

C.E.E.L.R.O.

ESSAIS INTER LABORATOIRES

COTITA OUEST – CEELRO – COTITA NORMANDIE CENTRE

Le Mans, le 21 aout 2015

Affaire suivie par : **Fabrice RABILLER** (02 43 86 77 31)

Campagne d'essais croisés :

Laboratoires organisateurs :

CEREMA 22 et SMER 35

Matériaux :

BBSG 0/10 C3 30% AE en liaison

Essais :

Masse Volumique Apparente

Normes de référence :

NF EN 12697-6 MVA : Éprouvettes bitumineuse

NF EN 12697-7 MVA : Banc gamma

NF P 98-241-1 MVA : Gammadensimètres (et MEI en rétrodiffusion)

MEI MVA : Densimètres électromagnétiques

Année 2015

SOMMAIRE :

	Page :
1 - Présentation	3
1.1 Objectif	
1.2 Contexte	
1.3 Méthode de mesure	
1.4 Matériels	
1.5 Laboratoires présents	
2 - Comparaison des méthodes de correction	
2.1 Exemples	4
2.2 Conclusion	5
3 - Mesures sur les points imposés	
3.1 Résultats	
3.1.1 Résultats bruts	6
3.1.2 Calcul du Offset	7
3.1.3 Résultats corrigés	8
3.2 - Application de la statistique	
3.2.1 Définition	9
3.2.2 Résultats des tests statistiques	
3.2.3 Conclusions	10
3.3 - Interprétation graphique des points imposés	
3.3.1 Carotte / Moyenne des familles d'appareils	11
3.3.2 Banc gamma / Pesée hydro / GPV	12
3.3.3 Carotte / Gammadensimètre	13
3.3.4 Carotte / Pave Tracker	14
3.3.5 Carotte / PQI	16
3.4 Synthèse des résultats	18
4 - Mesures sur la zone « libre »	
4.1 Résultats corrigés	19
4.2 Interprétation graphique	20
4.3 Conclusion	21
5 - Bilan	

1 - Présentation

1.1 Objectif :

Comparer les différentes méthodes d'essais permettant de mesurer la masse volumique ponctuelle en place d'un enrobé après compactage. Les appareils non normalisés (densimètres électromagnétiques) se multiplient au détriment des sources radioactives, en contrôle externe ou extérieur. Il est donc intéressant de comparer les résultats des différents appareils sur un même site.

1.2 Contexte :

Chantier de mise à 2 x 2 voies de la RD 177 sur la commune de Guignen. La couche de liaison a été mise en œuvre les 8 et 9 décembre 2014. La couche de roulement n'a pas été réalisée. Les essais comparatifs ont été organisés le 31 mars 2015, à froid sur une chaussée sèche.

La couche contrôlée était un BBSG 0/10 de classe 3 au bitume 35/50 contenant 30% d'agrégats d'enrobés. La MVR de l'enrobé est de 2,471 Tonnes/m³

1.3 Méthode de mesure :

1 - Une section a été définie avec 13 points fixes imposés pour les laboratoires présents.

Conformément à la procédure CEELRO, il a été précisé :

- Les 4 premiers points seront carottés pour définir le coefficient de correction de tous les appareils. Le coefficient de correction sera défini par le laboratoire de mesure.
- Chaque résultat est la moyenne de 4 mesures pour les densimètres électromagnétiques.

2 – Une section « libre » a été localisée.

Chaque technicien de laboratoire devait effectuer une réception de cette zone selon ses habitudes. Le nombre de points et l'emplacement étaient libres. Le coefficient de correction appliqué sera celui de la première zone.

1.4 Matériels présents :

- 1 GPV - MLPC
- 4 Gammadensimètres 3450
- 5 densimètres électromagnétiques Pave Tracker
- 5 densimètres électromagnétiques PQI 1 (1 type 301, 4 type 380)

Les 13 points fixes ont été carottés puis la MVA a été mesurée avec :

- Banc gamma de 50 mm
- Banc gamma de 55 mm
- Pesée Hydrostatique

1.5 Laboratoires Présents :

CEREMA 22 et 76

Départements 14, 27, 35, 44, 50, 53, 56, 72

Laboratoires Privés : LCBTP, HERCYNIA

2 - Comparaison des méthodes de correction

Le coefficient de correction est défini à partir d'un minimum de 4 carottages. Conformément à la procédure CEELRO FI 02. Les résultats bruts sont comparés aux pesées hydrostatiques. A partir de ces résultats les laboratoires définissent une correction des valeurs brutes.

Deux types de corrections existent dans les laboratoires :

$$Y = A.X \text{ (Valeur Brute)} + B$$

$$Y = X \text{ (Valeur Brute)} + B$$

(correction appelée «Offset»)

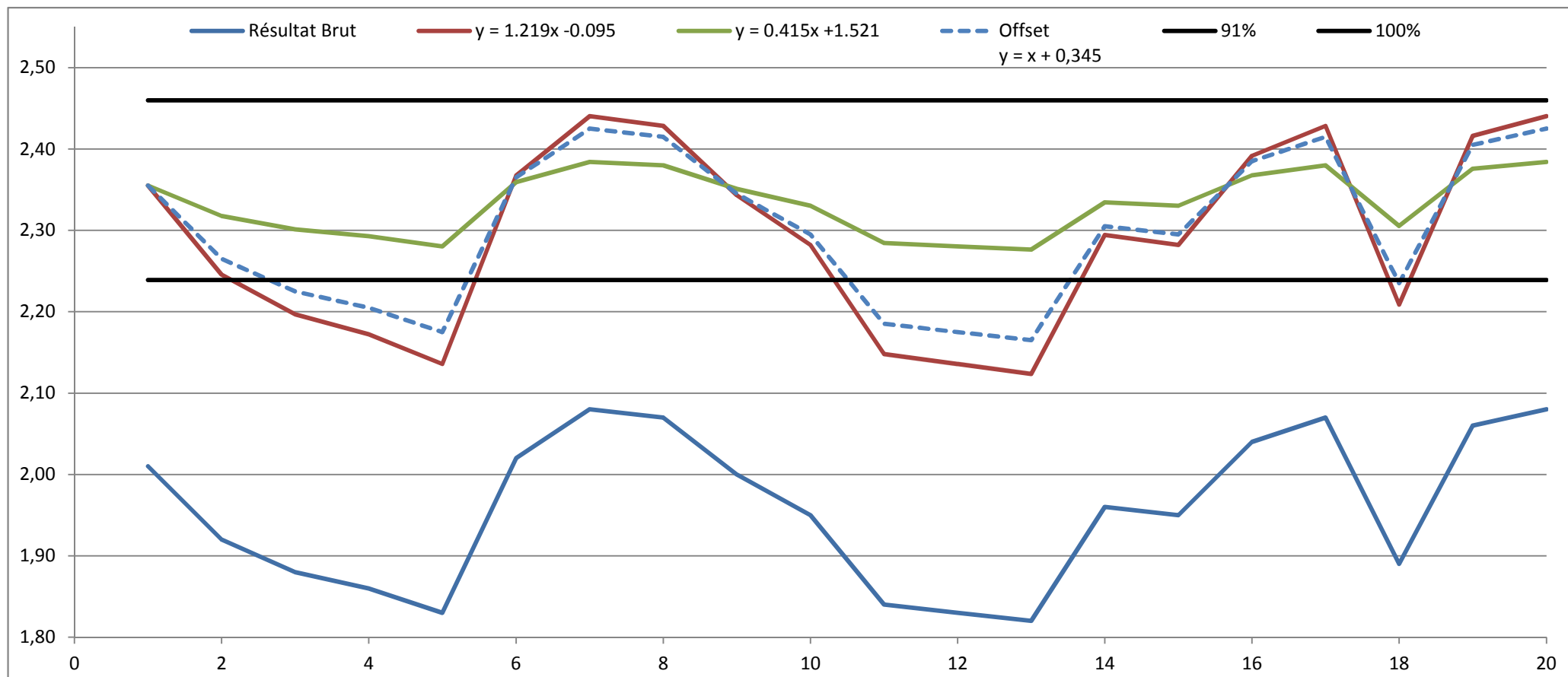
Les laboratoires ont calculé leur correction selon leur méthode. La diversité des méthodes nous a conduit à comparer les corrections sur une même population.

2.1 Exemples de correction :

Les exemples de formule de correction indiqués ci-dessous proviennent des résultats transmis par les laboratoires participants à la campagne d'essais.

Le Offset a été calculé à partir des mêmes données, d'où le point N° 1 identique pour les 3 méthodes.

	Résultat Brut : X	y = 1,219.X - 0.095	y = 0,415.X + 1.521	Offset y = X + 0,345
1	2,01	2,355	2,355	2,355
2	1,92	2,245	2,318	2,265
3	1,88	2,197	2,301	2,225
4	1,86	2,172	2,293	2,205
5	1,83	2,136	2,280	2,175
6	2,02	2,367	2,359	2,365
7	2,08	2,441	2,384	2,425
8	2,07	2,428	2,380	2,415
9	2,00	2,343	2,351	2,345
10	1,95	2,282	2,330	2,295
11	1,84	2,148	2,285	2,185
12	1,83	2,136	2,280	2,175
13	1,82	2,124	2,276	2,165
14	1,96	2,294	2,334	2,305
15	1,95	2,282	2,330	2,295
16	2,04	2,392	2,368	2,385
17	1,89	2,209	2,305	2,235
18	2,06	2,416	2,376	2,405
19	2,06	2,416	2,376	2,405
20	2,08	2,441	2,384	2,425
Moyenne :		2,291	2,333	2,303



2.2 Conclusions :

Les formules de type $Ax + B$ amplifient ($A > 1$) ou atténuent ($A < 1$) les variations de densité sur le chantier.

La correction de type Offset ($x + B$) transpose à l'identique les variations de MVA de l'appareil de mesure.

Afin de conserver la sensibilité des appareils de mesure, la correction sera obligatoirement de type Offset.

Pour comparer objectivement les matériels de mesure, la correction pour tous les appareils sera calculée à partir de la moyenne des 4 premières carottes (banc gamma) moins la moyenne des 4 premières mesures de l'appareil concerné.

3 - Mesures sur 13 points imposés avec les différents appareils

3.1 Résultats

3.1.1 Résultats Bruts

	Valeurs Brutes en Tonnes/m ³ :													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	moyenne :
Banc γ 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
Banc γ 55 mm	2,340	2,327	2,337	2,396	2,368	2,337	2,334	2,227	2,326	2,338	2,303	2,361	2,317	2,332
Pesées hydro	2,365	2,336	2,354	2,402	2,385	2,362	2,352	2,261	2,344	2,360	2,337	2,378	2,344	2,352
GPV 3/8	2,054	2,166	2,218	2,288	2,252	2,215	2,211	2,127	2,148	2,212	2,185	2,248	2,182	2,193
Troxler 1 (+ filler)	2,380	2,371	2,359	2,426	2,403	2,386	2,389	2,278	2,365	2,378	2,377	2,361	2,387	2,374
Troxler 2 (5cm + filler)	2,398	2,352	2,370	2,436	2,362	2,450	2,415	2,334	2,361	2,342	2,377	2,413	2,348	2,381
Troxler 2a (5cm)	2,311	2,325	2,321	2,367	2,365	2,346	2,327	2,263	2,328	2,314	2,332	2,352	2,327	2,329
Troxler 3a	2,338	2,303	2,339	2,373	2,342	2,313	2,341	2,260	2,301	2,322	2,310	2,336	2,273	2,319
Troxler 3b (5cm)	2,321	2,328	2,345	2,381	2,372	2,343	2,336	2,319	2,292	2,344	2,321	2,384	2,296	2,337
Troxler 3c (+ filler)	2,391	2,370	2,397	2,418	2,402	2,358	2,382	2,291	2,345	2,387	2,350	2,389	2,356	2,372
Troxler 3d (5cm + filler)	2,442	2,448	2,440	2,477	2,449	2,416	2,417	2,378	2,401	2,447	2,440	2,456	2,446	2,435
Troxler 4 (5cm + filler)	2,347	2,349	2,344	2,397	2,365	2,370	2,377	2,254	2,333	2,363	2,344	2,379	2,329	2,350
Pave Tracker 1	1,982	1,825	1,998	2,020	2,020	2,037	2,030	1,976	2,005	2,016	2,015	1,991	1,997	1,993
Pave Tracker 2	1,997	2,028	2,050	2,046	2,044	2,062	2,038	2,011	2,030	2,021	2,037	2,030	2,026	2,032
Pave Tracker 3	1,991	2,010	2,014	2,027	2,011	2,031	2,022	1,963	1,981	2,014	2,014	1,976	1,998	2,004
Pave Tracker 4	1,988	2,007	2,021	2,020	2,011	2,034	2,018	1,979	1,996	2,005	2,015	2,012	1,982	2,007
Pave Tracker 5	1,992	2,020	2,032	2,030	2,019	2,048	2,037	1,996	2,009	2,015	2,026	2,018	2,007	2,019
PQI 1 (380)	2,049	2,026	2,042	2,038	2,041	2,038	2,036	1,977	2,031	2,034	2,027	2,024	2,027	2,030
PQI 2 (380)	1,756	1,772	1,783	1,773	1,779	1,791	1,781	1,746	1,756	1,773	1,778	1,764	1,766	1,771
PQI 3 (380)	2,330	2,354	2,365	2,364	2,365	2,392	2,240	2,295	2,318	2,353	2,371	2,354	2,307	2,339
PQI 4 (380)	2,040	1,985	2,030	2,009	2,029	2,026	2,025	1,984	2,025	2,041	2,031	2,021	2,024	2,021
PQI 5 (301)	1,907	1,912	1,913	1,908	1,902	1,922	1,917	1,912	1,914	1,910	1,916	1,907	1,911	1,912
Zone de référence pour le calage														

3.1.2 Calcul du «Offset»

	Écart / Référence (banc γ 50 mm)				Offset 4 essais	Offset 13 essais	<u>Commentaires :</u>
	1	2	3	4			
Banc γ 55 mm	0,014	0,004	0,010	0,006	0,009	0,009	<u>Offset :</u> Le Offset calculé sur 4 carottes (conformément à la procédure CEELRO) est similaire a celui calculé sur les 13 carottes. Le calcul du Offset sur 4 carottes est donc valide.
Pesées hydro	-0,011	-0,005	-0,007	0,000	-0,006	-0,011	
GPV 3/8	0,300	0,165	0,129	0,114	0,136	0,137	
Troxler 1 (filler)	-0,026	-0,040	-0,012	-0,024	-0,026	-0,033	
Troxler 2 (5cm + filler)	-0,044	-0,021	-0,023	-0,034	-0,031	-0,041	<u>Gammadensimètre :</u> La correction est négative lorsque les laboratoires utilisent du filler. (Résultat supérieur au carottage). La correction est positive sans le filler. La correction est faible, de - 93 à + 28 Kg/m ³ (étendue 121 Kg/m ³) Sans filler : de + 15 à + 28 (étendue 13 Kg/m ³) Avec filler : de - 1 à - 93 Kgm ³ (étendue 92 Kg/m ³)
Troxler 2a (5cm)	0,043	0,006	0,026	0,035	0,028	0,012	
Troxler 3a	0,016	0,028	0,008	0,029	0,020	0,022	
Troxler 3b (5cm)	0,033	0,003	0,002	0,021	0,015	0,004	
Troxler 3c (+ filler)	-0,037	-0,039	-0,050	-0,016	-0,036	-0,031	
Troxler 3d (5cm + filler)	-0,088	-0,117	-0,093	-0,075	-0,093	-0,094	
Troxler 4 (5cm + filler)	0,007	-0,018	0,003	0,005	-0,001	-0,009	<u>Pave Tracker :</u> La correction est importante, mais assez homogène entre les appareils. De + 328 à + 368 Kg/m ³ (étendue 40 Kg/m ³)
Pave Tracker 1	0,372	0,506	0,349	0,382	0,368	0,348	
Pave Tracker 2	0,357	0,303	0,297	0,356	0,328	0,309	
Pave Tracker 3	0,363	0,321	0,333	0,375	0,348	0,337	
Pave Tracker 4	0,366	0,324	0,326	0,382	0,350	0,334	
Pave Tracker 5	0,362	0,311	0,315	0,372	0,340	0,322	<u>PQI :</u> La correction est très hétérogène entre les appareils. De + 5 à + 588 Kg/m ³ (étendue 583 Kg/m ³)
PQI 1 (380)	0,305	0,305	0,305	0,364	0,320	0,311	
PQI 2 (380)	0,598	0,559	0,564	0,629	0,588	0,570	
PQI 3 (380)	0,024	-0,023	-0,018	0,038	0,005	0,002	
PQI 4 (380)	0,314	0,346	0,317	0,393	0,343	0,320	
PQI 5 (301)	0,447	0,419	0,434	0,494	0,449	0,429	

Résultats similaires entre le banc gamma de référence et l'appareil de mesure concerné
Dans un souci d'homogénéité, la correction est maintenue.

3.1.3 Résultats corrigés

	Valeurs Corrigées en Tonnes/m ³ :													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	moyenne :
Banc γ 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
Banc γ 55 mm	2,349	2,336	2,346	2,405	2,377	2,346	2,343	2,236	2,335	2,347	2,312	2,370	2,326	2,340
Pesées hydro	2,359	2,330	2,348	2,396	2,379	2,356	2,346	2,255	2,338	2,354	2,331	2,372	2,338	2,347
GPV 3/8	2,190	2,302	2,354	2,424	2,388	2,351	2,347	2,263	2,284	2,348	2,321	2,384	2,318	2,329
Troxler 1 (filler)	2,355	2,346	2,334	2,401	2,378	2,361	2,364	2,253	2,340	2,353	2,352	2,336	2,362	2,348
Troxler 2 (5cm + filler)	2,368	2,322	2,340	2,406	2,332	2,420	2,385	2,304	2,331	2,312	2,347	2,383	2,318	2,351
Troxler 2a (5cm)	2,339	2,353	2,349	2,395	2,393	2,374	2,355	2,291	2,356	2,342	2,360	2,380	2,355	2,357
Troxler 3a	2,358	2,323	2,359	2,393	2,362	2,333	2,361	2,280	2,321	2,342	2,330	2,356	2,293	2,340
Troxler 3b (5cm)	2,336	2,343	2,360	2,396	2,387	2,358	2,351	2,334	2,307	2,359	2,336	2,399	2,311	2,352
Troxler 3c (+ filler)	2,356	2,335	2,362	2,383	2,367	2,323	2,347	2,256	2,310	2,352	2,315	2,354	2,321	2,337
Troxler 3d (5cm + filler)	2,349	2,355	2,347	2,384	2,356	2,323	2,324	2,285	2,308	2,354	2,347	2,363	2,353	2,342
Troxler 4 (5cm + filler)	2,346	2,348	2,343	2,396	2,364	2,369	2,376	2,253	2,332	2,362	2,343	2,378	2,328	2,349
Pave Tracker 1	2,350	2,193	2,366	2,388	2,388	2,405	2,398	2,344	2,373	2,384	2,383	2,359	2,365	2,361
Pave Tracker 2	2,325	2,356	2,378	2,374	2,372	2,390	2,366	2,339	2,358	2,349	2,365	2,358	2,354	2,361
Pave Tracker 3	2,339	2,358	2,362	2,375	2,359	2,379	2,370	2,311	2,329	2,362	2,362	2,324	2,346	2,352
Pave Tracker 4	2,338	2,357	2,371	2,370	2,361	2,384	2,368	2,329	2,346	2,355	2,365	2,362	2,332	2,356
Pave Tracker 5	2,332	2,360	2,372	2,370	2,359	2,388	2,377	2,336	2,349	2,355	2,366	2,358	2,347	2,359
PQI 1 (380)	2,369	2,346	2,362	2,358	2,361	2,358	2,356	2,297	2,351	2,354	2,347	2,344	2,347	2,350
PQI 2 (380)	2,344	2,360	2,371	2,361	2,367	2,379	2,369	2,334	2,344	2,361	2,366	2,352	2,354	2,358
PQI 3 (380)	2,335	2,359	2,370	2,369	2,370	2,397	2,245	2,300	2,323	2,358	2,376	2,359	2,312	2,344
PQI 4 (380)	2,383	2,328	2,373	2,352	2,372	2,369	2,368	2,327	2,368	2,384	2,374	2,364	2,367	2,363
PQI 5 (301)	2,356	2,361	2,362	2,357	2,351	2,371	2,366	2,361	2,363	2,359	2,365	2,356	2,360	2,360

Valeurs abérrantes au test de Grubbs

Valeurs isolées au test de Grubbs

3.2 - Application de la statistique selon NF ISO 5725-2

3.2.1 - Définition :

Valeur aberrante : valeur incohérente au sein d'un ensemble de valeurs

Valeur isolée : valeur douteuse au sein d'un ensemble de valeurs

Test de GRUBBS : Vérification de l'homogénéité des résultats

Le **test simple** permet la recherche d'une observation aberrante. Il consiste à comparer les valeurs extrêmes (la plus grande et la plus petite) à la moyenne de l'ensemble.

Le test simple est réitéré jusqu'à ce qu'aucune valeur aberrante ou isolée ne soit plus détectée.

A chaque itération la population est réduite d'un individu.

Dès lors que le test simple est validé, le test double est appliqué.

Le **test double** permet la recherche de deux observations aberrantes. Il consiste à comparer les deux plus grandes valeurs et les deux plus petites à la moyenne de l'ensemble.

Le test double est réitéré jusqu'à ce qu'aucune valeur aberrante ou isolée ne soit plus détectée.

A chaque itération la population est réduite de deux individus.

3.2.2 - Résultats des tests statistiques :

- Test de Grubbs avec tous les résultats :

Les tests ont été réalisés sans les résultats du banc g 55 mm ni les résultats des pesées hydro.

Les résultats des 2 bancs g et des pesées hydro sont parfaitement homogènes. (donc pas d'anomalie)

Ceci permet de limiter le nombre de résultats à 20 maximum.

Essai :	n : nombre de résultat	Simple		Double	
		supérieur	inférieur	supérieur	inférieur
1	n = 20	1,096	3,952	0,899	0,113
2	n = 20	0,645	3,834	0,953	0,115
3	n = 20	1,536	2,040	0,788	0,616
4	n = 20	2,163	1,608	0,642	0,743
5	n = 20	1,660	2,464	0,737	0,568
6	n = 20	1,981	1,775	0,657	0,631
7	n = 20	1,338	3,589	0,846	0,202
8	n = 20	1,523	1,830	0,766	0,669
9	n = 20	1,588	2,279	0,743	0,603
10	n = 20	1,975	2,845	0,544	0,497
11	n = 20	1,555	1,828	0,774	0,609
12	n = 20	2,174	2,191	0,627	0,590
13	n = 20	1,331	2,155	0,807	0,631

Valeurs critiques de Grubbs :

Nombre de Labo : 20	Simple	Double
	Valeurs normales	si $G \leq 2,709$
Valeurs isolées	si $2,709 < "G" \leq 3,001$	si $0,3585 \leq G < 0,4391$
Valeurs aberrantes	si $"G" > 3,001$	si $G < 0,3585$

- Test après retrait du ou des essais suspect(s) :

Essai :	Matériel écarté	n : nombre de résultat	Simple		Double	
			supérieur	inférieur	supérieur	inférieur
1	GPV 3/8	n = 19	2,354	1,668	0,540	0,741
2	Pave Tracker 1	n = 19	1,002	2,554	0,882	0,487
7	PQI 3	n = 19	2,091	2,245	0,621	0,541
10	Troxler 2	n = 19	2,392	1,293	0,289	0,792

Essai :	Matériel écarté	n : nombre de résultat	Simple		Double	
			supérieur	inférieur	supérieur	inférieur
10	Pave Tracker 1 PQI 4	n = 17	1,303	1,773	0,759	0,554

Valeurs critiques de Grubbs :

Nombre de Labo : 19	Simple	Double
Valeurs normales	si $G \leq 2,681$	si $G \geq 0,4214$
Valeurs isolées	si $2,681 < "G" \leq 2,968$	si $0,3398 \leq G < 0,4214$
Valeurs aberrantes	si $"G" > 2,968$	si $G < 0,3398$

Nombre de Labo : 17	Simple	Double
Valeurs normales	si $G \leq 2,620$	si $G \geq 0,3822$
Valeurs isolées	si $2,620 < "G" \leq 2,894$	si $0,299 \leq G < 0,3822$
Valeurs aberrantes	si $"G" > 2,894$	si $G < 0,299$

3.2.3 - Conclusions :

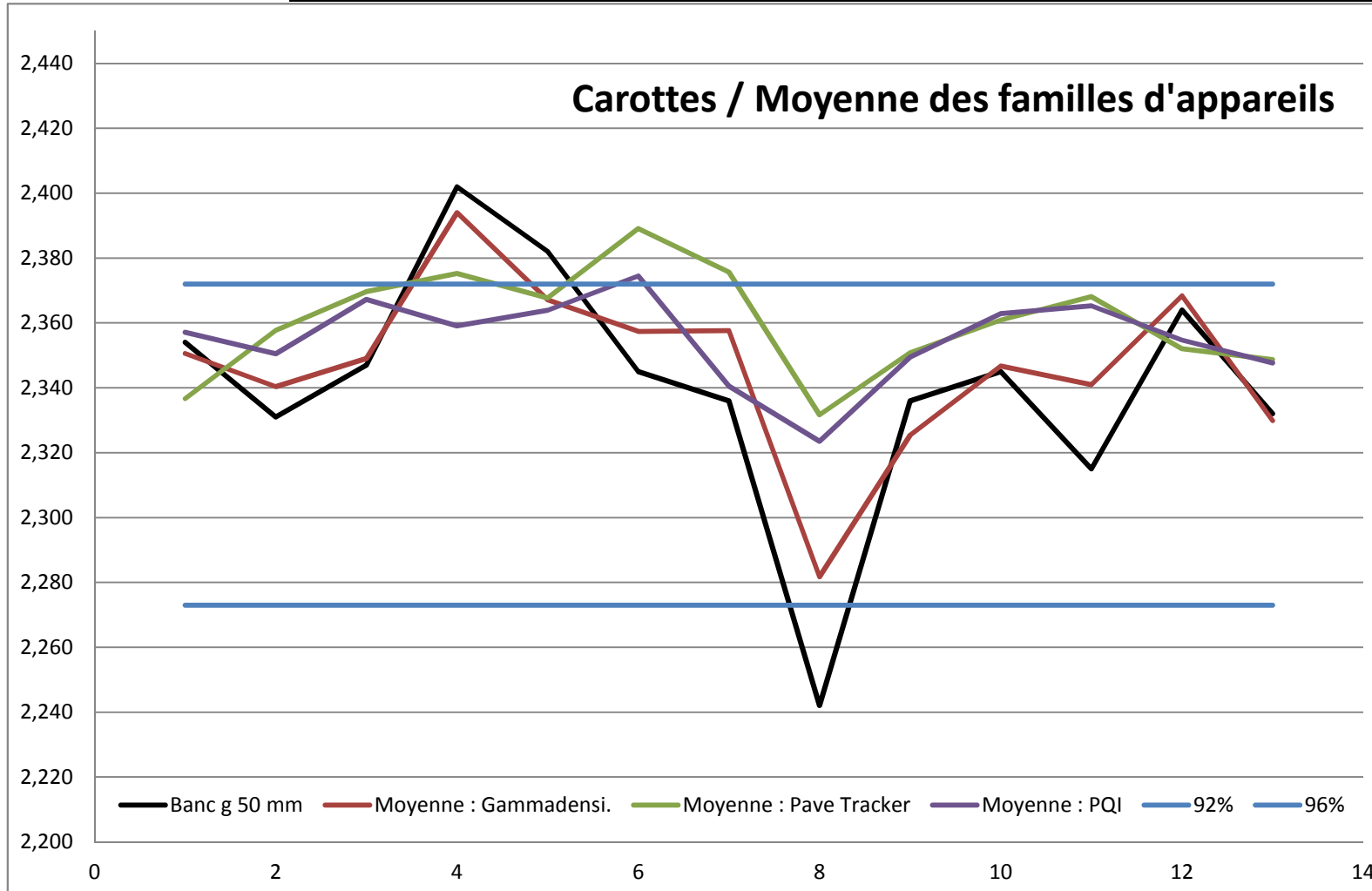
Essais concernés	Matériel(s) concerné(s) par:	
	Anomalie Grubbs	Anomalie Grubbs
1	GPV 3/8	
2	Pave Tracker 1	
7	PQI 3	
10	Pave Tracker 1 PQI 4	Troxler 2
	Valeur aberrante	Valeur isolée

Les tests appliqués sur les résultats interlaboratoires sont positifs pour les autres laboratoires. Leurs résultats sont cohérents.

3.3 - Interprétation graphique des mesures imposées

3.3.1 Carottes / Moyenne des familles d'appareils

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Moyenne
Banc γ 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
Moyenne : Gammadensi.	2,351	2,340	2,349	2,394	2,367	2,357	2,358	2,282	2,325	2,347	2,341	2,368	2,330	2,347
Moyenne : Pave Tracker	2,337	2,358	2,370	2,375	2,368	2,389	2,376	2,332	2,351	2,361	2,368	2,352	2,349	2,360
Moyenne : PQI	2,357	2,351	2,367	2,359	2,364	2,375	2,341	2,324	2,350	2,363	2,365	2,355	2,348	2,355



Commentaire :

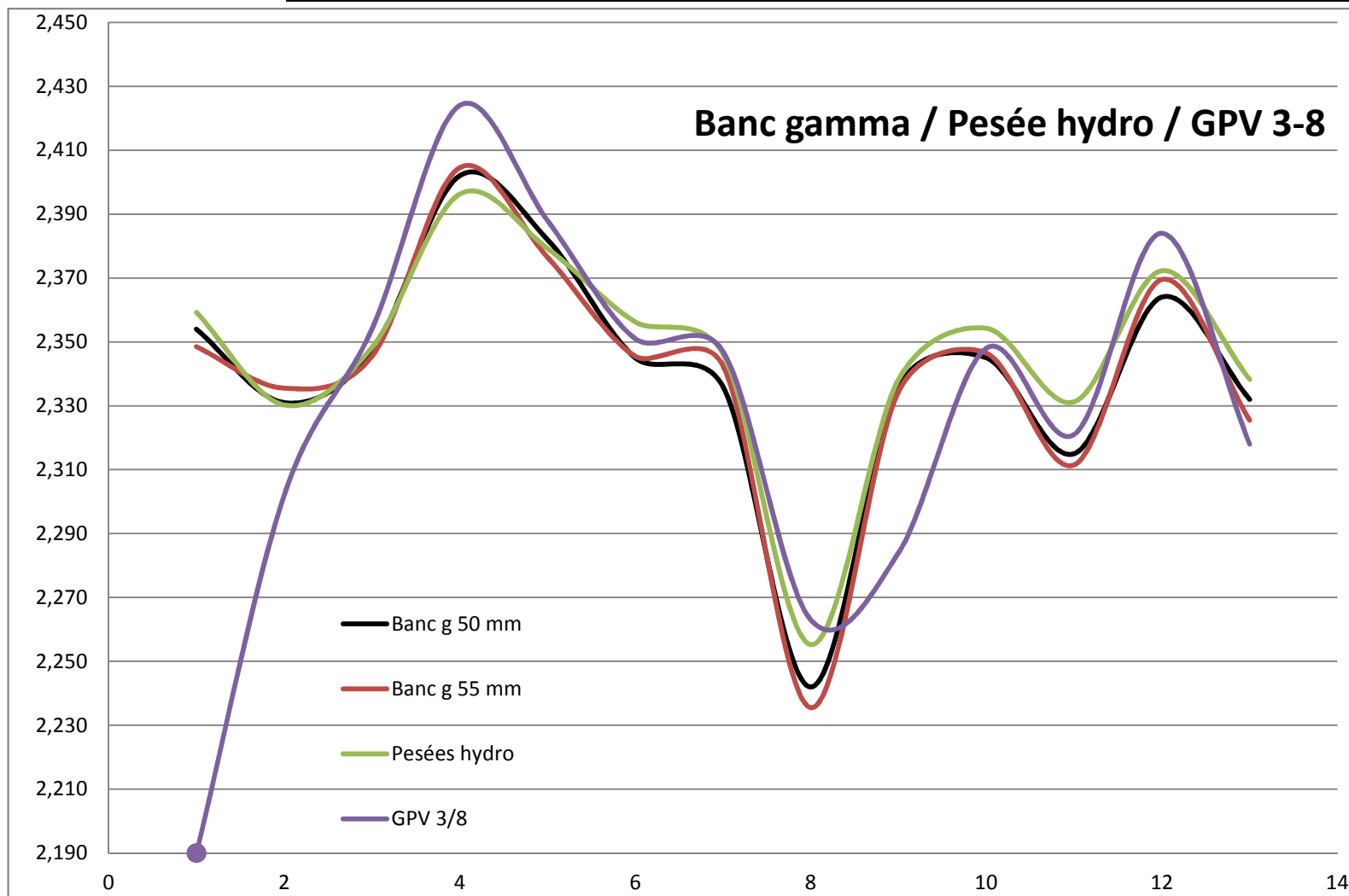
La moyenne des gammadensimètres suit la courbe des carottes.
 Les Pave Tracker et PQI écrasent les amplitudes de densité.

Les moyennes sont similaires (de 2,34 à 2,36)

3.3.2 Banc gamma / Pesée hydro / GPV 3-8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	moyenne :
Banc γ 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
Banc γ 55 mm	2,349	2,336	2,346	2,405	2,377	2,346	2,343	2,236	2,335	2,347	2,312	2,370	2,326	2,340
Pesées hydro	2,359	2,330	2,348	2,396	2,379	2,356	2,346	2,255	2,338	2,354	2,331	2,372	2,338	2,347
GPV 3/8	2,190	2,302	2,354	2,424	2,388	2,351	2,347	2,263	2,284	2,348	2,321	2,384	2,318	2,329

Banc γ 50 mm
 Banc γ 55 mm
 Pesées hydro
 GPV 3/8

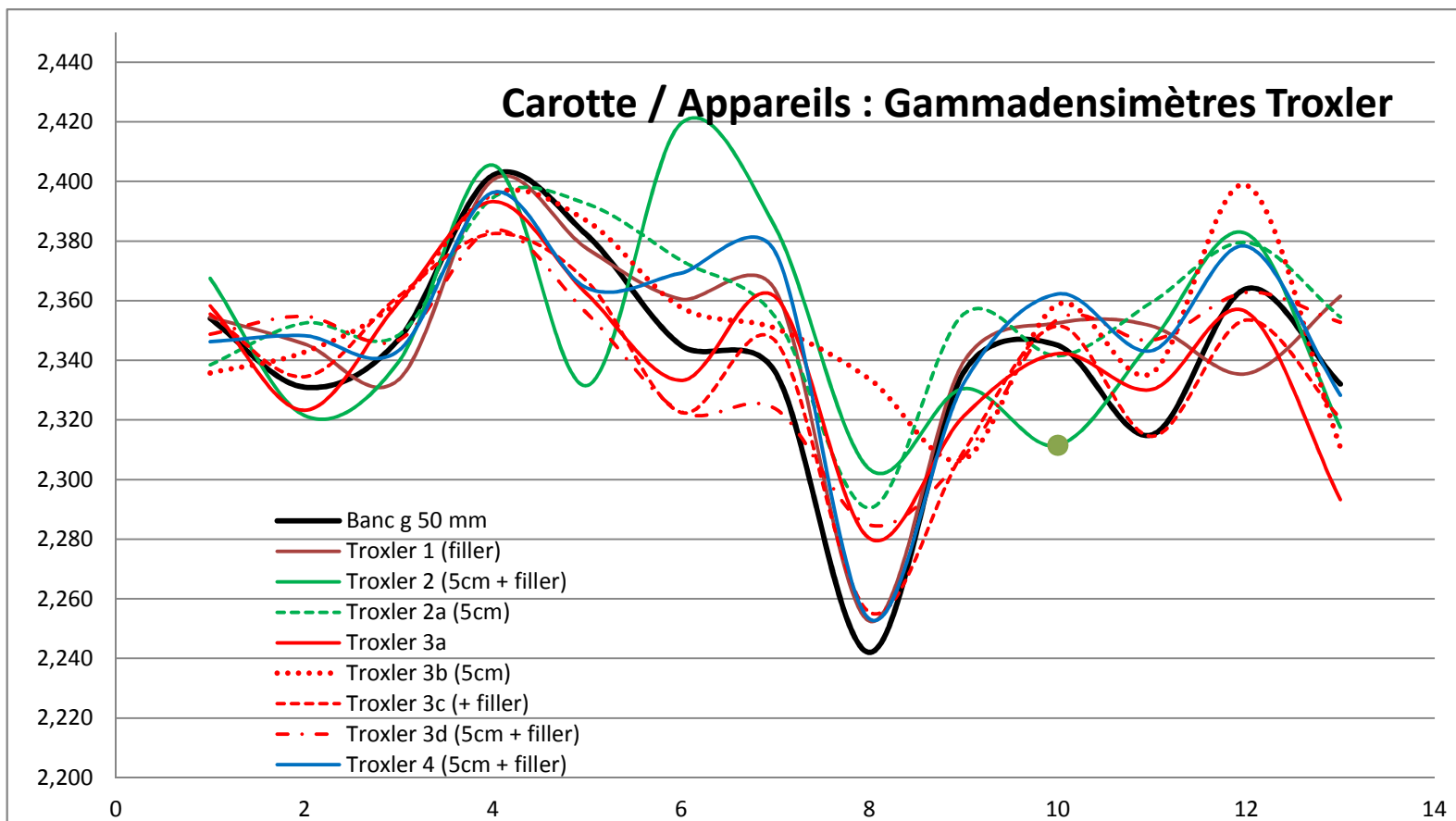


Commentaire :

Mis à part le point N° 1 du GPV, les résultats sont parfaitement similaires.

3.3.3 Carotte / Gammadensimètre

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	moyenne :
Banc γ 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
Troxler 1 (filler)	2,355	2,346	2,334	2,401	2,378	2,361	2,364	2,253	2,340	2,353	2,352	2,336	2,362	2,348
Troxler 2 (5cm + filler)	2,368	2,322	2,340	2,406	2,332	2,420	2,385	2,304	2,331	2,312	2,347	2,383	2,318	2,351
Troxler 2a (5cm)	2,339	2,353	2,349	2,395	2,393	2,374	2,355	2,291	2,356	2,342	2,360	2,380	2,355	2,357
Troxler 3a	2,358	2,323	2,359	2,393	2,362	2,333	2,361	2,280	2,321	2,342	2,330	2,356	2,293	2,340
Troxler 3b (5cm)	2,336	2,343	2,360	2,396	2,387	2,358	2,351	2,334	2,307	2,359	2,336	2,399	2,311	2,352
Troxler 3c (+ filler)	2,356	2,335	2,362	2,383	2,367	2,323	2,347	2,256	2,310	2,352	2,315	2,354	2,321	2,337
Troxler 3d (5cm + filler)	2,349	2,355	2,347	2,384	2,356	2,323	2,324	2,285	2,308	2,354	2,347	2,363	2,353	2,342
Troxler 4 (5cm + filler)	2,346	2,348	2,343	2,396	2,364	2,369	2,376	2,253	2,332	2,362	2,343	2,378	2,328	2,349



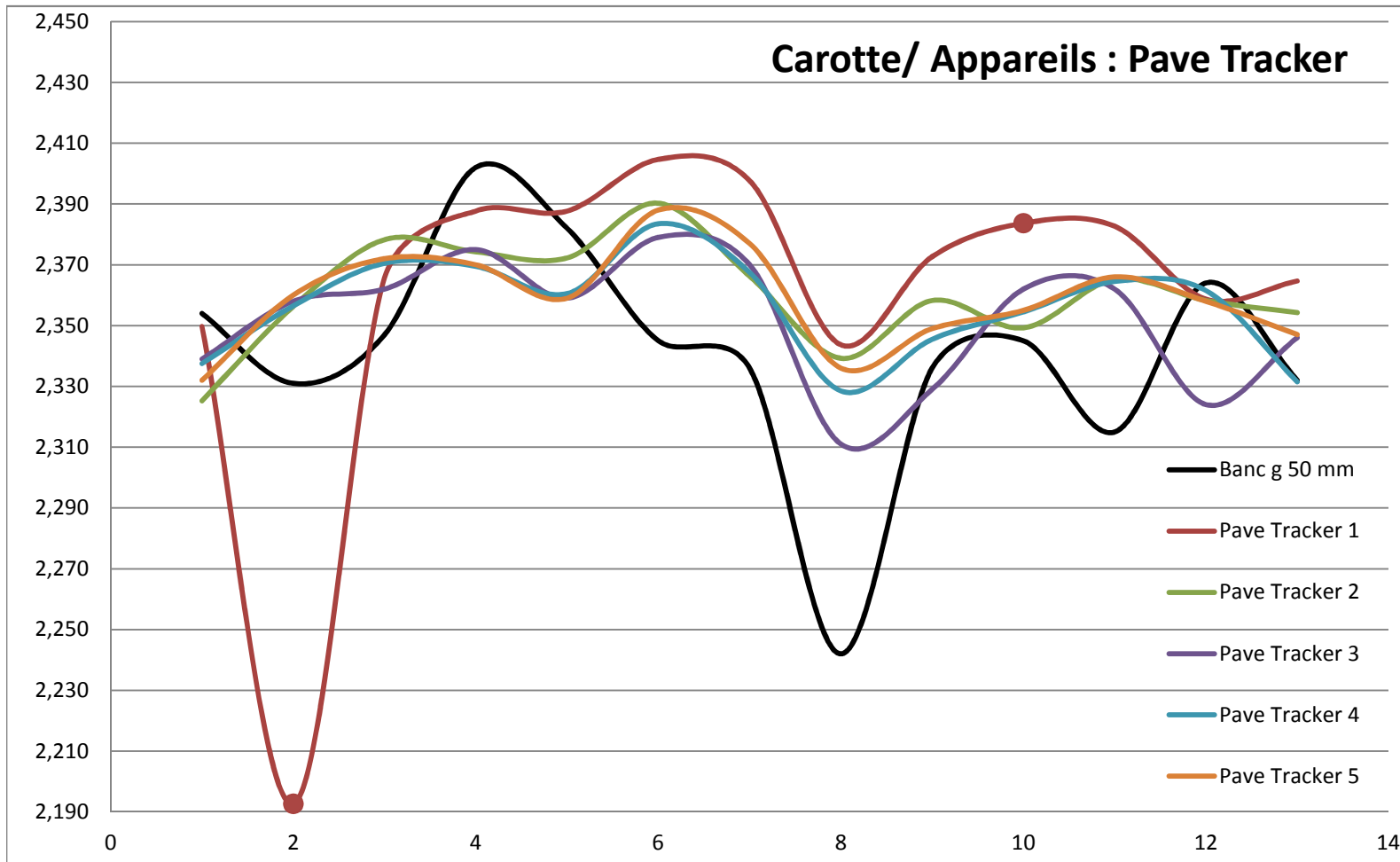
Commentaire :

Les gammadensimètres suivent la tendance des carottes.

Le troxler 2 présente une anomalie sur les points 5 et 6.

3.3.4 Carotte / Pave Tracker

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	moyenne :
Banc γ 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
Pave Tracker 1	2,350	2,193	2,366	2,388	2,388	2,405	2,398	2,344	2,373	2,384	2,383	2,359	2,365	2,361
Pave Tracker 2	2,325	2,356	2,378	2,374	2,372	2,390	2,366	2,339	2,358	2,349	2,365	2,358	2,354	2,361
Pave Tracker 3	2,339	2,358	2,362	2,375	2,359	2,379	2,370	2,311	2,329	2,362	2,362	2,324	2,346	2,352
Pave Tracker 4	2,338	2,357	2,371	2,370	2,361	2,384	2,368	2,329	2,346	2,355	2,365	2,362	2,332	2,356
Pave Tracker 5	2,332	2,360	2,372	2,370	2,359	2,388	2,377	2,336	2,349	2,355	2,366	2,358	2,347	2,359

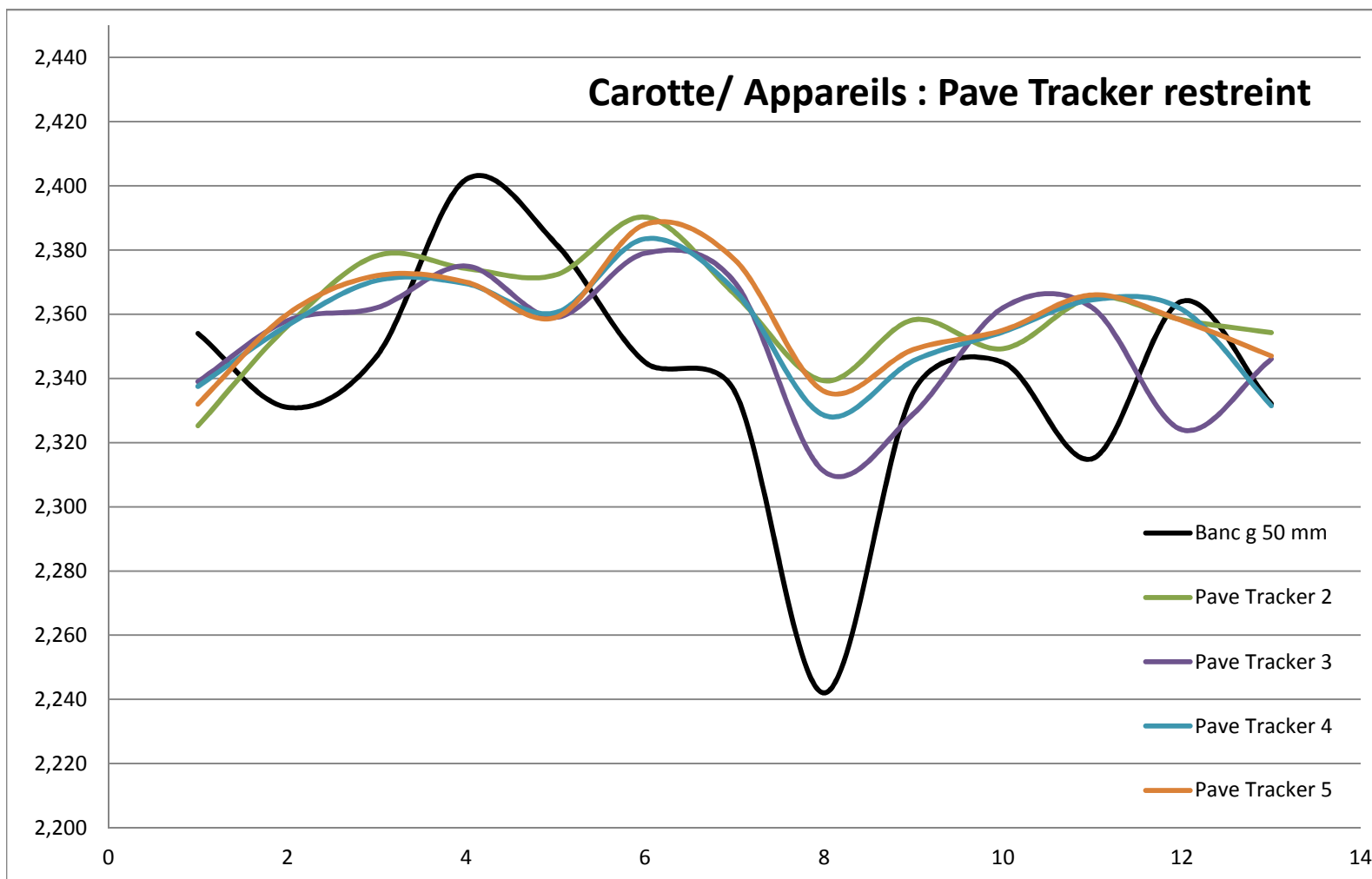


Commentaire :

Les Pave Tracker reflètent la tendance générale en écrasant fortement les extrêmes.

Le Pave tracker N°1 présente des anomalies, essais 2 et 10.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	moyenne :
Banc γ 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
Pave Tracker 2	2,325	2,356	2,378	2,374	2,372	2,390	2,366	2,339	2,358	2,349	2,365	2,358	2,354	2,361
Pave Tracker 3	2,339	2,358	2,362	2,375	2,359	2,379	2,370	2,311	2,329	2,362	2,362	2,324	2,346	2,352
Pave Tracker 4	2,338	2,357	2,371	2,370	2,361	2,384	2,368	2,329	2,346	2,355	2,365	2,362	2,332	2,356
Pave Tracker 5	2,332	2,360	2,372	2,370	2,359	2,388	2,377	2,336	2,349	2,355	2,366	2,358	2,347	2,359



Commentaire :

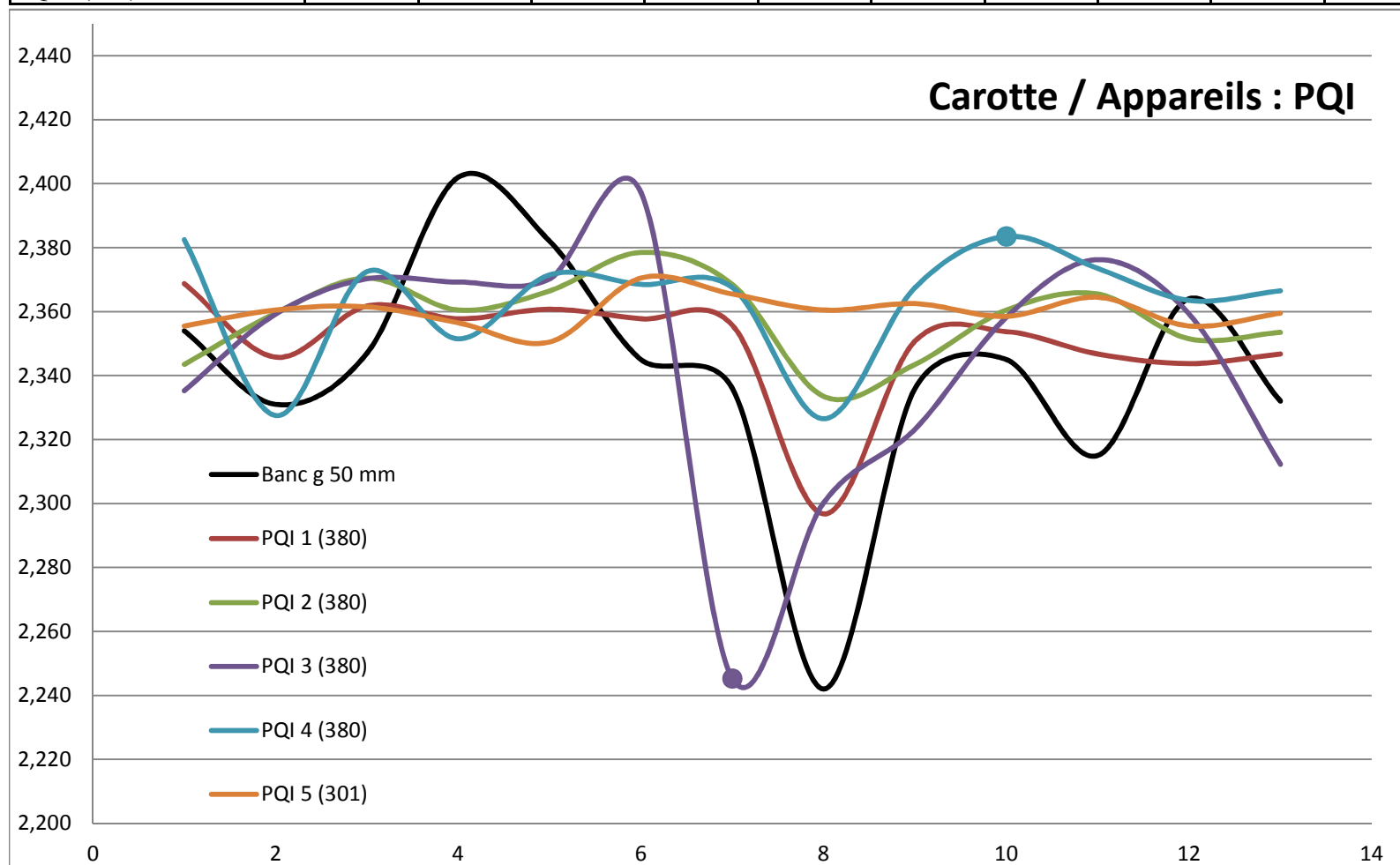
Les 4 Pave Tracker sont très similaires.

Ils écrasent fortement les variations de densité.

Les résultats deviennent homogènes !

3.3.4 Carotte / PQI

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	moenne :
Banc γ 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
PQI 1 (380)	2,369	2,346	2,362	2,358	2,361	2,358	2,356	2,297	2,351	2,354	2,347	2,344	2,347	2,350
PQI 2 (380)	2,344	2,360	2,371	2,361	2,367	2,379	2,369	2,334	2,344	2,361	2,366	2,352	2,354	2,358
PQI 3 (380)	2,335	2,359	2,370	2,369	2,370	2,397	2,245	2,300	2,323	2,358	2,376	2,359	2,312	2,344
PQI 4 (380)	2,383	2,328	2,373	2,352	2,372	2,369	2,368	2,327	2,368	2,384	2,374	2,364	2,367	2,363
PQI 5 (301)	2,356	2,361	2,362	2,357	2,351	2,371	2,366	2,361	2,363	2,359	2,365	2,356	2,360	2,360

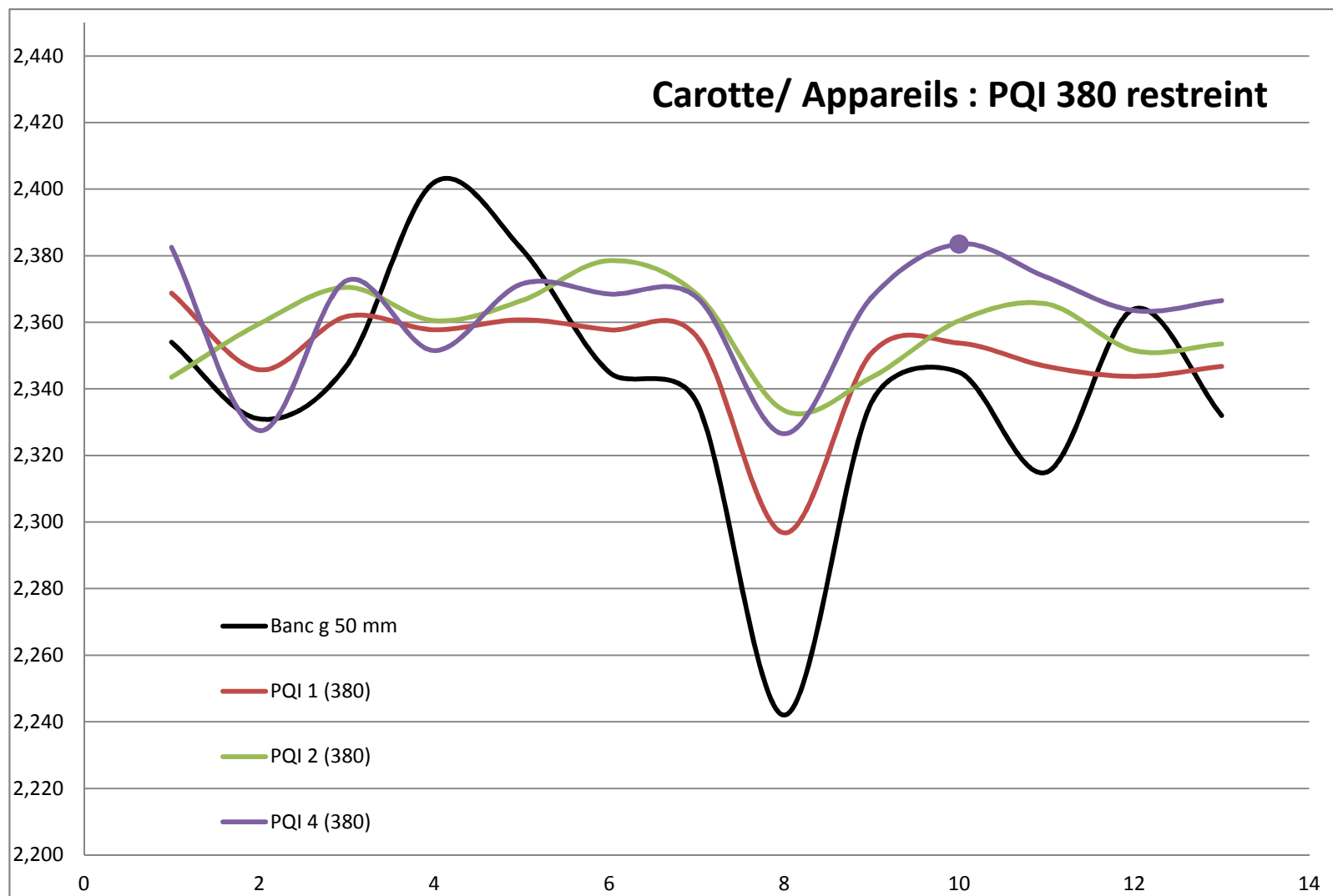


Commentaire :

Le PQI 5, type 301, présente très peu de variations.

Le PQI 3 semble «dcalé» par rapport aux autres appareils.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	moyenne :
Banc g 50 mm	2,354	2,331	2,347	2,402	2,382	2,345	2,336	2,242	2,336	2,345	2,315	2,364	2,332	2,341
PQI 1 (380)	2,369	2,346	2,362	2,358	2,361	2,358	2,356	2,297	2,351	2,354	2,347	2,344	2,347	2,350
PQI 2 (380)	2,344	2,360	2,371	2,361	2,367	2,379	2,369	2,334	2,344	2,361	2,366	2,352	2,354	2,358
PQI 4 (380)	2,383	2,328	2,373	2,352	2,372	2,369	2,368	2,327	2,368	2,384	2,374	2,364	2,367	2,363



Commentaire :

Les 3 PQI 380 sont assez similaires. Ils reflètent la tendance générale en écrasant fortement les extrêmes, comme les Pave Tracker.

Les résultats deviennent homogènes !

3.4 Synthèse des résultats :

→ Le banc gamma et le GPV sont parfaitement calés sur les résultats des pesées hydrostatiques.

En valeur absolue, la moyenne des écarts est de 9 Kg/m³ avec un écart type de 10 Kg/m³

→ Les gammadensimètres, après correction, suivent assez bien la tendance des carottes.

En valeur absolue, la moyenne des écarts est de 18 Kg/m³ avec un écart type de 16 Kg/m³

Attention, avec l'utilisation du filler la correction est négative.

→ Les Pave Tracker, après correction, lissent les variations de densité.

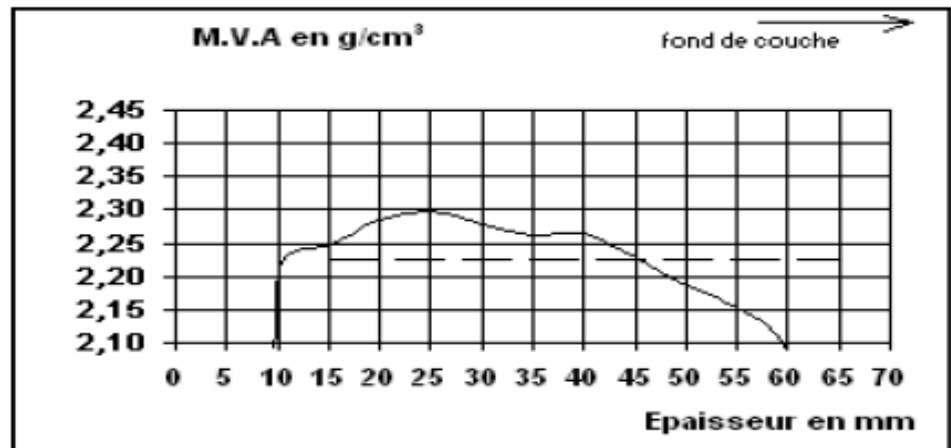
En valeur absolue, la moyenne des écarts est de 31 Kg/m³ avec un écart type de 23 Kg/m³

→ Les PQI, après correction, lissent les variations de densité.

En valeur absolue, la moyenne des écarts est de 29 Kg/m³ avec un écart type de 22 Kg/m³

Les courbes de résultats au banc gamma ont permis de détecter un gradient de densité important sur la carotte N° 8. La densité d'environ 2280 Kg/m³ sur les 4 premiers centimètres chute ensuite à 2100 Kg/m³ à 6 cm. (moyenne 2230) Les Pave Tracker et PQI effectuent des mesures de surface. (3 à 4 cm) Ils ne peuvent donc pas constater la chute de densité en partie inférieure.

Carotte n°:	G8
n° enregistrement :	15 4
Couche :	Iliaison
Technique	BBSG 0/10
MVA moyenne (g/cm ³)	2,23
MVA maximale (g/cm ³)	2,30
MVA minimale (g/cm ³)	2,08
Ecart-type	0,07
Compacité (%)	90,1
Épaisseur exploitée (mm)	55
Épaisseur de la couche (mm)	62



Ceci explique une partie de l'écart constaté sur la carotte N° 8.

Résultat de "surface" du banc gamma : 2280 KG/m³, résultat des pave Tracker et PQI 380 : 2320.

Les gammadensimètres (en rétrodiffusion) mesurent 5 à 6 cm selon le réglage et le model. Ils constatent mieux cette variation de densité.

Après une correction de type Offset, les densimètres électromagnétiques donnent une tendance mais la densité réelle reste celle des essais normalisés.

Une attention particulière doit être portée sur l'épaisseur de mesure réelle des appareils utilisés.

4 - Mesures sur la zone «libre»

4.1 Résultats corrigés

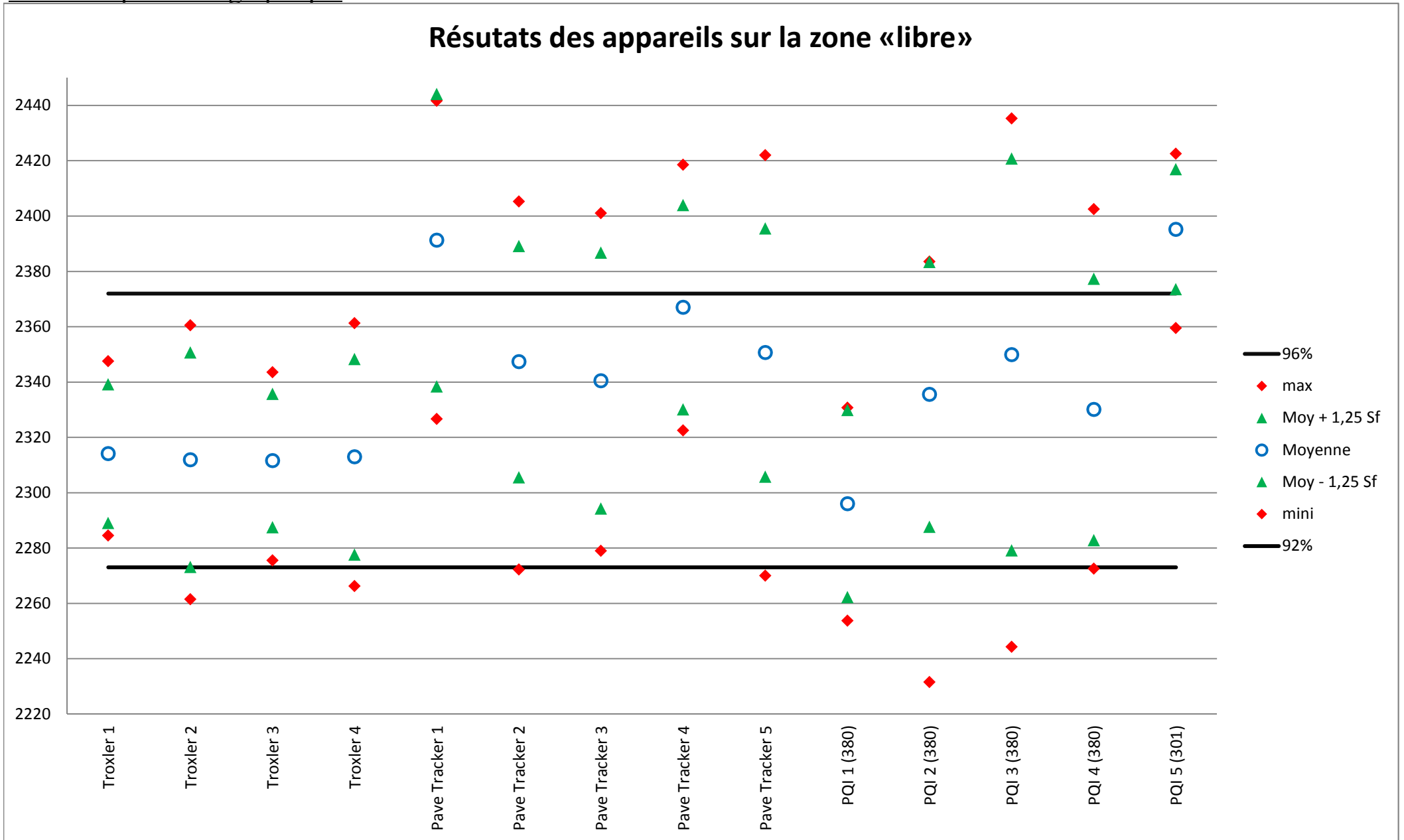
	Valeurs corrigées (avec la correction définie sur la première zone)																			
Troxler 1 (filler)	2,290	2,329	2,285	2,309	2,314	2,334	2,327	2,311	2,299	2,348										
Troxler 2 (5cm + filler)	2,305	2,306	2,308	2,343	2,289	2,325	2,361	2,262	2,281	2,344										
Troxler 3c (+ filler)	2,316	2,323	2,299	2,316	2,276	2,330	2,318	2,296	2,303	2,344										
Troxler 4 (5cm + filler)	2,324	2,301	2,302	2,341	2,310	2,334	2,307	2,266	2,281	2,361										
Pave Tracker 1	2,346	2,327	2,441	2,442	2,387	2,384	2,425	2,435	2,377	2,352										
Pave Tracker 2	2,378	2,388	2,358	2,338	2,324	2,272	2,405	2,296	2,338	2,358	2,318	2,358	2,348	2,368	2,348	2,328	2,378			
Pave Tracker 3	2,341	2,401	2,387	2,306	2,279	2,364	2,316	2,340	2,323	2,348										
Pave Tracker 4	2,419	2,397	2,400	2,395	2,323	2,393	2,343	2,365	2,324	2,393	2,330	2,360	2,350	2,349	2,334	2,390	2,350	2,388	2,380	
Pave Tracker 5	2,375	2,331	2,322	2,347	2,270	2,367	2,368	2,374	2,374	2,401	2,422	2,328	2,344	2,326	2,313	2,364	2,335			
PQI 1 (380)	2,275	2,291	2,325	2,331	2,304	2,267	2,254	2,280	2,309	2,327										
PQI 2 (380)	2,366	2,374	2,349	2,323	2,379	2,352	2,332	2,379	2,364	2,384	2,323	2,283	2,299	2,232	2,312	2,327	2,308	2,324	2,338	2,373
PQI 3 (380)	2,357	2,390	2,360	2,311	2,435	2,244	2,391	2,359	2,286	2,335	2,281	2,423	2,374							
PQI 4 (380)	2,273	2,315	2,289	2,329	2,357	2,314	2,392	2,316	2,377	2,278	2,349	2,339	2,293	2,315	2,331	2,350	2,403			
PQI 5 (301)	2,389	2,394	2,420	2,396	2,418	2,423	2,410	2,386	2,373	2,360	2,382	2,398	2,391	2,396	2,400					

	Moyenne	Sf : écart type	mini	max	Moy + 1,25 Sf	Moy - 1,25 Sf	Nb Val
Troxler 1	2314	20	2285	2348	2339	2289	10
Troxler 2	2312	31	2262	2361	2351	2273	10
Troxler 3	2312	19	2276	2344	2336	2288	10
Troxler 4	2313	28	2266	2361	2348	2278	10
Pave Tracker 1	2391	42	2327	2442	2444	2338	10
Pave Tracker 2	2347	33	2272	2405	2389	2306	17
Pave Tracker 3	2341	37	2279	2401	2387	2294	10
Pave Tracker 4	2367	30	2323	2419	2404	2330	19
Pave Tracker 5	2351	36	2270	2422	2396	2306	17
PQI 1 (380)	2296	27	2254	2331	2330	2262	10
PQI 2 (380)	2336	38	2232	2384	2383	2288	20
PQI 3 (380)	2350	57	2244	2435	2421	2279	13
PQI 4 (380)	2330	38	2273	2403	2377	2283	17
PQI 5 (301)	2395	17	2360	2423	2417	2374	15

Rappel :

Les emplacements et le nombre d'essais étaient laissés au choix des techniciens sur site.

4.2 - Interprétation graphique



* Les gammadensimètres Troxler ont effectués leurs mesures sur la même zone. (Utilisation du filler)

4.3 Conclusion

Gammadensimètre :

Les 4 gammadensimètres sont extrêmement homogènes.

Moyenne entre 2312 et 2314 Kg/m³ soit 93,6% de compacité pour tous. (Écart type entre 19 et 31)

La Reproductibilité des gammadensimètre est excellente. De plus, ils ont démontré en première partie leur cohérence avec les carottes.

Pave Tracker :

Les 4 Pave Tracker (après avoir écarté l'appareil N° 1) sont assez homogènes en moyenne. La densité moyenne est plus élevée et les résultats sont plus dispersés que ceux des gammadensimètres.

Moyenne entre 2341 et 2367 Kg/m³ soit une compacité entre 94,7% et 95,8%. (Écart type entre 30 et 37)

La Reproductibilité entre Pave Tracker est bonne (variation de 1,1% sur la compacité moyenne)

PQI :

Les 4 PQI 380 (sans le PQI 301) sont encore plus hétérogènes entre eux, avec des résultats dispersés pour chaque appareil. Mais la moyenne reste parfaitement cohérente avec les autres appareils.

Moyenne entre 2296 et 2350 Kg/m³ soit une compacité entre 92,9% et 95,1%. (Écart type entre 27 et 57)

La Reproductibilité est moins bonne (variation de 2,2% sur la compacité moyenne)

Pour tous les appareils, la dispersion des résultats peut être liée à l'hétérogénéité de la zone de mesure. Ce qui a été constaté sur la zone de mesures imposées.

Rappel : Point N° 4 à 2402 et point N° 8 à 2242 soit de 90,7 à 97,2% de compacité sur ce chantier.

5 - Bilan

Les gammadensimètres, après correction de type Offset, donnent des résultats très Reproductibles et cohérents vis-à-vis des carottes.

Les densimètres électromagnétiques sont plus dispersés et lissent les amplitudes de densité en place. Ce phénomène peut aussi être lié à l'épaisseur de mesure faible. Malgré tout, après correction la densité moyenne est représentative et le phénomène de gradient de densité sur une carotte n'a été observé qu'une fois (sur 13 échantillons).





Les densimètres électromagnétiques doivent être considérés comme des outils d'information fiable en moyenne, mais ne peuvent pas être utilisés comme des appareils de réception au sens de la NF P 98-150-1.

L'article 12.4.2.3 spécifie : « un lot est déclaré recevable si la proportion de valeurs mesurées situées en dehors de l'intervalle [Vi, Vs] est au plus de 1/20». L'article 12.4.2.4 impose «Toutes les valeurs de contrôle devront être dans l'intervalleVs + 2%, Vi - 2%».

Les densimètres permettent de traiter les valeurs moyennes (tableau 8 de la NF P 98-150-1) mais pas les valeurs individuelles.

Remarque liée à la métrologie :

Les différents appareils possèdent une plaque de référence permettant de réaliser un calage sur site. Le fabricant propose pour les Pave Tracker et les gammadensimètres un calibrage sur des blocs de référence (Polyéthylène, Granite et Calcaire). Les PQI n'ont pas de calibrage sur des blocs de référence.

Auteur :	Vérificateurs :		
Le chef de laboratoire du Mans	Le chef du laboratoire d'Alençon	Le chef de laboratoire de Rennes	Le technicien du CEREMA Saint Briec
			
F. RABILLER	J. JARRY	B. CHOLLET	T. LECORRE