7 | 120,9 | 4,72 | 4,88 | 4,80 | 0,11 | 95,20 |
| 91 | 120,7 | 120,8 | 4,72 | 4,80 | 4,76 | 0,06 | 95,24 |
| 92 | 120,6 | 120,8 | 4,64 | 4,80 | 4,72 | 0,11 | 95,28 |
| 93 | 120,6 | 120,7 | 4,64 | 4,72 | 4,68 | 0,06 | 95,32 |
| 94 | 120,6 | 120,7 | 4,64 | 4,72 | 4,68 | 0,06 | 95,32 |
| 95 | 120,5 | 120,7 | 4,56 | 4,72 | 4,64 | 0,11 | 95,36 |
| 96 | 120,5 | 120,6 | 4,56 | 4,64 | 4,60 | 0,06 | 95,40 |
| 97 | 120,5 | 120,6 | 4,56 | 4,64 | 4,60 | 0,06 | 95,40 |
| 98 | 120,4 | 120,6 | 4,49 | 4,64 | 4,56 | 0,11 | 95,44 |
| 99 | 120,4 | 120,5 | 4,49 | 4,56 | 4,52 | 0,06 | 95,48 |
| 100 | 120,4 | 120,5 | 4,49 | 4,56 | 4,52 | 0,06 | 95,48 |
| 101 | 120,3 | 120,5 | 4,41 | 4,56 | 4,48 | 0,11 | 95,52 |
| 102 | 120,3 | 120,4 | 4,41 | 4,49 | 4,45 | 0,06 | 95,55 |
| 103 | 120,3 | 120,4 | 4,41 | 4,49 | 4,45 | 0,06 | 95,55 |
| 104 | 120,2 | 120,4 | 4,33 | 4,49 | 4,41 | 0,11 | 95,59 |
| 105 | 120,2 | 120,3 | 4,33 | 4,41 | 4,37 | 0,06 | 95,63 |
| 106 | 120,2 | 120,3 | 4,33 | 4,41 | 4,37 | 0,06 | 95,63 |
| 107 | 120,2 | 120,3 | 4,33 | 4,41 | 4,37 | 0,06 | 95,63 |
| 108 | 120,1 | 120,3 | 4,25 | 4,41 | 4,33 | 0,11 | 95,67 |
| 109 | 120,1 | 120,2 | 4,25 | 4,33 | 4,29 | 0,06 | 95,71 |
| 110 | 120,1 | 120,2 | 4,25 | 4,33 | 4,29 | 0,06 | 95,71 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 111 | 120,1 | 120,2 | 4,25 | 4,33 | 4,29 | 0,06 | 95,71 |
| 112 | 120 | 120,1 | 4,17 | 4,25 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 113 | 120 | 120,1 | 4,17 | 4,25 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 114 | 120 | 120,1 | 4,17 | 4,25 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 115 | 120 | 120,1 | 4,17 | 4,25 | 4,21 | 0,06 | 95,79 |
| 116 | 119,9 | 120 | 4,09 | 4,17 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 117 | 119,9 | 120 | 4,09 | 4,17 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 118 | 119,9 | 120 | 4,09 | 4,17 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 119 | 119,9 | 120 | 4,09 | 4,17 | 4,13 | 0,06 | 95,87 |
| 120 | 119,8 | 119,9 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 121 | 119,8 | 119,9 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 122 | 119,8 | 119,9 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 123 | 119,8 | 119,9 | 4,01 | 4,09 | 4,05 | 0,06 | 95,95 |
| 124 | 119,8 | 119,8 | 4,01 | 4,01 | 4,01 | 0,00 | 95,99 |
| 125 | 119,7 | 119,8 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 126 | 119,7 | 119,8 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 127 | 119,7 | 119,8 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 128 | 119,7 | 119,8 | 3,93 | 4,01 | 3,97 | 0,06 | 96,03 |
| 129 | 119,6 | 119,7 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 130 | 119,6 | 119,7 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 131 | 119,6 | 119,7 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 132 | 119,6 | 119,7 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 133 | 119,6 | 119,7 | 3,85 | 3,93 | 3,89 | 0,06 | 96,11 |
| 134 | 119,5 | 119,6 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 135 | 119,5 | 119,6 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 136 | 119,5 | 119,6 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 137 | 119,5 | 119,6 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 138 | 119,5 | 119,6 | 3,77 | 3,85 | 3,81 | 0,06 | 96,19 |
| 139 | 119,5 | 119,5 | 3,77 | 3,77 | 3,77 | 0,00 | 96,23 |
| 140 | 119,4 | 119,5 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |
| 141 | 119,4 | 119,5 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |
| 142 | 119,4 | 119,5 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |
| 143 | 119,4 | 119,5 | 3,69 | 3,77 | 3,73 | 0,06 | 96,27 |
| 144 | 119,4 | 119,4 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 0,00 | 96,31 |
| 145 | 119,4 | 119,4 | 3,69 | 3,69 | 3,69 | 0,00 | 96,31 |
| 146 | 119,3 | 119,4 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 147 | 119,3 | 119,4 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 148 | 119,3 | 119,4 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 149 | 119,3 | 119,4 | 3,60 | 3,69 | 3,64 | 0,06 | 96,36 |
| 150 | 119,3 | 119,3 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 0,00 | 96,40 |
| 151 | 119,3 | 119,3 | 3,60 | 3,60 | 3,60 | 0,00 | 96,40 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 152 | 119,2 | 119,3 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 153 | 119,2 | 119,3 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 154 | 119,2 | 119,3 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 155 | 119,2 | 119,3 | 3,52 | 3,60 | 3,56 | 0,06 | 96,44 |
| 156 | 119,2 | 119,2 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 0,00 | 96,48 |
| 157 | 119,2 | 119,2 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 0,00 | 96,48 |
| 158 | 119,2 | 119,2 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 0,00 | 96,48 |
| 159 | 119,1 | 119,2 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 160 | 119,1 | 119,2 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 161 | 119,1 | 119,2 | 3,44 | 3,52 | 3,48 | 0,06 | 96,52 |
| 162 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 163 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 164 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 165 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 166 | 119,1 | 119,1 | 3,44 | 3,44 | 3,44 | 0,00 | 96,56 |
| 167 | 119 | 119,1 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 168 | 119 | 119,1 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 169 | 119 | 119,1 | 3,36 | 3,44 | 3,40 | 0,06 | 96,60 |
| 170 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 171 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 172 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 173 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 174 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 175 | 119 | 119 | 3,36 | 3,36 | 3,36 | 0,00 | 96,64 |
| 176 | 118,9 | 119 | 3,28 | 3,36 | 3,32 | 0,06 | 96,68 |
| 177 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 178 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 179 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 180 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 181 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 182 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 183 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 184 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 185 | 118,9 | 118,9 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 0,00 | 96,72 |
| 186 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 187 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 188 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 189 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 190 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 191 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 192 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 193 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 194 | 118,8 | 118,8 | 3,20 | 3,20 | 3,20 | 0,00 | 96,80 |
| 195 | 118,8 | 118,7 | 3,20 | 3,12 | 3,16 | 0,06 | 96,84 |
| 196 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |
| 197 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |
| 198 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |
| 199 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |
| 200 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |
| 201 | 118,7 | 118,7 | 3,12 | 3,12 | 3,12 | 0,00 | 96,88 |

*Table 5 Table 4 Résultats PCG de l'enrobé contenant 3% BPC*

| Ng | H1 | H2 | V1 | V2 | V Moy | Écart type | C% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 147,3 | 148,7 | 21,93 | 22,66 | 22,30 | 0,52 | 77,70 |
| 2 | 141,6 | 143 | 18,79 | 19,58 | 19,18 | 0,56 | 80,82 |
| 3 | 138,8 | 140,1 | 17,15 | 17,92 | 17,53 | 0,54 | 82,47 |
| 4 | 136,9 | 138,1 | 16,00 | 16,73 | 16,36 | 0,52 | 83,64 |
| 5 | 135,5 | 136,6 | 15,13 | 15,81 | 15,47 | 0,48 | 84,53 |
| 6 | 134,3 | 135,4 | 14,37 | 15,07 | 14,72 | 0,49 | 85,28 |
| 7 | 133,4 | 134,4 | 13,79 | 14,43 | 14,11 | 0,45 | 85,89 |
| 8 | 132,6 | 133,5 | 13,27 | 13,86 | 13,57 | 0,41 | 86,43 |
| 9 | 131,8 | 132,8 | 12,75 | 13,40 | 13,08 | 0,46 | 86,92 |
| 10 | 131,2 | 132,1 | 12,35 | 12,94 | 12,65 | 0,42 | 87,35 |
| 11 | 130,7 | 131,6 | 12,01 | 12,61 | 12,31 | 0,43 | 87,69 |
| 12 | 130,2 | 131 | 11,67 | 12,21 | 11,94 | 0,38 | 88,06 |
| 13 | 129,7 | 130,6 | 11,33 | 11,94 | 11,64 | 0,43 | 88,36 |
| 14 | 129,3 | 130,1 | 11,06 | 11,61 | 11,33 | 0,39 | 88,67 |
| 15 | 128,9 | 129,7 | 10,78 | 11,33 | 11,06 | 0,39 | 88,94 |
| 16 | 128,5 | 129,4 | 10,51 | 11,13 | 10,82 | 0,44 | 89,18 |
| 17 | 128,2 | 129 | 10,30 | 10,85 | 10,57 | 0,39 | 89,43 |
| 18 | 127,9 | 128,7 | 10,09 | 10,64 | 10,37 | 0,40 | 89,63 |
| 19 | 127,6 | 128,4 | 9,87 | 10,44 | 10,16 | 0,40 | 89,84 |
| 20 | 127,4 | 128,1 | 9,73 | 10,23 | 9,98 | 0,35 | 90,02 |
| 21 | 127,1 | 127,9 | 9,52 | 10,09 | 9,80 | 0,40 | 90,20 |
| 22 | 126,9 | 127,6 | 9,38 | 9,87 | 9,63 | 0,35 | 90,37 |
| 23 | 126,6 | 127,4 | 9,16 | 9,73 | 9,45 | 0,40 | 90,55 |
| 24 | 126,4 | 127,1 | 9,02 | 9,52 | 9,27 | 0,35 | 90,73 |
| 25 | 126,2 | 126,9 | 8,87 | 9,38 | 9,13 | 0,36 | 90,87 |
| 26 | 126 | 126,7 | 8,73 | 9,23 | 8,98 | 0,36 | 91,02 |
| 27 | 125,8 | 126,5 | 8,59 | 9,09 | 8,84 | 0,36 | 91,16 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 125,6 | 126,3 | 8,44 | 8,95 | 8,69 | 0,36 | 91,31 |
| 29 | 125,5 | 126,2 | 8,37 | 8,87 | 8,62 | 0,36 | 91,38 |
| 30 | 125,3 | 126 | 8,22 | 8,73 | 8,48 | 0,36 | 91,52 |
| 31 | 125,1 | 125,8 | 8,07 | 8,59 | 8,33 | 0,36 | 91,67 |
| 32 | 125 | 125,7 | 8,00 | 8,51 | 8,26 | 0,36 | 91,74 |
| 33 | 124,8 | 125,5 | 7,85 | 8,37 | 8,11 | 0,36 | 91,89 |
| 34 | 124,7 | 125,4 | 7,78 | 8,29 | 8,04 | 0,36 | 91,96 |
| 35 | 124,6 | 125,2 | 7,70 | 8,15 | 7,93 | 0,31 | 92,07 |
| 36 | 124,4 | 125,1 | 7,56 | 8,07 | 7,81 | 0,37 | 92,19 |
| 37 | 124,3 | 125 | 7,48 | 8,00 | 7,74 | 0,37 | 92,26 |
| 38 | 124,2 | 124,9 | 7,41 | 7,93 | 7,67 | 0,37 | 92,33 |
| 39 | 124,1 | 124,7 | 7,33 | 7,78 | 7,56 | 0,32 | 92,44 |
| 40 | 124 | 124,6 | 7,26 | 7,70 | 7,48 | 0,32 | 92,52 |
| 41 | 123,8 | 124,5 | 7,11 | 7,63 | 7,37 | 0,37 | 92,63 |
| 42 | 123,7 | 124,4 | 7,03 | 7,56 | 7,29 | 0,37 | 92,71 |
| 43 | 123,6 | 124,3 | 6,96 | 7,48 | 7,22 | 0,37 | 92,78 |
| 44 | 123,5 | 124,2 | 6,88 | 7,41 | 7,14 | 0,37 | 92,86 |
| 45 | 123,4 | 124,1 | 6,81 | 7,33 | 7,07 | 0,37 | 92,93 |
| 46 | 123,3 | 124 | 6,73 | 7,26 | 6,99 | 0,37 | 93,01 |
| 47 | 123,2 | 123,9 | 6,66 | 7,18 | 6,92 | 0,37 | 93,08 |
| 48 | 123,2 | 123,8 | 6,66 | 7,11 | 6,88 | 0,32 | 93,12 |
| 49 | 123,1 | 123,7 | 6,58 | 7,03 | 6,81 | 0,32 | 93,19 |
| 50 | 123 | 123,6 | 6,50 | 6,96 | 6,73 | 0,32 | 93,27 |
| 51 | 122,9 | 123,5 | 6,43 | 6,88 | 6,66 | 0,32 | 93,34 |
| 52 | 122,8 | 123,4 | 6,35 | 6,81 | 6,58 | 0,32 | 93,42 |
| 53 | 122,7 | 123,4 | 6,28 | 6,81 | 6,54 | 0,38 | 93,46 |
| 54 | 122,7 | 123,3 | 6,28 | 6,73 | 6,50 | 0,32 | 93,50 |
| 55 | 122,6 | 123,2 | 6,20 | 6,66 | 6,43 | 0,32 | 93,57 |
| 56 | 122,5 | 123,1 | 6,12 | 6,58 | 6,35 | 0,32 | 93,65 |
| 57 | 122,4 | 123,1 | 6,05 | 6,58 | 6,31 | 0,38 | 93,69 |
| 58 | 122,4 | 123 | 6,05 | 6,50 | 6,27 | 0,32 | 93,73 |
| 59 | 122,3 | 122,9 | 5,97 | 6,43 | 6,20 | 0,32 | 93,80 |
| 60 | 122,2 | 122,9 | 5,89 | 6,43 | 6,16 | 0,38 | 93,84 |
| 61 | 122,2 | 122,8 | 5,89 | 6,35 | 6,12 | 0,33 | 93,88 |
| 62 | 122,1 | 122,7 | 5,81 | 6,28 | 6,05 | 0,33 | 93,95 |
| 63 | 122 | 122,7 | 5,74 | 6,28 | 6,01 | 0,38 | 93,99 |
| 64 | 122 | 122,6 | 5,74 | 6,20 | 5,97 | 0,33 | 94,03 |
| 65 | 121,9 | 122,5 | 5,66 | 6,12 | 5,89 | 0,33 | 94,11 |
| 66 | 121,9 | 122,5 | 5,66 | 6,12 | 5,89 | 0,33 | 94,11 |
| 67 | 121,8 | 122,4 | 5,58 | 6,05 | 5,81 | 0,33 | 94,19 |
| 68 | 121,8 | 122,4 | 5,58 | 6,05 | 5,81 | 0,33 | 94,19 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 69 | 121,7 | 122,3 | 5,51 | 5,97 | 5,74 | 0,33 | 94,26 |
| 70 | 121,7 | 122,3 | 5,51 | 5,97 | 5,74 | 0,33 | 94,26 |
| 71 | 121,6 | 122,2 | 5,43 | 5,89 | 5,66 | 0,33 | 94,34 |
| 72 | 121,6 | 122,1 | 5,43 | 5,81 | 5,62 | 0,27 | 94,38 |
| 73 | 121,5 | 122,1 | 5,35 | 5,81 | 5,58 | 0,33 | 94,42 |
| 74 | 121,5 | 122 | 5,35 | 5,74 | 5,54 | 0,27 | 94,46 |
| 75 | 121,4 | 122 | 5,27 | 5,74 | 5,50 | 0,33 | 94,50 |
| 76 | 121,4 | 121,9 | 5,27 | 5,66 | 5,47 | 0,27 | 94,53 |
| 77 | 121,3 | 121,9 | 5,19 | 5,66 | 5,43 | 0,33 | 94,57 |
| 78 | 121,3 | 121,9 | 5,19 | 5,66 | 5,43 | 0,33 | 94,57 |
| 79 | 121,2 | 121,8 | 5,12 | 5,58 | 5,35 | 0,33 | 94,65 |
| 80 | 121,2 | 121,8 | 5,12 | 5,58 | 5,35 | 0,33 | 94,65 |
| 81 | 121,1 | 121,7 | 5,04 | 5,51 | 5,27 | 0,33 | 94,73 |
| 82 | 121,1 | 121,7 | 5,04 | 5,51 | 5,27 | 0,33 | 94,73 |
| 83 | 121,1 | 121,6 | 5,04 | 5,43 | 5,23 | 0,28 | 94,77 |
| 84 | 121 | 121,6 | 4,96 | 5,43 | 5,19 | 0,33 | 94,81 |
| 85 | 121 | 121,5 | 4,96 | 5,35 | 5,15 | 0,28 | 94,85 |
| 86 | 120,9 | 121,5 | 4,88 | 5,35 | 5,11 | 0,33 | 94,89 |
| 87 | 120,9 | 121,5 | 4,88 | 5,35 | 5,11 | 0,33 | 94,89 |
| 88 | 120,9 | 121,4 | 4,88 | 5,27 | 5,08 | 0,28 | 94,92 |
| 89 | 120,8 | 121,4 | 4,80 | 5,27 | 5,04 | 0,33 | 94,96 |
| 90 | 120,8 | 121,3 | 4,80 | 5,19 | 5,00 | 0,28 | 95,00 |
| 91 | 120,8 | 121,3 | 4,80 | 5,19 | 5,00 | 0,28 | 95,00 |
| 92 | 120,7 | 121,3 | 4,72 | 5,19 | 4,96 | 0,33 | 95,04 |
| 93 | 120,7 | 121,2 | 4,72 | 5,12 | 4,92 | 0,28 | 95,08 |
| 94 | 120,7 | 121,2 | 4,72 | 5,12 | 4,92 | 0,28 | 95,08 |
| 95 | 120,6 | 121,2 | 4,64 | 5,12 | 4,88 | 0,33 | 95,12 |
| 96 | 120,6 | 121,1 | 4,64 | 5,04 | 4,84 | 0,28 | 95,16 |
| 97 | 120,6 | 121,1 | 4,64 | 5,04 | 4,84 | 0,28 | 95,16 |
| 98 | 120,5 | 121,1 | 4,56 | 5,04 | 4,80 | 0,33 | 95,20 |
| 99 | 120,5 | 121 | 4,56 | 4,96 | 4,76 | 0,28 | 95,24 |
| 100 | 120,5 | 121 | 4,56 | 4,96 | 4,76 | 0,28 | 95,24 |
| 101 | 120,4 | 121 | 4,49 | 4,96 | 4,72 | 0,33 | 95,28 |
| 102 | 120,4 | 120,9 | 4,49 | 4,88 | 4,68 | 0,28 | 95,32 |
| 103 | 120,4 | 120,9 | 4,49 | 4,88 | 4,68 | 0,28 | 95,32 |
| 104 | 120,3 | 120,9 | 4,41 | 4,88 | 4,64 | 0,34 | 95,36 |
| 105 | 120,3 | 120,8 | 4,41 | 4,80 | 4,60 | 0,28 | 95,40 |
| 106 | 120,3 | 120,8 | 4,41 | 4,80 | 4,60 | 0,28 | 95,40 |
| 107 | 120,3 | 120,8 | 4,41 | 4,80 | 4,60 | 0,28 | 95,40 |
| 108 | 120,2 | 120,7 | 4,33 | 4,72 | 4,52 | 0,28 | 95,48 |
| 109 | 120,2 | 120,7 | 4,33 | 4,72 | 4,52 | 0,28 | 95,48 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 110 | 120,2 | 120,7 | 4,33 | 4,72 | 4,52 | 0,28 | 95,48 |
| 111 | 120,2 | 120,7 | 4,33 | 4,72 | 4,52 | 0,28 | 95,48 |
| 112 | 120,1 | 120,6 | 4,25 | 4,64 | 4,44 | 0,28 | 95,56 |
| 113 | 120,1 | 120,6 | 4,25 | 4,64 | 4,44 | 0,28 | 95,56 |
| 114 | 120,1 | 120,6 | 4,25 | 4,64 | 4,44 | 0,28 | 95,56 |
| 115 | 120,1 | 120,5 | 4,25 | 4,56 | 4,41 | 0,22 | 95,59 |
| 116 | 120 | 120,5 | 4,17 | 4,56 | 4,37 | 0,28 | 95,63 |
| 117 | 120 | 120,5 | 4,17 | 4,56 | 4,37 | 0,28 | 95,63 |
| 118 | 120 | 120,5 | 4,17 | 4,56 | 4,37 | 0,28 | 95,63 |
| 119 | 120 | 120,4 | 4,17 | 4,49 | 4,33 | 0,23 | 95,67 |
| 120 | 119,9 | 120,4 | 4,09 | 4,49 | 4,29 | 0,28 | 95,71 |
| 121 | 119,9 | 120,4 | 4,09 | 4,49 | 4,29 | 0,28 | 95,71 |
| 122 | 119,9 | 120,4 | 4,09 | 4,49 | 4,29 | 0,28 | 95,71 |
| 123 | 119,9 | 120,3 | 4,09 | 4,41 | 4,25 | 0,23 | 95,75 |
| 124 | 119,9 | 120,3 | 4,09 | 4,41 | 4,25 | 0,23 | 95,75 |
| 125 | 119,8 | 120,3 | 4,01 | 4,41 | 4,21 | 0,28 | 95,79 |
| 126 | 119,8 | 120,3 | 4,01 | 4,41 | 4,21 | 0,28 | 95,79 |
| 127 | 119,8 | 120,2 | 4,01 | 4,33 | 4,17 | 0,23 | 95,83 |
| 128 | 119,8 | 120,2 | 4,01 | 4,33 | 4,17 | 0,23 | 95,83 |
| 129 | 119,8 | 120,2 | 4,01 | 4,33 | 4,17 | 0,23 | 95,83 |
| 130 | 119,7 | 120,2 | 3,93 | 4,33 | 4,13 | 0,28 | 95,87 |
| 131 | 119,7 | 120,2 | 3,93 | 4,33 | 4,13 | 0,28 | 95,87 |
| 132 | 119,7 | 120,1 | 3,93 | 4,25 | 4,09 | 0,23 | 95,91 |
| 133 | 119,7 | 120,1 | 3,93 | 4,25 | 4,09 | 0,23 | 95,91 |
| 134 | 119,7 | 120,1 | 3,93 | 4,25 | 4,09 | 0,23 | 95,91 |
| 135 | 119,6 | 120,1 | 3,85 | 4,25 | 4,05 | 0,28 | 95,95 |
| 136 | 119,6 | 120 | 3,85 | 4,17 | 4,01 | 0,23 | 95,99 |
| 137 | 119,6 | 120 | 3,85 | 4,17 | 4,01 | 0,23 | 95,99 |
| 138 | 119,6 | 120 | 3,85 | 4,17 | 4,01 | 0,23 | 95,99 |
| 139 | 119,6 | 120 | 3,85 | 4,17 | 4,01 | 0,23 | 95,99 |
| 140 | 119,5 | 120 | 3,77 | 4,17 | 3,97 | 0,28 | 96,03 |
| 141 | 119,5 | 119,9 | 3,77 | 4,09 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 142 | 119,5 | 119,9 | 3,77 | 4,09 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 143 | 119,5 | 119,9 | 3,77 | 4,09 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 144 | 119,5 | 119,9 | 3,77 | 4,09 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 145 | 119,5 | 119,9 | 3,77 | 4,09 | 3,93 | 0,23 | 96,07 |
| 146 | 119,4 | 119,8 | 3,69 | 4,01 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 147 | 119,4 | 119,8 | 3,69 | 4,01 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 148 | 119,4 | 119,8 | 3,69 | 4,01 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 149 | 119,4 | 119,8 | 3,69 | 4,01 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |
| 150 | 119,4 | 119,8 | 3,69 | 4,01 | 3,85 | 0,23 | 96,15 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 151 | 119,4 | 119,7 | 3,69 | 3,93 | 3,81 | 0,17 | 96,19 |
| 152 | 119,4 | 119,7 | 3,69 | 3,93 | 3,81 | 0,17 | 96,19 |
| 153 | 119,3 | 119,7 | 3,60 | 3,93 | 3,77 | 0,23 | 96,23 |
| 154 | 119,3 | 119,7 | 3,60 | 3,93 | 3,77 | 0,23 | 96,23 |
| 155 | 119,3 | 119,7 | 3,60 | 3,93 | 3,77 | 0,23 | 96,23 |
| 156 | 119,3 | 119,6 | 3,60 | 3,85 | 3,73 | 0,17 | 96,27 |
| 157 | 119,3 | 119,6 | 3,60 | 3,85 | 3,73 | 0,17 | 96,27 |
| 158 | 119,3 | 119,6 | 3,60 | 3,85 | 3,73 | 0,17 | 96,27 |
| 159 | 119,2 | 119,6 | 3,52 | 3,85 | 3,68 | 0,23 | 96,32 |
| 160 | 119,2 | 119,6 | 3,52 | 3,85 | 3,68 | 0,23 | 96,32 |
| 161 | 119,2 | 119,6 | 3,52 | 3,85 | 3,68 | 0,23 | 96,32 |
| 162 | 119,2 | 119,5 | 3,52 | 3,77 | 3,64 | 0,17 | 96,36 |
| 163 | 119,2 | 119,5 | 3,52 | 3,77 | 3,64 | 0,17 | 96,36 |
| 164 | 119,2 | 119,5 | 3,52 | 3,77 | 3,64 | 0,17 | 96,36 |
| 165 | 119,2 | 119,5 | 3,52 | 3,77 | 3,64 | 0,17 | 96,36 |
| 166 | 119,2 | 119,5 | 3,52 | 3,77 | 3,64 | 0,17 | 96,36 |
| 167 | 119,1 | 119,5 | 3,44 | 3,77 | 3,60 | 0,23 | 96,40 |
| 168 | 119,1 | 119,4 | 3,44 | 3,69 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 169 | 119,1 | 119,4 | 3,44 | 3,69 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 170 | 119,1 | 119,4 | 3,44 | 3,69 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 171 | 119,1 | 119,4 | 3,44 | 3,69 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 172 | 119,1 | 119,4 | 3,44 | 3,69 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 173 | 119,1 | 119,4 | 3,44 | 3,69 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 174 | 119,1 | 119,4 | 3,44 | 3,69 | 3,56 | 0,17 | 96,44 |
| 175 | 119 | 119,3 | 3,36 | 3,60 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 176 | 119 | 119,3 | 3,36 | 3,60 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 177 | 119 | 119,3 | 3,36 | 3,60 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 178 | 119 | 119,3 | 3,36 | 3,60 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 179 | 119 | 119,3 | 3,36 | 3,60 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 180 | 119 | 119,3 | 3,36 | 3,60 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 181 | 119 | 119,3 | 3,36 | 3,60 | 3,48 | 0,17 | 96,52 |
| 182 | 119 | 119,2 | 3,36 | 3,52 | 3,44 | 0,11 | 96,56 |
| 183 | 118,9 | 119,2 | 3,28 | 3,52 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 184 | 118,9 | 119,2 | 3,28 | 3,52 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 185 | 118,9 | 119,2 | 3,28 | 3,52 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 186 | 118,9 | 119,2 | 3,28 | 3,52 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 187 | 118,9 | 119,2 | 3,28 | 3,52 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 188 | 118,9 | 119,2 | 3,28 | 3,52 | 3,40 | 0,17 | 96,60 |
| 189 | 118,9 | 119,1 | 3,28 | 3,44 | 3,36 | 0,11 | 96,64 |
| 190 | 118,9 | 119,1 | 3,28 | 3,44 | 3,36 | 0,11 | 96,64 |
| 191 | 118,9 | 119,1 | 3,28 | 3,44 | 3,36 | 0,11 | 96,64 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 192 | 118,8 | 119,1 | 3,20 | 3,44 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 193 | 118,8 | 119,1 | 3,20 | 3,44 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 194 | 118,8 | 119,1 | 3,20 | 3,44 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 195 | 118,8 | 119,1 | 3,20 | 3,44 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 196 | 118,8 | 119,1 | 3,20 | 3,44 | 3,32 | 0,17 | 96,68 |
| 197 | 118,8 | 119 | 3,20 | 3,36 | 3,28 | 0,12 | 96,72 |
| 198 | 118,8 | 119 | 3,20 | 3,36 | 3,28 | 0,12 | 96,72 |
| 199 | 118,8 | 119 | 3,20 | 3,36 | 3,28 | 0,12 | 96,72 |
| 200 | 118,8 | 119 | 3,20 | 3,36 | 3,28 | 0,12 | 96,72 |
| 201 | 118,8 | 119 | 3,20 | 3,36 | 3,28 | 0,12 | 96,72 |

*Table 6 Résultats brut module complexe pour l'enrobé vierge ep 1*

| N | No de ligne | Température | Freq | \|E*\| | ϕ | E1 | E2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cycle | # | °C | Hz | Mpa | (°) | Mpa | Mpa |
| | | 39,4 | 0,10 | 56 | 39,7 | 43 | 36 |
| 1320 | 45212 | 39,4 | 0,10 | 55 | 40,0 | 42 | 35 |
| 1318 | 45012 | 39,4 | 0,10 | 59 | 37,8 | 46 | 36 |
| 1316 | 44812 | 39,4 | 0,10 | 55 | 38,1 | 43 | 34 |
| 1314 | 44612 | 39,4 | 0,10 | 58 | 38,4 | 46 | 36 |
| 1312 | 44412 | 39,4 | 0,10 | 57 | 39,7 | 44 | 36 |
| 1310 | 44212 | 39,4 | 0,10 | 55 | 41,1 | 41 | 36 |
| 1308 | 44012 | 39,4 | 0,10 | 55 | 42,6 | 41 | 38 |
| | | 39,4 | 0,31 | 85 | 41,8 | 64 | 57 |
| 1303 | 43612 | 39,4 | 0,31 | 84 | 41,7 | 63 | 56 |
| 1301 | 43412 | 39,4 | 0,31 | 83 | 43,0 | 61 | 57 |
| 1299 | 43212 | 39,4 | 0,31 | 84 | 41,6 | 63 | 56 |
| 1297 | 43012 | 39,4 | 0,31 | 87 | 41,6 | 65 | 57 |
| 1295 | 42812 | 39,4 | 0,31 | 85 | 41,2 | 64 | 56 |
| 1293 | 42612 | 39,4 | 0,31 | 85 | 42,5 | 63 | 57 |
| 1291 | 42412 | 39,4 | 0,31 | 87 | 41,2 | 65 | 57 |
| 1289 | 42212 | 39,4 | 0,31 | 89 | 41,5 | 67 | 59 |
| | | 39,4 | 1,02 | 139 | 42,6 | 102 | 94 |
| 1285 | 41812 | 39,4 | 1,02 | 140 | 42,4 | 103 | 94 |
| 1283 | 41612 | 39,4 | 1,03 | 138 | 41,7 | 103 | 92 |
| 1281 | 41412 | 39,3 | 1,03 | 137 | 42,4 | 101 | 92 |
| 1279 | 41212 | 39,4 | 1,03 | 136 | 42,5 | 101 | 92 |
| 1277 | 41012 | 39,4 | 1,02 | 138 | 42,6 | 101 | 93 |
| 1275 | 40812 | 39,4 | 1,02 | 139 | 43,1 | 101 | 95 |
| 1273 | 40612 | 39,4 | 1,02 | 142 | 42,7 | 104 | 96 |
| 1271 | 40412 | 39,4 | 1,03 | 139 | 43,3 | 101 | 95 |
| 1269 | 40212 | 39,4 | 1,03 | 143 | 43,1 | 105 | 98 |
| | | 39,4 | 3,06 | 223 | 43,2 | 163 | 153 |
| 1256 | 39012 | 39,4 | 3,13 | 221 | 43,1 | 161 | 151 |
| 1254 | 38812 | 39,4 | 3,12 | 225 | 42,8 | 165 | 153 |
| 1252 | 38612 | 39,4 | 3,08 | 225 | 43,4 | 163 | 155 |
| 1250 | 38412 | 39,4 | 3,03 | 220 | 42,7 | 162 | 149 |
| 1248 | 38212 | 39,4 | 3,03 | 224 | 43,2 | 163 | 153 |
| 1246 | 38012 | 39,4 | 3,08 | 220 | 42,9 | 161 | 149 |
| 1244 | 37812 | 39,4 | 3,03 | 225 | 43,2 | 164 | 154 |
| 1242 | 37612 | 39,4 | 3,03 | 219 | 43,4 | 159 | 151 |
| 1240 | 37412 | 39,4 | 3,08 | 226 | 43,4 | 164 | 155 |
| 1238 | 37212 | 39,4 | 3,03 | 225 | 43,7 | 163 | 156 |
| | | 39,4 | 10,25 | 377 | 44,3 | 270 | 263 |
| 1232 | 36612 | 39,4 | 11,11 | 379 | 45,1 | 268 | 269 |
| 1230 | 36412 | 39,4 | 10,53 | 378 | 44,2 | 271 | 264 |
| 1228 | 36212 | 39,4 | 10,00 | 380 | 44,9 | 269 | 268 |
| 1226 | 36012 | 39,4 | 10,53 | 376 | 43,6 | 272 | 259 |
| 1224 | 35812 | 39,4 | 10,00 | 377 | 43,8 | 272 | 260 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1222 | 35612 | 39,4 | 10,00 | 379 | 43,7 | 274 | 262 |
| 1220 | 35412 | 39,4 | 10,53 | 375 | 44,1 | 269 | 261 |
| 1218 | 35212 | 39,4 | 9,52 | 367 | 43,4 | 267 | 253 |
| 1216 | 35012 | 39,4 | 11,11 | 376 | 43,8 | 271 | 260 |
| 1214 | 34812 | 39,4 | 9,52 | 368 | 44,3 | 263 | 256 |
| 1212 | 34612 | 39,4 | 10,00 | 376 | 44,4 | 268 | 263 |
| 1210 | 34412 | 39,4 | 10,53 | 368 | 44,9 | 261 | 260 |
| 1208 | 34212 | 39,4 | 10,00 | 374 | 45,0 | 264 | 265 |
| 1206 | 34012 | 39,4 | 10,53 | 372 | 45,5 | 261 | 265 |
| 1204 | 33812 | 39,4 | 10,53 | 380 | 44,8 | 269 | 268 |
| 1203 | 33612 | 39,4 | 10,00 | 373 | 45,6 | 261 | 267 |
| 1201 | 33412 | 39,4 | 10,53 | 381 | 44,4 | 272 | 267 |
| 1199 | 33212 | 39,4 | 10,00 | 378 | 45,6 | 265 | 270 |
| 1197 | 33012 | 39,4 | 9,52 | 382 | 44,4 | 273 | 267 |
| 1195 | 32812 | 39,4 | 11,11 | 381 | 43,4 | 277 | 262 |
| 1193 | 32612 | 39,4 | 9,52 | 383 | 44,8 | 272 | 270 |
| 1191 | 32412 | 39,4 | 10,53 | 380 | 43,4 | 276 | 261 |
| 1189 | 32212 | 39,4 | 10,00 | 380 | 43,3 | 277 | 260 |
| 1187 | 32012 | 39,4 | 10,00 | 382 | 43,7 | 276 | 264 |
| 1185 | 31812 | 39,4 | 10,53 | 379 | 43,5 | 275 | 261 |
| 1183 | 31612 | 39,4 | 10,00 | 373 | 43,8 | 269 | 258 |
| 1181 | 31412 | 39,4 | 10,53 | 376 | 43,9 | 271 | 261 |
| 1179 | 31212 | 39,4 | 11,11 | 369 | 44,0 | 266 | 257 |
| 1177 | 31012 | 39,4 | 9,52 | 376 | 44,1 | 270 | 262 |
| | | 29,8 | 0,10 | 143 | 41,1 | 108 | 94 |
| 1130 | 26612 | 29,8 | 0,10 | 144 | 40,1 | 110 | 92 |
| 1128 | 26412 | 29,8 | 0,10 | 143 | 40,8 | 108 | 93 |
| 1126 | 26212 | 29,7 | 0,10 | 141 | 43,1 | 103 | 97 |
| 1125 | 26012 | 29,8 | 0,10 | 145 | 40,3 | 111 | 94 |
| 1123 | 25812 | 29,8 | 0,10 | 144 | 41,9 | 107 | 96 |
| 1121 | 25612 | 29,8 | 0,10 | 143 | 40,7 | 109 | 93 |
| | | 29,8 | 0,31 | 231 | 42,8 | 169 | 157 |
| 1116 | 25212 | 29,8 | 0,31 | 229 | 43,2 | 167 | 157 |
| 1114 | 25012 | 29,7 | 0,31 | 227 | 43,4 | 165 | 156 |
| 1112 | 24812 | 29,8 | 0,31 | 232 | 42,7 | 171 | 157 |
| 1110 | 24612 | 29,7 | 0,31 | 230 | 43,1 | 168 | 157 |
| 1108 | 24412 | 29,8 | 0,31 | 230 | 42,9 | 169 | 157 |
| 1106 | 24212 | 29,7 | 0,31 | 233 | 42,0 | 174 | 156 |
| 1104 | 24012 | 29,7 | 0,31 | 233 | 42,3 | 172 | 157 |
| | | 29,8 | 1,02 | 385 | 42,3 | 285 | 259 |
| 1093 | 23012 | 29,8 | 1,02 | 387 | 42,1 | 287 | 259 |
| 1091 | 22812 | 29,8 | 1,02 | 380 | 41,7 | 284 | 252 |
| 1089 | 22612 | 29,8 | 1,02 | 380 | 42,4 | 281 | 256 |
| 1087 | 22412 | 29,8 | 1,02 | 385 | 42,3 | 285 | 259 |
| 1085 | 22212 | 29,8 | 1,02 | 386 | 42,6 | 284 | 261 |
| 1083 | 22012 | 29,8 | 1,02 | 393 | 42,5 | 290 | 266 |
| | | 29,7 | 3,06 | 629 | 41,2 | 473 | 414 |
| 1074 | 21212 | 29,7 | 3,08 | 628 | 41,6 | 470 | 417 |
| 1072 | 21012 | 29,7 | 3,08 | 627 | 41,7 | 468 | 417 |
| 1070 | 20812 | 29,7 | 3,08 | 625 | 42,6 | 460 | 423 |
| 1068 | 20612 | 29,7 | 3,03 | 629 | 41,1 | 474 | 414 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1066 | 20412 | 29,7 | 3,03 | 630 | 40,9 | 476 | 412 |
| 1065 | 20212 | 29,7 | 3,08 | 631 | 41,1 | 476 | 415 |
| 1063 | 20012 | 29,7 | 3,03 | 631 | 41,1 | 475 | 415 |
| 1061 | 19812 | 29,7 | 3,08 | 629 | 40,7 | 477 | 410 |
| 1059 | 19612 | 29,7 | 3,08 | 624 | 40,4 | 475 | 405 |
| 1057 | 19412 | 29,7 | 3,08 | 633 | 41,0 | 478 | 415 |
| | | 29,8 | 10,19 | 1036 | 40,4 | 789 | 671 |
| 1044 | 18212 | 29,7 | 10,53 | 1013 | 40,7 | 768 | 661 |
| 1042 | 18012 | 29,7 | 10,53 | 1014 | 40,8 | 767 | 663 |
| 1040 | 17812 | 29,7 | 10,00 | 1020 | 41,1 | 769 | 671 |
| 1038 | 17612 | 29,7 | 10,00 | 1021 | 41,3 | 767 | 673 |
| 1037 | 17412 | 29,7 | 10,53 | 1027 | 41,1 | 774 | 675 |
| 1035 | 17212 | 29,7 | 10,00 | 1033 | 41,1 | 778 | 680 |
| 1033 | 17012 | 29,7 | 10,00 | 1043 | 40,5 | 793 | 677 |
| 1031 | 16812 | 29,7 | 10,53 | 1038 | 41,5 | 777 | 687 |
| 1029 | 16612 | 29,7 | 10,00 | 1042 | 40,3 | 795 | 674 |
| 1027 | 16412 | 29,7 | 10,00 | 1046 | 40,5 | 795 | 680 |
| 1025 | 16212 | 29,8 | 10,00 | 1040 | 40,4 | 792 | 675 |
| 1023 | 16012 | 29,8 | 10,53 | 1034 | 39,2 | 802 | 654 |
| 1021 | 15812 | 29,8 | 10,00 | 1040 | 40,2 | 795 | 671 |
| 1019 | 15612 | 29,8 | 10,00 | 1024 | 39,5 | 790 | 652 |
| 1017 | 15412 | 29,8 | 10,00 | 1031 | 40,1 | 788 | 664 |
| 1015 | 15212 | 29,8 | 10,53 | 1016 | 39,8 | 781 | 650 |
| 1013 | 15012 | 29,8 | 10,00 | 1029 | 40,4 | 784 | 667 |
| 1011 | 14812 | 29,8 | 10,53 | 1014 | 40,5 | 771 | 658 |
| 1009 | 14612 | 29,8 | 10,00 | 1032 | 40,6 | 784 | 671 |
| 1007 | 14412 | 29,8 | 10,53 | 1031 | 40,7 | 782 | 672 |
| 1005 | 14212 | 29,8 | 10,00 | 1021 | 41,3 | 767 | 674 |
| 1003 | 14012 | 29,8 | 10,53 | 1038 | 40,8 | 786 | 678 |
| 1001 | 13812 | 29,8 | 10,00 | 1035 | 41,2 | 779 | 681 |
| 999 | 13612 | 29,8 | 10,53 | 1038 | 41,8 | 774 | 692 |
| 997 | 13412 | 29,8 | 10,00 | 1049 | 40,4 | 800 | 679 |
| 995 | 13212 | 29,8 | 10,53 | 1056 | 40,5 | 803 | 685 |
| 993 | 13012 | 29,8 | 10,00 | 1059 | 40,9 | 800 | 694 |
| 991 | 12812 | 29,8 | 10,00 | 1055 | 40,0 | 808 | 679 |
| 989 | 12612 | 29,8 | 10,00 | 1055 | 39,7 | 812 | 673 |
| 987 | 12412 | 29,8 | 10,53 | 1045 | 39,2 | 810 | 660 |
| 985 | 12212 | 29,8 | 10,00 | 1049 | 39,7 | 806 | 670 |
| 983 | 12012 | 29,8 | 10,00 | 1047 | 39,2 | 811 | 662 |
| 981 | 11812 | 29,8 | 10,53 | 1039 | 39,6 | 801 | 662 |
| 979 | 11612 | 29,8 | 10,00 | 1043 | 39,8 | 802 | 667 |
| 977 | 11412 | 29,8 | 10,00 | 1035 | 40,0 | 793 | 665 |
| 975 | 11212 | 29,8 | 10,00 | 1040 | 40,3 | 793 | 672 |
| | | 20,0 | 0,10 | 478 | 40,6 | 363 | 311 |
| 943 | 8212 | 20,0 | 0,10 | 466 | 41,3 | 350 | 307 |
| 941 | 8012 | 20,0 | 0,10 | 472 | 41,2 | 355 | 311 |
| 939 | 7812 | 20,0 | 0,10 | 476 | 40,2 | 363 | 307 |
| 937 | 7612 | 20,0 | 0,10 | 484 | 40,4 | 369 | 314 |
| 935 | 7412 | 20,0 | 0,10 | 487 | 40,3 | 371 | 315 |
| 933 | 7212 | 20,0 | 0,10 | 483 | 40,1 | 370 | 311 |
| | | 20,0 | 0,31 | 740 | 38,6 | 578 | 461 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 926 | 6612 | 20,0 | 0,31 | 740 | 38,4 | 580 | 460 |
| 924 | 6412 | 20,1 | 0,31 | 739 | 38,1 | 581 | 456 |
| 922 | 6212 | 20,0 | 0,31 | 736 | 38,4 | 577 | 458 |
| 920 | 6012 | 20,0 | 0,31 | 738 | 38,6 | 577 | 460 |
| 918 | 5812 | 20,1 | 0,31 | 740 | 39,0 | 575 | 465 |
| 916 | 5612 | 20,0 | 0,31 | 745 | 39,0 | 578 | 469 |
| | | 20,0 | 1,02 | 1223 | 37,0 | 977 | 735 |
| 907 | 4812 | 20,0 | 1,02 | 1213 | 37,4 | 964 | 736 |
| 905 | 4612 | 20,0 | 1,02 | 1218 | 37,6 | 965 | 743 |
| 903 | 4412 | 20,0 | 1,02 | 1221 | 37,2 | 972 | 739 |
| 901 | 4212 | 20,0 | 1,02 | 1221 | 36,7 | 979 | 729 |
| 899 | 4012 | 20,1 | 1,02 | 1231 | 36,9 | 985 | 739 |
| 897 | 3812 | 20,1 | 1,02 | 1232 | 36,1 | 995 | 725 |
| | | 20,0 | 3,06 | 1841 | 35,2 | 1504 | 1061 |
| 885 | 2612 | 20,1 | 3,05 | 1792 | 35,7 | 1455 | 1045 |
| 883 | 2412 | 20,1 | 3,05 | 1811 | 35,6 | 1473 | 1053 |
| 881 | 2212 | 20,0 | 3,05 | 1825 | 35,5 | 1485 | 1060 |
| 879 | 2012 | 20,0 | 3,04 | 1839 | 35,2 | 1504 | 1059 |
| 877 | 1812 | 20,0 | 3,05 | 1842 | 35,7 | 1496 | 1074 |
| 875 | 1612 | 20,0 | 3,09 | 1853 | 35,3 | 1512 | 1071 |
| 873 | 1412 | 20,0 | 3,09 | 1865 | 35,1 | 1526 | 1072 |
| 871 | 1212 | 20,0 | 3,04 | 1863 | 34,8 | 1529 | 1064 |
| 869 | 1012 | 20,0 | 3,05 | 1876 | 33,9 | 1556 | 1047 |
| | | 20,0 | 10,21 | 2783 | 32,4 | 2349 | 1493 |
| 855 | 46812 | 20,0 | 10,20 | 2789 | 32,3 | 2357 | 1490 |
| 853 | 46612 | 20,0 | 10,26 | 2772 | 32,0 | 2351 | 1467 |
| 851 | 46412 | 20,0 | 10,26 | 2753 | 32,0 | 2335 | 1458 |
| 849 | 46212 | 20,0 | 10,26 | 2765 | 32,1 | 2343 | 1468 |
| 847 | 46012 | 20,0 | 10,20 | 2747 | 32,5 | 2318 | 1475 |
| 845 | 45812 | 20,0 | 10,26 | 2752 | 32,5 | 2320 | 1479 |
| 843 | 45612 | 20,0 | 10,26 | 2749 | 32,6 | 2316 | 1480 |
| 841 | 45412 | 20,0 | 10,26 | 2766 | 32,7 | 2328 | 1493 |
| 839 | 45212 | 20,0 | 10,20 | 2747 | 33,1 | 2301 | 1501 |
| 837 | 45012 | 20,0 | 10,26 | 2765 | 33,2 | 2314 | 1514 |
| 835 | 44812 | 20,0 | 10,26 | 2771 | 33,0 | 2325 | 1508 |
| 833 | 44612 | 20,0 | 10,26 | 2793 | 33,0 | 2341 | 1523 |
| 831 | 44412 | 20,0 | 10,20 | 2797 | 33,1 | 2344 | 1527 |
| 829 | 44212 | 20,0 | 10,26 | 2820 | 33,0 | 2366 | 1535 |
| 827 | 44012 | 20,0 | 9,85 | 2811 | 32,5 | 2370 | 1512 |
| 825 | 43812 | 20,0 | 10,26 | 2811 | 32,3 | 2375 | 1503 |
| 823 | 43612 | 20,0 | 10,20 | 2824 | 32,5 | 2381 | 1518 |
| 821 | 43412 | 20,0 | 10,26 | 2799 | 31,9 | 2376 | 1480 |
| 819 | 43212 | 20,0 | 9,85 | 2812 | 32,0 | 2386 | 1488 |
| 817 | 43012 | 20,0 | 10,20 | 2804 | 31,8 | 2382 | 1478 |
| 815 | 42812 | 20,1 | 10,26 | 2799 | 31,9 | 2376 | 1480 |
| 813 | 42612 | 20,1 | 10,26 | 2790 | 32,0 | 2366 | 1478 |
| 811 | 42412 | 20,1 | 10,26 | 2782 | 32,0 | 2359 | 1476 |
| 809 | 42212 | 20,1 | 10,20 | 2769 | 32,3 | 2339 | 1481 |
| 807 | 42012 | 20,1 | 10,26 | 2779 | 32,4 | 2345 | 1490 |
| 805 | 41812 | 20,1 | 10,26 | 2794 | 32,5 | 2358 | 1500 |
| | | 10,1 | 0,10 | 1682 | 33,2 | 1407 | 921 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 753 | 36812 | 10,1 | 0,10 | 1657 | 32,6 | 1396 | 892 |
| 751 | 36612 | 10,1 | 0,10 | 1680 | 33,0 | 1408 | 916 |
| 749 | 36412 | 10,1 | 0,10 | 1662 | 33,0 | 1395 | 905 |
| 747 | 36212 | 10,1 | 0,10 | 1690 | 33,2 | 1415 | 924 |
| 745 | 36012 | 10,1 | 0,10 | 1700 | 33,5 | 1419 | 937 |
| 743 | 35812 | 10,1 | 0,10 | 1703 | 34,0 | 1412 | 952 |
| | | 10,1 | 0,31 | 2488 | 30,5 | 2145 | 1261 |
| 736 | 35212 | 10,0 | 0,31 | 2468 | 30,8 | 2120 | 1265 |
| 734 | 35012 | 10,0 | 0,31 | 2481 | 30,7 | 2133 | 1268 |
| 732 | 34812 | 10,1 | 0,31 | 2490 | 31,2 | 2129 | 1291 |
| 730 | 34612 | 10,1 | 0,31 | 2499 | 30,1 | 2161 | 1254 |
| 728 | 34412 | 10,1 | 0,31 | 2504 | 29,4 | 2182 | 1228 |
| | | 10,1 | 1,02 | 3609 | 27,8 | 3192 | 1684 |
| 718 | 33412 | 10,1 | 1,02 | 3551 | 27,9 | 3139 | 1660 |
| 716 | 33212 | 10,1 | 1,02 | 3566 | 28,0 | 3147 | 1677 |
| 714 | 33012 | 10,1 | 1,02 | 3584 | 28,2 | 3158 | 1695 |
| 712 | 32812 | 10,1 | 1,02 | 3619 | 27,8 | 3201 | 1688 |
| 710 | 32612 | 10,1 | 1,02 | 3656 | 27,9 | 3233 | 1709 |
| 708 | 32412 | 10,1 | 1,02 | 3676 | 27,1 | 3272 | 1675 |
| | | 10,1 | 3,06 | 4904 | 24,8 | 4451 | 2060 |
| 697 | 31412 | 10,1 | 3,05 | 4908 | 25,7 | 4423 | 2128 |
| 695 | 31212 | 10,1 | 3,05 | 4897 | 25,0 | 4439 | 2068 |
| 693 | 31012 | 10,2 | 3,05 | 4918 | 24,8 | 4463 | 2066 |
| 691 | 30812 | 10,1 | 3,08 | 4918 | 24,7 | 4468 | 2054 |
| 689 | 30612 | 10,1 | 3,09 | 4890 | 24,4 | 4452 | 2023 |
| 687 | 30412 | 10,2 | 3,09 | 4893 | 24,6 | 4451 | 2034 |
| 685 | 30212 | 10,2 | 3,05 | 4906 | 24,7 | 4458 | 2048 |
| | | 10,2 | 10,21 | 6609 | 22,2 | 6117 | 2502 |
| 666 | 28212 | 10,2 | 10,26 | 6551 | 23,1 | 6025 | 2571 |
| 664 | 28012 | 10,2 | 10,26 | 6609 | 22,6 | 6101 | 2541 |
| 662 | 27812 | 10,2 | 10,20 | 6622 | 22,4 | 6120 | 2528 |
| 660 | 27612 | 10,2 | 10,26 | 6620 | 22,2 | 6131 | 2497 |
| 658 | 27412 | 10,2 | 10,26 | 6612 | 22,1 | 6128 | 2482 |
| 656 | 27212 | 10,2 | 10,20 | 6602 | 22,0 | 6120 | 2477 |
| 654 | 27012 | 10,2 | 10,26 | 6597 | 21,8 | 6126 | 2449 |
| 652 | 26812 | 10,2 | 10,26 | 6583 | 21,9 | 6106 | 2459 |
| 650 | 26612 | 10,2 | 10,26 | 6575 | 21,8 | 6104 | 2444 |
| 648 | 26412 | 10,1 | 10,20 | 6556 | 22,1 | 6075 | 2465 |
| 646 | 26212 | 10,1 | 10,26 | 6516 | 22,2 | 6033 | 2462 |
| 644 | 26012 | 10,1 | 10,26 | 6531 | 22,4 | 6040 | 2485 |
| 642 | 25812 | 10,1 | 9,85 | 6575 | 22,3 | 6082 | 2498 |
| 640 | 25612 | 10,1 | 10,20 | 6566 | 22,6 | 6062 | 2522 |
| 638 | 25412 | 10,1 | 10,26 | 6585 | 22,4 | 6089 | 2506 |
| 636 | 25212 | 10,1 | 10,26 | 6611 | 22,6 | 6105 | 2537 |
| 634 | 25012 | 10,1 | 9,85 | 6622 | 22,6 | 6115 | 2542 |
| 632 | 24812 | 10,1 | 10,20 | 6644 | 22,6 | 6135 | 2551 |
| 630 | 24612 | 10,1 | 10,26 | 6664 | 22,5 | 6155 | 2556 |
| 628 | 24412 | 10,2 | 10,26 | 6667 | 22,3 | 6168 | 2531 |
| 626 | 24212 | 10,2 | 10,20 | 6694 | 22,1 | 6203 | 2515 |
| 624 | 24012 | 10,2 | 10,20 | 6672 | 21,7 | 6198 | 2471 |
| 622 | 23812 | 10,2 | 10,26 | 6665 | 21,8 | 6188 | 2475 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 620 | 23612 | 10,2 | 10,26 | 6680 | 21,9 | 6199 | 2491 |
| | | 0,6 | 0,10 | 5114 | 22,2 | 4734 | 1932 |
| 564 | 18212 | 0,6 | 0,10 | 5097 | 22,9 | 4694 | 1986 |
| 562 | 18012 | 0,6 | 0,10 | 5128 | 22,4 | 4740 | 1958 |
| 560 | 17812 | 0,6 | 0,10 | 5133 | 22,6 | 4741 | 1969 |
| 558 | 17612 | 0,6 | 0,10 | 5122 | 21,8 | 4755 | 1902 |
| 556 | 17412 | 0,5 | 0,10 | 5087 | 21,3 | 4740 | 1847 |
| | | 0,5 | 0,31 | 6569 | 20,5 | 6152 | 2302 |
| 547 | 16612 | 0,5 | 0,31 | 6488 | 20,3 | 6086 | 2248 |
| 545 | 16412 | 0,5 | 0,31 | 6521 | 20,7 | 6099 | 2307 |
| 543 | 16212 | 0,5 | 0,31 | 6590 | 20,5 | 6174 | 2304 |
| 541 | 16012 | 0,6 | 0,31 | 6601 | 20,6 | 6177 | 2327 |
| 539 | 15812 | 0,6 | 0,31 | 6643 | 20,5 | 6222 | 2327 |
| | | 0,6 | 1,02 | 8401 | 17,3 | 8019 | 2504 |
| 528 | 14812 | 0,6 | 1,02 | 8399 | 17,6 | 8004 | 2545 |
| 527 | 14612 | 0,6 | 1,02 | 8379 | 17,2 | 8003 | 2482 |
| 525 | 14412 | 0,6 | 1,02 | 8442 | 17,4 | 8054 | 2530 |
| 523 | 14212 | 0,6 | 1,02 | 8408 | 17,4 | 8021 | 2521 |
| 521 | 14012 | 0,6 | 1,02 | 8380 | 17,0 | 8015 | 2444 |
| | | 0,6 | 3,06 | 10178 | 15,8 | 9795 | 2764 |
| 508 | 12812 | 0,5 | 3,05 | 10131 | 15,9 | 9744 | 2773 |
| 506 | 12612 | 0,5 | 3,06 | 10135 | 15,7 | 9756 | 2743 |
| 504 | 12412 | 0,5 | 3,07 | 10202 | 15,6 | 9828 | 2737 |
| 502 | 12212 | 0,6 | 3,05 | 10164 | 15,7 | 9783 | 2754 |
| 500 | 12012 | 0,6 | 3,05 | 10222 | 15,7 | 9841 | 2763 |
| 498 | 11812 | 0,6 | 3,06 | 10216 | 16,0 | 9820 | 2816 |
| | | 0,5 | 10,19 | 12322 | 13,7 | 11969 | 2926 |
| 478 | 9812 | 0,5 | 10,26 | 12371 | 14,0 | 12002 | 2999 |
| 476 | 9612 | 0,5 | 10,20 | 12378 | 14,1 | 12004 | 3018 |
| 474 | 9412 | 0,5 | 10,26 | 12373 | 13,9 | 12012 | 2966 |
| 472 | 9212 | 0,5 | 10,26 | 12332 | 13,8 | 11978 | 2933 |
| 470 | 9012 | 0,5 | 10,20 | 12347 | 13,5 | 12008 | 2874 |
| 468 | 8812 | 0,5 | 10,05 | 12370 | 13,8 | 12014 | 2943 |
| 466 | 8612 | 0,5 | 10,26 | 12349 | 13,6 | 12005 | 2896 |
| 464 | 8412 | 0,5 | 10,05 | 12271 | 13,5 | 11931 | 2868 |
| 462 | 8212 | 0,5 | 10,20 | 12329 | 13,7 | 11976 | 2927 |
| 460 | 8012 | 0,6 | 10,05 | 12282 | 13,4 | 11945 | 2857 |
| 458 | 7812 | 0,6 | 10,26 | 12294 | 13,6 | 11951 | 2881 |
| 456 | 7612 | 0,6 | 10,05 | 12277 | 13,7 | 11930 | 2898 |
| 454 | 7412 | 0,6 | 10,20 | 12259 | 13,8 | 11905 | 2924 |
| 452 | 7212 | 0,6 | 10,26 | 12328 | 13,7 | 11977 | 2918 |
| 450 | 7012 | 0,6 | 10,26 | 12272 | 14,1 | 11903 | 2988 |
| | | -9,0 | 0,10 | 11120 | 13,5 | 10814 | 2590 |
| 375 | 36812 | -9,1 | 0,10 | 11041 | 13,7 | 10724 | 2624 |
| 373 | 36612 | -9,1 | 0,10 | 11065 | 13,6 | 10754 | 2603 |
| 371 | 36412 | -9,0 | 0,10 | 11169 | 14,0 | 10838 | 2698 |
| 369 | 36212 | -9,0 | 0,10 | 11194 | 12,8 | 10914 | 2489 |
| 367 | 36012 | -9,0 | 0,10 | 11133 | 13,2 | 10840 | 2538 |
| | | -8,9 | 0,31 | 12726 | 11,7 | 12463 | 2573 |
| 359 | 35212 | -8,9 | 0,31 | 12742 | 11,8 | 12475 | 2596 |
| 357 | 35012 | -8,9 | 0,31 | 12758 | 12,0 | 12480 | 2649 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 355 | 34812 | -8,9 | 0,31 | 12654 | 11,6 | 12396 | 2542 |
| 353 | 34612 | -8,9 | 0,31 | 12694 | 11,7 | 12429 | 2580 |
| 351 | 34412 | -8,9 | 0,31 | 12782 | 11,3 | 12535 | 2501 |
| | | -8,9 | 1,02 | 14764 | 10,3 | 14526 | 2640 |
| 340 | 33412 | -8,9 | 1,02 | 14697 | 10,1 | 14467 | 2588 |
| 338 | 33212 | -8,9 | 1,02 | 14799 | 10,4 | 14554 | 2681 |
| 336 | 33012 | -8,9 | 1,02 | 14788 | 10,1 | 14558 | 2600 |
| 334 | 32812 | -8,9 | 1,02 | 14780 | 10,4 | 14539 | 2658 |
| 332 | 32612 | -8,9 | 1,02 | 14755 | 10,4 | 14511 | 2672 |
| | | -8,8 | 3,06 | 16586 | 9,4 | 16365 | 2698 |
| 319 | 31412 | -8,8 | 3,05 | 16551 | 9,2 | 16340 | 2635 |
| 317 | 31212 | -8,8 | 3,07 | 16588 | 9,7 | 16350 | 2799 |
| 315 | 31012 | -8,8 | 3,06 | 16585 | 9,1 | 16374 | 2636 |
| 313 | 30812 | -8,9 | 3,07 | 16654 | 9,5 | 16425 | 2750 |
| 311 | 30612 | -8,9 | 3,05 | 16561 | 9,5 | 16334 | 2735 |
| 309 | 30412 | -8,9 | 3,05 | 16579 | 9,1 | 16369 | 2633 |
| | | -8,7 | 10,18 | 18546 | 8,4 | 18349 | 2696 |
| 289 | 28412 | -8,7 | 10,15 | 18099 | 8,1 | 17917 | 2559 |
| 287 | 28212 | -8,7 | 10,15 | 18479 | 8,4 | 18283 | 2686 |
| 285 | 28012 | -8,7 | 10,10 | 18570 | 8,2 | 18378 | 2663 |
| 283 | 27812 | -8,7 | 10,15 | 18484 | 8,5 | 18280 | 2738 |
| 281 | 27612 | -8,7 | 10,15 | 18647 | 8,3 | 18451 | 2692 |
| 279 | 27412 | -8,7 | 10,15 | 18548 | 8,7 | 18337 | 2792 |
| 277 | 27212 | -8,7 | 10,10 | 18637 | 8,2 | 18444 | 2672 |
| 275 | 27012 | -8,7 | 10,26 | 18627 | 8,0 | 18444 | 2609 |
| 273 | 26812 | -8,7 | 10,26 | 18693 | 8,9 | 18471 | 2876 |
| 271 | 26612 | -8,7 | 10,20 | 18685 | 8,4 | 18486 | 2721 |
| 269 | 26412 | -8,6 | 10,26 | 18542 | 8,2 | 18351 | 2650 |
| | | -18,6 | 0,10 | 18074 | 8,2 | 17888 | 2589 |
| 185 | 18212 | -18,6 | 0,10 | 17951 | 8,3 | 17762 | 2599 |
| 183 | 18012 | -18,6 | 0,10 | 18094 | 8,5 | 17895 | 2676 |
| 181 | 17812 | -18,6 | 0,10 | 18152 | 7,9 | 17980 | 2492 |
| 179 | 17612 | -18,6 | 0,10 | 18101 | 8,2 | 17914 | 2590 |
| | | -18,3 | 0,31 | 19409 | 7,2 | 19258 | 2417 |
| 170 | 16812 | -18,3 | 0,31 | 19422 | 6,8 | 19283 | 2316 |
| 169 | 16612 | -18,4 | 0,31 | 19495 | 7,2 | 19343 | 2429 |
| 167 | 16412 | -18,3 | 0,31 | 19277 | 7,5 | 19113 | 2504 |
| 165 | 16212 | -18,3 | 0,31 | 19407 | 7,5 | 19241 | 2532 |
| 163 | 16012 | -18,4 | 0,31 | 19444 | 6,8 | 19307 | 2303 |
| | | -18,2 | 1,02 | 21059 | 6,5 | 20924 | 2370 |
| 152 | 15012 | -18,2 | 1,02 | 20847 | 7,0 | 20692 | 2539 |
| 150 | 14812 | -18,2 | 1,02 | 21081 | 6,6 | 20942 | 2412 |
| 148 | 14612 | -18,2 | 1,02 | 21263 | 6,2 | 21139 | 2292 |
| 146 | 14412 | -18,2 | 1,02 | 21027 | 6,3 | 20900 | 2312 |
| 144 | 14212 | -18,2 | 1,02 | 21075 | 6,3 | 20949 | 2297 |
| | | -18,3 | 3,06 | 22925 | 5,6 | 22816 | 2229 |
| 129 | 12812 | -18,3 | 3,06 | 23110 | 6,0 | 22984 | 2409 |
| 127 | 12612 | -18,4 | 3,06 | 23015 | 5,5 | 22910 | 2196 |
| 125 | 12412 | -18,4 | 3,06 | 22899 | 5,9 | 22777 | 2359 |
| 123 | 12212 | -18,4 | 3,06 | 22936 | 5,6 | 22826 | 2241 |
| 121 | 12012 | -18,4 | 3,06 | 22881 | 5,5 | 22777 | 2173 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 120 | 11812 | -18,3 | 3,06 | 22708 | 5,0 | 22620 | 1995 |
| | | -18,6 | 10,21 | 24883 | 5,0 | 24788 | 2176 |
| 99 | 9812 | -18,5 | 10,21 | 24975 | 5,0 | 24878 | 2192 |
| 97 | 9612 | -18,5 | 10,20 | 24765 | 5,1 | 24666 | 2212 |
| 95 | 9412 | -18,5 | 10,21 | 24818 | 5,1 | 24721 | 2197 |
| 94 | 9212 | -18,6 | 10,22 | 24885 | 5,2 | 24781 | 2271 |
| 92 | 9012 | -18,6 | 10,22 | 24882 | 4,9 | 24790 | 2138 |
| 90 | 8812 | -18,6 | 10,20 | 24959 | 4,8 | 24870 | 2105 |
| 88 | 8612 | -18,6 | 10,22 | 24909 | 5,1 | 24809 | 2235 |
| 86 | 8412 | -18,6 | 10,22 | 24872 | 4,8 | 24786 | 2063 |

*Table 7 Résultats brut module complexe pour l'enrobé vierge ep 2*

| N | No de ligne | Température | Freq | \|E*\| | ϕ | E1 | E2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cycle | # | °C | Hz | Mpa | (°) | Mpa | Mpa |
| | | 39,4 | 0,1 | 68,8 | 38,0 | 54,3 | 42,3 |
| 1322 | 45012 | 39,4 | 0,1 | 67,9 | 38,1 | 53,5 | 41,9 |
| 1320 | 44812 | 39,4 | 0,1 | 69,7 | 38,0 | 55,0 | 42,9 |
| 1318 | 44612 | 39,4 | 0,1 | 69,3 | 38,4 | 54,3 | 43,1 |
| 1317 | 44412 | 39,4 | 0,1 | 67,2 | 37,4 | 53,4 | 40,8 |
| 1315 | 44212 | 39,4 | 0,1 | 69,7 | 38,5 | 54,6 | 43,4 |
| 1313 | 44012 | 39,4 | 0,1 | 69,0 | 37,4 | 54,8 | 41,9 |
| | | 39,4 | 0,3 | 101,1 | 40,5 | 76,9 | 65,7 |
| 1308 | 43612 | 39,4 | 0,3 | 99,9 | 41,6 | 74,7 | 66,3 |
| 1306 | 43412 | 39,4 | 0,3 | 99,4 | 41,7 | 74,3 | 66,1 |
| 1304 | 43212 | 39,4 | 0,3 | 100,1 | 40,3 | 76,3 | 64,7 |
| 1302 | 43012 | 39,4 | 0,3 | 102,0 | 40,6 | 77,5 | 66,3 |
| 1300 | 42812 | 39,4 | 0,3 | 101,7 | 40,1 | 77,9 | 65,5 |
| 1298 | 42612 | 39,4 | 0,3 | 101,2 | 40,1 | 77,4 | 65,2 |
| 1296 | 42412 | 39,4 | 0,3 | 101,9 | 40,1 | 78,0 | 65,6 |
| 1294 | 42212 | 39,4 | 0,3 | 102,7 | 39,9 | 78,8 | 65,8 |
| | | 39,4 | 1,0 | 157,6 | 42,0 | 117,0 | 105,5 |
| 1285 | 41412 | 39,4 | 1,0 | 156,4 | 41,3 | 117,4 | 103,2 |
| 1283 | 41212 | 39,4 | 1,0 | 156,6 | 41,9 | 116,6 | 104,6 |
| 1281 | 41012 | 39,4 | 1,0 | 156,4 | 41,8 | 116,6 | 104,2 |
| 1279 | 40812 | 39,4 | 1,0 | 157,2 | 42,3 | 116,3 | 105,7 |
| 1277 | 40612 | 39,4 | 1,0 | 159,2 | 42,2 | 117,9 | 107,0 |
| 1275 | 40412 | 39,4 | 1,0 | 159,6 | 42,7 | 117,2 | 108,3 |
| | | 39,4 | 3,1 | 254,5 | 41,8 | 189,8 | 169,5 |
| 1266 | 39612 | 39,4 | 3,1 | 255,2 | 42,0 | 189,6 | 170,8 |
| 1264 | 39412 | 39,4 | 3,1 | 253,8 | 41,9 | 188,8 | 169,6 |
| 1262 | 39212 | 39,4 | 3,1 | 253,2 | 41,5 | 189,7 | 167,7 |
| 1260 | 39012 | 39,4 | 3,1 | 252,7 | 41,2 | 190,2 | 166,5 |
| 1259 | 38812 | 39,4 | 3,0 | 254,7 | 41,3 | 191,5 | 168,0 |
| 1257 | 38612 | 39,5 | 3,0 | 250,6 | 41,2 | 188,6 | 164,9 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1255 | 38412 | 39,4 | 3,1 | 253,3 | 41,6 | 189,4 | 168,2 |
| 1253 | 38212 | 39,4 | 3,0 | 250,9 | 41,4 | 188,1 | 166,0 |
| 1251 | 38012 | 39,4 | 3,1 | 254,1 | 41,6 | 189,9 | 168,8 |
| 1249 | 37812 | 39,4 | 3,0 | 253,4 | 41,9 | 188,6 | 169,2 |
| 1247 | 37612 | 39,4 | 3,0 | 256,0 | 42,3 | 189,4 | 172,2 |
| 1245 | 37412 | 39,4 | 3,1 | 258,1 | 42,4 | 190,7 | 173,9 |
| 1243 | 37212 | 39,4 | 3,0 | 262,6 | 42,5 | 193,6 | 177,5 |
| | | 39,4 | 10,2 | 418,7 | 43,0 | 306,4 | 285,3 |
| 1236 | 36612 | 39,4 | 10,5 | 413,5 | 43,8 | 298,5 | 286,2 |
| 1234 | 36412 | 39,4 | 10,0 | 414,9 | 43,6 | 300,3 | 286,4 |
| 1232 | 36212 | 39,4 | 10,5 | 414,7 | 43,5 | 300,7 | 285,6 |
| 1230 | 36012 | 39,4 | 10,0 | 415,6 | 43,8 | 300,1 | 287,6 |
| 1223 | 35212 | 39,4 | 10,0 | 415,9 | 42,4 | 307,3 | 280,3 |
| 1221 | 35012 | 39,4 | 10,5 | 415,1 | 42,2 | 307,4 | 278,9 |
| 1219 | 34812 | 39,4 | 10,0 | 412,0 | 42,2 | 305,1 | 276,9 |
| 1217 | 34612 | 39,4 | 10,5 | 411,2 | 42,5 | 303,4 | 277,6 |
| 1215 | 34412 | 39,4 | 10,0 | 407,6 | 42,3 | 301,3 | 274,5 |
| 1213 | 34212 | 39,4 | 10,0 | 410,7 | 42,7 | 301,9 | 278,5 |
| 1211 | 34012 | 39,4 | 10,5 | 409,8 | 43,2 | 299,0 | 280,4 |
| 1209 | 33812 | 39,4 | 10,0 | 412,9 | 43,2 | 301,0 | 282,6 |
| 1207 | 33612 | 39,4 | 10,5 | 410,6 | 43,5 | 298,0 | 282,5 |
| 1203 | 33212 | 39,4 | 10,0 | 416,9 | 43,7 | 301,6 | 287,8 |
| 1201 | 33012 | 39,4 | 10,5 | 419,6 | 43,8 | 302,8 | 290,5 |
| 1199 | 32812 | 39,4 | 10,0 | 420,6 | 43,4 | 305,4 | 289,2 |
| 1197 | 32612 | 39,4 | 10,5 | 423,9 | 43,0 | 309,8 | 289,3 |
| 1195 | 32412 | 39,4 | 10,5 | 422,8 | 42,9 | 309,9 | 287,5 |
| 1193 | 32212 | 39,4 | 10,0 | 425,0 | 42,8 | 312,0 | 288,5 |
| 1191 | 32012 | 39,4 | 10,5 | 423,4 | 42,4 | 312,9 | 285,2 |
| 1189 | 31812 | 39,4 | 10,0 | 422,0 | 42,2 | 312,7 | 283,4 |
| 1187 | 31612 | 39,4 | 9,5 | 421,4 | 42,1 | 312,5 | 282,7 |
| 1183 | 31212 | 39,4 | 9,5 | 417,5 | 42,1 | 309,6 | 280,0 |
| 1177 | 30612 | 39,4 | 10,0 | 416,8 | 42,7 | 306,3 | 282,8 |
| 1175 | 30412 | 39,4 | 10,5 | 413,9 | 43,2 | 301,6 | 283,4 |
| 1173 | 30212 | 39,4 | 10,0 | 418,5 | 43,2 | 304,8 | 286,7 |
| 1171 | 30012 | 39,4 | 10,0 | 422,1 | 43,3 | 307,4 | 289,3 |
| 1169 | 29812 | 39,4 | 10,5 | 423,7 | 43,7 | 306,5 | 292,5 |
| 1167 | 29612 | 39,4 | 9,5 | 426,8 | 43,4 | 310,3 | 293,0 |
| 1161 | 29012 | 39,4 | 10,0 | 431,0 | 43,0 | 315,1 | 294,0 |
| 1160 | 28812 | 39,4 | 10,5 | 433,2 | 42,5 | 319,5 | 292,6 |
| 1158 | 28612 | 39,4 | 10,0 | 435,1 | 42,4 | 321,5 | 293,1 |
| | | 29,7 | 0,1 | 183,3 | 40,2 | 140,0 | 118,2 |
| 1135 | 26612 | 29,7 | 0,1 | 183,0 | 40,4 | 139,3 | 118,7 |
| 1133 | 26412 | 29,7 | 0,1 | 185,3 | 41,4 | 139,0 | 122,6 |
| 1131 | 26212 | 29,7 | 0,1 | 183,2 | 40,3 | 139,7 | 118,5 |
| 1129 | 26012 | 29,7 | 0,1 | 184,3 | 39,1 | 143,0 | 116,3 |
| 1127 | 25812 | 29,8 | 0,1 | 181,3 | 39,9 | 139,0 | 116,4 |
| 1125 | 25612 | 29,8 | 0,1 | 182,4 | 39,8 | 140,1 | 116,8 |
| | | 29,8 | 0,3 | 279,0 | 41,0 | 210,4 | 183,2 |
| 1118 | 25012 | 29,8 | 0,3 | 276,5 | 40,5 | 210,3 | 179,6 |
| 1116 | 24812 | 29,7 | 0,3 | 275,4 | 40,3 | 210,1 | 178,1 |
| 1114 | 24612 | 29,8 | 0,3 | 276,7 | 40,8 | 209,4 | 180,8 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1112 | 24412 | 29,7 | 0,3 | 275,5 | 40,8 | 208,5 | 180,1 |
| 1110 | 24212 | 29,7 | 0,3 | 276,3 | 41,3 | 207,6 | 182,4 |
| 1108 | 24012 | 29,8 | 0,3 | 282,2 | 41,3 | 211,9 | 186,4 |
| 1106 | 23812 | 29,8 | 0,3 | 283,0 | 41,2 | 212,8 | 186,6 |
| 1104 | 23612 | 29,8 | 0,3 | 286,2 | 42,0 | 212,6 | 191,7 |
| | | 29,7 | 1,0 | 462,9 | 39,9 | 355,0 | 297,1 |
| 1099 | 23212 | 29,8 | 1,0 | 463,2 | 40,0 | 354,8 | 297,7 |
| 1097 | 23012 | 29,7 | 1,0 | 465,6 | 40,1 | 356,2 | 299,9 |
| 1095 | 22812 | 29,7 | 1,0 | 461,2 | 40,0 | 353,3 | 296,4 |
| 1093 | 22612 | 29,7 | 1,0 | 462,5 | 39,8 | 355,5 | 295,8 |
| 1091 | 22412 | 29,7 | 1,0 | 459,1 | 39,9 | 352,3 | 294,5 |
| 1090 | 22212 | 29,7 | 1,0 | 461,1 | 39,6 | 355,5 | 293,6 |
| 1088 | 22012 | 29,7 | 1,0 | 461,1 | 40,0 | 353,4 | 296,3 |
| 1086 | 21812 | 29,8 | 1,0 | 463,1 | 39,7 | 356,0 | 296,1 |
| 1084 | 21612 | 29,8 | 1,0 | 469,0 | 40,3 | 357,5 | 303,6 |
| | | 29,7 | 3,1 | 745,7 | 39,3 | 577,5 | 471,7 |
| 1079 | 21212 | 29,8 | 3,0 | 722,0 | 40,0 | 552,8 | 464,3 |
| 1077 | 21012 | 29,8 | 3,1 | 729,6 | 40,3 | 556,4 | 472,0 |
| 1075 | 20812 | 29,8 | 3,0 | 729,4 | 40,1 | 557,8 | 470,1 |
| 1073 | 20612 | 29,8 | 3,1 | 739,8 | 40,1 | 565,8 | 476,6 |
| 1071 | 20412 | 29,8 | 3,1 | 741,6 | 40,0 | 567,7 | 477,2 |
| 1069 | 20212 | 29,7 | 3,1 | 743,6 | 40,1 | 569,1 | 478,7 |
| 1067 | 20012 | 29,7 | 3,0 | 749,3 | 39,5 | 578,4 | 476,2 |
| 1065 | 19812 | 29,7 | 3,0 | 754,5 | 39,6 | 581,8 | 480,5 |
| 1063 | 19612 | 29,7 | 3,1 | 752,1 | 39,0 | 584,5 | 473,3 |
| 1061 | 19412 | 29,7 | 3,0 | 754,4 | 39,0 | 586,5 | 474,5 |
| 1059 | 19212 | 29,7 | 3,0 | 757,6 | 38,6 | 592,2 | 472,5 |
| 1057 | 19012 | 29,7 | 3,1 | 755,2 | 38,2 | 593,8 | 466,7 |
| 1055 | 18812 | 29,7 | 3,0 | 759,3 | 38,2 | 596,5 | 469,9 |
| 1053 | 18612 | 29,7 | 3,1 | 767,7 | 38,5 | 600,9 | 477,7 |
| 1051 | 18412 | 29,7 | 3,0 | 729,9 | 37,6 | 578,1 | 445,6 |
| | | 29,7 | 10,0 | 1204,2 | 38,2 | 947,0 | 743,9 |
| 1047 | 18012 | 29,7 | 10,0 | 1168,1 | 37,8 | 923,1 | 715,8 |
| 1041 | 17412 | 29,7 | 10,0 | 1167,3 | 38,2 | 917,6 | 721,5 |
| 1037 | 17012 | 29,7 | 10,0 | 1162,8 | 38,7 | 907,4 | 727,2 |
| 1035 | 16812 | 29,7 | 10,0 | 1175,4 | 39,1 | 912,6 | 740,7 |
| 1031 | 16412 | 29,7 | 10,0 | 1177,4 | 38,9 | 916,2 | 739,5 |
| 1019 | 15212 | 29,7 | 10,0 | 1204,5 | 37,9 | 950,1 | 740,3 |
| 1015 | 14812 | 29,7 | 10,0 | 1194,4 | 37,8 | 944,0 | 731,8 |
| 1009 | 14212 | 29,7 | 10,0 | 1183,4 | 38,1 | 931,7 | 729,7 |
| 1003 | 13612 | 29,7 | 10,0 | 1181,7 | 38,3 | 928,0 | 731,6 |
| 999 | 13212 | 29,7 | 10,0 | 1193,9 | 38,4 | 935,1 | 742,3 |
| 993 | 12612 | 29,7 | 10,0 | 1209,2 | 38,7 | 943,2 | 756,6 |
| 990 | 12212 | 29,7 | 10,0 | 1216,9 | 38,7 | 949,4 | 761,3 |
| 978 | 11012 | 29,7 | 10,0 | 1211,4 | 37,2 | 964,5 | 732,9 |
| 974 | 10612 | 29,7 | 10,0 | 1210,1 | 37,8 | 955,6 | 742,3 |
| 962 | 9412 | 29,7 | 10,0 | 1242,1 | 38,6 | 971,3 | 774,2 |
| 958 | 9012 | 29,7 | 10,0 | 1270,3 | 37,5 | 1007,6 | 773,4 |
| 954 | 8612 | 29,7 | 10,0 | 1303,3 | 37,0 | 1040,8 | 784,5 |
| | | 20,1 | 0,1 | 571,4 | 37,2 | 455,2 | 345,3 |
| 944 | 8012 | 20,1 | 0,1 | 575,1 | 37,2 | 458,2 | 347,6 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 942 | 7812 | 20,1 | 0,1 | 570,8 | 37,4 | 453,6 | 346,5 |
| 940 | 7612 | 20,1 | 0,1 | 571,5 | 37,2 | 455,0 | 345,8 |
| 938 | 7412 | 20,1 | 0,1 | 572,1 | 37,5 | 453,9 | 348,3 |
| 936 | 7212 | 20,1 | 0,1 | 569,3 | 37,1 | 454,2 | 343,3 |
| 934 | 7012 | 20,2 | 0,1 | 569,4 | 36,7 | 456,3 | 340,5 |
| | | 20,1 | 0,3 | 874,6 | 37,2 | 697,0 | 528,3 |
| 929 | 6612 | 20,0 | 0,3 | 859,4 | 37,0 | 686,6 | 516,9 |
| 927 | 6412 | 20,1 | 0,3 | 857,6 | 36,7 | 687,9 | 512,1 |
| 925 | 6212 | 20,1 | 0,3 | 866,3 | 37,4 | 688,1 | 526,3 |
| 923 | 6012 | 20,0 | 0,3 | 869,0 | 37,4 | 690,6 | 527,5 |
| 921 | 5812 | 20,1 | 0,3 | 876,3 | 37,1 | 699,0 | 528,5 |
| 919 | 5612 | 20,0 | 0,3 | 884,7 | 37,4 | 702,5 | 537,9 |
| 917 | 5412 | 20,1 | 0,3 | 887,9 | 37,1 | 708,5 | 535,1 |
| 915 | 5212 | 20,0 | 0,3 | 895,7 | 37,3 | 712,7 | 542,5 |
| | | 20,0 | 1,0 | 1389,8 | 34,6 | 1144,2 | 789,0 |
| 910 | 4812 | 20,1 | 1,0 | 1390,3 | 34,9 | 1140,4 | 795,2 |
| 908 | 4612 | 20,0 | 1,0 | 1377,2 | 34,6 | 1133,7 | 781,9 |
| 906 | 4412 | 20,0 | 1,0 | 1385,7 | 34,5 | 1142,3 | 784,5 |
| 905 | 4212 | 20,0 | 1,0 | 1375,4 | 34,4 | 1134,4 | 777,7 |
| 903 | 4012 | 20,1 | 1,0 | 1391,5 | 34,5 | 1146,8 | 788,2 |
| 901 | 3812 | 20,1 | 1,0 | 1383,1 | 34,7 | 1136,9 | 787,7 |
| 899 | 3612 | 20,0 | 1,0 | 1390,2 | 34,3 | 1148,2 | 783,9 |
| 897 | 3412 | 20,0 | 1,0 | 1399,8 | 35,2 | 1144,6 | 805,9 |
| 895 | 3212 | 20,1 | 1,0 | 1415,3 | 34,2 | 1170,3 | 795,8 |
| | | 20,0 | 3,1 | 2064,3 | 33,1 | 1730,0 | 1125,9 |
| 888 | 2612 | 20,1 | 3,0 | 2011,6 | 34,1 | 1665,8 | 1127,6 |
| 886 | 2412 | 20,1 | 3,1 | 2026,8 | 33,7 | 1686,0 | 1124,9 |
| 884 | 2212 | 20,1 | 3,1 | 2045,9 | 33,9 | 1698,2 | 1140,9 |
| 882 | 2012 | 20,1 | 3,1 | 2049,4 | 33,5 | 1708,1 | 1132,5 |
| 880 | 1812 | 20,1 | 3,0 | 2056,1 | 33,5 | 1714,4 | 1135,1 |
| 878 | 1612 | 20,1 | 3,0 | 2070,9 | 33,2 | 1733,1 | 1133,5 |
| 876 | 1412 | 20,0 | 3,1 | 2077,8 | 32,7 | 1747,8 | 1123,7 |
| 874 | 1212 | 20,0 | 3,0 | 2091,3 | 33,1 | 1752,7 | 1140,9 |
| 872 | 1012 | 20,0 | 3,1 | 2082,0 | 32,4 | 1758,7 | 1114,4 |
| 870 | 812 | 20,0 | 3,0 | 2093,5 | 31,8 | 1780,2 | 1101,8 |
| 868 | 612 | 20,0 | 3,0 | 2101,7 | 31,9 | 1785,2 | 1109,2 |
| | | 20,0 | 10,0 | 3087,9 | 30,4 | 2662,9 | 1562,7 |
| 858 | 46812 | 20,0 | 10,0 | 3023,0 | 31,5 | 2578,4 | 1578,1 |
| 854 | 46412 | 20,0 | 10,0 | 3070,7 | 31,2 | 2626,5 | 1590,8 |
| 850 | 46012 | 20,0 | 10,0 | 3069,4 | 30,7 | 2639,1 | 1567,2 |
| 838 | 44812 | 20,0 | 10,0 | 3023,2 | 29,9 | 2622,0 | 1505,0 |
| 834 | 44412 | 20,0 | 10,0 | 3004,7 | 30,7 | 2582,4 | 1536,0 |
| 822 | 43212 | 20,0 | 10,0 | 3074,4 | 31,4 | 2625,2 | 1600,2 |
| 818 | 42812 | 20,0 | 10,0 | 3088,6 | 30,7 | 2654,5 | 1578,9 |
| 816 | 42612 | 20,0 | 10,0 | 3114,5 | 30,6 | 2679,4 | 1587,7 |
| 812 | 42212 | 20,0 | 10,0 | 3079,0 | 30,2 | 2661,9 | 1547,4 |
| 808 | 41812 | 20,0 | 10,0 | 3097,9 | 30,1 | 2680,2 | 1553,5 |
| 802 | 41212 | 20,0 | 10,0 | 3057,4 | 30,1 | 2645,0 | 1533,6 |
| 796 | 40612 | 20,0 | 10,0 | 3058,3 | 30,6 | 2633,2 | 1555,5 |
| 794 | 40412 | 20,1 | 10,5 | 3081,0 | 30,6 | 2652,1 | 1568,0 |
| 792 | 40212 | 20,1 | 10,0 | 3089,9 | 31,0 | 2648,1 | 1592,2 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 781 | 39012 | 20,1 | 10,0 | 3185,1 | 29,4 | 2773,8 | 1565,5 |
| 777 | 38612 | 20,1 | 10,0 | 3186,8 | 29,3 | 2778,9 | 1559,9 |
| 775 | 38412 | 20,1 | 10,0 | 3189,6 | 29,0 | 2789,3 | 1547,1 |
| | | 10,1 | 0,1 | 1971,4 | 30,3 | 1701,7 | 994,6 |
| 756 | 36812 | 10,1 | 0,1 | 1971,7 | 31,2 | 1685,9 | 1022,6 |
| 754 | 36612 | 10,1 | 0,1 | 1975,1 | 31,1 | 1690,3 | 1021,7 |
| 752 | 36412 | 10,2 | 0,1 | 1977,4 | 31,2 | 1692,2 | 1023,2 |
| 750 | 36212 | 10,2 | 0,1 | 1987,1 | 30,8 | 1706,7 | 1017,8 |
| 748 | 36012 | 10,2 | 0,1 | 1994,2 | 30,0 | 1727,0 | 997,3 |
| 746 | 35812 | 10,1 | 0,1 | 1978,3 | 29,4 | 1724,2 | 970,1 |
| 744 | 35612 | 10,1 | 0,1 | 1915,8 | 28,4 | 1686,0 | 909,7 |
| | | 10,0 | 0,3 | 2810,5 | 28,8 | 2461,9 | 1355,5 |
| 739 | 35212 | 10,1 | 0,3 | 2729,6 | 28,8 | 2391,6 | 1315,7 |
| 737 | 35012 | 10,0 | 0,3 | 2736,0 | 28,9 | 2394,8 | 1323,0 |
| 735 | 34812 | 10,0 | 0,3 | 2787,4 | 29,2 | 2432,9 | 1360,5 |
| 733 | 34612 | 10,0 | 0,3 | 2795,6 | 28,7 | 2451,3 | 1344,0 |
| 731 | 34412 | 10,0 | 0,3 | 2806,6 | 29,2 | 2451,0 | 1367,4 |
| 729 | 34212 | 10,0 | 0,3 | 2832,5 | 28,6 | 2486,8 | 1356,1 |
| 727 | 34012 | 10,0 | 0,3 | 2878,3 | 28,4 | 2531,7 | 1369,3 |
| 725 | 33812 | 10,0 | 0,3 | 2917,8 | 28,9 | 2555,5 | 1408,2 |
| | | 10,0 | 1,0 | 4001,4 | 25,5 | 3611,7 | 1722,1 |
| 720 | 33412 | 10,0 | 1,0 | 3973,0 | 26,0 | 3571,5 | 1740,6 |
| 719 | 33212 | 10,0 | 1,0 | 3955,9 | 25,3 | 3577,6 | 1688,3 |
| 717 | 33012 | 10,0 | 1,0 | 3976,1 | 25,3 | 3594,5 | 1699,6 |
| 715 | 32812 | 10,1 | 1,0 | 3941,4 | 25,3 | 3563,8 | 1683,5 |
| 713 | 32612 | 10,0 | 1,0 | 3980,3 | 25,4 | 3594,9 | 1708,7 |
| 711 | 32412 | 10,0 | 1,0 | 3945,1 | 26,2 | 3540,0 | 1741,3 |
| 709 | 32212 | 10,0 | 1,0 | 4010,0 | 25,5 | 3620,2 | 1724,6 |
| 707 | 32012 | 10,0 | 1,0 | 4060,4 | 26,3 | 3639,0 | 1801,3 |
| 705 | 31812 | 10,0 | 1,0 | 4170,6 | 24,2 | 3803,5 | 1710,9 |
| | | 10,1 | 3,0 | 5344,1 | 23,1 | 4914,1 | 2099,7 |
| 700 | 31412 | 10,1 | 3,1 | 5262,3 | 23,9 | 4810,3 | 2133,8 |
| 698 | 31212 | 10,1 | 3,0 | 5315,7 | 24,1 | 4852,1 | 2171,2 |
| 696 | 31012 | 10,1 | 3,1 | 5305,5 | 24,0 | 4847,9 | 2155,5 |
| 694 | 30812 | 10,1 | 3,0 | 5309,9 | 23,7 | 4862,0 | 2134,3 |
| 692 | 30612 | 10,1 | 3,0 | 5332,1 | 23,5 | 4890,6 | 2124,5 |
| 690 | 30412 | 10,0 | 3,1 | 5350,7 | 22,8 | 4931,4 | 2076,4 |
| 688 | 30212 | 10,0 | 3,0 | 5362,0 | 22,7 | 4947,6 | 2066,8 |
| 686 | 30012 | 10,0 | 3,0 | 5371,8 | 22,8 | 4952,5 | 2080,5 |
| 684 | 29812 | 10,0 | 3,1 | 5339,9 | 22,5 | 4932,9 | 2044,8 |
| 682 | 29612 | 10,1 | 3,0 | 5368,8 | 22,3 | 4967,0 | 2037,8 |
| 680 | 29412 | 10,1 | 3,1 | 5385,2 | 22,9 | 4960,5 | 2096,0 |
| 678 | 29212 | 10,1 | 3,0 | 5374,1 | 23,0 | 4948,4 | 2096,3 |
| 676 | 29012 | 10,1 | 3,0 | 5395,5 | 22,7 | 4979,3 | 2077,9 |
| | | 10,1 | 10,0 | 7075,7 | 20,8 | 6614,3 | 2512,7 |
| 660 | 27412 | 10,1 | 10,0 | 7037,9 | 21,3 | 6559,3 | 2551,0 |
| 656 | 27012 | 10,1 | 10,0 | 7036,5 | 21,4 | 6551,4 | 2567,5 |
| 650 | 26412 | 10,1 | 10,0 | 7042,4 | 20,9 | 6577,3 | 2517,0 |
| 646 | 26012 | 10,2 | 10,0 | 7024,1 | 20,5 | 6580,0 | 2457,8 |
| 636 | 25012 | 10,2 | 10,0 | 6990,6 | 21,2 | 6519,3 | 2523,6 |
| 634 | 24812 | 10,2 | 10,0 | 6992,1 | 21,3 | 6513,7 | 2541,7 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 630 | 24412 | 10,2 | 10,0 | 7033,6 | 21,4 | 6548,0 | 2568,1 |
| 627 | 24012 | 10,1 | 10,0 | 7062,8 | 21,1 | 6590,9 | 2538,2 |
| 615 | 22812 | 10,1 | 10,0 | 7070,7 | 20,4 | 6625,7 | 2468,8 |
| 611 | 22412 | 10,1 | 10,0 | 7051,8 | 20,4 | 6610,0 | 2456,7 |
| 607 | 22012 | 10,1 | 10,0 | 7113,1 | 20,1 | 6677,8 | 2449,9 |
| 605 | 21812 | 10,1 | 10,0 | 7125,2 | 20,6 | 6671,8 | 2501,2 |
| 595 | 20812 | 10,1 | 10,0 | 7219,9 | 20,4 | 6768,1 | 2513,9 |
| 593 | 20612 | 10,1 | 10,5 | 7259,1 | 20,3 | 6806,8 | 2522,4 |
| | | 0,5 | 0,1 | 5658,8 | 21,0 | 5281,4 | 2031,2 |
| 566 | 18212 | 0,5 | 0,1 | 5556,7 | 21,9 | 5154,9 | 2074,6 |
| 564 | 18012 | 0,5 | 0,1 | 5624,8 | 21,2 | 5245,1 | 2031,6 |
| 562 | 17812 | 0,5 | 0,1 | 5663,1 | 20,6 | 5300,4 | 1994,3 |
| 560 | 17612 | 0,5 | 0,1 | 5697,4 | 21,1 | 5313,9 | 2054,8 |
| 558 | 17412 | 0,5 | 0,1 | 5751,9 | 20,4 | 5392,7 | 2000,6 |
| | | 0,4 | 0,3 | 7101,4 | 18,3 | 6740,6 | 2234,5 |
| 551 | 16812 | 0,5 | 0,3 | 7095,7 | 18,4 | 6732,6 | 2240,8 |
| 549 | 16612 | 0,5 | 0,3 | 7113,7 | 18,4 | 6749,4 | 2247,1 |
| 548 | 16412 | 0,4 | 0,3 | 7103,4 | 18,4 | 6739,0 | 2246,1 |
| 546 | 16212 | 0,4 | 0,3 | 7085,3 | 18,3 | 6725,6 | 2229,0 |
| 544 | 16012 | 0,4 | 0,3 | 7108,7 | 18,1 | 6756,5 | 2209,7 |
| | | 0,5 | 1,0 | 8968,0 | 16,2 | 8613,1 | 2497,0 |
| 531 | 14812 | 0,5 | 1,0 | 8947,2 | 16,5 | 8580,8 | 2534,3 |
| 529 | 14612 | 0,5 | 1,0 | 8950,6 | 17,1 | 8556,0 | 2628,5 |
| 527 | 14412 | 0,5 | 1,0 | 8970,0 | 16,1 | 8617,2 | 2490,9 |
| 525 | 14212 | 0,5 | 1,0 | 9095,0 | 16,2 | 8735,7 | 2530,9 |
| 523 | 14012 | 0,5 | 1,0 | 9004,0 | 16,0 | 8653,6 | 2487,5 |
| 521 | 13812 | 0,5 | 1,0 | 8997,6 | 15,6 | 8665,1 | 2423,2 |
| 515 | 13212 | 0,5 | 1,0 | 8811,8 | 15,7 | 8483,4 | 2383,4 |
| | | 0,5 | 3,1 | 10789,4 | 14,4 | 10449,4 | 2684,9 |
| 510 | 12812 | 0,5 | 3,0 | 10690,9 | 14,8 | 10334,3 | 2738,3 |
| 508 | 12612 | 0,5 | 3,1 | 10682,2 | 14,7 | 10331,0 | 2716,7 |
| 506 | 12412 | 0,5 | 3,0 | 10665,4 | 15,1 | 10298,7 | 2772,5 |
| 504 | 12212 | 0,5 | 3,1 | 10678,4 | 15,0 | 10315,9 | 2758,6 |
| 502 | 12012 | 0,5 | 3,0 | 10764,6 | 15,0 | 10399,8 | 2778,6 |
| 500 | 11812 | 0,5 | 3,0 | 10720,8 | 15,0 | 10353,8 | 2781,2 |
| 498 | 11612 | 0,5 | 3,1 | 10841,2 | 14,7 | 10485,9 | 2752,9 |
| 496 | 11412 | 0,5 | 3,1 | 10772,4 | 14,5 | 10428,6 | 2699,5 |
| 494 | 11212 | 0,5 | 3,1 | 10865,9 | 14,2 | 10535,2 | 2660,3 |
| 493 | 11012 | 0,5 | 3,1 | 10875,5 | 13,9 | 10555,3 | 2619,4 |
| 491 | 10812 | 0,5 | 3,1 | 10776,2 | 13,7 | 10470,1 | 2550,0 |
| 489 | 10612 | 0,5 | 3,1 | 10709,5 | 13,3 | 10421,4 | 2467,7 |
| 487 | 10412 | 0,5 | 3,1 | 10813,9 | 14,3 | 10476,9 | 2678,5 |
| 485 | 10212 | 0,5 | 3,1 | 11194,1 | 13,5 | 10884,4 | 2615,1 |
| | | 0,5 | 10,0 | 12895,1 | 12,7 | 12579,9 | 2830,2 |
| 478 | 9612 | 0,5 | 10,0 | 12748,3 | 13,2 | 12412,5 | 2907,0 |
| 474 | 9212 | 0,5 | 10,0 | 12789,8 | 13,4 | 12443,6 | 2955,6 |
| 471 | 8812 | 0,5 | 10,0 | 12830,2 | 13,5 | 12474,7 | 2999,1 |
| 467 | 8412 | 0,5 | 10,0 | 12869,4 | 13,0 | 12538,0 | 2902,1 |
| 465 | 8212 | 0,5 | 10,0 | 12926,4 | 13,1 | 12588,3 | 2937,1 |
| 461 | 7812 | 0,5 | 10,0 | 12919,7 | 12,7 | 12606,1 | 2829,5 |
| 459 | 7612 | 0,5 | 10,0 | 12894,1 | 12,7 | 12579,4 | 2831,5 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 455 | 7212 | 0,5 | 10,0 | 12737,6 | 12,7 | 12424,9 | 2804,8 |
| 453 | 7012 | 0,5 | 10,0 | 12710,9 | 12,7 | 12397,7 | 2804,1 |
| 449 | 6612 | 0,5 | 10,0 | 12725,6 | 13,2 | 12391,6 | 2896,5 |
| 447 | 6412 | 0,5 | 10,0 | 12862,5 | 12,9 | 12538,6 | 2868,5 |
| 441 | 5812 | 0,5 | 10,0 | 12893,2 | 13,0 | 12560,6 | 2909,7 |
| 437 | 5412 | 0,5 | 10,0 | 12975,0 | 12,7 | 12659,3 | 2844,8 |
| 410 | 2612 | 0,5 | 10,0 | 12998,5 | 13,3 | 12652,1 | 2980,7 |
| 406 | 2212 | 0,5 | 10,0 | 12965,7 | 12,6 | 12654,2 | 2824,8 |
| 402 | 1812 | 0,5 | 10,0 | 12990,7 | 12,7 | 12672,6 | 2857,3 |
| 398 | 1412 | 0,5 | 10,0 | 12973,1 | 11,4 | 12716,9 | 2565,7 |
| 394 | 1012 | 0,5 | 10,0 | 12945,8 | 12,2 | 12655,8 | 2724,9 |
| 390 | 612 | 0,5 | 10,0 | 13064,5 | 11,4 | 12805,4 | 2589,0 |
| 386 | 212 | 0,5 | 10,0 | 13080,7 | 11,3 | 12825,3 | 2572,2 |
| | | -8,5 | 0,1 | 11833,0 | 11,7 | 11586,7 | 2399,6 |
| 378 | 39212 | -8,7 | 0,1 | 11730,8 | 12,2 | 11467,2 | 2473,1 |
| 376 | 39012 | -8,6 | 0,1 | 11753,4 | 12,5 | 11476,7 | 2535,6 |
| 375 | 38812 | -8,5 | 0,1 | 11765,2 | 11,5 | 11527,1 | 2354,7 |
| 373 | 38612 | -8,4 | 0,1 | 11837,4 | 11,3 | 11606,5 | 2327,0 |
| 371 | 38412 | -8,4 | 0,1 | 11848,1 | 11,0 | 11628,9 | 2268,2 |
| 369 | 38212 | -8,6 | 0,1 | 12062,8 | 11,7 | 11813,7 | 2438,8 |
| | | -9,2 | 0,3 | 13645,3 | 10,9 | 13397,1 | 2589,3 |
| 362 | 37612 | -9,1 | 0,3 | 13539,1 | 11,4 | 13272,4 | 2674,1 |
| 360 | 37412 | -9,1 | 0,3 | 13532,1 | 11,1 | 13277,7 | 2611,5 |
| 358 | 37212 | -9,2 | 0,3 | 13688,9 | 11,2 | 13429,0 | 2655,2 |
| 356 | 37012 | -9,1 | 0,3 | 13763,2 | 10,5 | 13531,5 | 2514,5 |
| 354 | 36812 | -9,2 | 0,3 | 13689,4 | 10,7 | 13451,1 | 2543,4 |
| 352 | 36612 | -9,2 | 0,3 | 13658,8 | 10,7 | 13421,1 | 2536,9 |
| | | -9,2 | 1,0 | 15530,0 | 9,6 | 15311,0 | 2596,5 |
| 343 | 35812 | -9,3 | 1,0 | 15644,4 | 9,5 | 15428,8 | 2588,6 |
| 341 | 35612 | -9,2 | 1,0 | 15488,8 | 10,0 | 15255,6 | 2677,8 |
| 339 | 35412 | -9,2 | 1,0 | 15492,2 | 9,4 | 15283,5 | 2534,2 |
| 337 | 35212 | -9,3 | 1,0 | 15572,6 | 10,1 | 15332,2 | 2725,8 |
| 335 | 35012 | -9,2 | 1,0 | 15367,6 | 9,0 | 15176,8 | 2414,2 |
| 333 | 34812 | -9,2 | 1,0 | 15657,2 | 9,3 | 15450,4 | 2536,1 |
| 331 | 34612 | -9,3 | 1,0 | 15486,9 | 10,0 | 15249,8 | 2699,3 |
| | | -9,1 | 3,1 | 17520,3 | 8,6 | 17323,9 | 2614,2 |
| 322 | 33812 | -9,2 | 3,1 | 17465,9 | 8,6 | 17270,9 | 2602,4 |
| 321 | 33612 | -9,1 | 3,0 | 17483,7 | 8,6 | 17285,8 | 2623,1 |
| 319 | 33412 | -9,1 | 3,0 | 17514,1 | 8,6 | 17318,1 | 2613,1 |
| 317 | 33212 | -9,1 | 3,0 | 17626,0 | 7,9 | 17457,8 | 2429,5 |
| 315 | 33012 | -9,1 | 3,0 | 17516,6 | 8,6 | 17317,4 | 2634,4 |
| 313 | 32812 | -9,2 | 3,0 | 17515,7 | 9,1 | 17293,2 | 2782,8 |
| | | -9,3 | 10,2 | 19446,6 | 7,8 | 19265,2 | 2643,7 |
| 291 | 30612 | -9,3 | 10,3 | 19472,0 | 7,9 | 19286,3 | 2682,7 |
| 289 | 30412 | -9,3 | 10,3 | 19381,6 | 8,0 | 19194,9 | 2684,1 |
| 287 | 30212 | -9,3 | 10,2 | 19395,9 | 8,1 | 19202,7 | 2731,0 |
| 285 | 30012 | -9,3 | 9,9 | 19370,3 | 8,1 | 19179,0 | 2715,9 |
| 283 | 29812 | -9,3 | 10,3 | 19516,2 | 7,8 | 19334,3 | 2658,4 |
| 281 | 29612 | -9,3 | 10,3 | 19550,3 | 8,1 | 19356,8 | 2744,0 |
| 279 | 29412 | -9,3 | 10,2 | 19412,7 | 8,4 | 19202,4 | 2849,6 |
| 277 | 29212 | -9,3 | 10,3 | 19460,1 | 8,0 | 19272,3 | 2696,8 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 276 | 29012 | -9,3 | 9,9 | 19456,4 | 8,4 | 19248,3 | 2837,8 |
| 274 | 28812 | -9,3 | 10,3 | 19564,6 | 7,9 | 19379,2 | 2686,5 |
| 272 | 28612 | -9,3 | 10,2 | 19604,5 | 7,8 | 19424,8 | 2647,9 |
| 270 | 28412 | -9,3 | 10,3 | 19572,9 | 8,2 | 19374,7 | 2778,0 |
| 268 | 28212 | -9,3 | 10,3 | 19478,0 | 7,5 | 19310,8 | 2546,9 |
| 266 | 28012 | -9,3 | 10,2 | 19558,3 | 7,6 | 19388,3 | 2573,4 |
| 264 | 27812 | -9,3 | 10,3 | 19510,9 | 7,5 | 19345,8 | 2533,2 |
| 262 | 27612 | -9,3 | 10,3 | 19465,5 | 8,2 | 19264,8 | 2787,8 |
| 260 | 27412 | -9,3 | 10,3 | 19458,6 | 7,9 | 19274,8 | 2668,1 |
| 258 | 27212 | -9,3 | 10,2 | 19411,0 | 7,8 | 19231,9 | 2630,9 |
| 256 | 27012 | -9,3 | 10,3 | 19507,0 | 8,0 | 19315,8 | 2724,2 |
| 254 | 26812 | -9,3 | 10,3 | 19453,6 | 7,7 | 19280,4 | 2589,7 |
| 252 | 26612 | -9,3 | 10,2 | 19474,8 | 7,9 | 19292,1 | 2661,5 |
| 250 | 26412 | -9,3 | 10,3 | 19392,8 | 8,1 | 19199,8 | 2728,7 |
| 248 | 26212 | -9,2 | 10,3 | 19427,7 | 7,5 | 19260,9 | 2540,4 |
| 246 | 26012 | -9,2 | 10,3 | 19643,5 | 7,7 | 19467,3 | 2625,4 |
| 244 | 25812 | -9,2 | 10,2 | 19410,7 | 8,1 | 19218,2 | 2727,4 |
| 242 | 25612 | -9,2 | 10,3 | 19515,7 | 7,4 | 19351,8 | 2523,6 |
| 240 | 25412 | -9,2 | 10,3 | 19605,8 | 7,6 | 19432,1 | 2604,2 |
| 238 | 25212 | -9,3 | 10,2 | 19664,2 | 7,5 | 19494,2 | 2580,0 |
| 236 | 25012 | -9,3 | 10,3 | 19439,8 | 7,3 | 19283,9 | 2457,2 |
| 234 | 24812 | -9,3 | 10,3 | 19585,4 | 7,8 | 19402,6 | 2669,1 |
| 232 | 24612 | -9,3 | 10,3 | 19606,3 | 7,8 | 19426,1 | 2651,9 |
| 230 | 24412 | -9,3 | 10,2 | 19521,9 | 7,7 | 19345,7 | 2617,1 |
| 228 | 24212 | -9,3 | 10,3 | 19471,1 | 7,5 | 19304,5 | 2541,7 |
| 226 | 24012 | -9,3 | 10,3 | 19548,3 | 6,9 | 19405,5 | 2358,4 |
| 224 | 23812 | -9,3 | 9,9 | 19392,9 | 7,9 | 19206,7 | 2680,9 |
| 222 | 23612 | -9,3 | 10,2 | 19257,9 | 8,2 | 19060,3 | 2752,1 |
| 220 | 23412 | -9,3 | 10,3 | 19548,7 | 7,7 | 19371,1 | 2628,7 |
| 218 | 23212 | -9,3 | 10,3 | 19374,6 | 8,8 | 19145,3 | 2971,6 |
| 216 | 23012 | -9,4 | 10,2 | 19231,3 | 8,1 | 19039,0 | 2713,3 |
| 215 | 22812 | -9,4 | 9,9 | 19257,4 | 7,3 | 19102,4 | 2437,9 |
| 213 | 22612 | -9,4 | 10,3 | 19346,8 | 7,5 | 19183,1 | 2511,5 |
| 211 | 22412 | -9,4 | 10,3 | 19296,0 | 7,4 | 19135,3 | 2485,2 |
| 209 | 22212 | -9,4 | 10,2 | 19314,3 | 7,5 | 19148,2 | 2527,9 |
| 207 | 22012 | -9,4 | 10,3 | 19324,1 | 8,8 | 19097,0 | 2953,5 |
| 205 | 21812 | -9,3 | 10,3 | 19307,0 | 7,0 | 19162,1 | 2360,5 |
| 203 | 21612 | -9,3 | 10,3 | 19487,7 | 8,2 | 19290,6 | 2765,1 |
| 201 | 21412 | -9,4 | 10,2 | 18988,5 | 5,6 | 18897,9 | 1852,8 |
| 199 | 21212 | -9,3 | 10,3 | 19598,7 | 8,1 | 19403,9 | 2756,5 |
| 197 | 21012 | -9,4 | 10,3 | 19247,0 | 9,2 | 18997,6 | 3088,5 |
| | | -19,6 | 0,1 | 18838,0 | 7,2 | 18689,0 | 2358,8 |
| 188 | 20412 | -19,7 | 0,1 | 18723,1 | 7,2 | 18576,4 | 2339,0 |
| 186 | 20212 | -19,5 | 0,1 | 18878,1 | 7,9 | 18697,2 | 2606,7 |
| 184 | 20012 | -19,5 | 0,1 | 19034,8 | 7,2 | 18882,7 | 2401,2 |
| 182 | 19812 | -19,6 | 0,1 | 18535,5 | 7,2 | 18390,8 | 2311,8 |
| 180 | 19612 | -19,5 | 0,1 | 19018,3 | 6,4 | 18898,0 | 2135,2 |
| | | -19,5 | 0,3 | 20437,2 | 6,8 | 20293,0 | 2423,2 |
| 173 | 19012 | -19,6 | 0,3 | 20442,6 | 6,8 | 20298,6 | 2422,3 |
| 171 | 18812 | -19,3 | 0,3 | 20440,1 | 6,9 | 20293,0 | 2447,5 |
| 169 | 18612 | -19,5 | 0,3 | 20457,2 | 6,7 | 20318,5 | 2378,5 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 167 | 18412 | -19,4 | 0,3 | 20345,9 | 6,8 | 20201,4 | 2420,7 |
| 165 | 18212 | -19,6 | 0,3 | 20395,5 | 6,9 | 20249,8 | 2432,9 |
| 163 | 18012 | -19,5 | 0,3 | 20337,0 | 6,7 | 20199,6 | 2360,2 |
| 161 | 17812 | -19,7 | 0,3 | 20641,8 | 7,0 | 20489,8 | 2500,6 |
| | | -19,5 | 1,0 | 22307,7 | 5,9 | 22189,4 | 2287,6 |
| 154 | 17212 | -19,5 | 1,0 | 22288,9 | 6,3 | 22152,8 | 2459,3 |
| 153 | 17012 | -19,4 | 1,0 | 22486,9 | 5,2 | 22393,8 | 2044,4 |
| 151 | 16812 | -19,4 | 1,0 | 22047,1 | 6,2 | 21917,8 | 2383,6 |
| 149 | 16612 | -19,6 | 1,0 | 22269,1 | 5,5 | 22168,3 | 2116,3 |
| 147 | 16412 | -19,7 | 1,0 | 22446,8 | 6,2 | 22314,4 | 2434,4 |
| | | -19,4 | 3,1 | 23872,3 | 5,2 | 23772,3 | 2179,8 |
| 132 | 15012 | -19,5 | 3,1 | 23661,8 | 5,7 | 23546,9 | 2329,7 |
| 130 | 14812 | -19,5 | 3,1 | 23989,6 | 5,3 | 23886,2 | 2224,8 |
| 128 | 14612 | -19,5 | 3,1 | 23862,9 | 5,2 | 23762,9 | 2182,8 |
| 126 | 14412 | -19,5 | 3,1 | 24068,1 | 5,3 | 23966,9 | 2205,3 |
| 124 | 14212 | -19,4 | 3,1 | 23925,2 | 5,0 | 23834,9 | 2076,9 |
| 122 | 14012 | -19,4 | 3,1 | 23725,8 | 5,0 | 23636,3 | 2059,1 |
| | | -18,8 | 10,2 | 25587,2 | 4,9 | 25493,5 | 2185,8 |
| 102 | 12012 | -18,7 | 10,2 | 25506,9 | 5,3 | 25399,6 | 2336,4 |
| 100 | 11812 | -18,8 | 10,3 | 25561,1 | 4,9 | 25466,6 | 2195,6 |
| 98 | 11612 | -18,8 | 10,3 | 25598,4 | 5,0 | 25500,9 | 2231,9 |
| 96 | 11412 | -18,8 | 10,3 | 25631,7 | 5,0 | 25533,0 | 2247,6 |
| 94 | 11212 | -18,8 | 10,0 | 25662,3 | 5,0 | 25564,7 | 2237,1 |
| 92 | 11012 | -18,8 | 10,3 | 25527,3 | 4,7 | 25442,0 | 2084,6 |
| 90 | 10812 | -18,8 | 10,3 | 25659,1 | 4,9 | 25567,1 | 2170,9 |
| 88 | 10612 | -18,7 | 10,2 | 25765,8 | 4,7 | 25680,6 | 2093,5 |
| 86 | 10412 | -18,7 | 10,3 | 25746,6 | 4,8 | 25656,7 | 2149,3 |
| 84 | 10212 | -18,7 | 10,3 | 25463,2 | 5,1 | 25362,6 | 2260,7 |
| 82 | 10012 | -18,7 | 10,3 | 25484,5 | 4,7 | 25397,8 | 2099,9 |
| 80 | 9812 | -18,7 | 10,2 | 25572,8 | 4,5 | 25493,6 | 2011,7 |
| 78 | 9612 | -18,7 | 10,3 | 25516,9 | 4,8 | 25427,4 | 2135,7 |
| 76 | 9412 | -18,7 | 10,3 | 25524,7 | 4,8 | 25434,7 | 2141,9 |
| 74 | 9212 | -18,7 | 10,2 | 25505,0 | 4,8 | 25417,3 | 2112,4 |
| 72 | 9012 | -18,7 | 10,1 | 25743,3 | 4,7 | 25656,5 | 2112,1 |
| 71 | 8812 | -18,7 | 10,3 | 25705,7 | 4,9 | 25610,5 | 2210,4 |
| 69 | 8612 | -18,8 | 10,3 | 25597,1 | 5,3 | 25487,5 | 2366,0 |
| 67 | 8412 | -18,8 | 10,0 | 25483,9 | 5,2 | 25377,7 | 2325,0 |
| 65 | 8212 | -18,8 | 10,3 | 25615,2 | 4,9 | 25520,2 | 2204,3 |
| 63 | 8012 | -18,8 | 10,3 | 25575,7 | 4,9 | 25482,5 | 2182,3 |
| 61 | 7812 | -18,8 | 10,3 | 25663,7 | 5,0 | 25567,7 | 2218,3 |
| 59 | 7612 | -18,8 | 10,2 | 25627,7 | 5,0 | 25528,3 | 2255,4 |
| 57 | 7412 | -18,8 | 10,3 | 25353,3 | 4,7 | 25268,2 | 2076,5 |

*Table 8 Résultats brut module complexe pour l'enrobé avec 20% GBR ep 1*

| N | No de ligne | Température | Freq | \|E*\| | ϕ | E1 | E2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cycle | # | °C | Hz | Mpa | (°) | Mpa | Mpa |
| | | 39,4 | 0,1 | 111,1 | 40,1 | 85,1 | 71,4 |
| 1416 | 44412 | 39,4 | 0,1 | 103,3 | 40,8 | 78,2 | 67,5 |
| 1414 | 44212 | 39,4 | 0,1 | 104,6 | 41,3 | 78,6 | 69,0 |
| 1412 | 44012 | 39,4 | 0,1 | 113,2 | 39,4 | 87,5 | 71,8 |
| 1410 | 43812 | 39,4 | 0,1 | 123,1 | 38,6 | 96,2 | 76,7 |
| 1408 | 43612 | 39,4 | 0,1 | 111,2 | 40,4 | 84,7 | 72,1 |
| | | 39,4 | 0,3 | 156,0 | 42,7 | 114,6 | 105,8 |
| 1401 | 43012 | 39,4 | 0,3 | 156,1 | 43,0 | 114,1 | 106,6 |
| 1399 | 42812 | 39,4 | 0,3 | 157,1 | 42,5 | 115,9 | 106,1 |
| 1397 | 42612 | 39,4 | 0,3 | 154,5 | 43,9 | 111,4 | 107,1 |
| 1395 | 42412 | 39,4 | 0,3 | 154,7 | 43,0 | 113,2 | 105,5 |
| 1393 | 42212 | 39,4 | 0,3 | 157,4 | 41,3 | 118,3 | 103,8 |
| | | 39,4 | 1,0 | 258,9 | 43,2 | 188,7 | 177,2 |
| 1382 | 41212 | 39,4 | 1,0 | 265,9 | 42,1 | 197,4 | 178,1 |
| 1380 | 41012 | 39,4 | 1,0 | 259,2 | 43,8 | 187,0 | 179,5 |
| 1378 | 40812 | 39,4 | 1,0 | 255,2 | 43,9 | 183,8 | 177,1 |
| 1376 | 40612 | 39,4 | 1,0 | 256,0 | 43,4 | 186,1 | 175,8 |
| 1374 | 40412 | 39,4 | 1,0 | 258,1 | 42,8 | 189,4 | 175,4 |
| | | 39,4 | 3,0 | 428,4 | 42,7 | 314,6 | 290,7 |
| 1361 | 39212 | 39,5 | 3,0 | 425,2 | 43,5 | 308,4 | 292,7 |
| 1359 | 39012 | 39,5 | 3,0 | 427,4 | 42,5 | 315,4 | 288,6 |
| 1357 | 38812 | 39,4 | 3,0 | 426,3 | 42,6 | 313,8 | 288,5 |
| 1355 | 38612 | 39,4 | 3,0 | 426,2 | 43,4 | 309,4 | 293,1 |
| 1353 | 38412 | 39,4 | 3,0 | 426,3 | 42,9 | 312,1 | 290,5 |
| 1351 | 38212 | 39,4 | 3,0 | 428,1 | 42,3 | 316,8 | 287,9 |
| 1349 | 38012 | 39,4 | 3,0 | 430,4 | 42,7 | 316,3 | 292,0 |
| 1347 | 37812 | 39,4 | 3,0 | 437,1 | 42,0 | 324,8 | 292,5 |
| | | 39,4 | 10,0 | 734,3 | 41,4 | 550,9 | 485,5 |
| 1313 | 34412 | 39,4 | 10,0 | 726,7 | 41,6 | 543,3 | 482,7 |
| 1309 | 34012 | 39,4 | 10,0 | 725,2 | 42,0 | 539,1 | 485,1 |
| 1307 | 33812 | 39,4 | 10,0 | 725,2 | 41,4 | 543,9 | 479,7 |
| 1303 | 33412 | 39,4 | 10,0 | 728,5 | 40,6 | 553,3 | 473,9 |
| 1299 | 33012 | 39,4 | 10,0 | 729,7 | 41,8 | 543,7 | 486,7 |
| 1297 | 32812 | 39,4 | 10,0 | 730,9 | 41,1 | 550,4 | 480,8 |
| 1293 | 32412 | 39,4 | 10,0 | 730,2 | 41,1 | 550,2 | 480,1 |
| 1289 | 32012 | 39,4 | 10,0 | 731,0 | 41,0 | 551,7 | 479,6 |
| 1287 | 31812 | 39,4 | 10,0 | 735,0 | 42,2 | 544,3 | 493,9 |
| 1283 | 31412 | 39,4 | 10,0 | 733,7 | 41,0 | 554,0 | 481,1 |
| 1279 | 31012 | 39,4 | 10,0 | 735,9 | 41,9 | 547,7 | 491,6 |
| 1277 | 30812 | 39,4 | 10,0 | 735,3 | 41,7 | 549,4 | 488,6 |
| 1273 | 30412 | 39,4 | 10,0 | 736,8 | 40,9 | 556,7 | 482,7 |
| 1269 | 30012 | 39,4 | 10,0 | 737,9 | 41,0 | 557,0 | 483,9 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1267 | 29812 | 39,4 | 10,0 | 749,1 | 41,2 | 563,4 | 493,6 |
| 1263 | 29412 | 39,4 | 10,0 | 757,5 | 41,7 | 565,9 | 503,5 |
| | | 29,7 | 0,1 | 336,5 | 38,8 | 262,5 | 210,7 |
| 1227 | 26212 | 29,7 | 0,1 | 320,7 | 39,0 | 249,3 | 201,8 |
| 1225 | 26012 | 29,7 | 0,1 | 326,5 | 38,8 | 254,5 | 204,6 |
| 1223 | 25812 | 29,7 | 0,1 | 338,3 | 38,5 | 264,6 | 210,8 |
| 1221 | 25612 | 29,7 | 0,1 | 360,6 | 38,7 | 281,5 | 225,5 |
| | | 29,8 | 0,3 | 507,9 | 38,5 | 397,3 | 316,5 |
| 1212 | 24812 | 29,7 | 0,3 | 494,4 | 38,7 | 385,7 | 309,3 |
| 1210 | 24612 | 29,8 | 0,3 | 502,4 | 38,5 | 393,2 | 312,8 |
| 1208 | 24412 | 29,8 | 0,3 | 509,7 | 38,2 | 400,3 | 315,5 |
| 1206 | 24212 | 29,8 | 0,3 | 522,9 | 38,4 | 409,8 | 324,8 |
| 1204 | 24012 | 29,8 | 0,3 | 510,3 | 38,8 | 397,5 | 320,0 |
| | | 29,8 | 1,0 | 830,4 | 37,4 | 659,3 | 504,8 |
| 1193 | 23012 | 29,7 | 1,0 | 811,3 | 37,8 | 640,9 | 497,4 |
| 1191 | 22812 | 29,8 | 1,0 | 822,1 | 37,9 | 648,4 | 505,3 |
| 1189 | 22612 | 29,8 | 1,0 | 827,0 | 37,4 | 656,7 | 502,8 |
| 1187 | 22412 | 29,8 | 1,0 | 834,1 | 36,9 | 667,0 | 500,7 |
| 1185 | 22212 | 29,8 | 1,0 | 857,4 | 37,2 | 683,3 | 517,9 |
| | | 29,7 | 3,0 | 1258,5 | 36,4 | 1012,4 | 747,5 |
| 1172 | 21012 | 29,7 | 3,0 | 1251,4 | 36,3 | 1008,4 | 741,0 |
| 1170 | 20812 | 29,7 | 3,0 | 1229,5 | 36,9 | 983,2 | 738,3 |
| 1168 | 20612 | 29,7 | 3,0 | 1250,4 | 36,6 | 1003,9 | 745,5 |
| 1166 | 20412 | 29,7 | 3,0 | 1252,1 | 36,6 | 1005,9 | 745,7 |
| 1164 | 20212 | 29,7 | 3,0 | 1264,8 | 36,5 | 1017,2 | 751,8 |
| 1162 | 20012 | 29,7 | 3,0 | 1282,2 | 36,0 | 1036,8 | 754,4 |
| 1160 | 19812 | 29,7 | 3,0 | 1278,8 | 36,2 | 1031,5 | 755,9 |
| | | 29,8 | 10,0 | 1932,3 | 34,5 | 1592,3 | 1094,8 |
| 1140 | 17812 | 29,8 | 10,0 | 1914,8 | 34,8 | 1572,8 | 1092,0 |
| 1138 | 17612 | 29,8 | 10,0 | 1910,2 | 34,8 | 1567,8 | 1091,3 |
| 1134 | 17212 | 29,8 | 10,0 | 1903,5 | 34,8 | 1562,2 | 1087,5 |
| 1130 | 16812 | 29,8 | 10,0 | 1907,5 | 34,9 | 1564,0 | 1092,1 |
| 1128 | 16612 | 29,8 | 10,0 | 1916,9 | 34,7 | 1576,2 | 1090,8 |
| 1124 | 16212 | 29,8 | 10,0 | 1919,5 | 34,7 | 1577,3 | 1093,8 |
| 1118 | 15612 | 29,8 | 10,0 | 1928,8 | 34,5 | 1589,3 | 1092,9 |
| 1114 | 15212 | 29,8 | 10,0 | 1920,2 | 34,6 | 1581,2 | 1089,5 |
| 1108 | 14612 | 29,8 | 10,0 | 1927,2 | 34,5 | 1588,3 | 1091,6 |
| 1104 | 14212 | 29,8 | 10,0 | 1943,1 | 34,3 | 1605,0 | 1095,3 |
| 1098 | 13612 | 29,8 | 10,0 | 1956,5 | 34,2 | 1619,0 | 1098,6 |
| 1094 | 13212 | 29,7 | 10,0 | 1979,6 | 34,0 | 1641,1 | 1107,0 |
| 1088 | 12612 | 29,7 | 10,0 | 1992,7 | 33,8 | 1655,4 | 1109,3 |
| | | 20,1 | 0,1 | 1046,2 | 33,8 | 869,1 | 582,2 |
| 1039 | 8012 | 20,1 | 0,1 | 1025,3 | 34,3 | 847,2 | 577,5 |
| 1037 | 7812 | 20,1 | 0,1 | 1031,8 | 34,3 | 852,5 | 581,2 |
| 1035 | 7612 | 20,1 | 0,1 | 1051,7 | 33,6 | 875,7 | 582,5 |
| 1033 | 7412 | 20,1 | 0,1 | 1075,8 | 33,1 | 901,1 | 587,8 |
| | | 20,1 | 0,3 | 1545,1 | 31,7 | 1314,4 | 811,5 |
| 1022 | 6412 | 20,1 | 0,3 | 1504,4 | 33,2 | 1259,5 | 822,7 |
| 1020 | 6212 | 20,1 | 0,3 | 1526,1 | 32,6 | 1285,2 | 822,8 |
| 1018 | 6012 | 20,1 | 0,3 | 1531,2 | 31,9 | 1299,3 | 810,1 |
| 1016 | 5812 | 20,1 | 0,3 | 1562,1 | 30,6 | 1344,7 | 794,9 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1014 | 5612 | 20,1 | 0,3 | 1601,6 | 30,3 | 1383,4 | 807,2 |
| | | 20,1 | 1,0 | 2318,6 | 30,7 | 1993,5 | 1184,1 |
| 1003 | 4612 | 20,1 | 1,0 | 2262,2 | 30,3 | 1952,4 | 1142,6 |
| 1001 | 4412 | 20,2 | 1,0 | 2286,3 | 30,5 | 1969,7 | 1160,7 |
| 999 | 4212 | 20,1 | 1,0 | 2317,3 | 30,9 | 1988,6 | 1189,9 |
| 997 | 4012 | 20,1 | 1,0 | 2342,3 | 30,9 | 2010,2 | 1202,2 |
| 995 | 3812 | 20,1 | 1,0 | 2385,0 | 30,9 | 2046,4 | 1224,9 |
| | | 20,1 | 3,0 | 3194,4 | 27,5 | 2833,0 | 1475,9 |
| 982 | 2612 | 20,2 | 3,0 | 3185,9 | 27,9 | 2816,3 | 1489,4 |
| 980 | 2412 | 20,1 | 3,0 | 3181,7 | 27,6 | 2819,9 | 1473,5 |
| 978 | 2212 | 20,1 | 3,0 | 3196,6 | 27,6 | 2833,6 | 1479,6 |
| 976 | 2012 | 20,1 | 3,0 | 3212,0 | 27,6 | 2847,8 | 1485,7 |
| 974 | 1812 | 20,1 | 3,0 | 3196,0 | 27,0 | 2847,5 | 1451,1 |
| | | 20,1 | 10,1 | 4510,1 | 25,1 | 4084,3 | 1912,8 |
| 953 | 46212 | 20,1 | 10,0 | 4444,8 | 25,0 | 4028,6 | 1877,9 |
| 951 | 46012 | 20,1 | 10,0 | 4405,9 | 25,7 | 3970,1 | 1910,5 |
| 949 | 45812 | 20,1 | 10,5 | 4411,8 | 25,4 | 3984,0 | 1895,1 |
| 947 | 45612 | 20,1 | 9,5 | 4427,2 | 25,6 | 3992,3 | 1913,3 |
| 945 | 45412 | 20,1 | 10,5 | 4422,8 | 25,6 | 3989,0 | 1910,2 |
| 943 | 45212 | 20,1 | 10,0 | 4438,8 | 25,7 | 3998,4 | 1927,6 |
| 941 | 45012 | 20,1 | 10,0 | 4442,8 | 25,7 | 4004,1 | 1925,0 |
| 939 | 44812 | 20,1 | 10,5 | 4443,7 | 25,5 | 4010,3 | 1914,0 |
| 937 | 44612 | 20,1 | 9,5 | 4455,5 | 25,7 | 4013,3 | 1935,1 |
| 935 | 44412 | 20,1 | 10,5 | 4443,0 | 25,5 | 4009,0 | 1915,4 |
| 933 | 44212 | 20,1 | 10,0 | 4443,8 | 25,2 | 4021,6 | 1890,6 |
| 931 | 44012 | 20,1 | 10,0 | 4484,9 | 25,4 | 4050,9 | 1924,6 |
| 929 | 43812 | 20,1 | 10,5 | 4456,4 | 25,5 | 4022,6 | 1917,8 |
| 927 | 43612 | 20,1 | 9,5 | 4491,2 | 25,0 | 4070,1 | 1898,7 |
| 925 | 43412 | 20,1 | 10,5 | 4484,4 | 25,3 | 4054,6 | 1915,7 |
| 923 | 43212 | 20,1 | 10,0 | 4477,4 | 25,3 | 4048,5 | 1912,3 |
| 921 | 43012 | 20,1 | 10,0 | 4496,7 | 25,2 | 4068,0 | 1916,3 |
| 919 | 42812 | 20,1 | 10,5 | 4503,7 | 25,1 | 4078,4 | 1910,3 |
| 917 | 42612 | 20,1 | 9,5 | 4504,1 | 25,2 | 4076,1 | 1916,3 |
| 915 | 42412 | 20,1 | 10,5 | 4527,7 | 25,4 | 4090,6 | 1941,0 |
| 913 | 42212 | 20,1 | 10,0 | 4534,7 | 25,2 | 4103,6 | 1929,8 |
| 911 | 42012 | 20,1 | 9,5 | 4524,1 | 25,1 | 4097,2 | 1918,5 |
| 909 | 41812 | 20,1 | 10,5 | 4519,1 | 24,8 | 4103,0 | 1894,1 |
| 907 | 41612 | 20,1 | 9,5 | 4560,2 | 25,2 | 4126,4 | 1941,1 |
| 905 | 41412 | 20,1 | 10,5 | 4541,9 | 25,1 | 4112,3 | 1928,2 |
| 903 | 41212 | 20,1 | 10,0 | 4576,4 | 24,4 | 4167,3 | 1891,3 |
| 901 | 41012 | 20,1 | 9,5 | 4581,0 | 24,8 | 4159,3 | 1920,0 |
| 899 | 40812 | 20,0 | 10,5 | 4603,0 | 24,9 | 4174,8 | 1938,9 |
| 897 | 40612 | 20,0 | 9,5 | 4587,5 | 24,2 | 4184,0 | 1881,4 |
| 895 | 40412 | 20,1 | 10,5 | 4580,0 | 24,3 | 4173,7 | 1885,9 |
| 893 | 40212 | 20,0 | 10,0 | 4616,2 | 24,4 | 4204,6 | 1905,4 |
| 891 | 40012 | 20,0 | 9,5 | 4623,9 | 24,0 | 4223,3 | 1882,5 |
| 889 | 39812 | 20,0 | 10,5 | 4632,1 | 24,6 | 4211,7 | 1928,0 |
| 887 | 39612 | 20,0 | 9,5 | 4658,2 | 24,4 | 4243,2 | 1922,0 |
| | | 10,0 | 0,1 | 3233,2 | 24,0 | 2954,4 | 1311,7 |
| 850 | 36212 | 10,0 | 0,1 | 3227,4 | 25,4 | 2914,6 | 1386,0 |
| 848 | 36012 | 10,0 | 0,1 | 3215,2 | 24,7 | 2920,1 | 1345,7 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 846 | 35812 | 10,0 | 0,1 | 3178,4 | 23,4 | 2917,1 | 1262,0 |
| 844 | 35612 | 10,1 | 0,1 | 3311,9 | 22,2 | 3065,6 | 1253,2 |
| | | 10,1 | 0,3 | 4309,1 | 22,5 | 3980,6 | 1649,3 |
| 835 | 34812 | 10,1 | 0,3 | 4157,0 | 21,4 | 3870,8 | 1515,9 |
| 833 | 34612 | 10,1 | 0,3 | 4239,6 | 23,1 | 3899,0 | 1665,0 |
| 831 | 34412 | 10,1 | 0,3 | 4301,4 | 22,7 | 3968,2 | 1660,1 |
| 829 | 34212 | 10,1 | 0,3 | 4366,4 | 22,8 | 4024,9 | 1692,9 |
| 827 | 34012 | 10,1 | 0,3 | 4458,6 | 23,4 | 4091,9 | 1770,6 |
| 825 | 33812 | 10,1 | 0,3 | 4331,8 | 21,6 | 4028,9 | 1591,3 |
| | | 10,0 | 1,0 | 5588,3 | 19,4 | 5269,8 | 1859,4 |
| 816 | 33012 | 10,0 | 1,0 | 5521,7 | 19,6 | 5202,8 | 1849,4 |
| 814 | 32812 | 10,1 | 1,0 | 5621,3 | 19,8 | 5288,3 | 1905,8 |
| 812 | 32612 | 10,0 | 1,0 | 5608,9 | 19,3 | 5292,5 | 1857,0 |
| 810 | 32412 | 10,0 | 1,0 | 5597,9 | 19,7 | 5270,7 | 1885,6 |
| 808 | 32212 | 10,0 | 1,0 | 5591,8 | 18,8 | 5294,5 | 1799,1 |
| | | 10,0 | 3,0 | 7191,4 | 17,8 | 6847,4 | 2197,4 |
| 793 | 30812 | 10,0 | 3,0 | 7156,4 | 18,0 | 6805,0 | 2214,9 |
| 791 | 30612 | 10,0 | 3,0 | 7197,0 | 17,7 | 6857,3 | 2184,8 |
| 789 | 30412 | 10,0 | 3,0 | 7180,4 | 17,6 | 6844,8 | 2169,6 |
| 787 | 30212 | 10,0 | 3,0 | 7183,8 | 17,9 | 6835,7 | 2209,3 |
| 785 | 30012 | 10,0 | 3,0 | 7134,4 | 17,6 | 6801,1 | 2155,2 |
| 783 | 29812 | 10,0 | 3,0 | 7254,3 | 17,7 | 6910,3 | 2207,3 |
| 781 | 29612 | 10,0 | 3,0 | 7233,6 | 18,0 | 6877,9 | 2240,4 |
| | | 10,0 | 10,1 | 8891,9 | 15,7 | 8561,0 | 2402,8 |
| 762 | 27812 | 10,0 | 10,3 | 8822,2 | 16,0 | 8481,5 | 2428,1 |
| 760 | 27612 | 10,0 | 9,9 | 8857,0 | 15,9 | 8518,1 | 2426,7 |
| 758 | 27412 | 10,0 | 10,3 | 8857,0 | 15,9 | 8519,9 | 2420,1 |
| 756 | 27212 | 10,0 | 10,3 | 8835,2 | 16,1 | 8488,2 | 2451,9 |
| 754 | 27012 | 10,0 | 9,8 | 8821,4 | 16,1 | 8474,8 | 2448,5 |
| 752 | 26812 | 10,0 | 10,3 | 8890,4 | 15,8 | 8554,9 | 2419,4 |
| 750 | 26612 | 10,0 | 9,9 | 8832,2 | 15,8 | 8499,2 | 2402,5 |
| 748 | 26412 | 10,0 | 10,3 | 8859,7 | 15,8 | 8525,3 | 2411,1 |
| 746 | 26212 | 10,0 | 10,3 | 8825,5 | 16,0 | 8482,6 | 2436,1 |
| 744 | 26012 | 10,0 | 9,8 | 8801,5 | 15,6 | 8476,2 | 2370,8 |
| 742 | 25812 | 10,0 | 10,3 | 8795,5 | 16,0 | 8456,3 | 2419,1 |
| 740 | 25612 | 10,0 | 9,9 | 8769,7 | 15,7 | 8443,9 | 2368,1 |
| 738 | 25412 | 10,0 | 9,9 | 8801,0 | 15,6 | 8476,3 | 2368,8 |
| 736 | 25212 | 10,0 | 10,3 | 9038,2 | 15,5 | 8710,6 | 2411,4 |
| 734 | 25012 | 10,0 | 9,8 | 9008,9 | 15,4 | 8685,9 | 2390,4 |
| 732 | 24812 | 10,0 | 10,3 | 8993,7 | 15,4 | 8670,7 | 2388,6 |
| 730 | 24612 | 10,0 | 9,9 | 8997,8 | 15,3 | 8679,4 | 2372,2 |
| 728 | 24412 | 10,0 | 9,9 | 8999,2 | 15,4 | 8674,4 | 2395,9 |
| 726 | 24212 | 10,0 | 10,3 | 9006,6 | 15,3 | 8687,1 | 2377,6 |
| 724 | 24012 | 10,0 | 9,8 | 8948,1 | 15,7 | 8613,8 | 2422,8 |
| 722 | 23812 | 10,0 | 10,3 | 8968,9 | 15,1 | 8661,1 | 2329,6 |
| | | 0,8 | 0,1 | 7082,7 | 18,4 | 6721,8 | 2231,3 |
| 661 | 18012 | 0,7 | 0,1 | 7213,6 | 18,9 | 6824,6 | 2337,1 |
| 659 | 17812 | 0,8 | 0,1 | 7080,6 | 17,8 | 6741,4 | 2165,4 |
| 657 | 17612 | 0,7 | 0,1 | 6953,9 | 18,4 | 6599,5 | 2191,6 |
| | | 1,2 | 0,3 | 8707,7 | 12,5 | 8497,2 | 1892,9 |
| 644 | 16412 | 1,2 | 0,3 | 8722,9 | 14,0 | 8464,5 | 2107,4 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 642 | 16212 | 1,2 | 0,3 | 8820,0 | 13,7 | 8569,4 | 2087,5 |
| 640 | 16012 | 1,2 | 0,3 | 8508,5 | 11,3 | 8343,7 | 1666,6 |
| 638 | 15812 | 1,3 | 0,3 | 8779,4 | 11,2 | 8611,2 | 1710,2 |
| | | 1,5 | 1,0 | 10349,0 | 12,6 | 10099,6 | 2254,9 |
| 625 | 14612 | 1,5 | 1,0 | 10476,5 | 13,3 | 10197,1 | 2403,1 |
| 623 | 14412 | 1,5 | 1,0 | 10406,1 | 12,9 | 10142,4 | 2327,6 |
| 621 | 14212 | 1,5 | 1,0 | 10385,7 | 12,7 | 10133,2 | 2276,2 |
| 619 | 14012 | 1,5 | 1,0 | 10127,5 | 11,5 | 9925,6 | 2012,5 |
| | | 1,2 | 3,0 | 11872,8 | 11,4 | 11640,4 | 2336,7 |
| 604 | 12612 | 1,2 | 3,0 | 11872,2 | 11,0 | 11654,9 | 2261,4 |
| 602 | 12412 | 1,2 | 3,0 | 11998,6 | 11,2 | 11769,0 | 2336,3 |
| 600 | 12212 | 1,2 | 3,0 | 11914,2 | 11,2 | 11685,9 | 2321,4 |
| 598 | 12012 | 1,2 | 3,0 | 11845,7 | 12,0 | 11587,1 | 2461,4 |
| 596 | 11812 | 1,2 | 3,0 | 11718,5 | 11,5 | 11481,4 | 2345,4 |
| 594 | 11612 | 1,2 | 3,0 | 11887,5 | 11,1 | 11664,0 | 2294,1 |
| | | 0,9 | 10,0 | 13976,9 | 9,0 | 13804,1 | 2190,1 |
| 574 | 9612 | 0,9 | 10,3 | 13946,1 | 9,3 | 13761,5 | 2261,5 |
| 572 | 9412 | 0,9 | 9,9 | 13948,2 | 9,6 | 13751,3 | 2335,4 |
| 570 | 9212 | 0,9 | 10,2 | 13936,8 | 8,8 | 13771,6 | 2139,4 |
| 568 | 9012 | 0,9 | 9,9 | 13907,9 | 9,2 | 13729,1 | 2223,2 |
| 566 | 8812 | 0,9 | 9,9 | 13994,6 | 8,8 | 13830,3 | 2137,9 |
| 564 | 8612 | 0,9 | 10,3 | 14059,6 | 8,7 | 13896,6 | 2134,5 |
| 560 | 8212 | 0,9 | 10,2 | 14013,5 | 8,9 | 13845,3 | 2164,2 |
| 558 | 8012 | 0,9 | 9,9 | 13988,6 | 9,0 | 13817,3 | 2182,5 |
| 556 | 7812 | 0,9 | 9,9 | 13988,0 | 8,8 | 13822,6 | 2145,0 |
| 554 | 7612 | 0,9 | 10,3 | 13940,4 | 9,1 | 13764,0 | 2210,4 |
| 552 | 7412 | 0,9 | 9,9 | 13999,7 | 8,6 | 13843,7 | 2084,0 |
| 550 | 7212 | 0,9 | 10,2 | 13995,4 | 9,1 | 13820,2 | 2207,4 |
| 546 | 6812 | 0,9 | 9,9 | 13981,6 | 9,2 | 13800,0 | 2246,3 |
| | | -8,1 | 0,1 | 12237,3 | 8,8 | 12093,0 | 1868,6 |
| 471 | 36212 | -8,1 | 0,1 | 12616,7 | 9,4 | 12446,7 | 2063,7 |
| 469 | 36012 | -8,1 | 0,1 | 11857,9 | 8,1 | 11739,2 | 1673,5 |
| | | -8,4 | 0,3 | 14227,6 | 6,1 | 14142,0 | 1508,1 |
| 456 | 34812 | -8,4 | 0,3 | 14337,5 | 8,0 | 14198,5 | 1991,7 |
| 454 | 34612 | -8,4 | 0,3 | 14311,2 | 6,1 | 14229,9 | 1524,1 |
| 452 | 34412 | -8,4 | 0,3 | 14034,1 | 4,1 | 13997,8 | 1008,6 |
| | | -8,5 | 1,0 | 15895,7 | 7,1 | 15771,9 | 1976,1 |
| 437 | 33012 | -8,5 | 1,0 | 15873,2 | 6,5 | 15770,9 | 1799,1 |
| 435 | 32812 | -8,5 | 1,0 | 16270,6 | 7,0 | 16147,9 | 1994,0 |
| 433 | 32612 | -8,5 | 1,0 | 16109,4 | 7,3 | 15979,0 | 2045,2 |
| 429 | 32212 | -8,5 | 1,0 | 15329,8 | 7,7 | 15190,0 | 2066,1 |
| | | -9,1 | 3,0 | 17041,8 | 5,6 | 16960,5 | 1658,9 |
| 416 | 31012 | -9,0 | 3,0 | 16925,8 | 5,6 | 16844,5 | 1656,4 |
| 414 | 30812 | -9,0 | 3,0 | 17120,5 | 5,1 | 17051,9 | 1531,6 |
| 412 | 30612 | -9,1 | 3,0 | 16966,9 | 5,2 | 16897,4 | 1534,5 |
| 410 | 30412 | -9,1 | 3,0 | 16878,3 | 6,1 | 16783,5 | 1786,1 |
| 408 | 30212 | -9,1 | 3,0 | 17166,5 | 6,0 | 17071,7 | 1801,7 |
| 406 | 30012 | -9,1 | 3,0 | 17192,9 | 5,5 | 17114,2 | 1643,3 |
| | | -9,0 | 10,0 | 18874,3 | 4,2 | 18823,9 | 1375,6 |
| 384 | 27812 | -9,1 | 10,1 | 19059,1 | 4,2 | 19007,2 | 1405,6 |
| 382 | 27612 | -9,1 | 10,2 | 18799,3 | 4,1 | 18750,1 | 1358,4 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 380 | 27412 | -9,1 | 10,1 | 18839,9 | 4,2 | 18790,0 | 1370,3 |
| 378 | 27212 | -9,1 | 10,1 | 18919,1 | 3,9 | 18875,5 | 1283,6 |
| 376 | 27012 | -9,1 | 10,1 | 18826,1 | 4,2 | 18775,5 | 1379,6 |
| 374 | 26812 | -9,1 | 10,1 | 18834,1 | 3,9 | 18790,4 | 1281,7 |
| 372 | 26612 | -9,1 | 10,0 | 18787,6 | 3,8 | 18745,8 | 1251,7 |
| 370 | 26412 | -9,0 | 10,1 | 18869,3 | 4,1 | 18820,7 | 1354,5 |
| 368 | 26212 | -9,0 | 10,1 | 18713,4 | 4,2 | 18664,0 | 1358,7 |
| 366 | 26012 | -9,0 | 10,1 | 18899,2 | 4,5 | 18841,3 | 1478,1 |
| 364 | 25812 | -9,0 | 10,1 | 18831,8 | 4,1 | 18782,7 | 1359,2 |
| 362 | 25612 | -9,0 | 10,0 | 18795,4 | 3,8 | 18755,1 | 1230,3 |
| 360 | 25412 | -9,0 | 10,1 | 18875,8 | 3,7 | 18836,0 | 1225,3 |
| 358 | 25212 | -9,0 | 10,1 | 19135,2 | 4,2 | 19082,6 | 1417,1 |
| 356 | 25012 | -9,0 | 10,1 | 18965,4 | 4,1 | 18916,1 | 1366,7 |
| 354 | 24812 | -9,0 | 10,1 | 18811,8 | 4,2 | 18760,9 | 1382,8 |
| 352 | 24612 | -9,0 | 10,0 | 19000,9 | 3,9 | 18956,0 | 1306,1 |
| 350 | 24412 | -9,0 | 10,1 | 18877,8 | 4,2 | 18828,2 | 1366,8 |
| 348 | 24212 | -9,0 | 10,1 | 18916,7 | 4,4 | 18861,7 | 1441,6 |
| 346 | 24012 | -9,0 | 10,1 | 18927,9 | 3,9 | 18883,4 | 1296,9 |
| 344 | 23812 | -9,0 | 10,1 | 18902,0 | 3,8 | 18860,0 | 1260,0 |
| 342 | 23612 | -9,0 | 10,0 | 18798,4 | 4,1 | 18749,2 | 1358,6 |
| 340 | 23412 | -9,0 | 10,1 | 18660,5 | 4,3 | 18608,1 | 1396,9 |
| 338 | 23212 | -9,0 | 10,1 | 19117,1 | 4,8 | 19050,0 | 1600,2 |
| 336 | 23012 | -9,0 | 10,1 | 18779,8 | 5,0 | 18708,8 | 1631,8 |
| 334 | 22812 | -9,0 | 9,9 | 18775,8 | 4,6 | 18715,0 | 1509,9 |
| 332 | 22612 | -9,0 | 10,0 | 18887,4 | 4,5 | 18830,3 | 1467,9 |
| | | -19,1 | 0,1 | 18113,5 | 2,9 | 18088,2 | 925,7 |
| 283 | 18012 | -19,1 | 0,1 | 18516,2 | 3,7 | 18477,8 | 1191,7 |
| 281 | 17812 | -19,1 | 0,1 | 17710,9 | 2,1 | 17698,6 | 659,8 |
| | | -19,2 | 0,3 | 18647,2 | 4,8 | 18545,5 | 1589,2 |
| 266 | 16412 | -19,2 | 0,3 | 19381,6 | 5,1 | 19306,3 | 1706,7 |
| 264 | 16212 | -19,1 | 0,3 | 17732,6 | 0,4 | 17732,2 | 130,9 |
| 262 | 16012 | -19,2 | 0,3 | 18827,5 | 9,0 | 18598,1 | 2930,1 |
| | | -19,1 | 1,0 | 19317,0 | 2,8 | 19292,1 | 955,7 |
| 247 | 14612 | -19,1 | 1,0 | 18660,5 | 3,8 | 18619,5 | 1236,6 |
| 245 | 14412 | -19,1 | 1,0 | 19625,9 | 3,0 | 19598,3 | 1040,4 |
| 243 | 14212 | -19,1 | 1,0 | 19458,4 | 2,1 | 19445,9 | 697,3 |
| 241 | 14012 | -19,1 | 1,0 | 19523,1 | 2,5 | 19504,6 | 848,5 |
| | | -18,7 | 3,0 | 20087,5 | 2,6 | 20066,4 | 917,2 |
| 226 | 12612 | -18,7 | 3,0 | 19925,0 | 2,7 | 19902,3 | 951,6 |
| 224 | 12412 | -18,7 | 3,0 | 20138,3 | 2,7 | 20115,3 | 963,7 |
| 222 | 12212 | -18,7 | 3,0 | 19732,2 | 3,0 | 19704,4 | 1045,9 |
| 220 | 12012 | -18,7 | 3,0 | 20342,3 | 2,3 | 20326,0 | 814,1 |
| 218 | 11812 | -18,7 | 3,0 | 20190,9 | 2,5 | 20172,2 | 868,7 |
| 216 | 11612 | -18,7 | 3,0 | 20196,3 | 2,4 | 20178,0 | 859,0 |
| | | -18,5 | 10,0 | 21618,8 | 1,1 | 21614,8 | 401,0 |
| 196 | 9612 | -18,4 | 10,1 | 21548,7 | 1,0 | 21545,3 | 380,6 |
| 194 | 9412 | -18,4 | 10,0 | 21857,1 | 0,9 | 21854,7 | 328,2 |
| 192 | 9212 | -18,4 | 10,1 | 21757,1 | 0,7 | 21755,5 | 266,0 |
| 190 | 9012 | -18,5 | 10,1 | 21747,7 | 1,1 | 21743,6 | 422,0 |
| 188 | 8812 | -18,5 | 10,1 | 21864,8 | 1,2 | 21860,0 | 457,0 |
| 186 | 8612 | -18,5 | 10,1 | 21719,8 | 0,6 | 21718,7 | 219,4 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 184 | 8412 | -18,5 | 10,0 | 21609,8 | 0,7 | 21608,4 | 246,1 |
| 182 | 8212 | -18,5 | 10,1 | 21600,1 | 1,1 | 21596,0 | 421,9 |
| 180 | 8012 | -18,4 | 10,1 | 21787,0 | 0,9 | 21784,2 | 349,3 |
| 178 | 7812 | -18,4 | 10,1 | 21657,9 | 1,2 | 21653,1 | 454,4 |
| 176 | 7612 | -18,4 | 10,1 | 21551,4 | 1,2 | 21546,8 | 443,0 |
| 174 | 7412 | -18,4 | 10,0 | 21603,2 | 1,3 | 21597,3 | 505,0 |
| 172 | 7212 | -18,4 | 10,1 | 21484,0 | 1,8 | 21473,2 | 679,7 |
| 170 | 7012 | -18,5 | 10,1 | 21561,7 | 0,8 | 21559,6 | 298,4 |
| 168 | 6812 | -18,5 | 10,1 | 21730,5 | 1,3 | 21725,0 | 488,8 |
| 166 | 6612 | -18,5 | 10,1 | 21596,5 | 1,6 | 21588,3 | 592,5 |
| 164 | 6412 | -18,5 | 10,0 | 21649,3 | 0,5 | 21648,5 | 182,1 |
| 162 | 6212 | -18,5 | 10,0 | 21552,5 | 1,5 | 21545,2 | 563,9 |
| 160 | 6012 | -18,5 | 10,1 | 21567,0 | 0,8 | 21564,8 | 304,4 |
| 158 | 5812 | -18,5 | 10,2 | 21394,8 | 1,0 | 21391,6 | 371,0 |
| 156 | 5612 | -18,5 | 10,1 | 21425,0 | 1,0 | 21421,8 | 373,1 |
| 154 | 5412 | -18,5 | 10,0 | 21354,2 | 0,7 | 21352,5 | 266,5 |
| 152 | 5212 | -18,5 | 10,0 | 21425,1 | 1,3 | 21419,3 | 499,6 |
| 150 | 5012 | -18,5 | 10,1 | 21677,7 | 1,5 | 21670,5 | 556,3 |
| 148 | 4812 | -18,5 | 10,2 | 21853,0 | 1,2 | 21848,0 | 468,4 |
| 146 | 4612 | -18,5 | 10,1 | 21513,8 | 0,8 | 21511,9 | 287,1 |

*Table 9 Résultats brut module complexe pour l'enrobé avec 17% GBR + 3% BPC ep 1*

| N | No de ligne | Température | Freq | \|E*\| | ϕ | E1 | E2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cycle | # | °C | Hz | Mpa | (°) | Mpa | Mpa |
| | | 39,4 | 0,1 | 1177,5 | 14,2 | 1141,6 | 288,2 |
| 1322 | 54612 | 39,4 | 0,1 | 1131,2 | 14,3 | 1095,9 | 280,4 |
| 1320 | 54412 | 39,5 | 0,1 | 1144,4 | 14,3 | 1108,9 | 282,5 |
| 1318 | 54212 | 39,5 | 0,1 | 1172,8 | 14,2 | 1136,8 | 288,6 |
| 1316 | 54012 | 39,4 | 0,1 | 1203,6 | 14,2 | 1167,0 | 294,6 |
| 1314 | 53812 | 39,4 | 0,1 | 1235,3 | 13,8 | 1199,6 | 295,0 |
| | | 39,4 | 0,3 | 1293,8 | 15,7 | 1245,8 | 349,5 |
| 1307 | 53212 | 39,4 | 0,3 | 1251,2 | 15,7 | 1204,5 | 338,4 |
| 1305 | 53012 | 39,4 | 0,3 | 1272,1 | 15,8 | 1224,4 | 345,3 |
| 1303 | 52812 | 39,4 | 0,3 | 1295,2 | 15,7 | 1247,1 | 349,4 |
| 1301 | 52612 | 39,4 | 0,3 | 1309,8 | 15,7 | 1261,0 | 354,2 |
| 1299 | 52412 | 39,4 | 0,3 | 1340,9 | 15,6 | 1291,8 | 359,9 |
| | | 39,4 | 1,0 | 1515,3 | 17,0 | 1449,3 | 442,0 |
| 1288 | 51412 | 39,4 | 1,0 | 1459,9 | 17,3 | 1393,9 | 433,8 |
| 1286 | 51212 | 39,4 | 1,0 | 1495,4 | 17,2 | 1428,5 | 442,1 |
| 1284 | 51012 | 39,4 | 1,0 | 1521,3 | 17,2 | 1453,5 | 449,1 |
| 1282 | 50812 | 39,4 | 1,0 | 1535,2 | 16,8 | 1469,9 | 442,9 |
| 1280 | 50612 | 39,4 | 1,0 | 1564,6 | 16,4 | 1500,7 | 442,4 |
| | | 39,4 | 3,0 | 1716,2 | 18,8 | 1624,5 | 553,6 |
| 1267 | 49412 | 39,5 | 3,0 | 1674,4 | 18,7 | 1585,5 | 538,1 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1265 | 49212 | 39,4 | 3,0 | 1715,7 | 18,9 | 1622,9 | 556,4 |
| 1263 | 49012 | 39,4 | 3,0 | 1727,2 | 18,8 | 1635,3 | 556,0 |
| 1261 | 48812 | 39,4 | 3,0 | 1719,8 | 18,9 | 1627,3 | 556,4 |
| 1259 | 48612 | 39,4 | 3,0 | 1744,0 | 18,8 | 1651,3 | 560,9 |
| | | 39,5 | 10,0 | 2055,7 | 21,0 | 1919,1 | 737,0 |
| 1235 | 46212 | 39,5 | 10,5 | 2011,1 | 21,1 | 1876,4 | 723,5 |
| 1233 | 46012 | 39,5 | 10,0 | 2010,6 | 21,4 | 1872,6 | 732,2 |
| 1231 | 45812 | 39,5 | 10,0 | 2019,5 | 21,2 | 1883,1 | 729,4 |
| 1229 | 45612 | 39,5 | 9,5 | 2022,4 | 21,2 | 1886,0 | 730,1 |
| 1227 | 45412 | 39,5 | 10,0 | 2033,5 | 21,2 | 1896,1 | 734,9 |
| 1225 | 45212 | 39,5 | 10,5 | 2029,7 | 21,3 | 1891,0 | 737,3 |
| 1223 | 45012 | 39,5 | 10,0 | 2026,7 | 21,0 | 1891,5 | 727,8 |
| 1221 | 44812 | 39,5 | 10,0 | 2036,1 | 21,0 | 1900,8 | 730,1 |
| 1219 | 44612 | 39,5 | 9,5 | 2029,5 | 21,0 | 1894,4 | 728,0 |
| 1217 | 44412 | 39,5 | 10,0 | 2030,4 | 20,9 | 1897,3 | 723,1 |
| 1215 | 44212 | 39,5 | 10,5 | 2045,6 | 21,1 | 1908,9 | 735,3 |
| 1213 | 44012 | 39,5 | 10,0 | 2043,7 | 21,2 | 1906,0 | 737,4 |
| 1211 | 43812 | 39,5 | 10,0 | 2038,1 | 21,0 | 1902,7 | 730,5 |
| 1209 | 43612 | 39,4 | 9,5 | 2057,0 | 21,1 | 1919,3 | 740,0 |
| 1207 | 43412 | 39,4 | 10,0 | 2047,3 | 21,2 | 1908,9 | 739,9 |
| 1205 | 43212 | 39,4 | 10,5 | 2054,1 | 20,9 | 1918,5 | 733,9 |
| 1203 | 43012 | 39,4 | 10,0 | 2060,5 | 21,0 | 1923,6 | 738,5 |
| 1201 | 42812 | 39,4 | 10,0 | 2050,2 | 20,9 | 1915,0 | 732,1 |
| 1199 | 42612 | 39,4 | 9,5 | 2069,2 | 21,1 | 1930,1 | 745,9 |
| 1197 | 42412 | 39,5 | 10,0 | 2065,8 | 21,0 | 1928,3 | 741,1 |
| 1195 | 42212 | 39,4 | 10,5 | 2079,8 | 20,9 | 1943,0 | 741,9 |
| 1193 | 42012 | 39,5 | 10,0 | 2083,0 | 20,9 | 1946,5 | 741,6 |
| 1191 | 41812 | 39,5 | 10,0 | 2076,5 | 20,7 | 1942,8 | 733,2 |
| 1189 | 41612 | 39,5 | 9,5 | 2083,2 | 21,0 | 1944,7 | 746,7 |
| 1187 | 41412 | 39,5 | 10,0 | 2090,6 | 20,8 | 1954,3 | 742,4 |
| 1185 | 41212 | 39,5 | 10,5 | 2095,2 | 20,8 | 1958,9 | 743,3 |
| 1183 | 41012 | 39,5 | 10,0 | 2107,7 | 20,8 | 1970,2 | 748,8 |
| 1181 | 40812 | 39,5 | 10,0 | 2111,1 | 21,0 | 1970,8 | 756,8 |
| 1179 | 40612 | 39,5 | 9,5 | 2108,2 | 20,8 | 1971,1 | 747,7 |
| | | 29,8 | 0,1 | 1693,6 | 17,5 | 1615,3 | 508,9 |
| 1134 | 36412 | 29,8 | 0,1 | 1614,3 | 17,9 | 1535,9 | 497,2 |
| 1132 | 36212 | 29,8 | 0,1 | 1668,7 | 17,7 | 1589,3 | 508,5 |
| 1130 | 36012 | 29,8 | 0,1 | 1688,6 | 17,6 | 1609,8 | 509,7 |
| 1128 | 35812 | 29,8 | 0,1 | 1724,8 | 17,2 | 1647,8 | 509,6 |
| 1126 | 35612 | 29,8 | 0,1 | 1771,5 | 17,1 | 1693,6 | 519,6 |
| | | 29,8 | 0,3 | 2025,3 | 18,3 | 1922,5 | 636,8 |
| 1117 | 34812 | 29,8 | 0,3 | 1970,1 | 18,8 | 1864,9 | 635,3 |
| 1115 | 34612 | 29,8 | 0,3 | 2000,4 | 18,6 | 1896,5 | 636,5 |
| 1113 | 34412 | 29,8 | 0,3 | 2011,4 | 18,6 | 1906,3 | 641,7 |
| 1111 | 34212 | 29,8 | 0,3 | 2054,7 | 17,9 | 1955,6 | 630,4 |
| 1109 | 34012 | 29,8 | 0,3 | 2089,9 | 17,8 | 1989,4 | 640,4 |
| | | 29,8 | 1,0 | 2477,6 | 19,2 | 2339,3 | 816,0 |
| 1098 | 33012 | 29,8 | 1,0 | 2415,9 | 19,6 | 2276,2 | 809,5 |
| 1096 | 32812 | 29,7 | 1,0 | 2441,8 | 19,6 | 2300,8 | 817,8 |
| 1094 | 32612 | 29,7 | 1,0 | 2473,5 | 19,1 | 2336,7 | 811,3 |
| 1092 | 32412 | 29,8 | 1,0 | 2500,9 | 19,1 | 2362,9 | 819,2 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1090 | 32212 | 29,8 | 1,0 | 2555,8 | 18,8 | 2419,9 | 822,3 |
| | | 29,7 | 3,0 | 2929,1 | 20,2 | 2748,4 | 1013,1 |
| 1077 | 31012 | 29,7 | 3,1 | 2894,3 | 20,4 | 2712,3 | 1010,1 |
| 1075 | 30812 | 29,7 | 3,1 | 2917,3 | 20,4 | 2734,8 | 1015,6 |
| 1073 | 30612 | 29,7 | 2,9 | 2911,8 | 20,6 | 2726,5 | 1022,2 |
| 1071 | 30412 | 29,7 | 3,1 | 2938,5 | 20,0 | 2760,6 | 1006,8 |
| 1069 | 30212 | 29,8 | 3,1 | 2940,0 | 20,1 | 2761,6 | 1008,4 |
| 1067 | 30012 | 29,8 | 2,9 | 2973,0 | 20,0 | 2794,2 | 1015,2 |
| | | 29,8 | 10,0 | 3597,1 | 21,1 | 3356,2 | 1294,1 |
| 1047 | 28012 | 29,8 | 10,0 | 3542,4 | 21,1 | 3304,0 | 1277,6 |
| 1045 | 27812 | 29,8 | 10,0 | 3554,4 | 21,5 | 3308,0 | 1300,3 |
| 1043 | 27612 | 29,8 | 10,0 | 3542,3 | 21,2 | 3301,5 | 1283,5 |
| 1041 | 27412 | 29,8 | 10,5 | 3550,5 | 21,3 | 3308,1 | 1289,3 |
| 1039 | 27212 | 29,8 | 9,5 | 3545,3 | 21,2 | 3306,0 | 1280,6 |
| 1037 | 27012 | 29,8 | 10,0 | 3562,6 | 21,2 | 3321,8 | 1287,5 |
| 1035 | 26812 | 29,8 | 10,0 | 3557,2 | 21,3 | 3314,3 | 1291,9 |
| 1033 | 26612 | 29,8 | 10,0 | 3572,1 | 21,0 | 3335,9 | 1277,3 |
| 1031 | 26412 | 29,8 | 10,5 | 3573,3 | 21,4 | 3326,9 | 1303,9 |
| 1029 | 26212 | 29,8 | 9,5 | 3569,1 | 21,0 | 3331,2 | 1281,2 |
| 1027 | 26012 | 29,8 | 10,0 | 3593,0 | 21,0 | 3354,0 | 1288,4 |
| 1025 | 25812 | 29,8 | 10,0 | 3583,3 | 21,0 | 3345,8 | 1282,8 |
| 1023 | 25612 | 29,8 | 10,0 | 3587,7 | 21,0 | 3349,0 | 1286,7 |
| 1021 | 25412 | 29,8 | 10,5 | 3606,1 | 21,3 | 3359,8 | 1309,7 |
| 1019 | 25212 | 29,8 | 9,5 | 3591,8 | 21,1 | 3350,2 | 1295,2 |
| 1017 | 25012 | 29,8 | 10,0 | 3593,5 | 21,1 | 3353,6 | 1291,2 |
| 1015 | 24812 | 29,8 | 10,0 | 3616,3 | 21,0 | 3375,4 | 1297,7 |
| 1013 | 24612 | 29,8 | 10,0 | 3609,9 | 21,3 | 3363,6 | 1310,5 |
| 1011 | 24412 | 29,8 | 10,5 | 3618,6 | 21,0 | 3377,7 | 1298,3 |
| 1009 | 24212 | 29,8 | 9,5 | 3621,7 | 21,1 | 3379,4 | 1302,3 |
| 1007 | 24012 | 29,8 | 10,0 | 3634,4 | 20,9 | 3395,2 | 1296,6 |
| 1005 | 23812 | 29,8 | 10,0 | 3651,9 | 21,0 | 3409,7 | 1307,9 |
| 1003 | 23612 | 29,8 | 10,0 | 3656,7 | 21,0 | 3414,5 | 1308,6 |
| 1001 | 23412 | 29,8 | 10,5 | 3654,0 | 20,6 | 3419,9 | 1287,0 |
| 999 | 23212 | 29,8 | 10,5 | 3670,9 | 20,8 | 3432,2 | 1302,1 |
| 997 | 23012 | 29,8 | 10,0 | 3665,3 | 20,9 | 3423,9 | 1308,1 |
| | | 20,0 | 0,1 | 2785,7 | 19,2 | 2630,3 | 916,8 |
| 943 | 18012 | 20,0 | 0,1 | 2674,4 | 19,9 | 2514,7 | 910,2 |
| 941 | 17812 | 20,0 | 0,1 | 2705,4 | 19,8 | 2545,4 | 916,4 |
| 939 | 17612 | 20,0 | 0,1 | 2734,0 | 18,8 | 2588,6 | 879,9 |
| 937 | 17412 | 20,0 | 0,1 | 2822,6 | 18,2 | 2681,2 | 882,3 |
| 935 | 17212 | 20,0 | 0,1 | 2863,5 | 19,0 | 2707,9 | 931,1 |
| 933 | 17012 | 20,0 | 0,1 | 2914,2 | 19,7 | 2744,1 | 981,1 |
| | | 20,0 | 0,3 | 3284,4 | 19,3 | 3099,8 | 1085,4 |
| 928 | 16612 | 20,0 | 0,3 | 3214,3 | 19,8 | 3025,2 | 1086,2 |
| 926 | 16412 | 20,1 | 0,3 | 3234,7 | 19,7 | 3046,2 | 1088,1 |
| 924 | 16212 | 20,0 | 0,3 | 3286,4 | 19,3 | 3101,0 | 1088,3 |
| 922 | 16012 | 20,1 | 0,3 | 3334,4 | 19,0 | 3152,6 | 1085,9 |
| 920 | 15812 | 20,0 | 0,3 | 3352,2 | 18,8 | 3173,9 | 1078,6 |
| | | 20,1 | 1,0 | 4153,8 | 18,4 | 3940,3 | 1314,0 |
| 909 | 14812 | 20,1 | 1,0 | 4077,0 | 18,8 | 3860,0 | 1312,2 |
| 907 | 14612 | 20,0 | 1,0 | 4085,0 | 18,7 | 3868,3 | 1312,9 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 905 | 14412 | 20,0 | 1,0 | 4136,1 | 18,8 | 3915,7 | 1332,2 |
| 903 | 14212 | 20,0 | 1,0 | 4172,8 | 18,5 | 3956,9 | 1324,6 |
| 901 | 14012 | 20,1 | 1,0 | 4212,5 | 18,2 | 4001,6 | 1316,4 |
| 899 | 13812 | 20,1 | 1,0 | 4239,2 | 17,7 | 4039,5 | 1285,7 |
| | | 20,1 | 3,0 | 4959,1 | 18,4 | 4705,8 | 1564,7 |
| 889 | 12812 | 20,0 | 3,0 | 4876,7 | 18,1 | 4635,2 | 1515,6 |
| 887 | 12612 | 20,0 | 3,0 | 4942,0 | 18,4 | 4689,1 | 1560,9 |
| 885 | 12412 | 20,1 | 3,0 | 4950,9 | 18,5 | 4693,8 | 1574,8 |
| 883 | 12212 | 20,1 | 3,0 | 4959,1 | 18,4 | 4704,6 | 1568,2 |
| 881 | 12012 | 20,1 | 3,0 | 5008,3 | 18,5 | 4748,2 | 1593,0 |
| 879 | 11812 | 20,1 | 3,0 | 5017,7 | 18,3 | 4764,0 | 1575,5 |
| | | 20,1 | 10,0 | 6074,9 | 18,2 | 5772,0 | 1894,0 |
| 857 | 9612 | 20,1 | 9,5 | 6034,9 | 18,5 | 5724,3 | 1911,3 |
| 855 | 9412 | 20,1 | 10,5 | 6027,7 | 18,3 | 5722,8 | 1892,9 |
| 853 | 9212 | 20,1 | 10,0 | 6030,3 | 18,3 | 5726,2 | 1890,9 |
| 851 | 9012 | 20,1 | 10,0 | 6040,9 | 18,3 | 5735,3 | 1897,1 |
| 849 | 8812 | 20,1 | 10,5 | 6048,7 | 18,2 | 5745,1 | 1892,4 |
| 847 | 8612 | 20,1 | 9,5 | 6060,4 | 18,0 | 5762,6 | 1876,6 |
| 845 | 8412 | 20,1 | 10,5 | 6060,4 | 18,4 | 5751,5 | 1910,2 |
| 843 | 8212 | 20,1 | 10,0 | 6044,2 | 18,0 | 5747,6 | 1870,4 |
| 841 | 8012 | 20,1 | 9,5 | 6053,7 | 18,3 | 5748,9 | 1896,7 |
| 839 | 7812 | 20,1 | 10,5 | 6075,0 | 18,3 | 5766,7 | 1910,7 |
| 837 | 7612 | 20,1 | 9,5 | 6081,0 | 18,1 | 5780,1 | 1889,1 |
| 835 | 7412 | 20,1 | 10,5 | 6086,5 | 18,1 | 5783,9 | 1895,5 |
| 833 | 7212 | 20,1 | 10,0 | 6081,8 | 18,2 | 5777,7 | 1899,3 |
| 831 | 7012 | 20,1 | 9,5 | 6094,5 | 17,9 | 5799,5 | 1872,9 |
| 829 | 6812 | 20,1 | 10,5 | 6100,2 | 18,1 | 5799,5 | 1891,7 |
| 827 | 6612 | 20,1 | 9,5 | 6131,6 | 18,0 | 5832,3 | 1892,3 |
| 825 | 6412 | 20,1 | 10,5 | 6109,8 | 18,0 | 5811,3 | 1886,4 |
| 823 | 6212 | 20,1 | 10,0 | 6126,7 | 18,0 | 5826,5 | 1894,2 |
| 821 | 6012 | 20,1 | 9,5 | 6133,9 | 18,2 | 5826,9 | 1916,1 |
| | | 10,0 | 0,1 | 4879,6 | 16,9 | 4666,9 | 1420,4 |
| 754 | 54412 | 10,0 | 0,1 | 4802,8 | 18,4 | 4557,1 | 1516,5 |
| 752 | 54212 | 10,0 | 0,1 | 4833,5 | 18,0 | 4598,1 | 1489,8 |
| 750 | 54012 | 10,0 | 0,1 | 4874,4 | 17,3 | 4655,0 | 1446,0 |
| 748 | 53812 | 10,0 | 0,1 | 4906,4 | 16,6 | 4702,9 | 1398,3 |
| 746 | 53612 | 10,0 | 0,1 | 4981,2 | 14,5 | 4821,4 | 1251,4 |
| | | 10,0 | 0,3 | 5862,3 | 16,6 | 5617,3 | 1676,1 |
| 739 | 53012 | 10,0 | 0,3 | 5791,3 | 17,0 | 5537,6 | 1695,4 |
| 737 | 52812 | 10,0 | 0,3 | 5806,5 | 17,4 | 5540,4 | 1737,5 |
| 735 | 52612 | 10,0 | 0,3 | 5854,3 | 16,5 | 5613,5 | 1661,8 |
| 733 | 52412 | 10,0 | 0,3 | 5905,8 | 16,5 | 5661,6 | 1681,0 |
| 731 | 52212 | 10,0 | 0,3 | 5953,7 | 15,6 | 5733,3 | 1604,7 |
| | | 10,0 | 1,0 | 7179,5 | 15,5 | 6919,7 | 1913,5 |
| 720 | 51212 | 10,0 | 1,0 | 7116,2 | 15,8 | 6846,7 | 1940,0 |
| 718 | 51012 | 10,0 | 1,0 | 7145,7 | 15,5 | 6884,3 | 1915,0 |
| 716 | 50812 | 10,0 | 1,0 | 7170,5 | 15,7 | 6901,5 | 1945,6 |
| 714 | 50612 | 10,0 | 1,0 | 7216,9 | 15,3 | 6961,5 | 1902,9 |
| 712 | 50412 | 10,0 | 1,0 | 7248,4 | 14,9 | 7004,6 | 1863,8 |
| | | 10,0 | 3,0 | 8485,7 | 14,5 | 8215,3 | 2125,1 |
| 699 | 49212 | 10,0 | 3,0 | 8435,0 | 14,5 | 8165,5 | 2115,3 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 697 | 49012 | 10,1 | 3,0 | 8465,6 | 14,8 | 8186,4 | 2156,1 |
| 695 | 48812 | 10,0 | 3,0 | 8442,1 | 14,5 | 8174,7 | 2107,8 |
| 693 | 48612 | 10,0 | 3,0 | 8508,9 | 14,5 | 8236,2 | 2137,0 |
| 691 | 48412 | 10,0 | 3,0 | 8527,0 | 14,4 | 8258,2 | 2124,1 |
| 689 | 48212 | 10,0 | 3,0 | 8535,6 | 14,3 | 8270,6 | 2110,3 |
| | | 10,0 | 10,1 | 10033,5 | 13,6 | 9750,5 | 2366,2 |
| 669 | 46212 | 10,0 | 10,3 | 9910,3 | 13,0 | 9657,7 | 2223,0 |
| 667 | 46012 | 10,0 | 10,3 | 9994,4 | 13,9 | 9699,7 | 2409,0 |
| 665 | 45812 | 10,0 | 9,9 | 10054,9 | 13,8 | 9764,0 | 2401,0 |
| 663 | 45612 | 10,0 | 10,2 | 10034,9 | 13,7 | 9749,6 | 2375,5 |
| 661 | 45412 | 10,0 | 9,9 | 10039,2 | 13,5 | 9760,0 | 2351,4 |
| 659 | 45212 | 10,0 | 10,3 | 10045,7 | 13,7 | 9761,9 | 2371,0 |
| 657 | 45012 | 10,0 | 10,3 | 10044,4 | 13,7 | 9759,2 | 2376,6 |
| 655 | 44812 | 10,0 | 9,9 | 10080,3 | 13,7 | 9795,4 | 2379,6 |
| 653 | 44612 | 10,0 | 10,2 | 10046,3 | 13,7 | 9759,0 | 2385,5 |
| 651 | 44412 | 10,0 | 9,9 | 10033,5 | 13,6 | 9751,4 | 2362,3 |
| 649 | 44212 | 10,0 | 10,3 | 10042,2 | 13,7 | 9758,0 | 2371,9 |
| 647 | 44012 | 10,0 | 10,3 | 10076,5 | 13,7 | 9789,6 | 2387,2 |
| | | 0,7 | 0,1 | 8591,0 | 14,1 | 8333,4 | 2087,7 |
| 566 | 37812 | 0,7 | 0,1 | 8591,0 | 13,6 | 8351,6 | 2013,8 |
| 564 | 37612 | 0,7 | 0,1 | 8557,6 | 14,1 | 8301,1 | 2079,3 |
| 562 | 37412 | 0,6 | 0,1 | 8568,5 | 14,2 | 8307,0 | 2100,7 |
| 560 | 37212 | 0,7 | 0,1 | 8616,6 | 14,4 | 8344,8 | 2147,1 |
| 558 | 37012 | 0,7 | 0,1 | 8621,6 | 14,1 | 8362,6 | 2097,4 |
| | | 0,7 | 0,3 | 10027,2 | 12,4 | 9791,5 | 2160,9 |
| 549 | 36212 | 0,7 | 0,3 | 9991,8 | 12,4 | 9759,4 | 2142,3 |
| 547 | 36012 | 0,7 | 0,3 | 10024,4 | 12,8 | 9774,9 | 2222,4 |
| 545 | 35812 | 0,7 | 0,3 | 10026,9 | 12,6 | 9784,9 | 2189,2 |
| 543 | 35612 | 0,6 | 0,3 | 9986,6 | 12,1 | 9766,2 | 2086,4 |
| 541 | 35412 | 0,6 | 0,3 | 10106,4 | 12,4 | 9872,0 | 2164,0 |
| | | 0,7 | 1,0 | 11685,4 | 11,2 | 11462,0 | 2273,8 |
| 530 | 34412 | 0,7 | 1,0 | 11729,7 | 11,4 | 11499,4 | 2313,0 |
| 528 | 34212 | 0,7 | 1,0 | 11736,6 | 11,1 | 11516,7 | 2261,6 |
| 526 | 34012 | 0,6 | 1,0 | 11654,3 | 11,2 | 11431,9 | 2265,6 |
| 524 | 33812 | 0,6 | 1,0 | 11620,8 | 11,2 | 11399,9 | 2255,1 |
| | | 0,6 | 3,0 | 13228,4 | 10,4 | 13011,8 | 2383,9 |
| 510 | 32412 | 0,6 | 3,0 | 13207,9 | 10,6 | 12980,5 | 2440,3 |
| 508 | 32212 | 0,6 | 3,0 | 13250,5 | 10,2 | 13039,8 | 2353,7 |
| 506 | 32012 | 0,6 | 3,0 | 13207,4 | 10,2 | 12997,5 | 2345,0 |
| 504 | 31812 | 0,7 | 3,0 | 13168,3 | 10,4 | 12953,1 | 2371,1 |
| 502 | 31612 | 0,7 | 3,0 | 13308,1 | 10,4 | 13088,2 | 2409,4 |
| | | 0,7 | 10,1 | 15005,4 | 9,5 | 14801,7 | 2463,8 |
| 479 | 29412 | 0,7 | 10,3 | 15045,9 | 9,5 | 14838,1 | 2491,9 |
| 477 | 29212 | 0,7 | 9,9 | 14972,6 | 9,7 | 14756,7 | 2533,3 |
| 475 | 29012 | 0,7 | 10,3 | 14988,9 | 9,4 | 14786,7 | 2453,6 |
| 473 | 28812 | 0,7 | 9,8 | 14991,3 | 9,4 | 14790,3 | 2446,4 |
| 471 | 28612 | 0,7 | 9,9 | 14977,5 | 9,6 | 14768,0 | 2496,0 |
| 469 | 28412 | 0,7 | 10,3 | 15020,9 | 9,4 | 14817,6 | 2462,5 |
| 467 | 28212 | 0,7 | 9,9 | 15010,6 | 9,5 | 14806,2 | 2469,2 |
| 465 | 28012 | 0,7 | 10,3 | 14980,5 | 9,5 | 14774,7 | 2474,3 |
| 463 | 27812 | 0,7 | 10,2 | 14927,2 | 9,5 | 14723,3 | 2458,7 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 461 | 27612 | 0,7 | 9,9 | 15037,5 | 9,3 | 14839,3 | 2433,3 |
| 459 | 27412 | 0,6 | 10,3 | 15071,3 | 9,3 | 14874,3 | 2428,7 |
| 457 | 27212 | 0,6 | 9,9 | 14972,2 | 9,5 | 14767,5 | 2467,1 |
| 455 | 27012 | 0,6 | 10,3 | 14997,1 | 9,4 | 14797,0 | 2441,8 |
| 453 | 26812 | 0,6 | 10,2 | 15043,3 | 9,5 | 14838,3 | 2475,3 |
| 451 | 26612 | 0,6 | 9,9 | 15044,4 | 9,3 | 14847,6 | 2425,1 |
| | | -8,7 | 0,1 | 14037,0 | 8,9 | 13868,3 | 2169,0 |
| 376 | 19412 | -8,6 | 0,1 | 14131,5 | 9,0 | 13958,1 | 2206,4 |
| 374 | 19212 | -8,6 | 0,1 | 13982,2 | 8,7 | 13820,8 | 2118,4 |
| 372 | 19012 | -8,7 | 0,1 | 14019,9 | 9,3 | 13837,5 | 2254,2 |
| 370 | 18812 | -8,7 | 0,1 | 14014,5 | 8,6 | 13856,7 | 2097,1 |
| | | -9,0 | 0,3 | 15654,9 | 8,0 | 15500,9 | 2189,6 |
| 361 | 18012 | -9,0 | 0,3 | 15730,0 | 7,8 | 15585,2 | 2129,2 |
| 359 | 17812 | -9,0 | 0,3 | 15625,2 | 8,0 | 15474,2 | 2167,2 |
| 357 | 17612 | -9,0 | 0,3 | 15685,3 | 8,5 | 15513,5 | 2315,7 |
| 355 | 17412 | -9,1 | 0,3 | 15567,3 | 7,9 | 15420,0 | 2136,1 |
| 353 | 17212 | -9,0 | 0,3 | 15667,0 | 8,1 | 15511,8 | 2199,7 |
| | | -8,8 | 1,0 | 17240,9 | 7,4 | 17095,3 | 2235,4 |
| 342 | 16212 | -8,8 | 1,0 | 17357,2 | 7,5 | 17209,0 | 2263,7 |
| 340 | 16012 | -8,8 | 1,0 | 17105,3 | 7,2 | 16969,4 | 2152,2 |
| 338 | 15812 | -8,9 | 1,0 | 17353,3 | 7,4 | 17208,4 | 2238,1 |
| 336 | 15612 | -8,9 | 1,0 | 17065,0 | 7,4 | 16921,7 | 2206,7 |
| 334 | 15412 | -8,8 | 1,0 | 17323,5 | 7,7 | 17168,0 | 2316,5 |
| | | -8,8 | 3,0 | 18792,0 | 6,6 | 18665,8 | 2174,0 |
| 321 | 14212 | -8,8 | 3,0 | 18773,4 | 6,4 | 18655,2 | 2103,2 |
| 319 | 14012 | -8,8 | 3,0 | 18755,8 | 6,9 | 18618,2 | 2267,4 |
| 317 | 13812 | -8,8 | 3,0 | 18760,3 | 6,5 | 18638,2 | 2136,4 |
| 315 | 13612 | -8,8 | 3,0 | 18751,4 | 6,6 | 18627,2 | 2154,6 |
| 313 | 13412 | -8,8 | 3,0 | 18919,3 | 6,7 | 18790,0 | 2208,4 |
| | | -8,8 | 10,1 | 20518,5 | 6,2 | 20399,4 | 2206,8 |
| 289 | 11012 | -8,8 | 10,1 | 20590,6 | 6,1 | 20474,3 | 2185,2 |
| 287 | 10812 | -8,8 | 10,0 | 20502,4 | 6,2 | 20381,9 | 2219,8 |
| 285 | 10612 | -8,8 | 10,1 | 20565,9 | 6,3 | 20440,3 | 2269,3 |
| 283 | 10412 | -8,8 | 10,1 | 20400,2 | 6,1 | 20283,2 | 2181,7 |
| 281 | 10212 | -8,8 | 10,1 | 20524,9 | 6,0 | 20413,3 | 2137,6 |
| 279 | 10012 | -8,8 | 10,1 | 20532,5 | 6,4 | 20403,7 | 2296,9 |
| 277 | 9812 | -8,8 | 10,0 | 20499,3 | 5,9 | 20390,1 | 2113,1 |
| 275 | 9612 | -8,8 | 10,1 | 20544,4 | 6,3 | 20421,0 | 2248,3 |
| 273 | 9412 | -8,9 | 10,1 | 20575,8 | 6,3 | 20452,7 | 2247,2 |
| 271 | 9212 | -8,9 | 10,1 | 20520,0 | 5,9 | 20410,2 | 2119,3 |
| 269 | 9012 | -8,9 | 10,1 | 20468,4 | 6,3 | 20344,2 | 2251,4 |
| 267 | 8812 | -8,9 | 10,0 | 20537,3 | 6,2 | 20417,6 | 2214,2 |
| 265 | 8612 | -8,9 | 10,1 | 20510,9 | 6,3 | 20385,3 | 2266,7 |
| 263 | 8412 | -8,9 | 10,3 | 20519,2 | 6,2 | 20400,3 | 2205,4 |
| 261 | 8212 | -8,9 | 10,1 | 20485,1 | 6,0 | 20372,3 | 2146,6 |
| | | -19,2 | 0,1 | 20379,5 | 5,3 | 20292,9 | 1870,7 |
| 186 | 17812 | -19,2 | 0,1 | 20510,4 | 5,0 | 20432,2 | 1789,0 |
| 184 | 17612 | -19,2 | 0,1 | 20146,3 | 5,5 | 20054,1 | 1924,7 |
| 182 | 17412 | -19,2 | 0,1 | 20350,7 | 5,3 | 20264,9 | 1866,0 |
| 180 | 17212 | -19,2 | 0,1 | 20166,8 | 5,9 | 20058,3 | 2089,1 |
| 178 | 17012 | -19,1 | 0,1 | 20723,4 | 4,7 | 20654,8 | 1684,5 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | -18,7 | 0,3 | 21804,9 | 5,3 | 21711,8 | 2005,2 |
| 171 | 16412 | -18,7 | 0,3 | 21940,9 | 5,5 | 21839,6 | 2105,9 |
| 169 | 16212 | -18,7 | 0,3 | 22017,1 | 5,5 | 21916,1 | 2106,1 |
| 167 | 16012 | -18,6 | 0,3 | 21802,1 | 5,6 | 21697,7 | 2131,5 |
| 165 | 15812 | -18,8 | 0,3 | 21638,3 | 5,8 | 21529,4 | 2168,2 |
| 163 | 15612 | -18,7 | 0,3 | 21781,4 | 4,5 | 21713,4 | 1720,1 |
| 161 | 15412 | -18,6 | 0,3 | 21649,2 | 4,8 | 21574,3 | 1799,3 |
| | | -19,2 | 1,0 | 23215,3 | 4,6 | 23140,3 | 1851,6 |
| 152 | 14612 | -19,1 | 1,0 | 23220,4 | 4,1 | 23161,3 | 1656,3 |
| 150 | 14412 | -19,2 | 1,0 | 23160,4 | 5,0 | 23073,6 | 2004,2 |
| 148 | 14212 | -19,2 | 1,0 | 23229,5 | 4,6 | 23155,6 | 1850,3 |
| 146 | 14012 | -19,1 | 1,0 | 23238,3 | 4,8 | 23158,1 | 1929,3 |
| 144 | 13812 | -19,1 | 1,0 | 22796,4 | 3,6 | 22751,3 | 1432,8 |
| 142 | 13612 | -19,2 | 1,0 | 23444,6 | 5,0 | 23355,9 | 2037,5 |
| 140 | 13412 | -19,3 | 1,0 | 23316,8 | 4,2 | 23254,0 | 1709,2 |
| 138 | 13212 | -19,4 | 1,0 | 23315,7 | 5,4 | 23212,3 | 2193,0 |
| | | -19,2 | 3,0 | 24620,9 | 4,1 | 24558,8 | 1743,8 |
| 131 | 12612 | -19,2 | 3,0 | 24702,0 | 4,0 | 24642,1 | 1718,7 |
| 129 | 12412 | -19,2 | 3,0 | 24895,7 | 4,1 | 24831,5 | 1785,9 |
| 127 | 12212 | -19,2 | 3,0 | 24843,0 | 3,8 | 24788,3 | 1647,5 |
| 125 | 12012 | -19,2 | 3,0 | 24510,2 | 3,9 | 24452,3 | 1683,7 |
| 123 | 11812 | -19,2 | 3,0 | 24513,6 | 3,9 | 24456,8 | 1668,9 |
| 121 | 11612 | -19,3 | 3,0 | 24343,7 | 4,1 | 24282,1 | 1730,4 |
| 119 | 11412 | -19,3 | 3,0 | 24538,0 | 4,6 | 24458,7 | 1971,8 |
| | | -19,2 | 10,1 | 26142,0 | 3,6 | 26090,2 | 1643,2 |
| 101 | 9612 | -19,2 | 10,0 | 26263,0 | 3,8 | 26205,1 | 1743,2 |
| 99 | 9412 | -19,2 | 10,1 | 26144,4 | 3,5 | 26096,7 | 1579,2 |
| 97 | 9212 | -19,2 | 10,1 | 26010,9 | 3,5 | 25961,8 | 1597,7 |
| 95 | 9012 | -19,2 | 10,1 | 26023,4 | 3,7 | 25970,1 | 1664,7 |
| 93 | 8812 | -19,2 | 10,1 | 26286,1 | 3,9 | 26225,0 | 1791,0 |
| 91 | 8612 | -19,2 | 10,0 | 26192,6 | 3,6 | 26141,0 | 1642,8 |
| 89 | 8412 | -19,2 | 10,1 | 26150,5 | 3,5 | 26100,9 | 1609,0 |
| 87 | 8212 | -19,2 | 10,2 | 26185,1 | 3,8 | 26127,8 | 1732,0 |
| 85 | 8012 | -19,2 | 10,1 | 26007,4 | 3,3 | 25963,4 | 1511,6 |
| 83 | 7812 | -19,2 | 10,1 | 26245,1 | 3,4 | 26197,9 | 1573,0 |
| 81 | 7612 | -19,2 | 10,0 | 25998,6 | 3,7 | 25943,1 | 1698,4 |
| 79 | 7412 | -19,2 | 10,1 | 26025,0 | 3,5 | 25975,1 | 1611,3 |
| 77 | 7212 | -19,2 | 10,1 | 26317,0 | 3,5 | 26267,8 | 1608,4 |
| 75 | 7012 | -19,2 | 10,1 | 26218,0 | 3,6 | 26165,9 | 1652,2 |
| 73 | 6812 | -19,2 | 10,2 | 26062,2 | 3,6 | 26011,0 | 1632,7 |
| | | -29,5 | 0,1 | 26806,1 | 5,2 | 26694,2 | 2419,1 |
| 188 | 20212 | -29,5 | 0,1 | 26177,4 | 4,1 | 26109,7 | 1882,6 |
| 186 | 20012 | -29,5 | 0,1 | 27049,6 | 5,8 | 26908,9 | 2755,9 |
| 184 | 19812 | -29,5 | 0,1 | 26754,6 | 6,0 | 26608,4 | 2793,6 |
| 182 | 19612 | -29,5 | 0,1 | 27242,7 | 4,7 | 27150,1 | 2244,2 |
| | | -29,0 | 0,3 | 27389,3 | 3,2 | 27345,1 | 1541,1 |
| 173 | 18812 | -29,1 | 0,3 | 27189,8 | 3,0 | 27151,7 | 1439,0 |
| 171 | 18612 | -28,8 | 0,3 | 27459,5 | 3,5 | 27408,2 | 1678,0 |
| 169 | 18412 | -29,0 | 0,3 | 27166,0 | 3,9 | 27102,2 | 1859,6 |
| 167 | 18212 | -29,0 | 0,3 | 27570,4 | 3,0 | 27533,1 | 1433,3 |
| 165 | 18012 | -28,9 | 0,3 | 27560,8 | 2,7 | 27530,3 | 1295,5 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | -29,4 | 1,0 | 28741,4 | 3,1 | 28699,8 | 1537,7 |
| 154 | 17012 | -29,5 | 1,0 | 28520,5 | 3,0 | 28480,4 | 1512,9 |
| 152 | 16812 | -29,4 | 1,0 | 28924,3 | 2,5 | 28896,0 | 1280,6 |
| 150 | 16612 | -29,2 | 1,0 | 28962,5 | 3,1 | 28921,1 | 1547,8 |
| 148 | 16412 | -29,2 | 1,0 | 28515,9 | 3,2 | 28471,0 | 1598,1 |
| 146 | 16212 | -29,3 | 1,0 | 29036,4 | 3,6 | 28980,4 | 1802,7 |
| 144 | 16012 | -29,5 | 1,0 | 28488,7 | 3,0 | 28450,0 | 1484,2 |
| | | -29,3 | 3,0 | 29578,6 | 2,4 | 29551,6 | 1245,8 |
| 133 | 15012 | -29,2 | 3,0 | 29712,2 | 2,7 | 29679,2 | 1399,9 |
| 131 | 14812 | -29,2 | 3,0 | 29560,3 | 2,8 | 29524,1 | 1461,0 |
| 129 | 14612 | -29,3 | 3,0 | 29494,0 | 1,8 | 29478,9 | 943,5 |
| 127 | 14412 | -29,3 | 3,0 | 29265,4 | 2,3 | 29241,2 | 1189,8 |
| 125 | 14212 | -29,3 | 3,0 | 29155,3 | 1,8 | 29140,6 | 926,3 |
| 123 | 14012 | -29,4 | 3,0 | 30129,6 | 2,4 | 30102,6 | 1276,2 |
| 121 | 13812 | -29,4 | 3,0 | 30101,5 | 3,3 | 30052,8 | 1711,6 |
| 119 | 13612 | -29,4 | 3,0 | 29508,9 | 2,3 | 29484,6 | 1199,1 |
| 117 | 13412 | -29,5 | 3,0 | 29161,0 | 2,2 | 29139,4 | 1123,8 |
| 115 | 13212 | -29,4 | 3,0 | 29697,6 | 2,4 | 29672,3 | 1226,7 |
| | | -29,0 | 10,1 | 30207,7 | 1,9 | 30189,8 | 1022,7 |
| 102 | 11812 | -28,9 | 10,1 | 30264,2 | 2,4 | 30238,7 | 1242,5 |
| 100 | 11612 | -28,9 | 10,1 | 30103,4 | 1,8 | 30088,6 | 944,3 |
| 98 | 11412 | -29,0 | 10,1 | 30231,0 | 1,6 | 30219,3 | 843,1 |
| 96 | 11212 | -29,0 | 10,1 | 30211,3 | 1,8 | 30195,6 | 972,6 |
| 94 | 11012 | -29,0 | 10,0 | 30241,3 | 2,5 | 30213,5 | 1296,8 |
| 92 | 10812 | -29,0 | 10,1 | 30441,3 | 1,5 | 30430,5 | 808,3 |
| 90 | 10612 | -29,0 | 10,1 | 30181,2 | 2,3 | 30157,5 | 1197,8 |
| 88 | 10412 | -29,0 | 10,1 | 30250,1 | 2,3 | 30225,2 | 1225,6 |
| 86 | 10212 | -29,0 | 10,1 | 30001,6 | 1,5 | 29990,9 | 799,8 |
| 84 | 10012 | -29,0 | 10,0 | 30196,6 | 2,3 | 30171,3 | 1237,0 |
| 82 | 9812 | -29,0 | 10,1 | 30091,1 | 2,1 | 30070,7 | 1107,6 |
| 80 | 9612 | -29,0 | 10,3 | 30329,7 | 1,7 | 30316,6 | 890,0 |
| 78 | 9412 | -29,0 | 10,1 | 30484,4 | 1,6 | 30472,5 | 850,2 |
| 76 | 9212 | -29,0 | 10,1 | 30063,9 | 2,2 | 30041,7 | 1156,3 |
| 74 | 9012 | -29,0 | 10,0 | 30084,1 | 1,6 | 30073,0 | 819,1 |
| 72 | 8812 | -29,0 | 10,1 | 30296,1 | 2,0 | 30277,8 | 1053,5 |
| 70 | 8612 | -29,0 | 10,1 | 30128,1 | 1,4 | 30119,1 | 735,0 |
| 68 | 8412 | -29,0 | 10,1 | 30065,4 | 2,1 | 30045,5 | 1093,1 |
| 66 | 8212 | -29,0 | 10,1 | 30281,2 | 2,2 | 30259,0 | 1158,9 |