

## **RAPPORT DE PRÉSENTATION DES RÉSULTATS**

N° 12.1.22

Concernant l'essai

**Détermination de la résistance à la fatigue**

Selon la norme  
NF EN 12697-24



Établi le 20 octobre 2025 par G. PIOT - Cellule Exécutive de l'EAPIC  
Cerema IDF – Département Infrastructures Risques et Matériaux  
120 route de Paris - BP 216 Sourdun  
77487 PROVINS Cedex

## Préambule

Après la série EAPIC 21 consacrée à la détermination de la sensibilité à l'eau d'un enrobé bitumineux (NF EN 12697-12 juin 2018), la série EAPIC 22 porte, pour la première fois, sur la détermination de la résistance à la fatigue (NF EN 12697-24 juin 2018). Cette série s'est déroulée sur 2 années.

Pour cette session, les membres de l'EAPIC ont fixé une formule sans Agrégats d'Enrobés. Pour limiter les écarts de teneur en vides sur les éprouvettes confectionnées au compacteur de plaque (NF EN 12697-33+A1), il a été demandé aux participants de viser une teneur en vides (NF EN 12697-6) de 6 %. Chaque entreprise a réalisé deux répliques (40 éprouvettes / réplique) et 3 niveaux de déformation ont été demandés.

Sur au moins 4 des éprouvettes confectionnées par réplique, des mesures de module selon la norme NF EN 12697-26 Annexe A1 ont permis d'effectuer un essai de comparaison complémentaire pour les laboratoires qui le souhaitaient.

Tout comme dans les dernières séries, un questionnaire a été joint aux résultats pour construire une base de données anonyme et lister des éléments potentiels de différenciation entre les participants, qui sera proposée à la Commission de Normalisation « Essais relatifs aux chaussées » (BNTRA CN EC). Cette analyse complémentaire pourrait permettre des évolutions dans un projet futur d'amélioration de la norme.

Cette campagne comptait 24 laboratoires participants. 75 % des laboratoires ont répondu dans les délais.

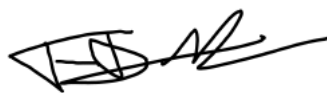
18 laboratoires ont participé aux mesures de module (NF EN 12697-26 +A1).

Implicitement, cette campagne a permis également de mesurer la masse volumique apparente géométrique des enrobés selon la norme NF EN 12697-6.

Une traduction prochaine en anglais de ce rapport permettra la diffusion et l'utilisation de son contenu dans les échanges internationaux relatifs à l'essai de la résistance en fatigue des enrobés bitumineux.

Cordialement,

Pour EAPIC,



Frédéric DELFOSSE

## Sommaire

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Organisation de la session et recueil des données .....                           | 4  |
| Préparation et expédition des échantillons .....                                  | 5  |
| Vérification de l'homogénéité des échantillons de granulats.....                  | 6  |
| Vérification de l'homogénéité des échantillons de bitume.....                     | 9  |
| Éléments de différenciation entre les participants .....                          | 12 |
| Traitement des données .....                                                      | 13 |
| • Détermination de la pente de fatigue 1/b .....                                  | 15 |
| • Détermination de la résistance à la fatigue .....                               | 19 |
| • Détermination du module d'un enrobé .....                                       | 23 |
| Organisation de l'EAPIC .....                                                     | 27 |
| Annexes.....                                                                      | 28 |
| • Bilan financier.....                                                            | 29 |
| • Comparaison entre la résistance en fatigue et le pourcentage de vides mesuré .  | 30 |
| • Comparaison entre le module de rigidité et le pourcentage de vides mesuré ..... | 32 |
| • Corrélation entre la pente 1/b et les valeurs $\epsilon_6$ .....                | 34 |

## Organisation de la session et recueil des données

Des lots homogénéisés de constituants sont fournis aux laboratoires participants. Ceux-ci doivent déterminer la résistance à la fatigue d'éprouvettes bitumineuses, selon la norme NF EN 12697-24 de juin 2018 « Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai - Partie 24 : résistance à la fatigue ».

Dans ce but, les participants devaient réaliser :

- Confection d'éprouvettes au compacteur de plaque selon la norme NF EN 12697-33+A1 ;
- Malaxage en laboratoire selon la norme NF EN 12697-35 ;
- Détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses, méthode géométrique, selon la norme NF EN 12697-6 ;
- Détermination de la résistance à la fatigue selon la norme NF EN 12697-24 de juin 2018.

Il était proposé aux participants qui le souhaitaient de déterminer le module en flexion 2 points (2PB-TR), selon l'Annexe A de la norme NF EN 12697-26+A1 d'octobre 2022.

La valeur de la masse volumique réelle de l'enrobé a été déterminée par les laboratoires du Groupe Spécialisé EAPIC.

Elle a été transmise aux participants :  $MVRe = 2,493 \text{ Mg/m}^3$

La formule à fabriquer par chaque laboratoire était :

|                 |        |
|-----------------|--------|
| 0/2             | 28,00% |
| 2/4             | 18,00% |
| 4/6             | 14,00% |
| 6/10            | 19,10% |
| 10/14           | 16,00% |
| Bitume d'apport | 4,90%  |

La campagne s'est déroulée de la façon suivante :

- Inscription des laboratoires au plus tard le 30 août 2023 ;
- Engagement financier de la série en novembre 2023 ;
- Expédition des échantillons en février 2024 ;
- Transmission des résultats des laboratoires participants exigée au plus tard le 31 janvier 2025 ;  
Le nombre de participants inscrits à cette série était de 25 laboratoires.  
1 laboratoire n'a pas donné suite à son intention de participation.  
Les résultats de 24 laboratoires ont été traités.  
75% des résultats ont été transmis dans le respect de ce délai, et 100% des résultats ont été transmis au plus tard mi-avril 2025.
- Production du rapport de présentation des résultats pour septembre 2025.

## ***Préparation et expédition des échantillons***

### ***Laboratoire Support : Cerema Ouest – Agence d'Angers***

#### ***Les matériaux***

Chaque participant a reçu une palette avec les quantités de matériaux nécessaires à la réalisation de ces essais.

Chaque palette était composée des matériaux suivants :

- 8 sacs de 20 kg de matériau 0/2 ;
- 5 sacs de 20 kg de matériau 2/4 ;
- 3 sacs de 20 kg de matériau 4/6 ;
- 5 sacs de 20 kg de matériau 6/10 ;
- 4 sacs de 20 kg de matériau 10/14 ;
- 2 pots de 15 kg de bitume 20/30.

Les granulats provenaient d'un stock unique. Chaque fraction granulaire a fait l'objet d'une vérification de l'homogénéité par Laboratoire Support du Cerema Centre Est – Agence d'Autun.

Le bitume provenait d'un stock unique. Il a fait l'objet d'une vérification de l'homogénéité par le laboratoire support du Cerema Centre Est – Agence d'Autun.

#### ***Préparation***

Pour réaliser cette série, le Cerema Ouest - Agence d'Angers a réceptionné et alloti :

- 210 sacs de 20 kg de 0/2 ;
- 125 sacs de 20 kg de 2/4 ;
- 75 sacs de 20 kg de 4/6 ;
- 150 sacs de 20 kg de 6/10 ;
- 150 sacs de 20 kg de 10/14 ;
- 60 pots de 15 kg de bitume 20/30.

#### ***Expédition des matériaux***

L'envoi des matériaux a été réalisé par le Cerema Ouest - Agence d'Angers.  
L'ensemble des échantillons nécessaires pour mener la série a été mis en place sur palette avant expédition.

## Vérification de l'homogénéité des échantillons de granulats

### Laboratoire Support : Cerema Centre Est - Agence d'Autun

Le critère d'homogénéité retenu par la Cellule Exécutive EAPIC est la masse volumique réelle des granulats sur l'ensemble des fractions, déterminée selon l'annexe A de la norme NF EN 1097-6, de février 2022 (§ 8 pour les gravillons et § 9 pour le sable).

Un prélèvement aléatoire de 10 sacs de 20 kg a été effectué tout au long de la constitution des lots (1 sac tous les 10 sacs réalisés) afin de procéder à la vérification et chaque test a été doublé par sac.

| Masse volumique absolue ( $\rho_a$ en Mg/m <sup>3</sup> ) |           |                           |              |           |                           |              |           |                           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|--------------|-----------|---------------------------|--------------|-----------|---------------------------|
| Fraction 0/2                                              |           |                           | Fraction 2/4 |           |                           | Fraction 4/6 |           |                           |
|                                                           | Résultats | Moyenne Intra-échantillon |              | Résultats | Moyenne Intra-échantillon |              | Résultats | Moyenne Intra-échantillon |
|                                                           | 2,704     | 2,710                     |              | 2,712     | 2,7105                    |              | 2,782     | 2,7035                    |
|                                                           | 2,716     |                           |              | 2,709     |                           |              | 2,625     |                           |
|                                                           | 2,710     | 2,6995                    |              | 2,709     | 2,709                     |              | 2,706     | 2,7065                    |
|                                                           | 2,689     |                           |              | 2,709     |                           |              | 2,707     |                           |
|                                                           | 2,712     | 2,7085                    |              | 2,707     | 2,7075                    |              | 2,705     | 2,705                     |
|                                                           | 2,705     |                           |              | 2,708     |                           |              | 2,705     |                           |
|                                                           | 2,705     | 2,704                     |              | 2,710     | 2,708                     |              | 2,701     | 2,7005                    |
|                                                           | 2,703     |                           |              | 2,706     |                           |              | 2,700     |                           |
|                                                           | 2,706     | 2,6975                    |              | 2,715     | 2,714                     |              | 2,701     | 2,7015                    |
|                                                           | 2,689     |                           |              | 2,713     |                           |              | 2,702     |                           |
|                                                           | 2,715     | 2,714                     |              | 2,715     | 2,7145                    |              | 2,701     | 2,701                     |
|                                                           | 2,713     |                           |              | 2,714     |                           |              | 2,701     |                           |
|                                                           | 2,721     | 2,724                     |              | 2,713     | 2,711                     |              | 2,705     | 2,7055                    |
|                                                           | 2,727     |                           |              | 2,709     |                           |              | 2,706     |                           |
|                                                           | 2,708     | 2,708                     |              | 2,707     | 2,7065                    |              | 2,705     | 2,705                     |
|                                                           | 2,708     |                           |              | 2,706     |                           |              | 2,705     |                           |
|                                                           | 2,714     | 2,714                     |              | 2,714     | 2,714                     |              | 2,704     | 2,704                     |
|                                                           | 2,714     |                           |              | 2,714     |                           |              | 2,704     |                           |
|                                                           | 2,721     | 2,723                     |              | 2,706     | 2,706                     |              | 2,706     | 2,708                     |
|                                                           | 2,725     |                           |              | 2,706     |                           |              | 2,710     |                           |
| Moyenne                                                   | 2,7103    | 2,7103                    | Moyenne      | 2,7101    | 2,7101                    | Moyenne      | 2,7041    | 2,7041                    |
| Ecart type                                                | 0,0100    | 0,0089                    | Ecart type   | 0,0033    | 0,0032                    | Ecart type   | 0,0256    | 0,0025                    |

| Masse volumique absolue ( $\rho_a$ en Mg / m <sup>3</sup> ) |           |                           |                   |           |                           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|-------------------|-----------|---------------------------|
| Fraction 6/10                                               |           |                           | Fraction 10/14    |           |                           |
|                                                             | Résultats | Moyenne Intra-échantillon |                   | Résultats | Moyenne Intra-échantillon |
|                                                             | 2,706     | 2,704                     |                   | 2,706     | 2,7065                    |
|                                                             | 2,701     |                           |                   | 2,707     |                           |
|                                                             | 2,707     | 2,7065                    |                   | 2,706     | 2,706                     |
|                                                             | 2,706     |                           |                   | 2,706     |                           |
|                                                             | 2,706     | 2,705                     |                   | 2,705     | 2,706                     |
|                                                             | 2,704     |                           |                   | 2,707     |                           |
|                                                             | 2,705     | 2,705                     |                   | 2,706     | 2,707                     |
|                                                             | 2,705     |                           |                   | 2,708     |                           |
|                                                             | 2,704     | 2,703                     |                   | 2,709     | 2,707                     |
|                                                             | 2,702     |                           |                   | 2,705     |                           |
|                                                             | 2,704     | 2,704                     |                   | 2,704     | 2,7055                    |
|                                                             | 2,704     |                           |                   | 2,707     |                           |
|                                                             | 2,704     | 2,704                     |                   | 2,706     | 2,7065                    |
|                                                             | 2,704     |                           |                   | 2,707     |                           |
|                                                             | 2,711     | 2,71                      |                   | 2,706     | 2,707                     |
|                                                             | 2,709     |                           |                   | 2,708     |                           |
|                                                             | 2,708     | 2,7085                    |                   | 2,709     | 2,7085                    |
|                                                             | 2,709     |                           |                   | 2,708     |                           |
|                                                             | 2,708     | 2,708                     |                   | 2,713     | 2,7115                    |
|                                                             | 2,708     |                           |                   | 2,710     |                           |
| <b>Moyenne</b>                                              | 2,706     | 2,706                     | <b>Moyenne</b>    | 2,707     | 2,707                     |
| <b>Ecart type</b>                                           | 0,0025    | 0,0024                    | <b>Ecart type</b> | 0,0020    | 0,0017                    |

Afin de vérifier que l'ensemble des échantillons granulaires est homogène, il est appliqué les dispositions de l'annexe B de la norme NF ISO 13528 d'octobre 2022 qui donne une méthode statistique utilisée dans les essais d'aptitude par comparaison inter-laboratoires. Cette annexe s'appuie sur la comparaison de l'écart-type inter-échantillon  $S_s$  à l'écart-type pour l'évaluation de l'aptitude  $\sigma_{pt}$ .

Les échantillons sont considérés comme répondant au critère d'homogénéité si  $S_s \leq 0,3 \times \sigma_{pt}$ .

Pour chaque sac, les valeurs de l'écart-type inter-échantillon  $S_s$  sont comparées à l'estimation du critère d'homogénéité  $0,3 \times \sigma_{pt}$ .

|                                                                    | $\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )<br>0/2 | $\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )<br>2/4 | $\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )<br>4/6 | $\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )<br>6/10 | $\rho_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )<br>10/14 |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Moyenne</b>                                                     | 2,710                                | 2,710                                | 2,704                                | 2,706                                 | 2,707                                  |
| <b>Origine de r et R</b>                                           | EAPIC 5eme campagne                  | NF EN 1097-6 de février 2022         |                                      |                                       |                                        |
| <b>r</b>                                                           | $2,2 \cdot 10^{-2}$                  | $1,9 \cdot 10^{-2}$                  |                                      |                                       |                                        |
| <b>R</b>                                                           | $7,4 \cdot 10^{-2}$                  | $4,2 \cdot 10^{-2}$                  |                                      |                                       |                                        |
| <b><math>\sigma_r</math></b>                                       | $8,0 \cdot 10^{-3}$                  | $6,9 \cdot 10^{-3}$                  |                                      |                                       |                                        |
| <b><math>\sigma_R</math></b>                                       | $2,6 \cdot 10^{-2}$                  | $1,5 \cdot 10^{-2}$                  |                                      |                                       |                                        |
| <b><math>\sigma_{pt}</math></b>                                    | $2,6 \cdot 10^{-2}$                  | $1,4 \cdot 10^{-2}$                  | $1,4 \cdot 10^{-2}$                  | $1,4 \cdot 10^{-2}$                   | $1,4 \cdot 10^{-2}$                    |
| <b><math>0,3 \times \sigma_{pt}</math></b>                         | $7,8 \cdot 10^{-3}$                  | $4,3 \cdot 10^{-3}$                  | $4,3 \cdot 10^{-3}$                  | $4,3 \cdot 10^{-3}$                   | $4,3 \cdot 10^{-3}$                    |
| <b><math>S_s</math></b>                                            | $7,33 \cdot 10^{-3}$                 | $3,02 \cdot 10^{-3}$                 | 0 (*)                                | $2,17 \cdot 10^{-3}$                  | $1,33 \cdot 10^{-3}$                   |
| <b>Validation<br/><math>S_s \leq 0,3 \times \sigma_{pt}</math></b> | Condition Vérifiée                   | Condition Vérifiée                   | Condition Vérifiée                   | Condition Vérifiée                    | Condition Vérifiée                     |

*\*Le résultat obtenu étant négatif, la norme NF ISO 13508 préconise d'utiliser  $S_s=0$*

Pour chacun des tests, le critère est satisfait.

On peut donc conclure que les échantillons granulaires sont homogènes.

## Vérification de l'homogénéité des échantillons de bitume

### Laboratoire Support : Cerema Centre Est - Agence d'Autun

Les critères d'homogénéité retenus par la Cellule Exécutive EAPIC pour le bitume 20/30 sont :

- L'essai de pénétrabilité déterminé selon la norme NF EN 1426 de janvier 2018
- L'essai du point de ramollissement – méthode Bille et Anneau, selon la norme NF EN 1427 de janvier 2018

| N° Pot     | Pénétrabilité |                           | Point de ramollissement |                           |
|------------|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
|            | Résultats     | Moyenne Intra-échantillon | Résultats               | Moyenne Intra-échantillon |
| 3          | 34,4          | 34,5                      | 57,4                    | 57,4                      |
|            | 34,7          |                           | 57,3                    |                           |
|            | 34,5          |                           |                         |                           |
| 7          | 32,5          | 32,3                      | 57,5                    | 57,6                      |
|            | 31,5          |                           | 57,6                    |                           |
|            | 32,8          |                           |                         |                           |
| 13         | 32,8          | 32,5                      | 57,7                    | 57,6                      |
|            | 32,3          |                           | 57,4                    |                           |
|            | 32,3          |                           |                         |                           |
| 15         | 35,7          | 35,8                      | 57,7                    | 57,6                      |
|            | 35,4          |                           | 57,5                    |                           |
|            | 36,2          |                           |                         |                           |
| 17         | 31,4          | 30,8                      | 57,4                    | 57,5                      |
|            | 29,6          |                           | 57,6                    |                           |
|            | 31,3          |                           |                         |                           |
| 20         | 31,8          | 31,5                      | 57,8                    | 57,9                      |
|            | 31,3          |                           | 57,9                    |                           |
|            | 31,4          |                           |                         |                           |
| 28         | 31,3          | 31,0                      | 57,6                    | 57,5                      |
|            | 30,7          |                           | 57,3                    |                           |
|            | 31,1          |                           |                         |                           |
| 40         | 31,8          | 31,1                      | 58,2                    | 58,2                      |
|            | 30,5          |                           | 58,2                    |                           |
|            | 31,1          |                           |                         |                           |
| 50         | 30,7          | 30,1                      | 57,6                    | 57,4                      |
|            | 29,7          |                           | 57,2                    |                           |
|            | 29,9          |                           |                         |                           |
| 60         | 33,1          | 33,4                      | 57,9                    | 57,8                      |
|            | 33,5          |                           | 57,7                    |                           |
|            | 33,5          |                           |                         |                           |
| Moyenne    | 32,29         | 32,29                     | 57,63                   | 57,63                     |
| Ecart type | 1,78          | 1,79                      | 0,28                    | 0,26                      |

Afin de vérifier que l'ensemble des échantillons de bitume est homogène, il est appliqué les dispositions de l'annexe B de la norme NF ISO 13528 d'octobre 2022 qui donne une méthode statistique utilisée dans les essais d'aptitude par comparaison inter-laboratoires. Cette annexe s'appuie sur la comparaison de l'écart-type inter-échantillon  $S_s$  à l'écart-type pour l'évaluation de l'aptitude  $\sigma_{pt}$ . Les échantillons sont considérés comme répondant au critère d'homogénéité si  $S_s \leq 0,3 \times \sigma_{pt}$ .

Pour chaque pot, les valeurs de l'écart-type inter-échantillon  $S_s$  sont comparées à l'estimation du critère d'homogénéité  $0,3 \times \sigma_{pt}$ .

|                                                                    | Pénétrabilité (0,1 mm) | Point de ramollissement (°C) |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| <b>Moyenne</b>                                                     | 32,29                  | 57,63                        |
| <b>Origine de r et R</b>                                           | Norme NF EN 1426       | Norme NF EN 1427             |
| <b>r</b>                                                           | 2                      | 1                            |
| <b>R</b>                                                           | 5                      | 2                            |
| <b><math>\sigma_r</math></b>                                       | 0,72                   | 0,361                        |
| <b><math>\sigma_R</math></b>                                       | 1,80                   | 0,722                        |
| <b><math>\sigma_{pt}</math></b>                                    | 1,70                   | 0,666                        |
| <b><math>0,3 \times \sigma_{pt}</math></b>                         | 0,51                   | 0,20                         |
| <b><math>S_s</math></b>                                            | 1,76                   | 0,23                         |
| <b>Validation<br/><math>S_s \leq 0,3 \times \sigma_{pt}</math></b> | Condition non vérifiée | Condition non vérifiée       |

L'analyse conduit à une hétérogénéité des pots de bitumes concernant l'essai de point de ramollissement Méthode Bille et anneau et l'essai de pénétrabilité (néanmoins, les tests de Cochran et Grubbs n'ont détecté aucune valeur aberrante).

Des essais complémentaires ont été réalisés afin de confirmer son homogénéité. Les résultats sont présentés ci-dessous.

|                                  | Pot 15 | Pot 17 | Pot 20 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| Pénétrabilité ( $\times 0,1$ mm) | 31     | 28     | 28     |
| Point de ramollissement (°C)     | 57,0   | 56,6   | 57,2   |
| IG*I (MPa) à 15 °C et 10 Hz      | 47,1   | 49,5   | 48,5   |

Les nouvelles valeurs de pénétrabilité sont conformes au grade 20/30 (limite haute).

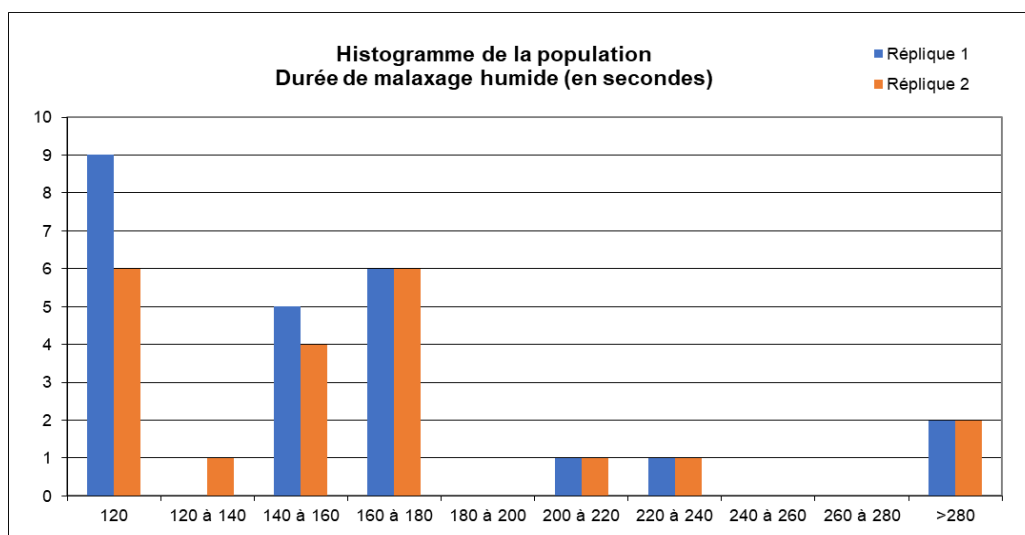
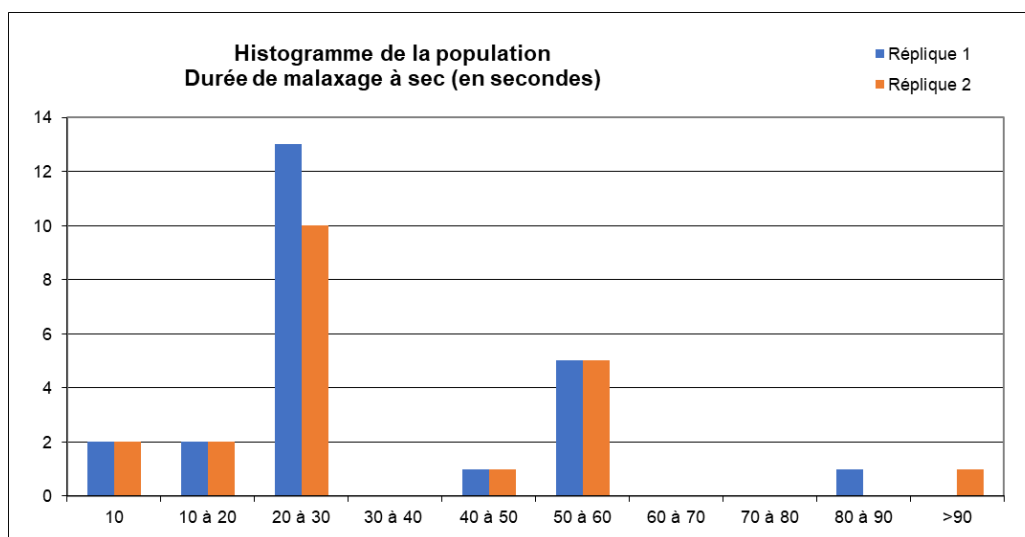
La valeur du module complexe du liant correspond bien à un liant 20/30 (IG\*I compris entre 35 et 65 MPa).

Une détermination du module complexe de la formule-type de l'enrobé bitumineux, selon la méthode C de NF EN 12697-26+A1, a été réalisée.

La valeur obtenue est de 11659 MPa, ce qui correspond à une valeur attendue pour un enrobé bitumineux de type GB4.

À la vue de l'ensemble des résultats, le Groupe Spécialisé EAPIC a validé l'approvisionnement en bitume.

## Éléments de différenciation entre les participants



## Traitement des données

Le traitement des données s'appuie sur la série des normes NF ISO 5725 « Application de la statistique – Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesures ». Il est effectué à l'aide d'un tableur Excel. Les résultats sont ensuite vérifiés à l'aide du logiciel XLSTAT.

### Glossaire

Dans le cadre de cette étude inter-laboratoires, les termes suivants ont été utilisés :

- N : nombre de participants
- m : moyenne des résultats des participants
- $\sigma_m$  : écart-type moyen des résultats
- $\sigma_r$  : écart-type de répétabilité
- r : répétabilité de la méthode d'essai
- $\sigma_R$  : écart-type de reproductibilité
- R : reproductibilité de la méthode d'essai

### Tests statistiques

Les tests statistiques suivants sont appliqués successivement sur les résultats bruts :

- Test de Cochran (variabilité intra-laboratoire) : détection d'une valeur aberrante, au sens statistique des résultats dans un laboratoire. Le test est réalisé en premier ;
- Test de Grubbs simple (variabilité inter-laboratoires) : détection des moyennes aberrantes, parmi la population des laboratoires.

Les résultats écartés (\*) sont indiqués en rouge dans le tableau de synthèse de résultats.

En plus de ces 2 premiers tests, il est proposé à titre informatif une exploitation par les tests k et h Mandel (différence au niveau des échantillons) sur les données corrigées :

- La statistique k de cohérence intra-laboratoire (au niveau de la variance) ;
- La statistique h de cohérence inter-laboratoires (au niveau de la moyenne)

Les résultats écartés (\*) sont indiqués en jaune dans le tableau de synthèse de résultats.

*(\*) Les résultats dépassant la valeur critique à 1% sont déclarés aberrants et écartés du traitement statistique qui ne retient que les données corrigées.*

### Représentation graphique

Les résultats bruts sont représentés sous forme d'histogrammes qui expriment les résultats obtenus par les laboratoires participants. Les moyennes brutes et corrigées (après retrait des résultats aberrants) sont placées sur le graphique.

### Score Z

Le Score Z, calculé selon la norme NF ISO 13528 de novembre 2022, désigne le nombre d'écart-types qui se trouve au-dessus ou en dessous de la moyenne de la population.

Le Z-Score est calculé à partir de la formule suivante.

$$z = (X - \mu) / \sigma$$

où :

z est le Score Z

X est la moyenne du laboratoire

$\mu$  est la moyenne de la population brute

$\sigma$  est l'écart-type de la population brute

Les valeurs de Score Z inférieures à - 2 ou supérieures à 2 sont indiquées en rouge dans le tableau de synthèse des résultats.

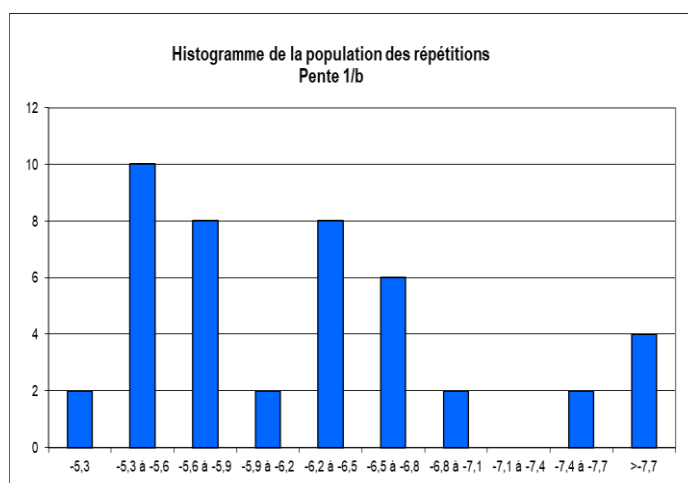
## Détermination de la pente de fatigue 1/b

L'essai a été réalisé selon la norme NF EN 12697-24 de juin 2018 « *Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 24 : résistance à la fatigue* »

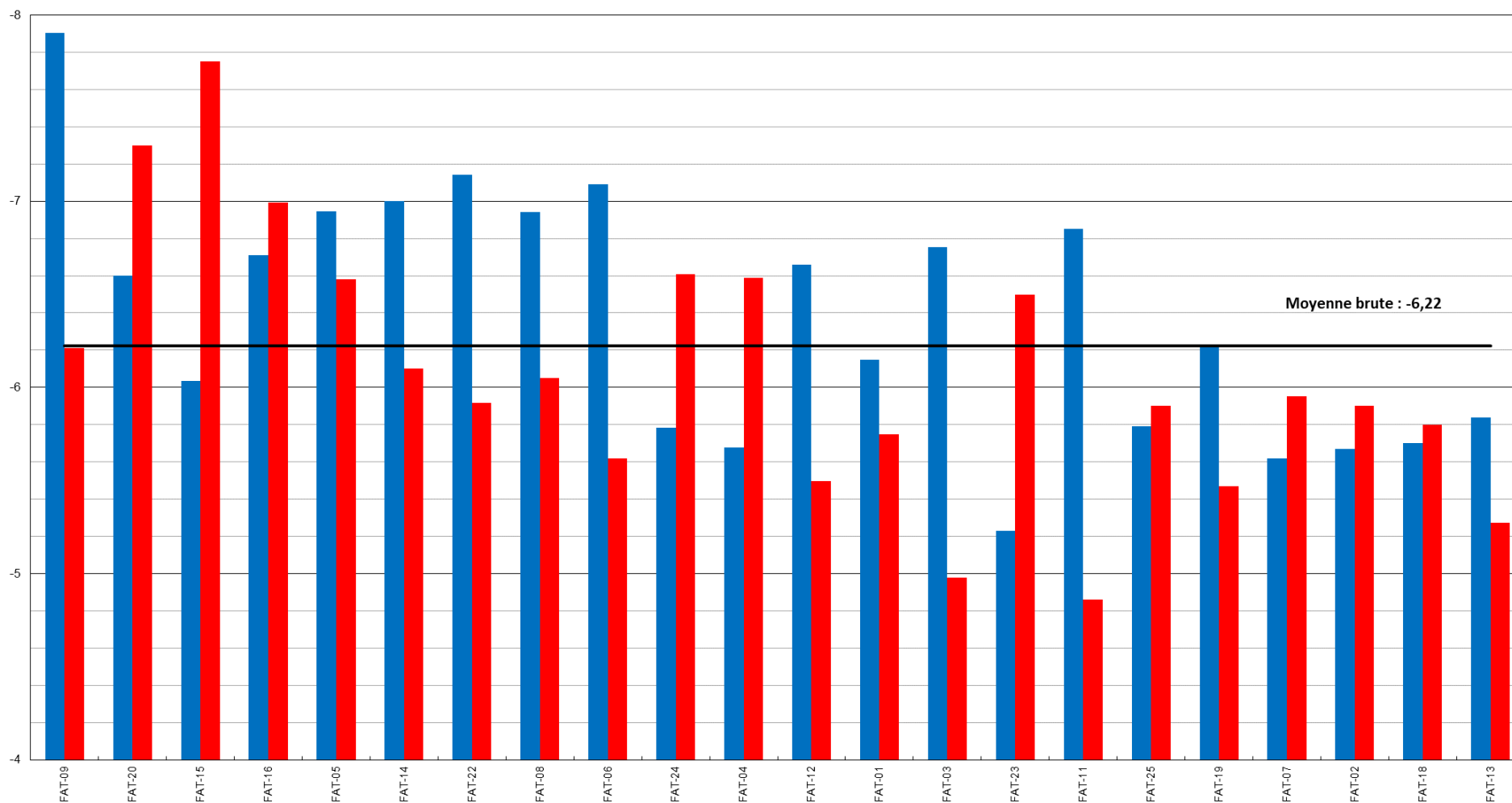
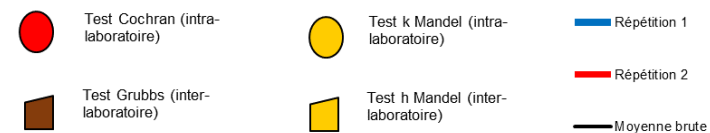
### Représentations graphiques

|            |            | Données brutes | Résultats écartés par les tests statistiques | Norme NF EN 12697-24                                                  |
|------------|------------|----------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Sans unité | N          | 22             | Aucun                                        | $\sigma_r = 0,021$<br>$r = 0,06$<br>$\sigma_R = 0,022$<br>$R = 0,064$ |
|            | M          | -6.225         |                                              |                                                                       |
|            | $\sigma_m$ | 0,46           |                                              |                                                                       |
|            | $\sigma_r$ | 0,75           |                                              |                                                                       |
|            | r          | 2,09           |                                              |                                                                       |
|            | $\sigma_R$ | 0,70           |                                              |                                                                       |
|            | R          | 1,97           |                                              |                                                                       |

Les résultats des laboratoires FAT-17 et FAT-21 ne sont pas pris en compte dans le traitement statistique (une seule réplique réalisée). Leurs résultats sont indiqués dans le graphe des données brutes sans analyse statistique.



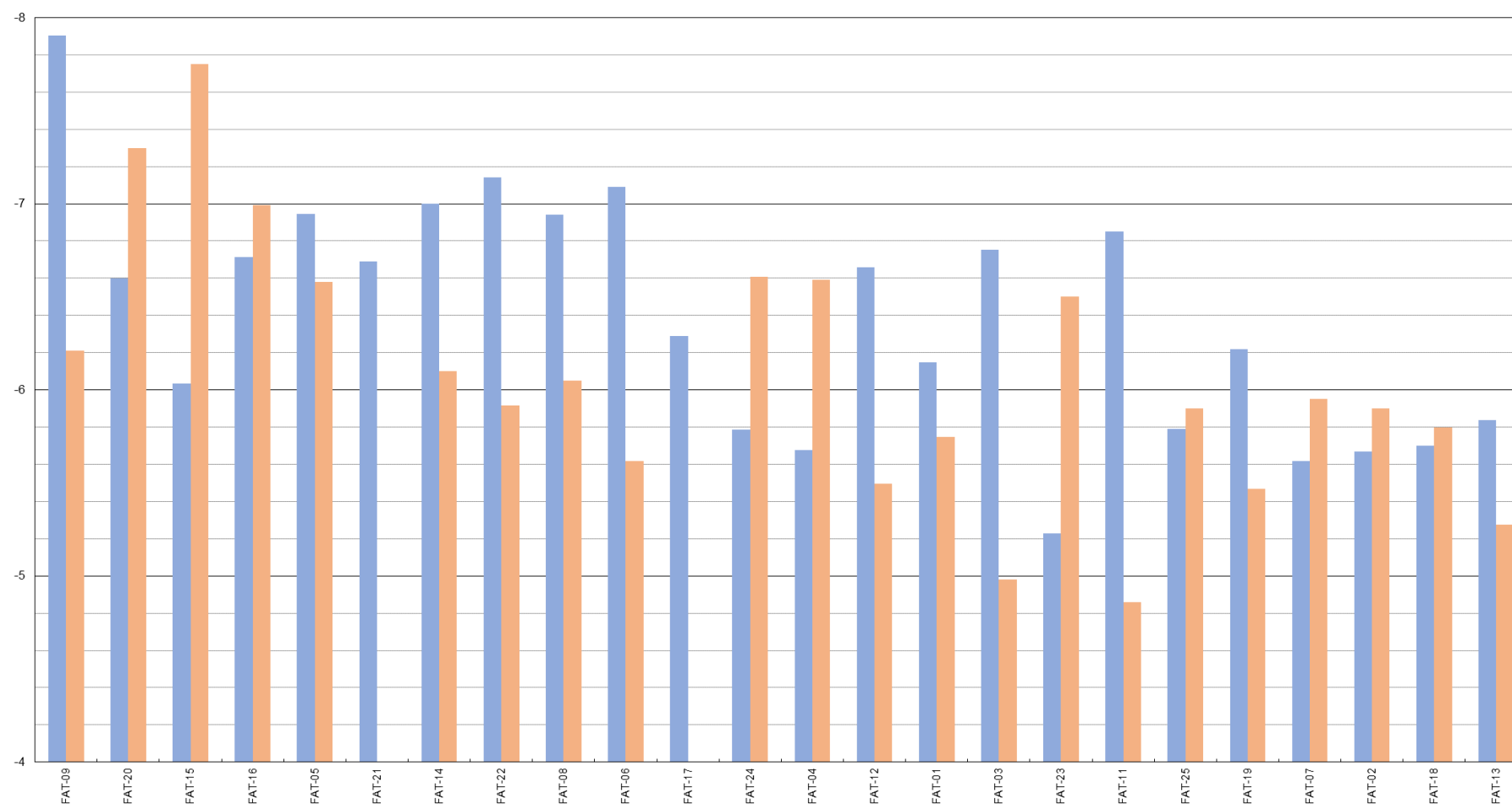
**EAPIC 12.1.22**  
**Détermination de la pente 1/b**  
**Selon la norme NF EN 12697-24**



**EAPIC 12.1.22**  
**Détermination de la pente 1/b**  
**Selon la norme NF EN 12697-24**  
**Ensemble des participants**

■ Répétition 1

■ Répétition 2



## Synthèse des résultats et Score Z sur les données brutes

| Code résultat | Répétition 1 | Répétition 2 | Moyenne | Ecart à la moyenne | Score Z |
|---------------|--------------|--------------|---------|--------------------|---------|
| FAT-01        | -6,148       | -5,747       | -5,948  | 0,28               | 0,40    |
| FAT-02        | -5,670       | -5,900       | -5,785  | 0,44               | 0,63    |
| FAT-03        | -6,752       | -4,980       | -5,866  | 0,36               | 0,51    |
| FAT-04        | -5,676       | -6,590       | -6,133  | 0,09               | 0,13    |
| FAT-05        | -6,944       | -6,579       | -6,762  | -0,54              | -0,76   |
| FAT-06        | -7,092       | -5,618       | -6,355  | -0,13              | -0,19   |
| FAT-07        | -5,618       | -5,952       | -5,785  | 0,44               | 0,63    |
| FAT-08        | -6,943       | -6,049       | -6,496  | -0,27              | -0,39   |
| FAT-09        | -7,903       | -6,211       | -7,057  | -0,83              | -1,18   |
| FAT-11        | -6,850       | -4,860       | -5,855  | 0,37               | 0,53    |
| FAT-12        | -6,659       | -5,495       | -6,077  | 0,15               | 0,21    |
| FAT-13        | -5,839       | -5,274       | -5,557  | 0,67               | 0,95    |
| FAT-14        | -7,000       | -6,100       | -6,550  | -0,32              | -0,46   |
| FAT-15        | -6,035       | -7,751       | -6,893  | -0,67              | -0,95   |
| FAT-16        | -6,711       | -6,993       | -6,852  | -0,63              | -0,89   |
| FAT-17        | -6,289       | NR           | /       | /                  | /       |
| FAT-18        | -5,700       | -5,800       | -5,750  | 0,48               | 0,68    |
| FAT-19        | -6,220       | -5,470       | -5,845  | 0,38               | 0,54    |
| FAT-20        | -6,600       | -7,300       | -6,950  | -0,72              | -1,03   |
| FAT-21        | -6,690       | NR           | /       | /                  | /       |
| FAT-22        | -7,143       | -5,917       | -6,530  | -0,30              | -0,43   |
| FAT-23        | -5,230       | -6,500       | -5,865  | 0,36               | 0,51    |
| FAT-24        | -5,785       | -6,609       | -6,197  | 0,03               | 0,04    |
| FAT-25        | -5,790       | -5,900       | -5,845  | 0,38               | 0,54    |

## Détermination de la résistance à la fatigue

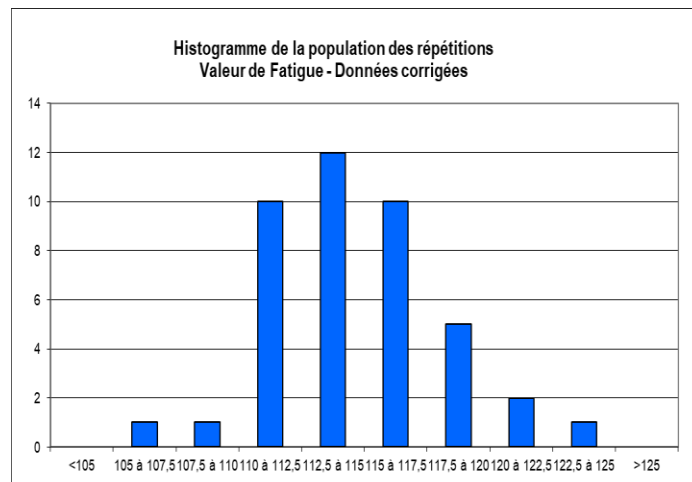
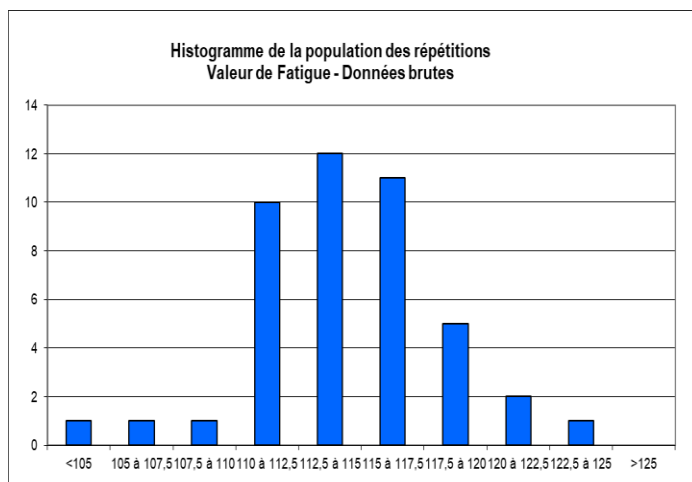
L'essai a été réalisé selon la norme NF EN 12697-24 de juin 2018 « *Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 24 : résistance à la fatigue* »

### Représentations graphiques

|                    |            | Données brutes | Résultats écartés par les tests statistiques | Données corrigées | Résultats écartés par les tests statistiques (k et h Mandel) | Norme NF EN 12697-24                                                 |
|--------------------|------------|----------------|----------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| En $\mu\text{def}$ | N          | 22             | Cochran FAT-11                               | 21                | Aucun                                                        | $\sigma_r = 1,43$<br>$r = 4,2$<br>$\sigma_R = 2.96$ (*)<br>$R = 8,3$ |
|                    | M          | 114,8          |                                              | 115,0             |                                                              |                                                                      |
|                    | $\sigma_m$ | 3,73           |                                              | 3,48              |                                                              |                                                                      |
|                    | $\sigma_r$ | 2,39           |                                              | 1,76              |                                                              |                                                                      |
|                    | r          | 6,6            |                                              | 4,9               |                                                              |                                                                      |
|                    | $\sigma_R$ | 3,75           |                                              | 3,52              |                                                              |                                                                      |
|                    | R          | 10,4           |                                              | 9,7               |                                                              |                                                                      |

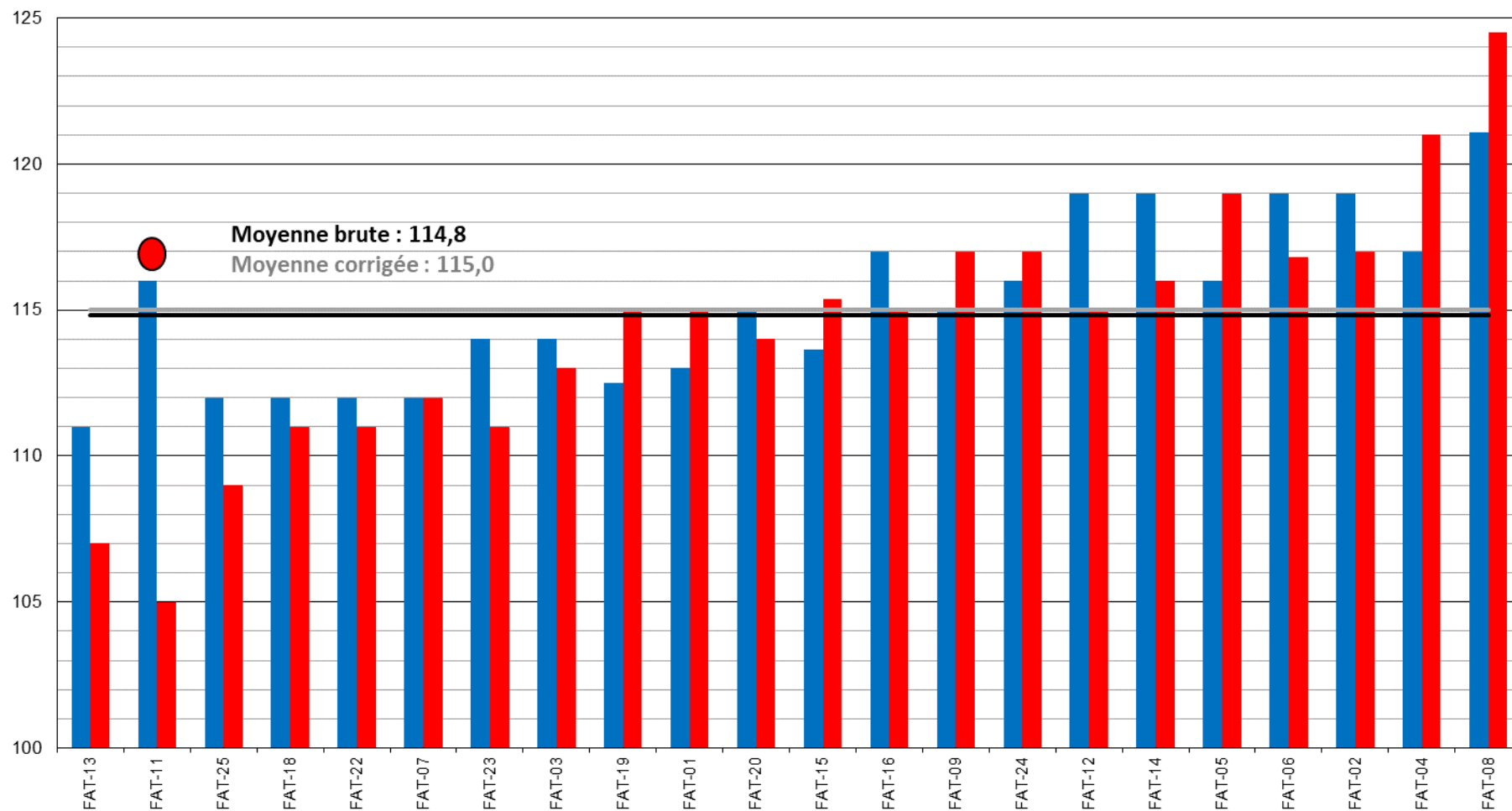
Les résultats des laboratoires FAT-17 et FAT-21 ne sont pas pris en compte dans le traitement statistique (une seule réplique réalisée). Leurs résultats sont indiqués dans le graphe des données brutes sans analyse statistique.

(\*) Valeur de  $\sigma_R$  recalculée à partir de la valeur de R précisée dans la norme

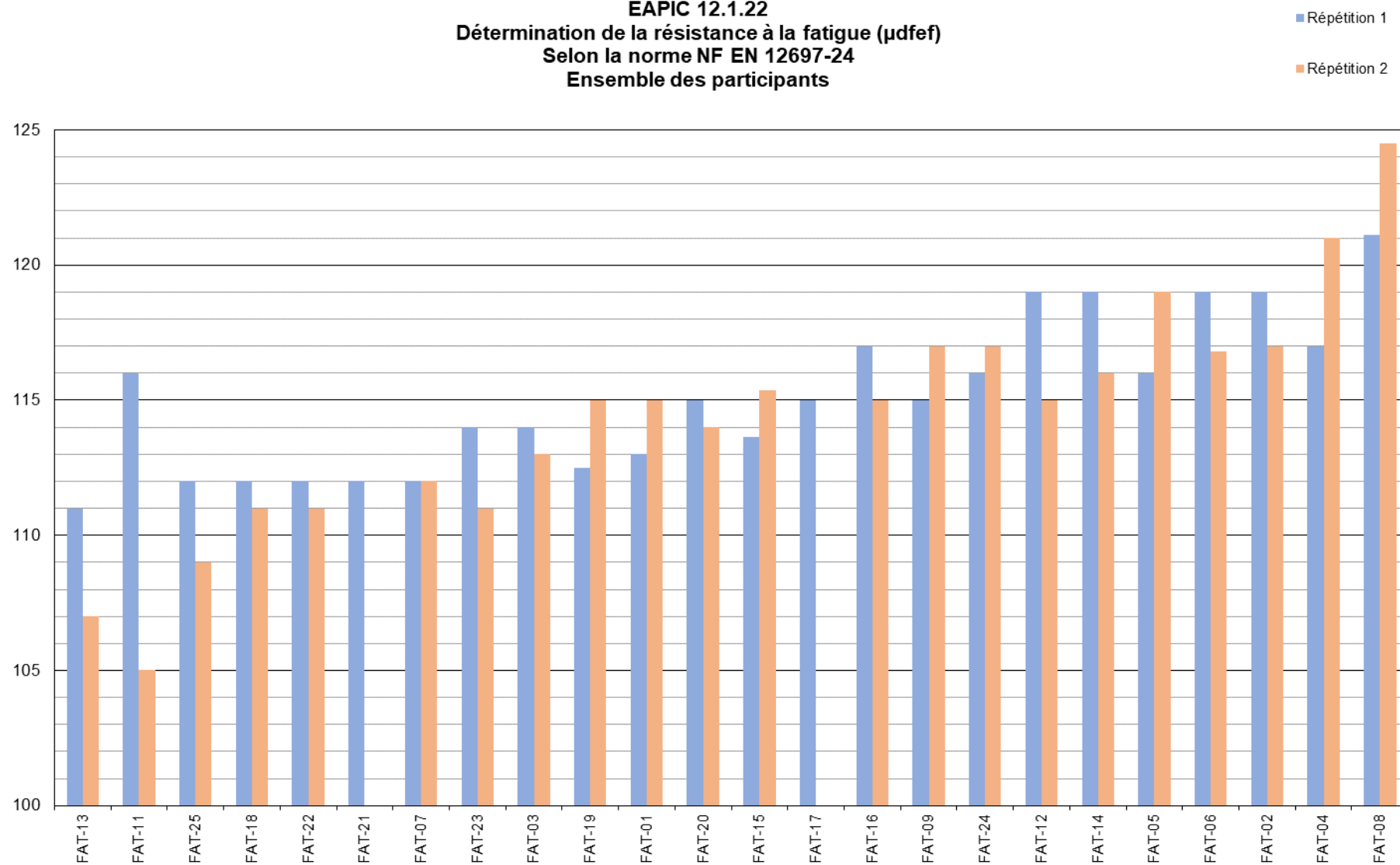


**EAPIC 12.1.22**  
**Détermination de la résistance à la fatigue ( $\mu\text{def}$ )**  
**Selon la norme NF EN 12697-24**

- Test Cochran (intra-laboratoire)
- Test k Mandel (intra-laboratoire)
- Test Grubbs (inter-laboratoire)
- Test h Mandel (inter-laboratoire)
- Répétition 1
- Répétition 2
- Moyenne brute
- Moyenne corrigée



**EAPIC 12.1.22**  
**Détermination de la résistance à la fatigue ( $\mu\text{def}$ )**  
**Selon la norme NF EN 12697-24**  
**Ensemble des participants**



## Synthèse des résultats et Score Z sur les données brutes

| Code résultat | Répétition 1 | Répétition 2 | Moyenne | Ecart à la moyenne | Score Z |
|---------------|--------------|--------------|---------|--------------------|---------|
| FAT-01        | 113,0        | 115,0        | 114,0   | -0,76              | -0,20   |
| FAT-02        | 119,0        | 117,0        | 118,0   | 3,24               | 0,86    |
| FAT-03        | 114,0        | 113,0        | 113,5   | -1,26              | -0,34   |
| FAT-04        | 117,0        | 121,0        | 119,0   | 4,24               | 1,13    |
| FAT-05        | 116,0        | 119,0        | 117,5   | 2,74               | 0,73    |
| FAT-06        | 119,0        | 116,8        | 117,9   | 3,14               | 0,84    |
| FAT-07        | 112,0        | 112,0        | 112,0   | -2,76              | -0,73   |
| FAT-08        | 121,1        | 124,5        | 122,8   | 8,04               | 2,14    |
| FAT-09        | 115,0        | 117,0        | 116,0   | 1,24               | 0,33    |
| FAT-11        | 116,0        | 105,0        | 110,5   | -4,26              | -1,13   |
| FAT-12        | 119,0        | 115,0        | 117,0   | 2,24               | 0,60    |
| FAT-13        | 111,0        | 107,0        | 109,0   | -5,76              | -1,53   |
| FAT-14        | 119,0        | 116,0        | 117,5   | 2,74               | 0,73    |
| FAT-15        | 113,6        | 115,4        | 114,5   | -0,25              | -0,07   |
| FAT-16        | 117,0        | 115,0        | 116,0   | 1,24               | 0,33    |
| FAT-17        | 115          | /            | 115,0   | /                  | /       |
| FAT-18        | 112,0        | 111,0        | 111,5   | -3,26              | -0,87   |
| FAT-19        | 112,5        | 115,0        | 113,8   | -1,01              | -0,27   |
| FAT-20        | 115,0        | 114,0        | 114,5   | -0,26              | -0,07   |
| FAT-21        | 112          | /            | 112,0   | /                  | /       |
| FAT-22        | 112,0        | 111,0        | 111,5   | -3,26              | -0,87   |
| FAT-23        | 114,0        | 111,0        | 112,5   | -2,26              | -0,60   |
| FAT-24        | 116,0        | 117,0        | 116,5   | 1,74               | 0,46    |
| FAT-25        | 112,0        | 109,0        | 110,5   | -4,26              | -1,13   |

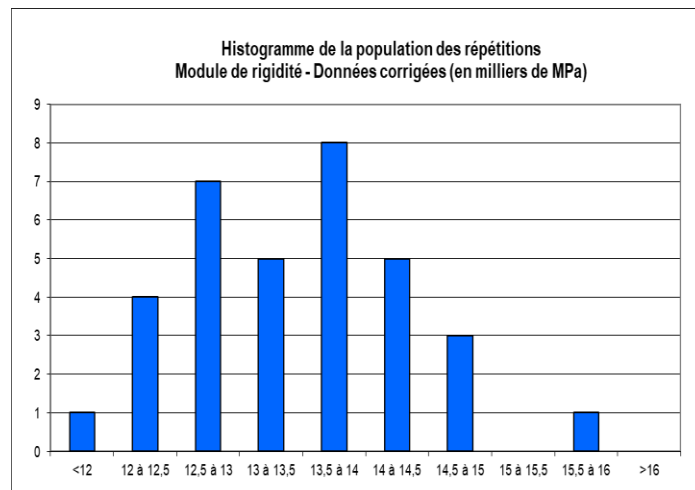
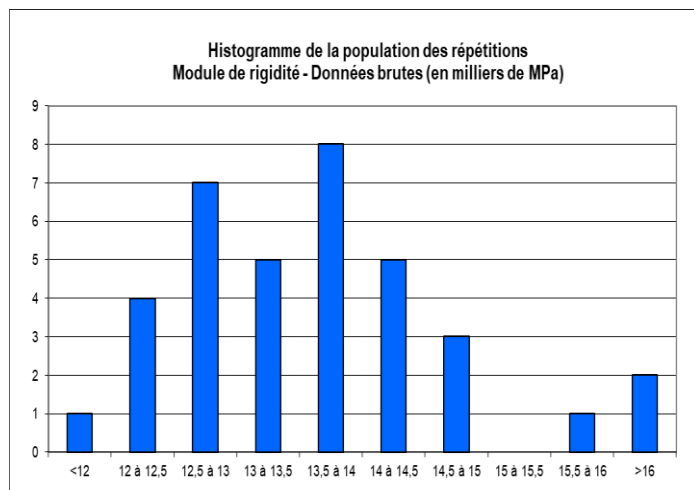
## Détermination du module d'un enrobé

L'essai a été réalisé selon la norme NF EN 12697-26+A1 – Annexe A (flexion 2 points) d'octobre 2022 « Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai - Partie 26 : rigidité »

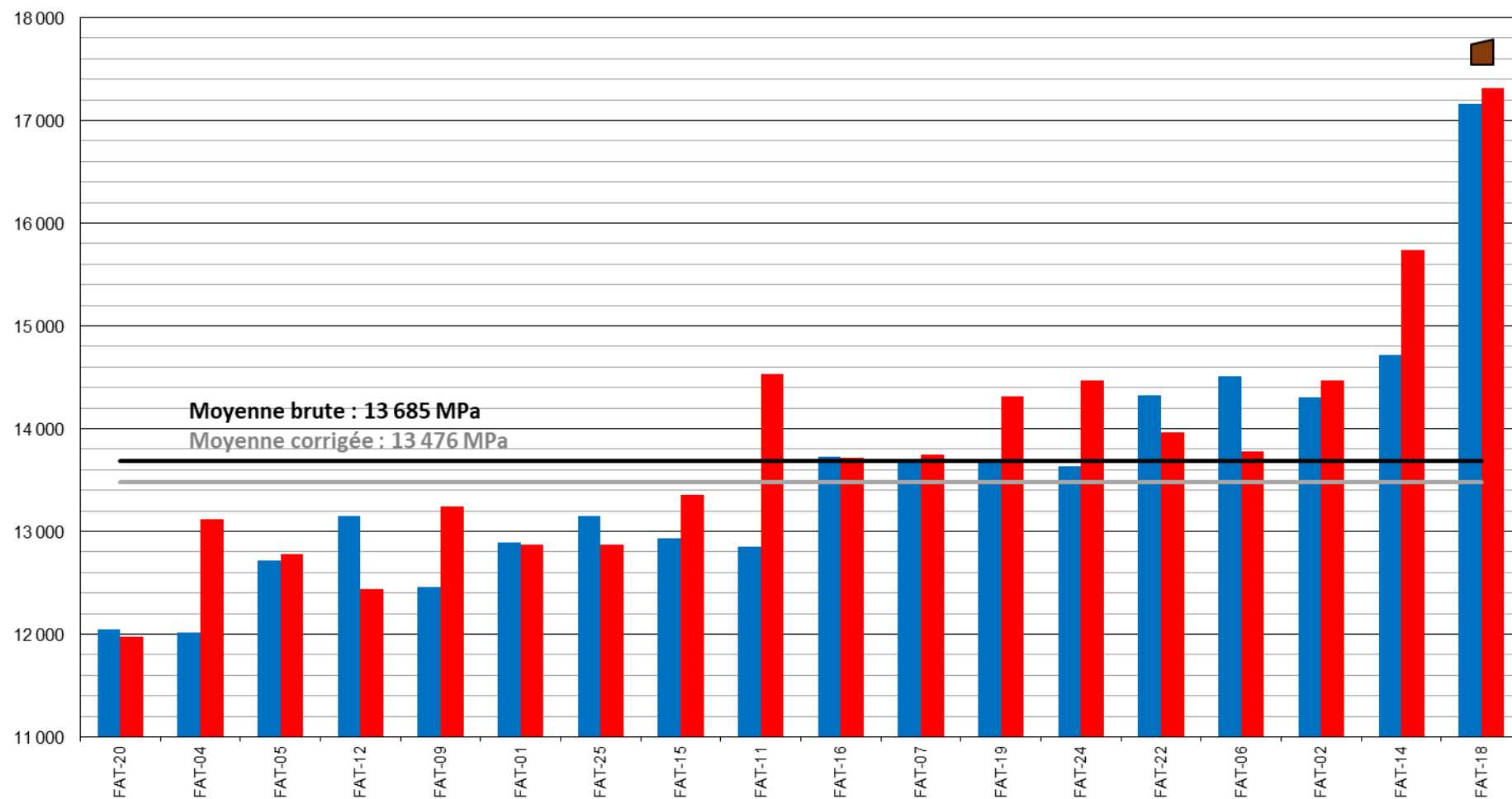
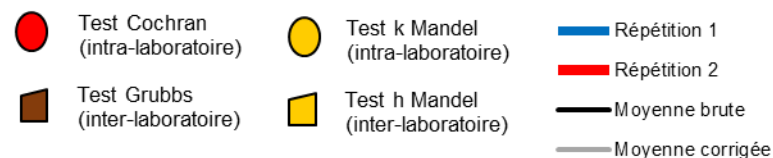
### Représentations graphiques

|        |            | Données brutes | Résultats écartés par les tests statistiques | Données corrigées | Résultats écartés par les tests statistiques (k et h Mandel) | Norme 12697-26+A1 |
|--------|------------|----------------|----------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------|
| En MPa | N          | 18             | Cochran<br>Aucun                             | 17                | Aucun                                                        |                   |
|        | m          | 13685          |                                              | 13476             |                                                              |                   |
|        | $\sigma_m$ | 1221           |                                              | 876               |                                                              |                   |
|        | $\sigma_r$ | 482            | Grubbs<br>FAT-18                             | 495               |                                                              | $\sigma_r = 118$  |
|        | r          | 1334           |                                              | 1371              |                                                              | r = 335           |
|        | $\sigma_R$ | 1236           |                                              | 886               |                                                              | $\sigma_R = 969$  |
|        | R          | 3423           |                                              | 2453              |                                                              | R = 2740          |

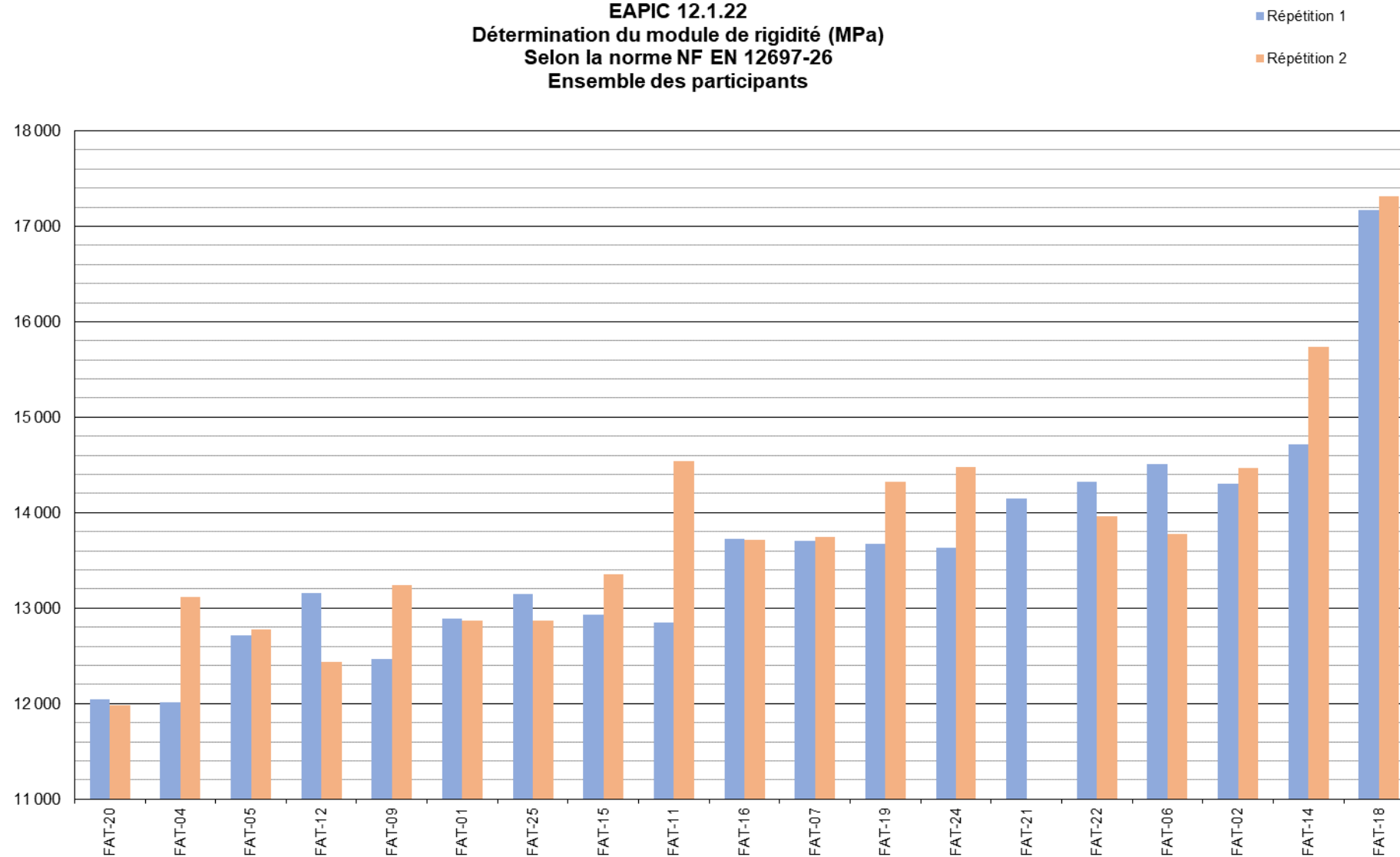
Les résultats du laboratoire FAT-21 ne sont pas pris en compte dans le traitement statistique (une seule réplique réalisée). Ses résultats sont indiqués dans le graphe des données brutes sans analyse statistique.



**EAPIC 12.1.22**  
**Détermination du module de rigidité (en MPa)**  
**Selon la norme NF EN 12697-26**



**EAPIC 12.1.22**  
**Détermination du module de rigidité (MPa)**  
**Selon la norme NF EN 12697-26**  
**Ensemble des participants**



*Écarts à la moyenne et valeurs de Score Z sur les données brutes*

| Code résultat | Répétition 1 | Répétition 2 | Moyenne | Ecart à la moyenne | Score Z |
|---------------|--------------|--------------|---------|--------------------|---------|
| FAT-01        | 12 891       | 12 871       | 12 881  | -816,3             | -0,66   |
| FAT-02        | 14 300       | 14 466       | 14 383  | 685,8              | 0,56    |
| FAT-04        | 12 011       | 13 118       | 12 564  | -1132,8            | -0,92   |
| FAT-05        | 12 713       | 12 775       | 12 744  | -953,5             | -0,77   |
| FAT-06        | 14 511       | 13 781       | 14 146  | 448,7              | 0,36    |
| FAT-07        | 13 701       | 13 745       | 13 723  | 25,7               | 0,02    |
| FAT-09        | 12 464       | 13 244       | 12 854  | -843,3             | -0,68   |
| FAT-11        | 12 847       | 14 537       | 13 692  | -5,7               | 0,00    |
| FAT-12        | 13 155       | 12 440       | 12 798  | -899,6             | -0,73   |
| FAT-14        | 14 714       | 15 734       | 15 224  | 1526,7             | 1,24    |
| FAT-15        | 12 931       | 13 353       | 13 142  | -555,3             | -0,45   |
| FAT-16        | 13 726       | 13 720       | 13 723  | 25,6               | 0,02    |
| FAT-18        | 17 166       | 17 318       | 17 242  | 3544,6             | 2,87    |
| FAT-19        | 13 671       | 14 320       | 13 995  | 297,8              | 0,24    |
| FAT-20        | 12 044       | 11 978       | 12 011  | -1686,0            | -1,36   |
| FAT-21        | 14 143       | /            | 14 143  | /                  | /       |
| FAT-22        | 14 325       | 13 964       | 14 144  | 447,1              | 0,36    |
| FAT-24        | 13 632       | 14 474       | 14 053  | 355,7              | 0,29    |
| FAT-25        | 13 148       | 12 871       | 13 009  | -688,0             | -0,56   |

## Organisation de l'EAPIC

Le Groupé Spécialisé « Essais d'Aptitude Par Inter Comparaison » est placé sous l'égide du Comité Opérationnel Qualification Comparaison Inter-Laboratoires (COQC) de l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM) présidé par Eric OLLINGER (assistante : Exaucée Elie MPINGI)

Le **Groupe Spécialisé** s'appuie sur la **Cellule Exécutive** pour l'organisation de la campagne d'essais. Le soutien logistique pour la préparation des corps d'épreuve est assuré par les **Laboratoires Supports**.

### Groupe Spécialisé EAPIC

**Membres :**

ARGHYRIS Adso  
DANIEL Vincent  
DELFOSSSE Frédéric  
DUPRIET Stéphane  
ESPIEUX Baudouin  
LE CUNFF Franck  
PIOT Géraldine  
PRIEZ Christophe  
VANEPPH Cyril

**Secrétaire Général** : DELFOSSSE Frédéric

### Cellule Exécutive EAPIC

**Cerema IDF- Site de Sourdun** : PIOT Géraldine

### Laboratoires Supports EAPIC

**Cerema Ouest - Agence d'Angers** : DANIEL Vincent

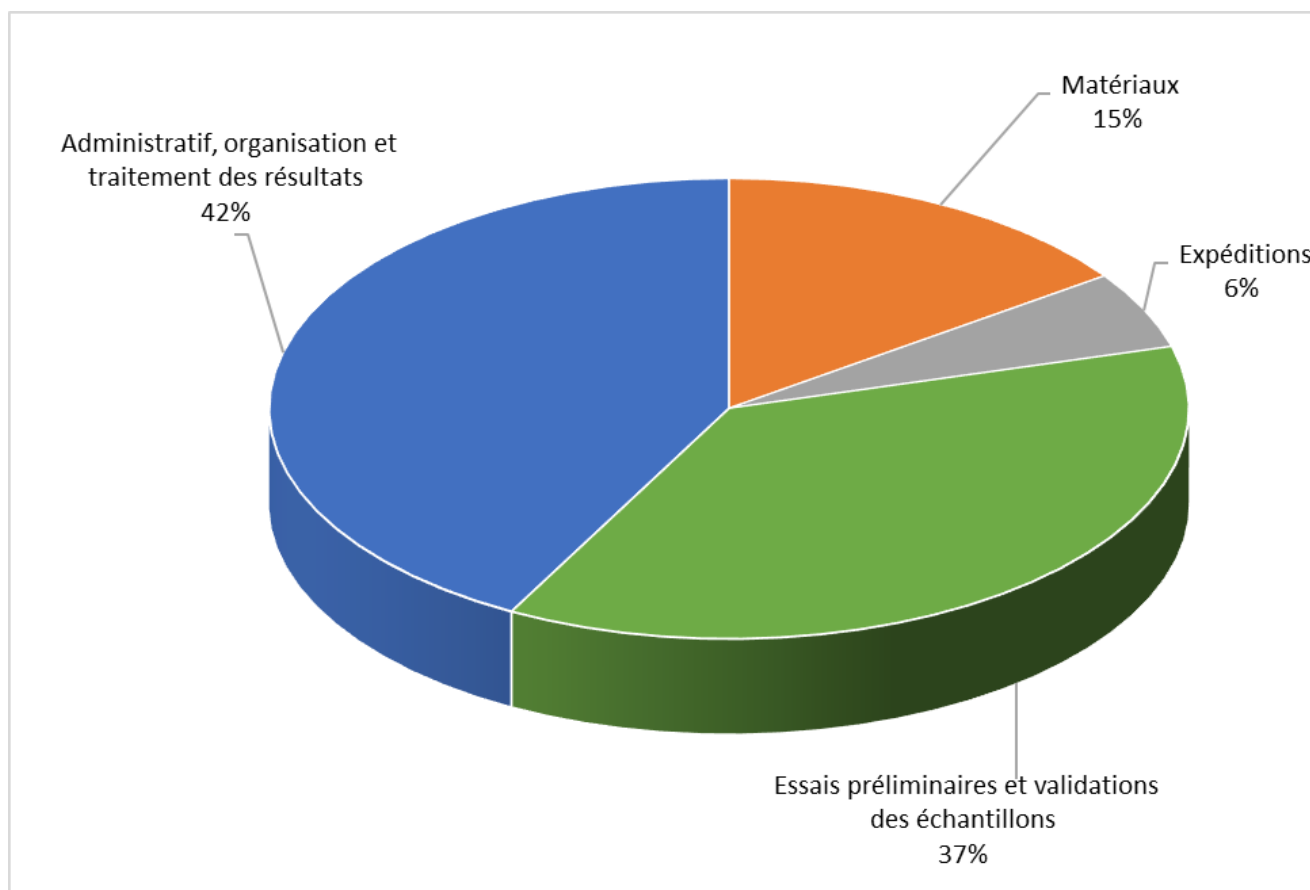
**Cerema Centre Est - Agence d'Autun** : ARGHYRIS Adso, ESPIEUX Baudouin & VANEPPH Cyril

## **Annexes**

- Bilan financier
- Comparaison entre la résistance en fatigue et le pourcentage de vides mesuré
- Comparaison entre le module de rigidité et le pourcentage de vides mesuré

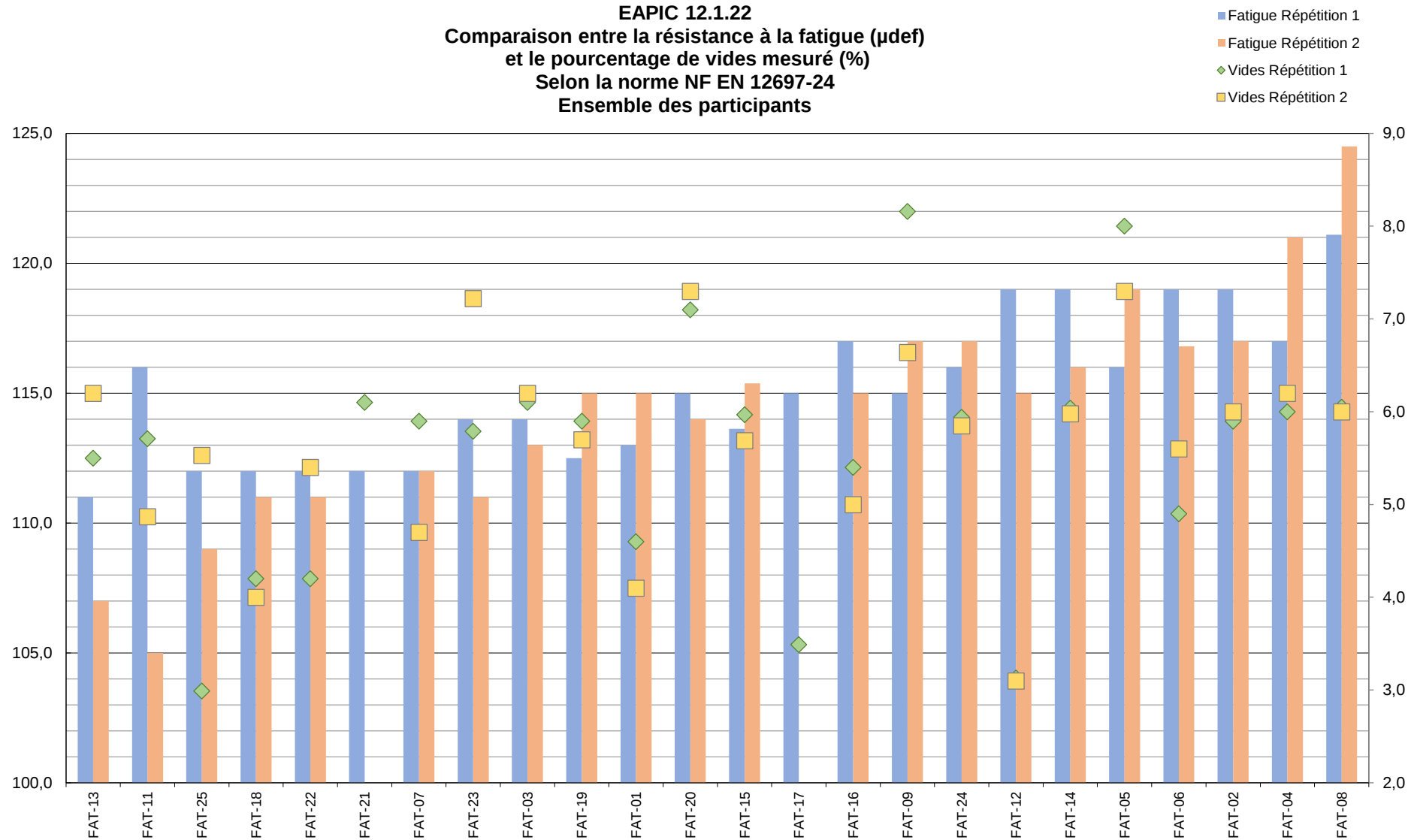
-

## *Bilan financier*



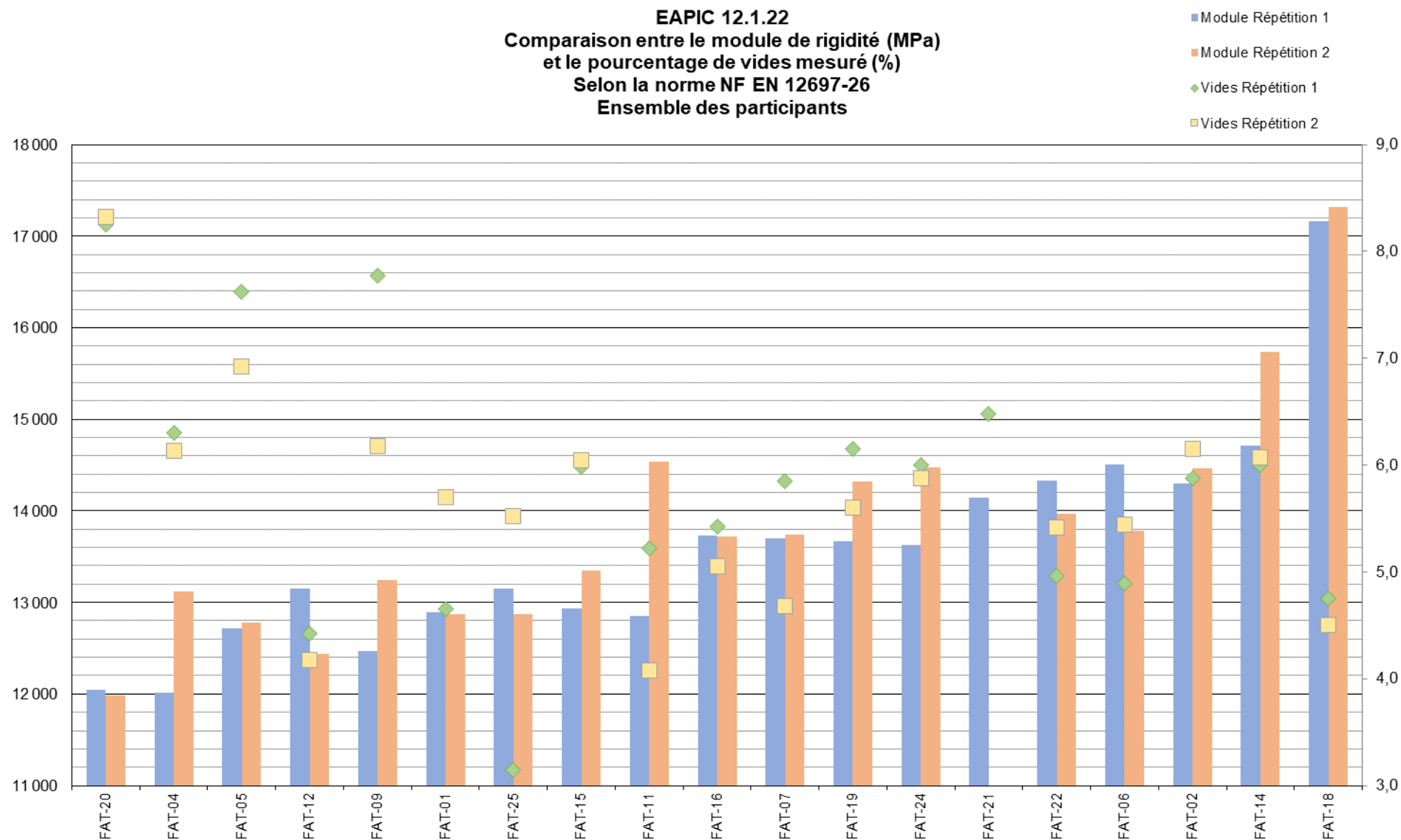
***Comparaison entre la résistance en fatigue et le pourcentage  
de vides mesuré***

**EAPIC 12.1.22**  
**Comparaison entre la résistance à la fatigue ( $\mu\text{def}$ )**  
**et le pourcentage de vides mesuré (%)**  
**Selon la norme NF EN 12697-24**  
**Ensemble des participants**

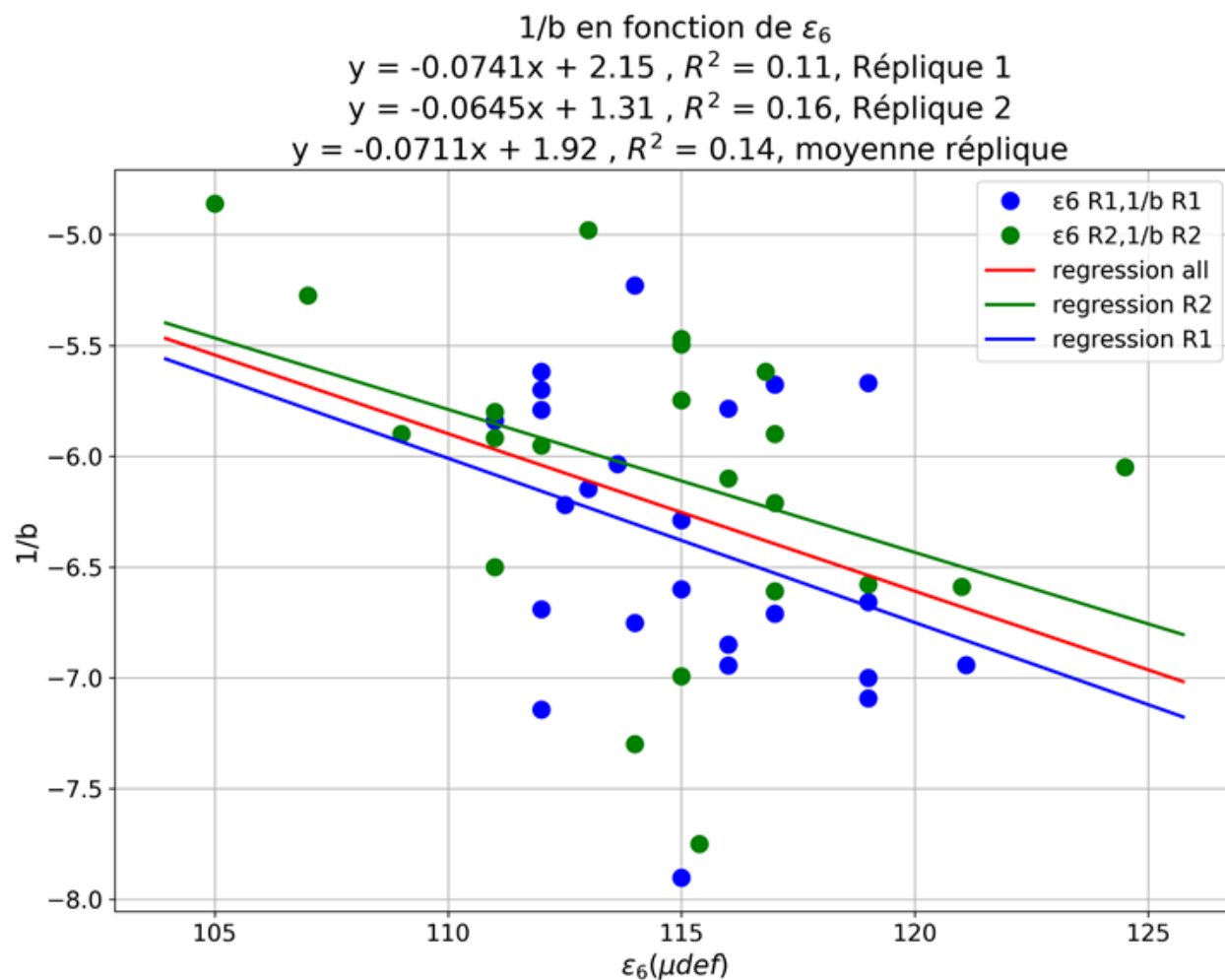


***Comparaison entre le module de rigidité et le pourcentage de vides mesuré***

**EAPIC 12.1.22**  
**Comparaison entre le module de rigidité (MPa)**  
**et le pourcentage de vides mesuré (%)**  
**Selon la norme NF EN 12697-26**  
**Ensemble des participants**



## Corrélation entre la pente $1/b$ et les valeurs $\varepsilon_6$





INSTITUT DES ROUTES, DES RUES ET DES INFRASTRUCTURES POUR LA MOBILITÉ

9, rue de Berri – 75008 Paris – Tél +33 1 44 13 32 99

[www.idrrim.com](http://www.idrrim.com) - [idrrim@idrrim.com](mailto:idrrim@idrrim.com)



@IDRRIM

Association loi 1901