

## Rapport de présentation des résultats

**N° 9-1-013**  
*Concernant l'essai*

### Détermination en laboratoire de la masse volumique de référence et de la teneur en eau - Compactage Proctor

*Selon la norme NF EN 13286-2 de décembre 2010*

*Détermination de la masse volumique réelle pré séchée (NF EN 1097-6+A1 de février 2006)*

*Détermination de l'absorption en eau (NF EN 1097-6+A1 parties 6 et 8 de février 2006)*

*Détermination de l'Indice de Portance Immédiate IPI (NF EN 13286-47 de juillet 2012)*

---

*Essais d'aptitude par Inter Comparaison*  
**9<sup>ème</sup> Campagne – 1<sup>ère</sup> Session – Série n° 13**



## ***Le Mot du Président***

Nous vous avons proposé de pratiquer l'essai « Proctor » avec des granulats recyclés. En effet le recyclage est à l'ordre du jour. Il fait partie des moyens que la Profession a choisis pour répondre aux objectifs de la Convention d'Engagement Volontaire. Il nous donc paru logique de prendre ce type de matériaux.

Par ailleurs, des essais d'inter comparaison ont déjà été réalisés avec des granulats naturels. La porosité des granulats artificiels, supérieure à celle des granulats naturels, apporte un élément nouveau pour la connaissance de la pratique de cet essai.

C'est pour attirer votre attention sur cette caractéristique que nous vous avons demandé de commencer par la détermination de l'IPI et ainsi d'observer la valeur plus importante qu'à l'ordinaire de la teneur en eau qui confère au mélange une portance convenable.

Nous avons constaté que les valeurs de l'optimum proctor, et de sa teneur en eau associée, coïncident souvent avec des valeurs expérimentales. Cela n'est pas obligatoire. En effet la détermination de l'optimum Proctor passe par le tracé d'une courbe par la main de l'Homme de l'Art. Il n'existe pas, à notre connaissance de modèle mathématique permettant l'ajustement des points expérimentaux à une courbe théorique. Cette source de variation fait partie intégrante de la dispersion des résultats.

Les matériaux qui vous ont été fournis sont issus d'un lot qui a servi à alimenter les études du PN Recybéton. Rarement des matériaux destinés à des études auront été aussi minutieusement caractérisés. Nous aurons fait ainsi d'un granulat deux coups.

Pour EAPIC,

le Président J.E. Poirier



## ***Index***

- **Organisation de la session et recueil des données** *Page*
- **Préparation des échantillons** *Page*
- **Vérification de l'homogénéité des échantillons de granulats par la DTer Centre Est– Département Laboratoire d'Autun** *Page*
- **Traitement des données** *Page*
- **Déterminations** *Page*
  - Masse volumique réelle pré séchée *Page*
  - coefficient d'absorption d'eau *Page*
  - teneur en eau à l'optimum proctor *Page*
  - masse volumique sèche à l'optimum proctor *Page*
  - l'Indice de Portance Immédiate *Page*
- **Organisation de l'EAPIC** *Page*

## • *Organisation de la Session et Recueil des Données*

EAPIC réalise la première session de la campagne portant sur la mesure de la teneur en eau et de la masse volumique à l'optimum PROCTOR d'une grave béton de recyclage concassé.

Avant le lancement de la campagne, une étude de faisabilité a été menée pour valider le type de grave ainsi que sa formulation. Cette étude a été réalisée en 2013 par le CETE Lyon – Département Laboratoire d'Autun (DLA).

Les mêmes essais que ceux demandés au cours de la campagne ont été réalisés.

Des lots homogénéisés, constitués de quatre fractions granulaires, sont fournis aux laboratoires participants. Ceux-ci doivent :

- Déterminer la masse volumique réelle pré-séchée et le coefficient d'absorption sur la fraction 4/10
- Déterminer la teneur en eau sur le mélange recomposé
- Réaliser une analyse granulométrique sur la recomposition
- Déterminer la teneur en eau et la masse volumique sèche maximale à l'Optimum Proctor, à partir d'une courbe proctor 5 points
- Déterminer l'IPI à une teneur en eau visée de 12%

La formule retenue est la suivante :

Sable correcteur 0/4	11 %
Béton concassé 0/4	32 %
Béton concassé 4/10	38 %
Béton concassé 10/20	19 %

L'homogénéité des granulats fournis, contrôlée conformément à la norme ISO 13528, a été vérifiée en 2013 par CETE Lyon - Département Laboratoire d'Autun. La stabilité de cette homogénéité n'a pas été vérifiée. En effet, le délai entre la fourniture des lots de granulats et la réalisation des essais est courte. De plus, les matériaux ont été produits plus de six mois avant leur approvisionnement au laboratoire support.

Le calendrier de la campagne s'est déroulé de la façon suivante :

- Expédition des échantillons en septembre 2013.
- Transmission des résultats des laboratoires participants au plus tard pour le 04 novembre 2013.  
Le nombre de participants à cette session est de 42 laboratoires.  
40 résultats ont été transmis, dont les 2/3 à la date butoir.  
Des demandes de délais supplémentaires ont été formulées par six laboratoires ; elles ont toutes été acceptées.
- Production du rapport de présentation des résultats pour avril 2014

# **Préparation des échantillons**

## **1. Les matériaux**

Les matériaux utilisés pour cette campagne se composent de 3 fractions de béton concassé (0/4, 4/10 et 10/20) et d'un sable correcteur.

Ils ont été livrés dans des conteneurs souples :

- 2 conteneurs de sable
- 6 conteneurs de béton concassé 0/4
- 8 conteneurs de béton concassé 4/10
- 4 conteneurs de béton concassé 10/20

## **2. Préparation**

Chaque conteneur est homogénéisé individuellement pour brassage interne à la pelle.



Les seaux sont ensuite remplis d'un nombre identique de pelletées (environ 1,3 kg) provenant du même conteneur.

Lorsque la quantité de matériau restant dans un conteneur souple est insuffisante pour ajouter une pelletée supplémentaire à l'ensemble des seaux, celui-ci est abandonné.

La masse visée de chaque seau est ajustée en fin de remplissage.



### 3. Expédition des matériaux

L'envoi des matériaux a été réalisé par le CETE Lyon - Département Laboratoire d'Autun.

L'ensemble des seaux nécessaires pour mener la campagne a été mis en pace sur palette avant livraison.

Le nombre de seaux pour chaque participant se décompose comme ci-dessous :

Sable correcteur 0/4	1 seau
Béton concassé 0/4	3 seaux
Béton concassé 4/10	4 seaux
Béton concassé 10/20	2 seaux



## Vérification de l'homogénéité des échantillons de granulats par le laboratoire support

Afin de vérifier l'homogénéité de l'ensemble des échantillons, il est appliqué les dispositions de l'annexe B de la norme ISO 13528 de décembre 2005 donnant une méthode statistique utilisée dans les essais d'aptitude par comparaisons inter laboratoires.

Cette annexe s'appuie sur la comparaison de l'écart-type inter échantillon  $\sigma_s$  à l'écart-type pour l'évaluation de l'aptitude  $\hat{\sigma}$ .

Les échantillons sont considérés répondre au critère d'homogénéité si  $\sigma_s \leq 0,3 \hat{\sigma}$

A partir d'au moins 10 échantillons de chaque fraction prélevés au hasard dans le stock à expédier, partagés chacun en 2 parties, on détermine pour un critère sélectionné la moyenne générale, l'écart type de la moyenne des échantillons  $\sigma_x$ , l'écart type intra échantillons  $\sigma_w$  et l'écart type inter échantillons  $\sigma_s$ .

$\hat{\sigma}$  est déterminée à partir des données de reproductibilité et de répétabilité de la méthode d'essai.

Le critère pour valider l'homogénéité est :  $\sigma_s \leq 0,3 \hat{\sigma}$

Les critères d'homogénéité retenus par la cellule EAPIC sont :

- Analyse granulométrique selon la norme EN 933-1 pour le sable correcteur 0/4 et la fraction 0/4 de béton concassé : pourcentage de passants au tamis de 1mm et de 2 mm.
- Masse volumique réelle pré-séchée selon la norme EN 1097-6 pour la fraction 4/10 de béton concassé et la fraction 10/20 de béton concassé.

## 1. Analyse granulométrique

Les valeurs de l'écart-type inter échantillon sont indiquées dans le tableau 1 et comparées à l'estimation du critère d'homogénéité  $0,3 \sigma$  pour les tamis de 1 et 2 mm.

tamis ouverture en mm	Sable correcteur 0/4		Béton concassé 0/4	
	1	2	1	2
pourcentage de passants moyenne en %	74,7	81,8	46,7	69,8
r	1,826	1,621	2,095	1,928
R	3,739	3,318	4,291	3,948
$0,3\sigma$	0,379	0,334	0,431	0,397
écart type inter échantillon Ss	0,291	0,250	0,102	0,376
Validation $s_s \leq 0,3\sigma$	<b>Condition vérifiée</b>	<b>Condition vérifiée</b>	<b>Condition vérifiée</b>	<b>Condition vérifiée</b>

Tableau 1 : **Sable correcteur 0/4 et béton concassé 0/4 : critère de validation**

## CONCLUSION

Le critère d'homogénéité est respecté pour les 10 échantillons analysés. Il est donc jugé conforme pour l'ensemble des échantillons.

## 2. Masse volumique réelle pré-séchée

Les valeurs de l'écart type inter échantillons sont indiquées dans le tableau 2 et comparées à l'estimation du critère d'homogénéité 0,3  $\sigma$ .

	Béton concassé 4/10			Béton concassé 10/20		
masse volumique réelle pré-séchée moyenne en t/m <sup>3</sup>	2,594			2,574		
Origine de r et R	EN 1097-6 Tableau E.6	EN 1097-6 Tableau E.5	EAPIC (MVR)	EN 1097-6 Tableau E.6	EN 1097-6 Tableau E.5	EAPIC (MVR)
r	0,009	0,019	0,022	0,009	0,019	0,022
R	0,037	0,042	0,074	0,037	0,042	0,074
<del>0,3<math>\sigma</math></del>	0,0039	0,0043	0,008	0,0039	0,0043	0,008
écart type inter échantillon Ss	0,0046			0,0031		
Validation <del><math>s_s \leq 0,3\sigma</math></del>	<b>Limite d'acceptation</b>	<b>Limite d'acceptation</b>	<b>Condition vérifiée</b>	<b>Condition vérifiée</b>	<b>Condition vérifiée</b>	<b>Condition vérifiée</b>

Tableau 2 : **Béton concassé 4/10 et 10/20 : critère de validation**

NB :

EN 1097-6 Tableau E.5 "Essai au pycnomètre pour la détermination de la masse volumique des granulats pré séchés et non poreux"

EAPIC MVR : étude réalisée sur du sable 0/2

### **CONCLUSION**

Avec le critère choisi, on arrive en limite d'acceptation pour la fraction 4/0 en appliquant les critères mentionnés dans la norme EN 1097-6. En appliquant les valeurs de répétabilité et reproductibilité issues de l'expérience EAPIC, le critère d'homogénéité est vérifié.

Afin de lever l'incertitude sur le respect du critère d'homogénéité pour la fraction 4/10, le groupe a réalisé une seconde étude pour examiner l'effet de l'écart constaté sur le résultat final de la mesure de la masse volumique Proctor. L'incertitude induite par la variabilité de la masse volumique de la fraction 4/10 est environ 10 fois plus faible par rapport à l'incertitude type élargie. Par conséquent, elle est considérée comme étant de second ordre.

Le critère d'homogénéité est donc jugé conforme pour l'ensemble des échantillons.



Vue d'échantillons après essais

## ***Traitement des données***

Le traitement des données s'appuie sur la série des normes ISO 5725 « Application de la statistique – Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesures ».

### ***Représentation graphique***

Les résultats bruts sont représentés sous forme d'histogramme.

Les histogrammes expriment les résultats obtenus par les laboratoires participants. La moyenne corrigée (après retrait des résultats aberrants) est placée sur le graphique.

### ***Tests statistiques***

Sur les résultats bruts, sont appliqués les tests statistiques suivants :

- Test de Cochran (variabilité intra-laboratoire) : détection de la dispersion aberrante, au sens statistique des résultats dans un laboratoire
- Test de Grubbs simple ou éventuellement double (variabilité inter-laboratoire) : détection des moyennes aberrantes, parmi la population des laboratoires
- Test de Dixon (valeur isolée d'une réplique) : détection d'une valeur aberrante isolée, au sens statistique.

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



## ***Détermination de la masse volumique réelle pré séchée***

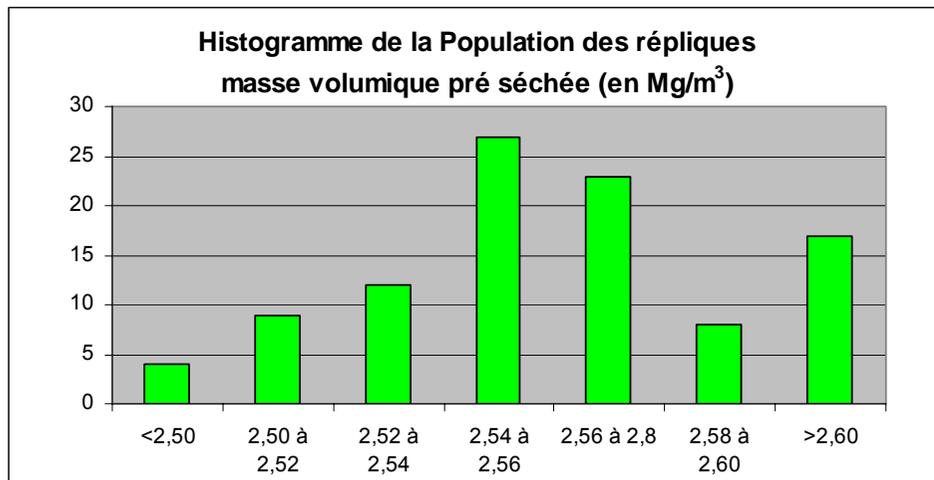
(selon la norme NF EN 1097-6+A1)

**Essais d'Aptitude Par Inter Comparaison**  
**9<sup>ème</sup> Campagne – 1<sup>ère</sup> Session – Série n° 13**

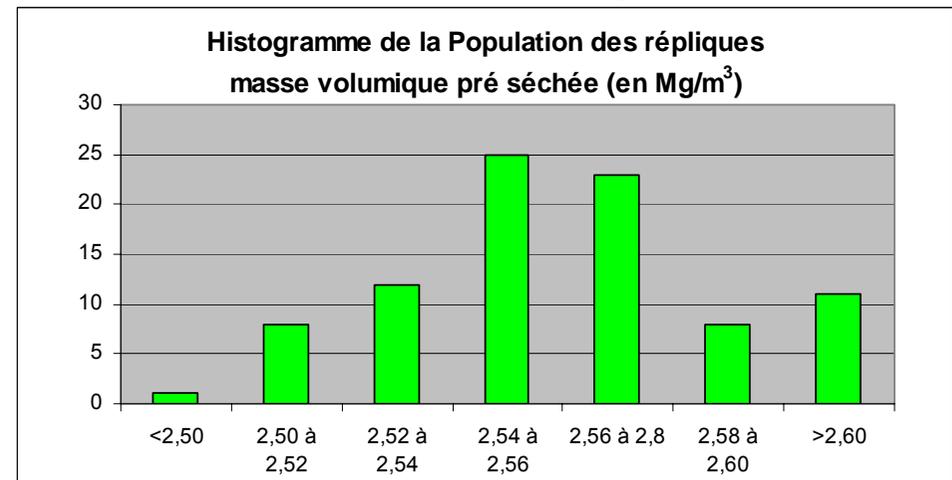
**Détermination de la masse volumique réelle pré-séchée**  
**Norme NF EN 1097-6+A1**

		Données brutes	Résultats écartés par les tests statistiques	Données corrigées	Norme	
					Tableau E.5	Tableau E.6
En Mg/m <sup>3</sup>	Nombre de résultats pris en compte	34	Cochran : V04 - V12 V15 Grubbs : V25	30		
	Moyenne m	2,560		2,560		
	écart-type répétabilité	0,012		0,008		
	répétabilité r	0,033		0,022	r = 0,019	r = 0,009
	écart-type reproductibilité	0,068		0,031		
	reproductibilité R	0,190		0,086	R = 0,042	R = 0,037

Données brutes



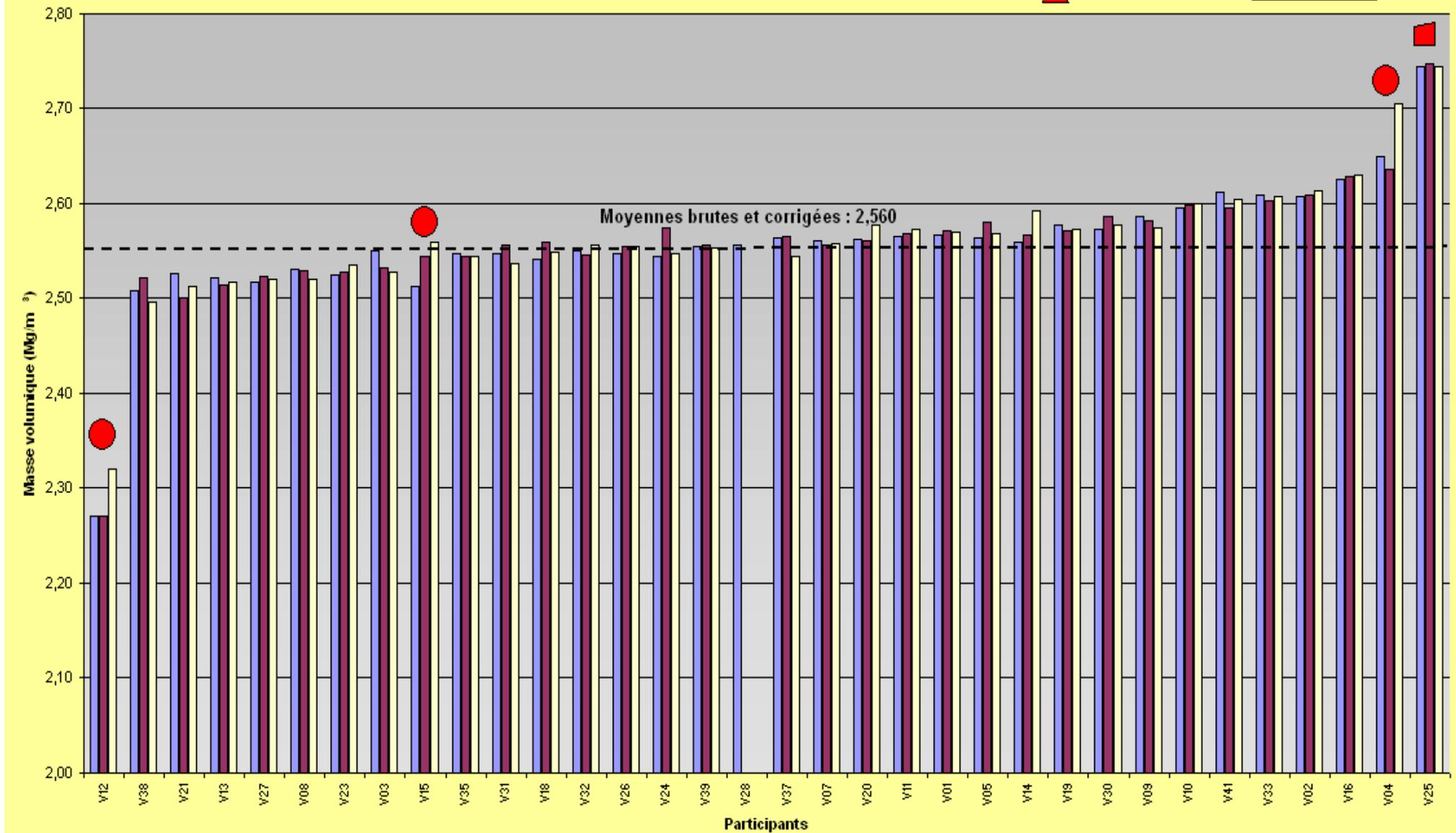
Données corrigées





**Campagne EAPIC N° 9 - Session 1**  
**Détermination de la masse volumique réelle pré-séchée**  
**NF EN 1097-6**

- Test Cochran
  - Test Grubbs
  - ▲ Test Dixon
- Réplique 1
  - Réplique 2
  - Réplique 3





## ***Détermination du coefficient d'absorption d'eau***

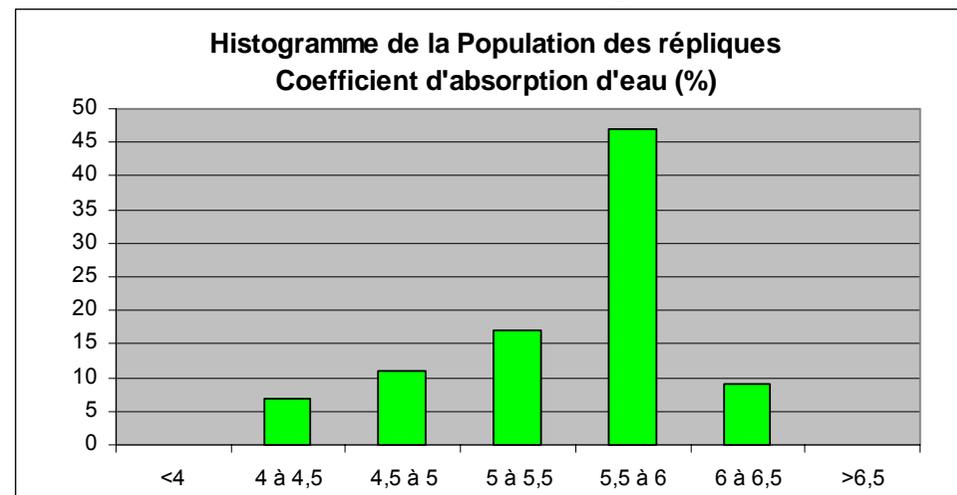
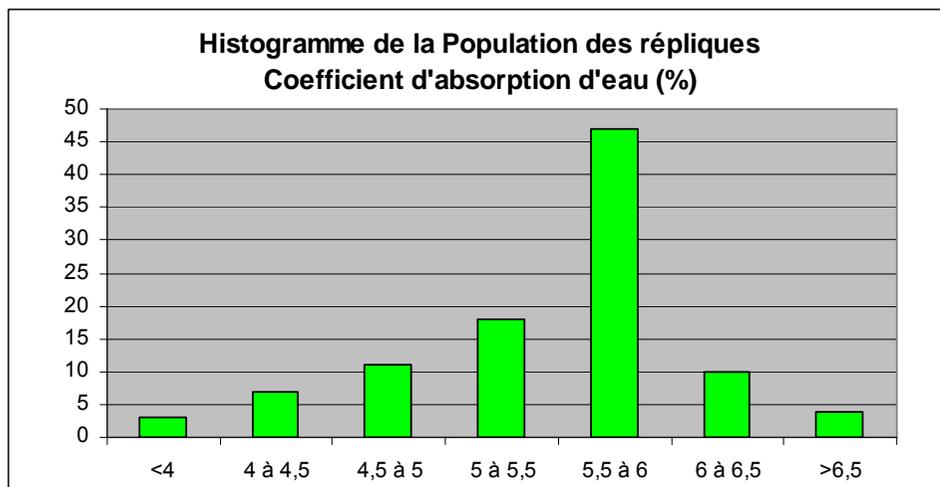
(selon la norme NF EN 1097-6– Parties 6 et 8)

**Détermination du coefficient d'absorption d'eau**  
**Norme NF EN 1097-6 parties 6 et 8**

		Données brutes	Résultats écartés par les tests statistiques	Données corrigées	Norme	
					Tableau E.4	Tableau E.6
En %	Nombre de résultats pris en compte	34	Cochran : V38 Grubbs : V04 – V18	31		
	Moyenne m	5,541		5,544		
	écart-type répétabilité	0,276		0,228	r = 0,3	r = 0,24
	répétabilité r	0,773		0,638		
	écart-type reproductibilité	0,969		0,535	R = 0,4	R = 0,62
	reproductibilité R	2,713		1,498		

Données brutes

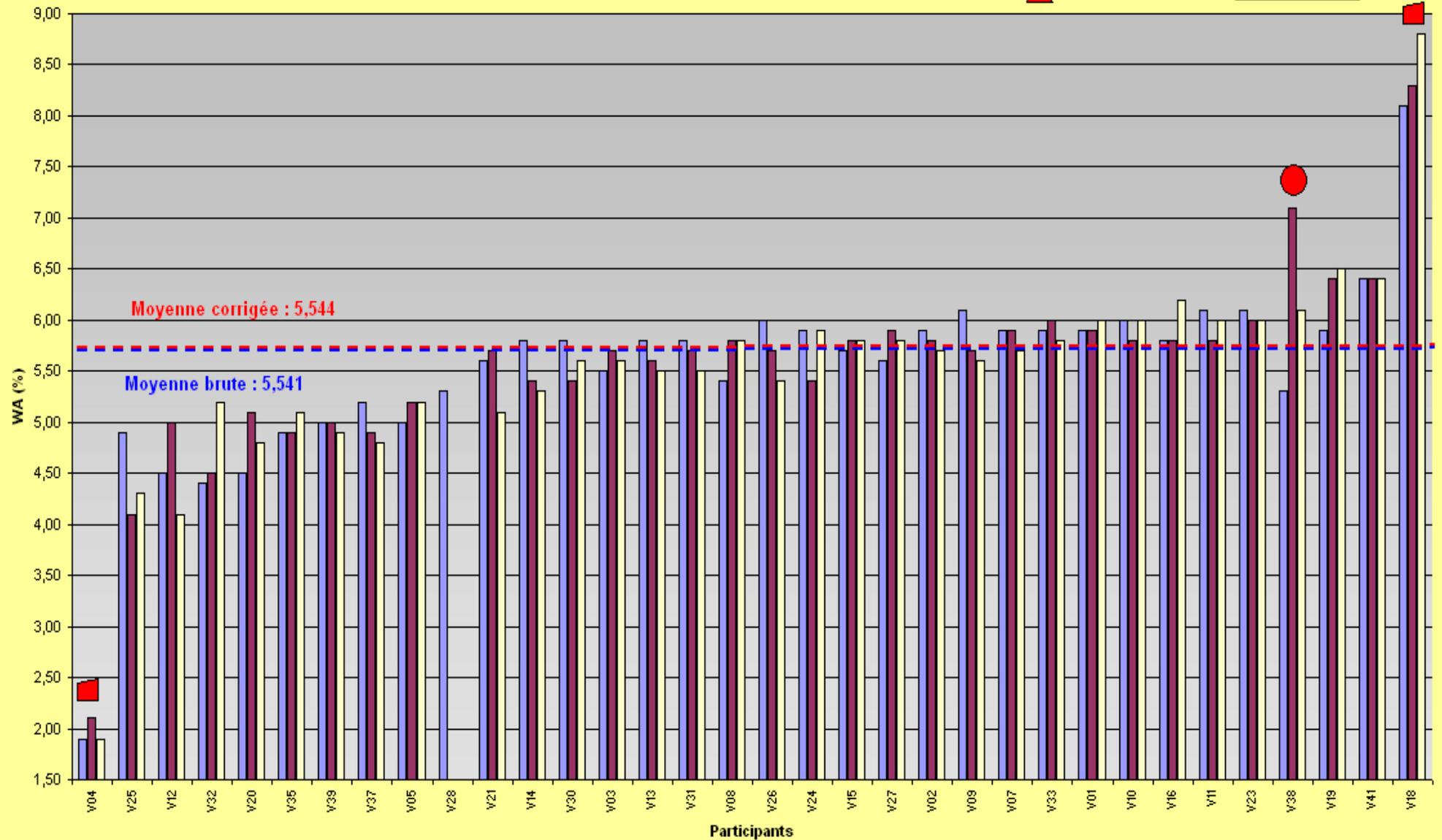
Données corrigées





**Campagne EAPIC N° 9 - Session 1**  
**Détermination du coefficient d'absorption d'eau**  
**NF EN 1097-6 - paragraphes 6 et 8**

- Test Cochran
- Test Grubbs
- ▲ Test Dixon
- Réplique 1
- Réplique 2
- Réplique 3



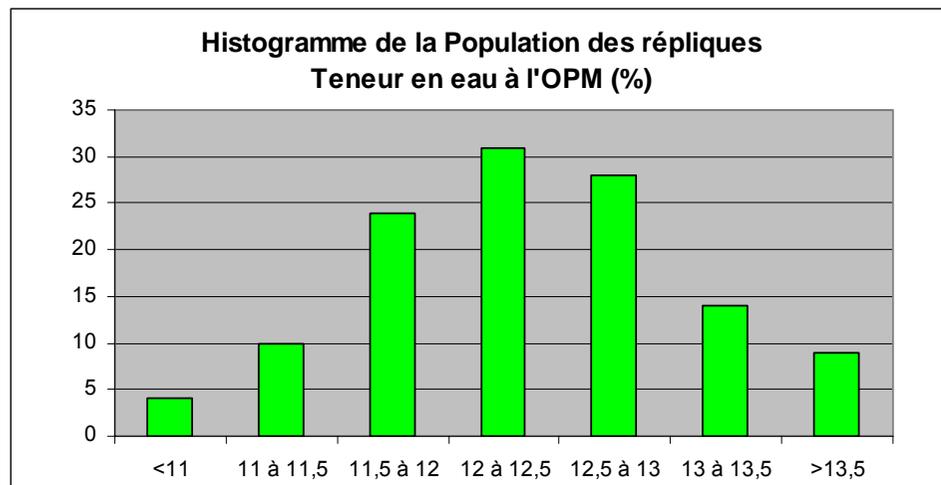


***Détermination de la teneur en eau à l'optimum proctor***  
(selon la norme NF EN 13286-2)

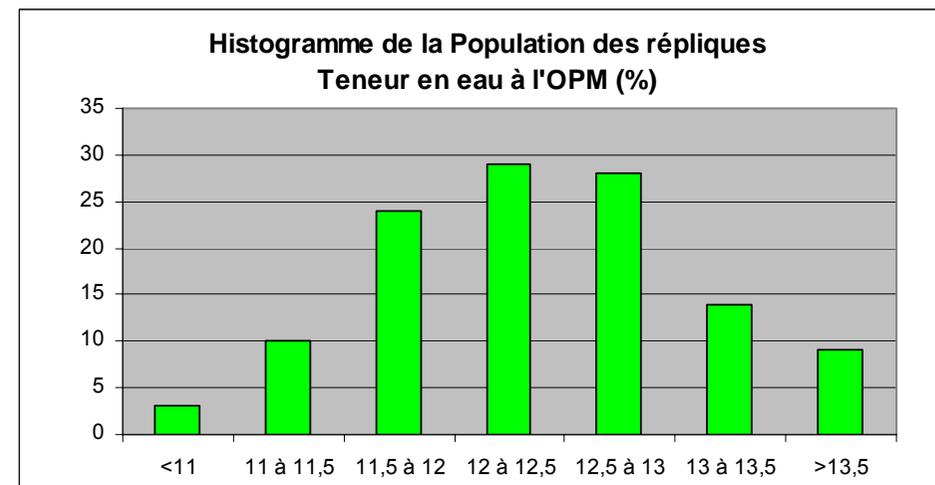
**Détermination de la teneur en eau à l'OPM**  
**Norme NF EN 13286-2**

		Données brutes	Résultats écartés par les tests statistiques	Données corrigées	Norme
En %	Nombre de résultats pris en compte	40	Cochran : V28	39	Non disponible
	Moyenne m	12,44		12,46	
	écart-type répétabilité	0,317		0,282	
	répétabilité r	0,887		0,790	
	écart-type reproductibilité	0,868		0,862	
	reproductibilité R	2,430		2,413	

Données brutes



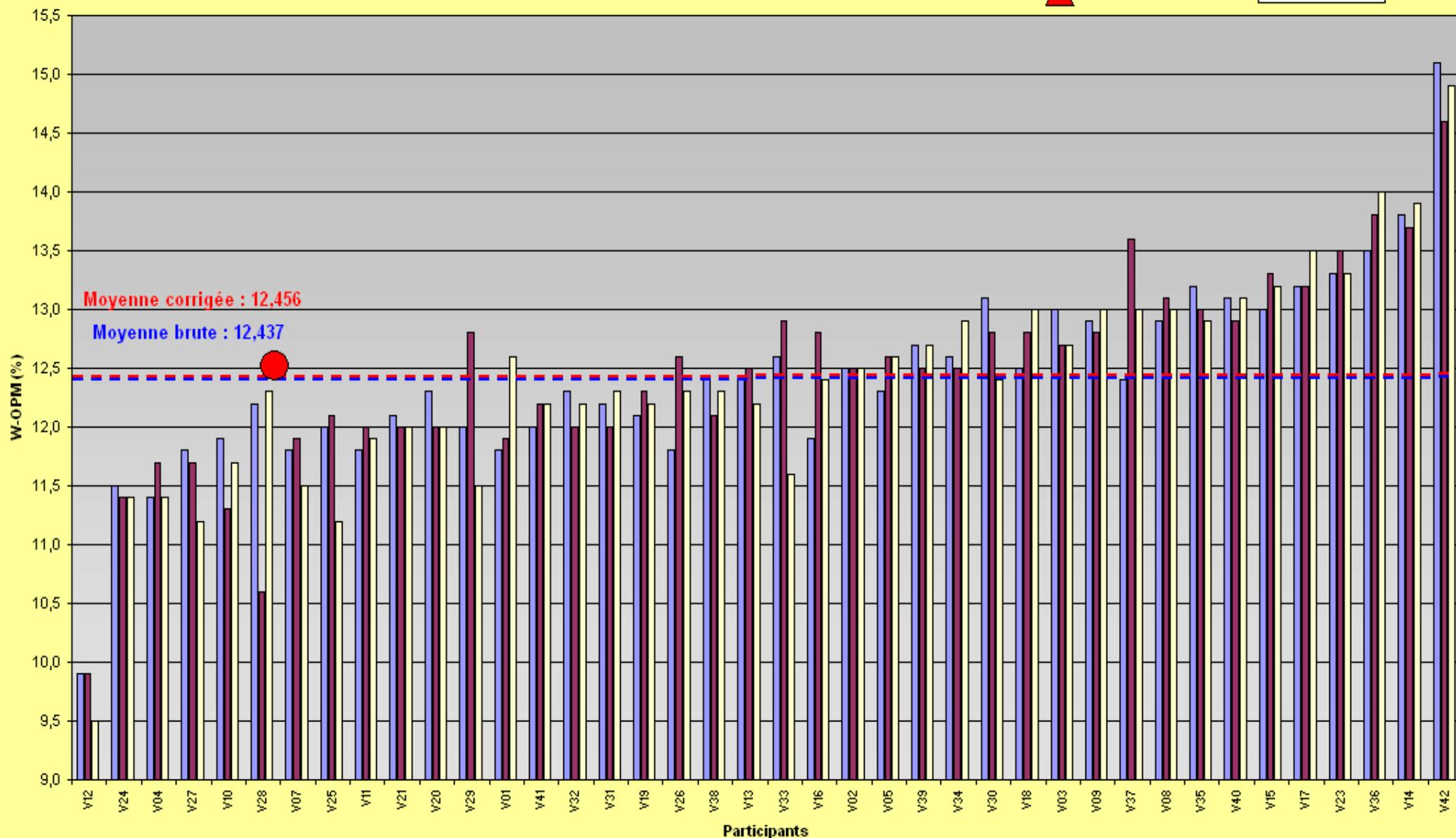
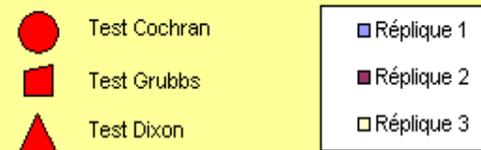
Données corrigées



Données brutes contrôlées par logiciel EIL AFNOR :  
 $m = 12,4367$        $\sigma_r = 0,3168$        $\sigma_R = 0,8677$



**Campagne EAPIC N° 9 - Session 1**  
**Détermination de la teneur en eau à l'Optimum Proctor**  
**NF EN 13286-2**



**Détermination de la teneur en eau à l'OPM**  
**Écarts à la moyenne sur les données brutes**

**Écart inférieur à 1 écart type**

Code résultats	Écart à la moyenne	Z-Score
V02	0,063	0,1460
V05	0,063	0,1460
V33	0,070	0,1613
V16	0,070	0,1613
V13	0,070	0,1613
V38	0,170	0,3918
V39	0,197	0,4533
V26	0,203	0,4686
V34	0,230	0,5301
V19	0,237	0,5455
V32	0,270	0,6223
V31	0,270	0,6223
V41	0,303	0,6991
V30	0,330	0,7606
V18	0,330	0,7606
V01	0,337	0,7760
V20	0,337	0,7760
V29	0,337	0,7760
V03	0,363	0,8374
V21	0,403	0,9296

**Écart inférieur à 2 écarts type**

Code résultats	Écart à la moyenne	Z-Score
V09	0,463	1,0679
V11	0,537	1,2369
V37	0,563	1,2984
V08	0,563	1,2984
V35	0,597	1,3752
V40	0,597	1,3752
V25	0,670	1,5442
V07	0,703	1,6211
V15	0,730	1,6825
V28	0,737	1,6979
V10	0,803	1,8516
V17	0,863	1,9898

**Écart supérieur à 2 écarts type**

Code résultats	Écart à la moyenne	Z-Score
V27	0,870	2,0052
V23	0,930	2,1435
V04	0,937	2,1589
V24	1,003	2,3125
V36	1,330	3,0654
V14	1,363	3,1423
V42	2,430	5,6007
V12	2,670	6,1539



## ***Détermination de la masse volumique sèche à l'optimum proctor***

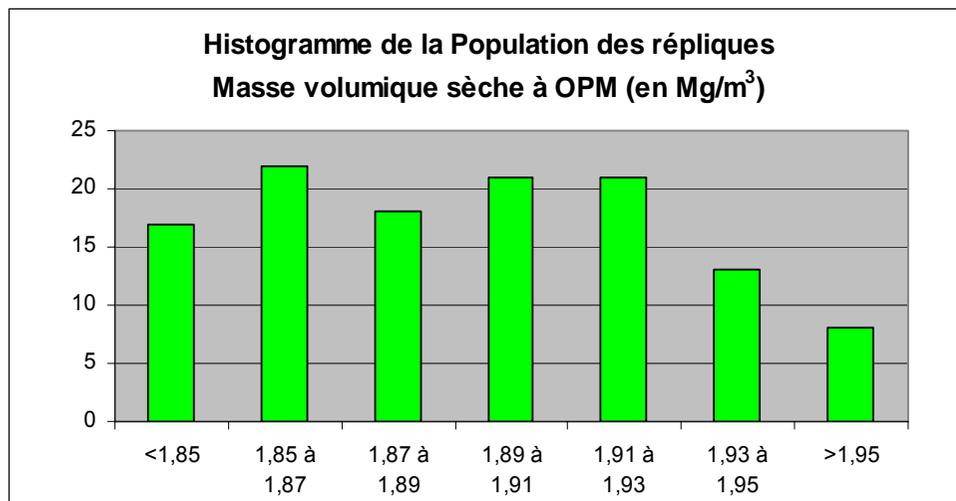
(selon la norme NF EN 13286-2)

**Essais d'Aptitude Par Inter Comparaison**  
**9<sup>ème</sup> Campagne – 1<sup>ère</sup> Session – Série n° 13**

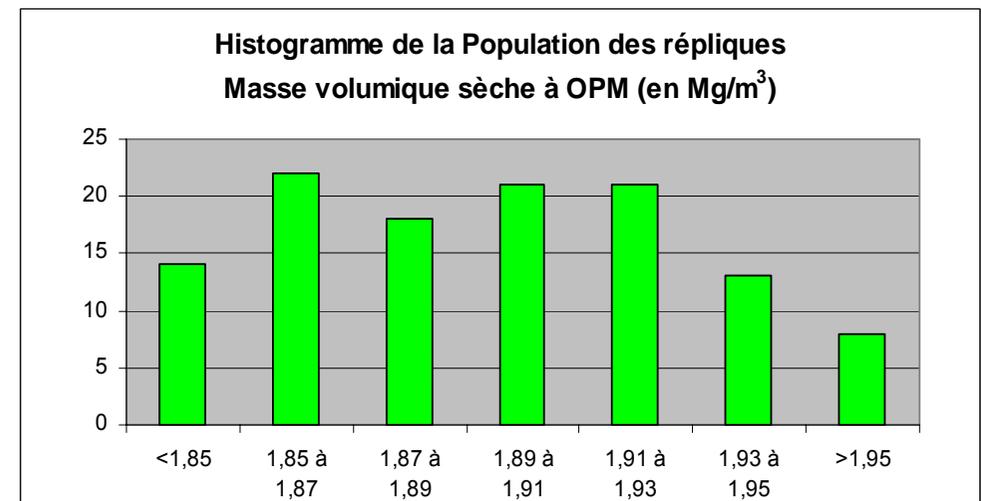
**Détermination de la masse volumique sèche à l'OPM**  
**Norme NF EN 13286-2**

		Données brutes	Résultats écartés par les tests statistiques	Données corrigées	Norme
En Mg/m <sup>3</sup>	Nombre de résultats pris en compte	40	Grubbs : V02	39	Non disponible
	Moyenne m	1,892		1,896	
	écart-type répétabilité	0,0112		0,0113	
	répétabilité r	0,0314		0,0318	
	écart-type reproductibilité	0,0454		0,0375	
	reproductibilité R	0,1271		0,1049	

Données brutes



Données corrigées

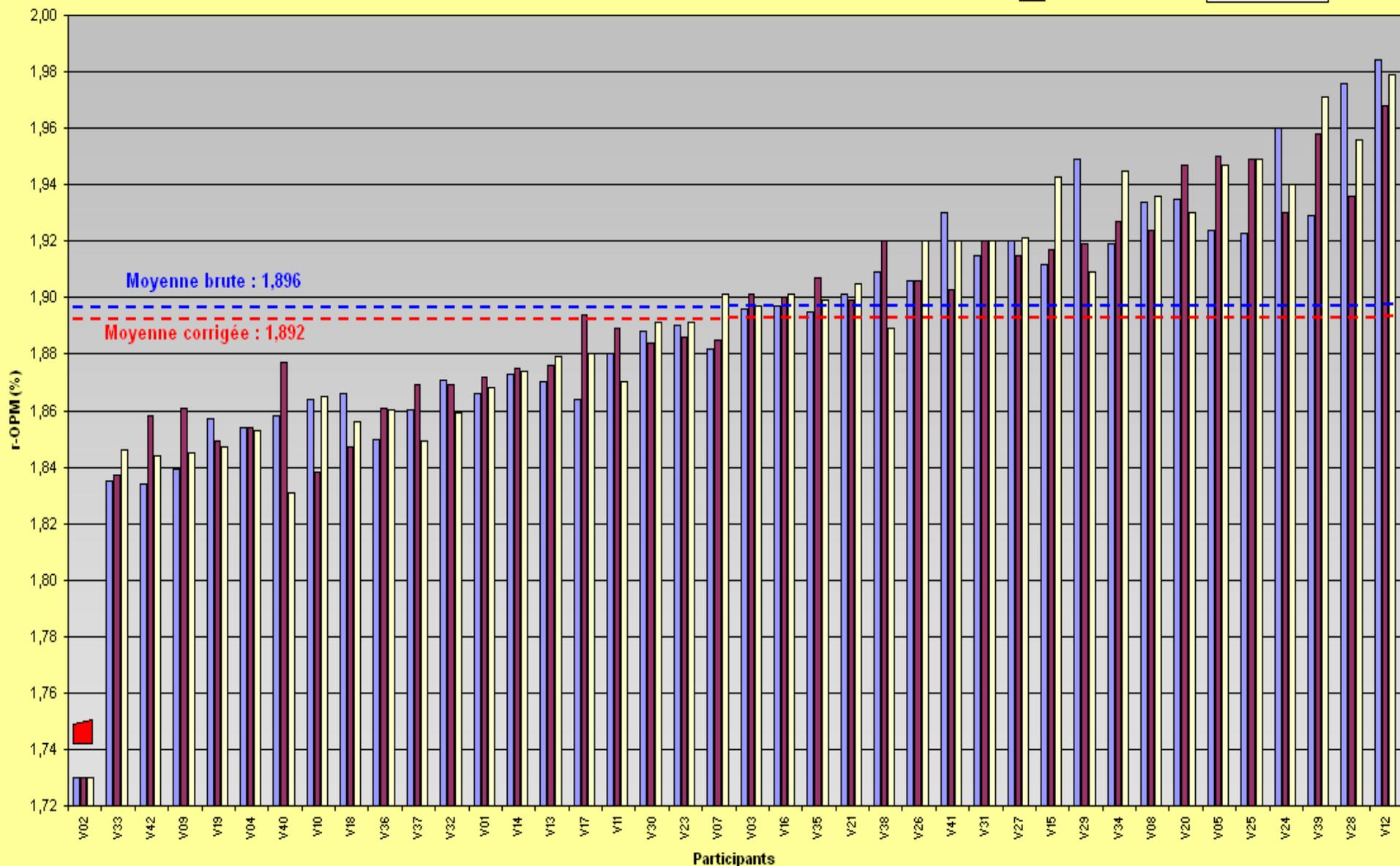


Données brutes contrôlées par logiciel EIL AFNOR :  
 m = 1,8922Mg/m<sup>3</sup>     $\sigma_r = 0,0112$      $\sigma_R = 0,0454$



**Campagne EAPIC N° 9 - Session 1**  
**Détermination de la masse volumique sèche maximale**  
**à l'Optimum Proctor**  
**NF EN 13286-2**

- Test Cochran
- Test Grubbs
- ▲ Test Dixon
- Réplique 1
- Réplique 2
- Réplique 3



**Essais d'Aptitude Par Inter Comparaison**  
**9<sup>ème</sup> Campagne – 1<sup>ère</sup> Session – Série n° 13**

**Détermination de la masse volumique sèche à l'OPM**  
**Écart à la moyenne sur les données brutes**

**Écart inférieur à 1 écart type**

Code résultats	Écart à la moyenne	Z-Score
V07	0,003	0,1278
V23	0,003	0,1425
V30	0,005	0,2013
V03	0,006	0,2542
V16	0,007	0,3129
V35	0,008	0,3570
V21	0,009	0,4158
V11	0,013	0,5539
V17	0,013	0,5686
V38	0,014	0,6068
V13	0,017	0,7596
V14	0,018	0,8036
V26	0,018	0,8125

**Écart inférieur à 2 écarts type**

Code résultats	Écart à la moyenne	Z-Score
V01	0,024	1,0387
V41	0,025	1,1210
V32	0,026	1,1416
V31	0,026	1,1504
V27	0,026	1,1651
V15	0,032	1,4001
V37	0,033	1,4501
V29	0,033	1,4736
V36	0,035	1,5529
V18	0,036	1,5823
V10	0,037	1,6117
V40	0,037	1,6264
V34	0,038	1,6793
V04	0,039	1,6999
V08	0,039	1,7234
V19	0,041	1,8174
V09	0,044	1,9349
V20	0,045	1,9878

**Écart supérieur à 2 écarts type**

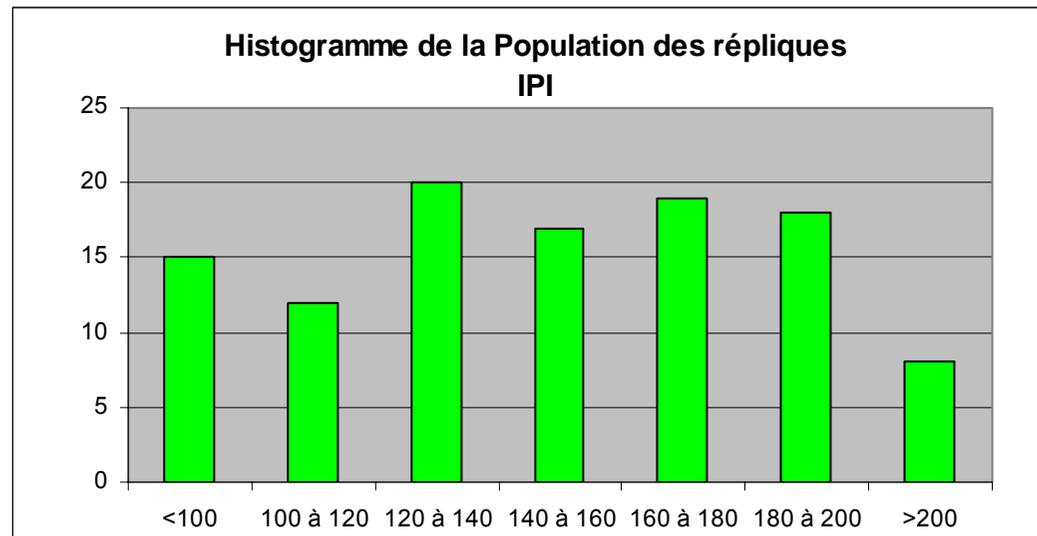
Code résultats	Écart à la moyenne	Z-Score
V42	0,047	2,0671
V05	0,048	2,1200
V25	0,048	2,1200
V24	0,051	2,2523
V33	0,053	2,3316
V39	0,060	2,6636
V28	0,064	2,8106
V12	0,085	3,7361
V02	0,162	7,1505

***Détermination de l'Indice de Portance Immédiate***  
(selon la norme NF EN 13286-47)

**Essais d'Aptitude Par Inter Comparaison**  
**9<sup>ème</sup> Campagne – 1<sup>ère</sup> Session – Série n° 13**  
**Détermination de l'Indice de Portance Immédiate IPI**  
**Norme NF EN 13286-47**

		Données brutes	Résultats écartés par les tests statistiques	Norme
Exprimés en MPa	Nombre de résultats pris en compte	37	Aucun	Non disponible
	Moyenne m	145,5		
	écart-type répétabilité	19,28		
	répétabilité r	53,98		
	écart-type reproductibilité	45,05		
	reproductibilité R	126,13		

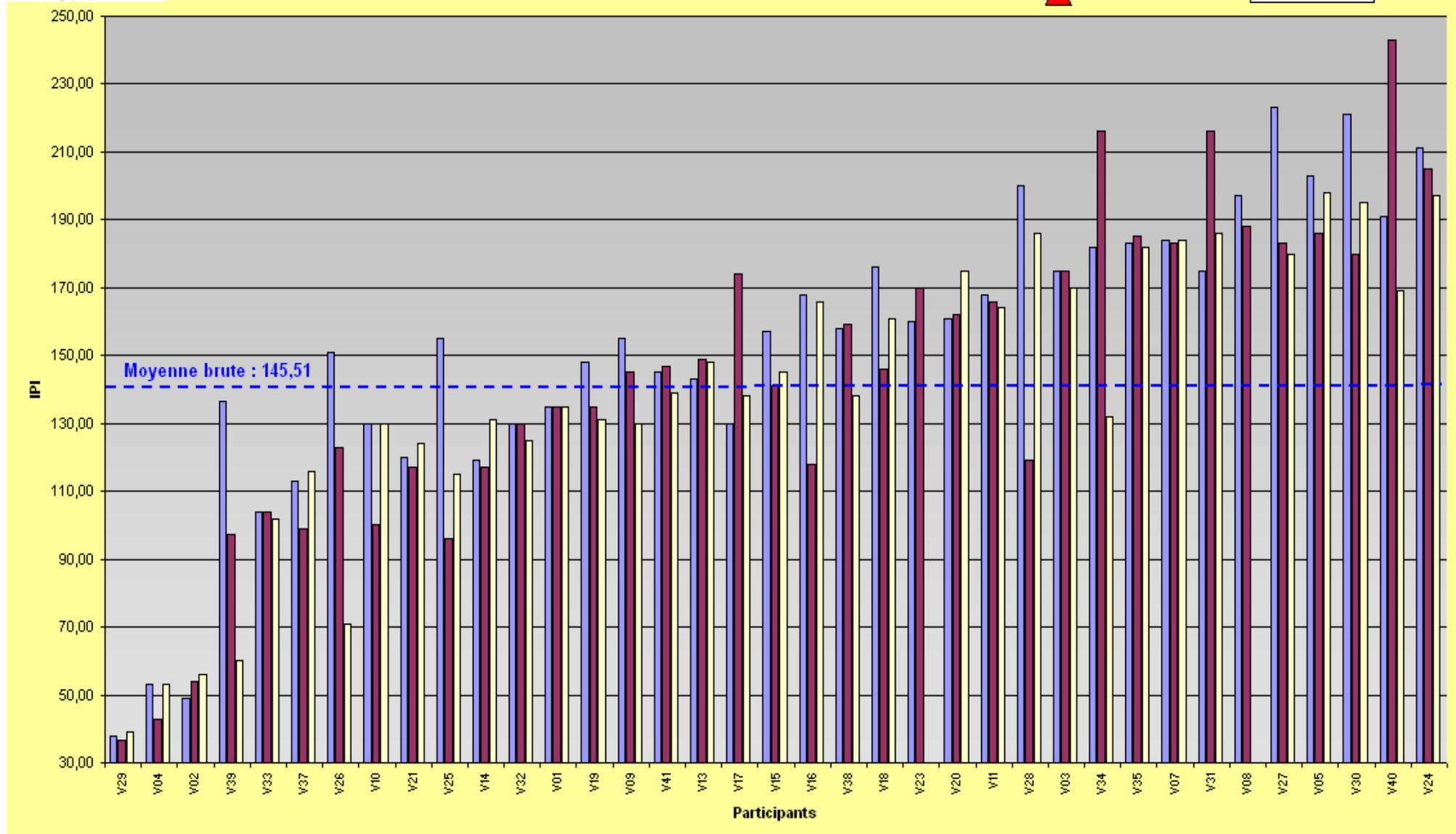
Données brutes





**Campagne EAPIC N° 9 - Session 1**  
**Détermination de l'indice de portance immédiate**  
**NF EN 13286-47**

- Test Cochran
- Test Grubbs
- ▲ Test Dixon
- Réplique 1
- Réplique 2
- Réplique 3



# Organisation de l'eapic

Le Groupé Spécialisé « Essais d'Aptitude Par Inter Comparaison » est placé sous l'égide du Comité Opérationnel Qualification Certification de l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM) présidé par Thierry KRETZ (assistante : Lucille LAHAYE)

Le **Groupé 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 le **Laboratoire Support**.

## **Groupe Spécialisé e.a.p.i.c**

**Président** POIRIER Jean-Eric

**Membres**  
 BADROUILLET Christophe  
 DELORME Jean-Luc  
 DROUADAINÉ Ivan  
 LAIMOUCHE Belkacem  
 Le TURDU Valéry  
 PIOT Géraldine  
 SAUBOT Michel  
 TRIQUIGNEAUX Jean-Pierre  
 WENDLING Louissette

## **Cellule Exécutive e.a.p.i.c**

**DTer IDF – Site de Sourdun**  
**Assisté de**

Jean-Luc DELORME  
 Géraldine PIOT

## **Laboratoire Support e.a.p.i.c**

**DTer Centre Est –**  
**Département Laboratoire d'Autun**

Louissette WENDLING  
 Christophe BADROUILLET