

Projet National de recherche et développement

RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE

ESSAIS CROISES ASFA LIVRABLE DE SYNTHESE

Auteur(s) / Organisme(s) :

Yannick KEMPF – Cerema
Arnaud FEESER – Cerema
Damien LESBATS – Cerema
Nicolas GRIGNARD – Cerema
Sébastien WASNER – Cerema
Bruno JOLY – Technologies Nouvelles
Baptiste RADDE - Technologies Nouvelles
Frédéric SAGNIER – COLAS SA
Damien PILET – GINGER CEBTP
Tien-Sy N’GUYEN – DIAGWAY
Stéphane GEORGES - NEXTROAD

Thème de rattachement :

Thème 2 – Caractérisation de l’état des réseaux

DVDC/R/048D

LC/20/DVDC/122, LC/20/DVDC/123, LC/20/DVDC/124, LC/20/DVDC/125, LC/20/DVDC/126,
LC/20/DVDC/127

Novembre 2025

Site internet : www.dvdc.fr

Plateforme collaborative : www.omnispace.fr/dvdc

Président : Dominique JAUMARD

Directeurs : Christine LEROY et Simon POUGET

Gestion administrative et financière : IREX (www.irex.asso.fr), 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

Sommaire

Sommaire	3
1 Résumé	4
2 Introduction	5
3 LCMS et Indicateurs existants	5
3.1 Usages des LCMS au sein des SCA.....	5
3.2 Indicateurs existants	6
3.2.1 Indicateurs SCA	6
3.3 Autre indicateur utilisé dans ce rapport : l'IRI	6
4 Résultats des essais croisés ASFA.....	7
4.1 Conditions de réalisation	7
4.2 Méthodologie de comparaison mise en œuvre	8
4.2.1 Approche statistique	8
4.2.2 Choix des indicateurs statistiques	8
4.3 Analyse des résultats.....	10
4.3.1 Observations relatives aux conditions d'utilisation des appareils.....	10
4.3.2 Tendances phase 1	15
4.3.3 Tendances phase 2	20
4.3.4 Tendances phase 3	22
4.3.5 Conclusions phase 3	26
5 Synthèse	27
5.1 Démarche - Bienfaits et REX partagé	27
5.2 Cadrage commun	27
5.2.1 Respect des spécifications	27
5.2.2 Section commune	27
5.2.3 Labellisation	27
5.2.4 Classification	27
5.3 Conclusion	28

1 Résumé

Résumé en français

Ce rapport constitue la synthèse des essais croisés LCMS® réalisés en mars 2021 en collaboration avec l'ASFA. Ces essais, regroupant cinq opérateurs français, a donné lieu à 3 phases différentes d'exploitation des données : Une première phase sur la base d'une comparaison des descripteurs bruts, une deuxième phase en appliquant un nouveau mode d'exploitation surfacique des données, puis une troisième phase en appliquant le cahier des charges proposé par l'ASFA.

Cette expérimentation, une première en Europe, a constitué un formidable partage d'expérience et a permis de préciser à la fois la plus-value de cette technologie mais également les limites rencontrées dans l'organisation actuelle.

Ce travail a exposé les nombreuses pistes d'amélioration qui tendront à mieux utiliser les résultats produits par cette technologie et à fournir des indicateurs d'état de chaussées plus robustes et nécessaires au suivi de ces infrastructures routières stratégiques.

Abstract

This report summarizes the LCMS® cross-tests conducted in March 2021 in collaboration with ASFA. These tests, involving five French operators, resulted in three different phases of data exploitation: a first phase based on a comparison of raw descriptors, a second phase applying a new surface data exploitation method, and a third phase applying the specifications proposed by ASFA.

This experiment, a first in Europe, represented a tremendous opportunity to share experiences and clarified both the added value of this technology and the limitations encountered in the current organization.

This work outlined the numerous avenues for improvement that will aim to better utilize the results produced by this technology and provide more robust pavement condition indicators, necessary for monitoring this strategic road infrastructure.

2 Introduction

Le présent rapport a pour objectif de présenter une synthèse des essais croisés LCMS réalisés dans le cadre du projet DVDC.

Le but de ces essais croisés, initiés à la demande de l'ASFA, étaient de mieux connaître les capacités des LCMS en termes de performances et de mieux maîtriser les écarts potentiels entre différents appareils ou opérateurs.

Ces essais ont porté sur l'acquisition des données et sur l'analyse selon 3 modes d'exploitations différents constituant 3 phases distinctes :

- Une comparaison à partir de l'exploitation de données standards,
- Une comparaison en calculant les descripteurs élaborés dans le cadre du projet DVDC,
- Une comparaison à partir de l'application du cahier des charges ASFA.

Chaque phase a fait l'objet d'une analyse statistique détaillée réalisée par les services du Cerema.

Ce rapport présente :

- Le contexte spécifique de l'utilisation des LCMS pour les Sociétés Concessionnaires d'Autoroute afin de comprendre les enjeux et le niveau de résultat attendu,
- Les principales conclusions relatives à l'analyse synthétique des résultats et l'apport sur le volet métrologique de ces essais.

3 LCMS et Indicateurs existants

3.1 Usages des LCMS au sein des SCA

Depuis 2017 et de manière plus généralisée depuis 2020, le capteur Laser Crack Measurement System (LCMS®) est utilisé par les Sociétés Concessionnaires d'Autoroutes (SCA) pour analyser l'état des chaussées à grand rendement dans le but de fournir des informations permettant le calcul des indicateurs de performance précisés dans le cadre des contrats établis entre les concessionnaires et le concédant.

Ces résultats sont donc essentiels car ils participent à garantir que le niveau de service attendu est bien respecté tout au long du contrat et fournissent des informations importantes aux concessionnaires dans la mise en place de leurs programmes de travaux. Les données collectées doivent être conformes aux descripteurs précisés dans les contrats.

Si les LCMS offrent des caractéristiques techniques bien supérieures aux systèmes utilisés précédemment, il convient de s'assurer du niveau de performance de ces derniers, de s'assurer de la continuité des relevés dans le cas d'un changement d'opérateur, et d'analyser la dispersion éventuelle.

L'autre objectif est de s'appuyer sur ces essais pour définir un cadre méthodologique permettant de garantir des résultats homogènes d'un opérateur à l'autre à partir de capteurs de type « LCMS® » selon un cahier des charges ASFA adapté.

3.2 Indicateurs existants

De manière à mieux appréhender les résultats issus de ces essais croisés, il est intéressant de les relier aux indicateurs existants afin de pouvoir apprécier les conséquences d'écarts éventuels.

3.2.1 Indicateurs SCA

Deux indicateurs majeurs cadrent les contrats autoroutiers : l'IQRA pour le volet surface qui prend en compte les déformations (uni longitudinal NBO et orniérage) et l'adhérence (CFT et macrotexture), et l'ISTRU qui prend en compte les déformations et les dégradations.

3.3 Autre indicateur utilisé dans ce rapport : l'IRI

L'IRI (International Roughness Index) est un descripteur très présent à l'international. Il traduit le niveau d'uni longitudinal. Le tableau ci-dessous présente les niveaux attendus en fonction du type de réseau (Publication banque mondiale).

Figure 4.2. Matrice des seuils d'IRI

TRAFFIC Trafic journalier moyen (TJM)	IRI – Indice international d'uni (m/km)						
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	>12
0 - 4 999							
5 000 - 9 999	Très bon	Bon	Moyen	Mauvais	Très mauvais		
10 000 - 19 999							
> 20 000							

Source : Banque Mondiale.

Le tableau indique qu'un seuil compris entre 0 et 2 répond aux attentes dans le cas d'infrastructures recevant entre 10000 et 20000 VL /J.

4 Résultats des essais croisés ASFA

4.1 Conditions de réalisation

Les relevés ont été réalisés sur le réseau APRR en convoi le 24 mars 2021 sur 7 sections retenues en fonction des caractéristiques des CR.

Une section (n° 4) a été parcourue 3 fois pour permettre d'étudier la répétabilité des appareils.

Les températures et la surface de la chaussée étaient compatibles avec la réalisation de ce type d'essai.

Seul un évènement particulier (présence de paille provenant d'un camion) a pu perturber les mesures d'une planche pour un opérateur.

La version des logiciels d'acquisition de données était propre à chaque opérateur. Les paramètres d'acquisition (pas d'acquisition de 5 mm, gain automatique des caméras et temps d'exposition étaient identiques pour tous les opérateurs.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des sections mesurées

Planche	Type de revêtement	Nom route	Etat de la section	Longueur	Nombre de passage
1	BBSG	A5	Moyen à mauvais	10 km environ	1
2	BBTM	A5	Moyen à mauvais	10 km environ	1
3	BBTM	A31	Bon	10 km environ	1
4	BBTM	A31	Moyen	10 km environ	3
5	BBDr	A6	Bon	10 km environ	1
6	BBDr	A6	Moyen à mauvais	10 km environ	1
7	BBSG	A36	Bon	10 km environ	1

A ce stade, la notion de mauvais ou moyen est à relativiser compte tenu des exigences en termes de niveaux de services appliqués à des chaussées autoroutières.

Toute l'organisation des essais a été pensée pour positionner les opérateurs dans les mêmes conditions. Ces essais ont été réalisés en convoi et seules deux sections ont fait l'objet d'une reprise par deux opérateurs.

Tous les opérateurs ont utilisé la même version du logiciel d'exploitation des données (Road analyser version 4.57).

Dans l'appréciation des résultats, il convient de souligner que ces essais croisés sont dépendants de la qualité de la chaussée.

Certaines comparaisons peuvent être également limitées par la faible présence, voire l'absence, de telle ou telle pathologie.

4.2 Méthodologie de comparaison mise en œuvre

4.2.1 Approche statistique

Le Cerema s'est appuyé sur son expérience en exploitations statistiques (basée sur le pilotage d'essais croisés inter-laboratoire à l'échelle régionale ou nationale et sur la qualification de matériels).

L'analyse statistique est menée conformément à la norme NF ISO 5725-2 d'août 2020 relative à l'exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesures. Appliquée à des essais croisés, cette méthode permet de déterminer la répétabilité et la reproductibilité d'une série de résultats ainsi que d'exclure d'éventuelles valeurs aberrantes.

Deux phases essentielles ont permis de répondre aux besoins de l'analyse :

- La connaissance la plus fine du positionnement des données
 - Recalage par rapport à un début fixe
 - Utilisation des positions GPS
- Les comparaisons statistiques qui s'appuient sur :
 - Une analyse visuelle des valeurs aberrantes (tests de cohérence de Mandel ; par opérateur et par planche)
 - Une analyse des écarts aux tests calculatoires de valeurs aberrantes (par opérateur et par planche)
 - La détermination des indicateurs statistiques par planche et par niveau

Les résultats de l'ensemble des opérateurs sont analysés pour chaque descripteur agrégé retenu, en ayant préalablement recalé les données selon un référentiel linéaire commun.

4.2.2 Choix des indicateurs statistiques

Les indicateurs statistiques suivants déterminés pour chaque descripteur agrégé sont :

- La variance ;
- L'écart-type ;
- Les limite de répétabilité (r) ;
- Les limites de reproductibilité (R) ;
- Incertitude.

4.2.2.1.1 Limite de répétabilité – r

La limite de répétabilité représente l'écart maximum, avec un niveau de confiance de 95%, entre deux résultats, obtenus sur un même échantillon pour une même méthode, un même opérateur, un même appareil et sous un court espace de temps. Le calcul de cette valeur suppose que plusieurs résultats soient réalisés.

Parmi les planches auscultées, seule la planche 4 a été parcourue à plusieurs reprises par l'ensemble des opérateurs. Les conditions de répétabilité sont satisfaites pour cette planche. Les valeurs de limite de répétabilité sont robustes.

Il n'est en revanche pas possible de calculer cette valeur pour les autres planches.

4.2.2.1.2 Limite de reproductibilité - R

Une valeur de limite de reproductibilité R est proposée pour chaque planche auscultée.

Elle est déterminée à partir de la répétabilité et de la variance inter-opérateurs, elle-même exprimée à partir de la valeur de répétabilité.

La valeur de répétabilité ne peut être déterminée mathématiquement que pour la planche 4, seule planche ayant fait l'objet de tests de répétition. De ce fait, seule la valeur de limite de reproductibilité de la planche 4 peut être considérée comme robuste.

La répétabilité est retenue comme étant égale à zéro pour les autres planches ce qui a une incidence sur la valeur de reproductibilité. Cela conduit à donner une valeur de limites de reproductibilité pas nécessairement représentative. Elle est déterminée à partir de la variation entre les opérateurs sans tenir compte d'éventuelles irrégularités de l'appareil.

4.2.2.2 Recherche de relations fonctionnelles

La méthode statistique appliquée propose de rechercher l'existence d'une relation entre la justesse (limite de répétabilité et de reproductibilité) et le niveau moyen. Plusieurs modèles existent :

- Linéaire ;
- Affine ;
- Exponentielle ;
- Logarithmique inversée d'ordre 2.

La représentation affine, usuellement utilisée, a été retenue.

4.3 Analyse des résultats

4.3.1 Observations relatives aux conditions d'utilisation des appareils

Ce chapitre a pour objectif de montrer l'influence des conditions d'utilisation des appareils en lien avec leur installation et leur étalonnage.

Excepté pour le Cerema, les opérateurs ne peuvent intégrer des essais inter comparaisons dans leur processus de suivi métrologique.

Usuellement, les opérateurs sélectionnent des sections de route dites « planches tests » pour assurer ce suivi et observer d'éventuelles dérives.

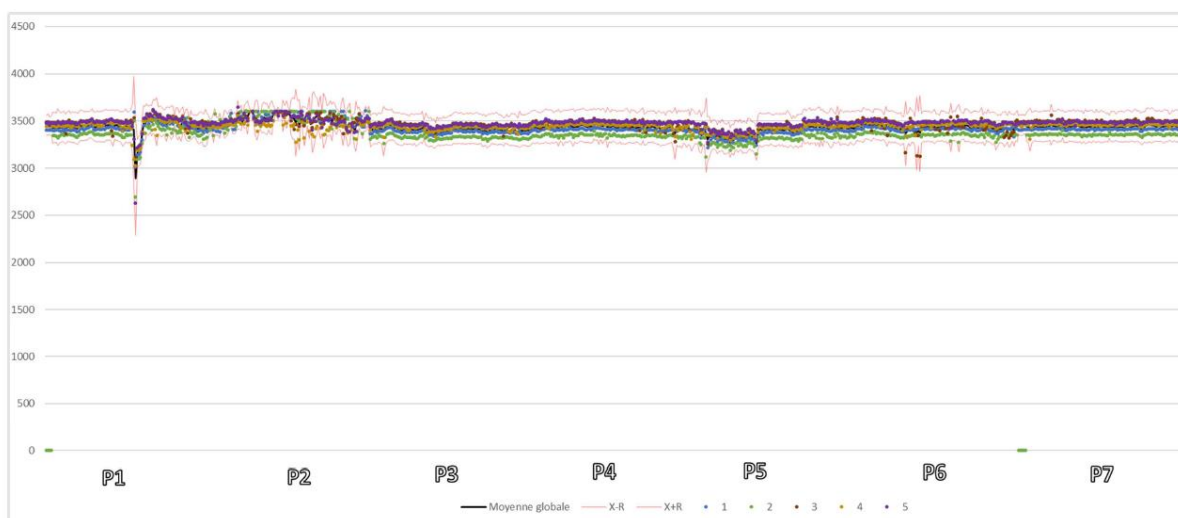
Ces essais croisés, qui constituent une première en Europe, ont permis de conduire ces inter comparaisons. Ils ont contribué à mettre en évidence de potentiels dysfonctionnements et de ce fait, ont été essentiels pour procéder à des corrections et faciliter les échanges avec la société Pavemetrics, fournisseur des LCMS®.

4.3.1.1 Installation

4.3.1.1.1 Largeur d'investigation

Le « Lanemark » correspond à la largeur mesurée entre les lignes de marquages (BAU, VM).

L'analyse des données « Lanemark » en phase 1 montre une forme de similarité entre les opérateurs. Il existe une forme d'écart constant sur la mesure de largeur de voie qui dépend de la hauteur d'installation du capteur.



A noter des fluctuations sur cette mesure sur la planche P2 car la mesure automatique de largeur peut être perturbée par la présence de fissures pontées.

4.3.1.1.1 Alignement des profils des capteurs

Pour appliquer la méthode française de calcul des ornières, les librairies Pavemetrics permettent d'aligner les deux profils acquis par les deux capteurs. Les librairies s'appuient sur les paramètres stockés pendant les phases d'étalonnage pour faire cet alignement.

La méthode ASTM effectue le calcul des ornières à partir de chaque profil (gauche et droite).

Les graphes ci-dessous qui présentent les résultats des profondeurs d'ornière droite selon les 2 méthodes de calcul (ASTM et Française) mettent en évidence un problème d'alignement des profils des capteurs droit et gauche pour un opérateur sur la planche 1 :

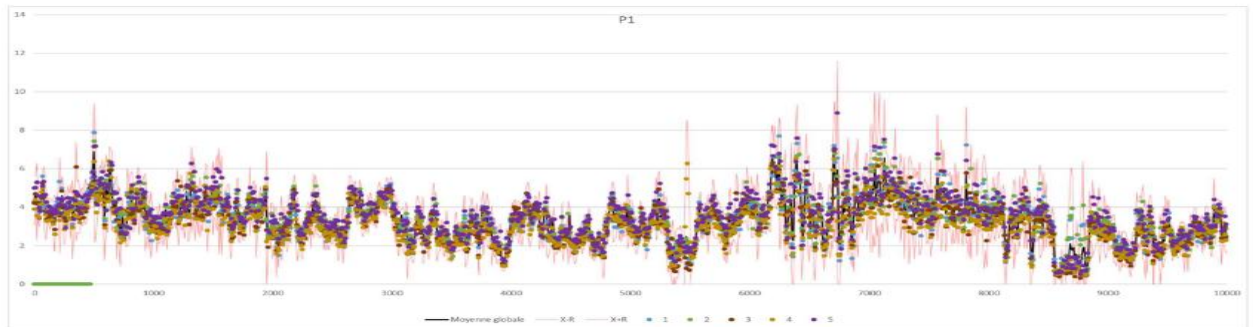


Figure 8 droite

Profondeur d'orniérage selon la méthode ASTM : Analyse capteur par capteur

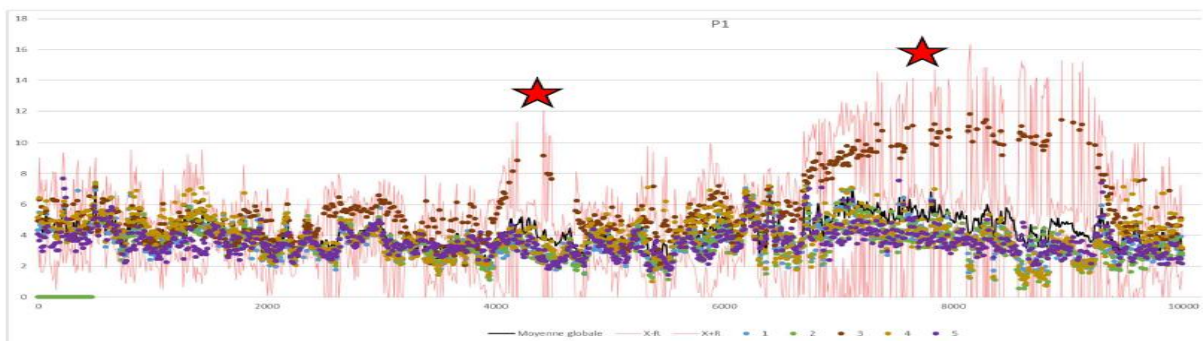


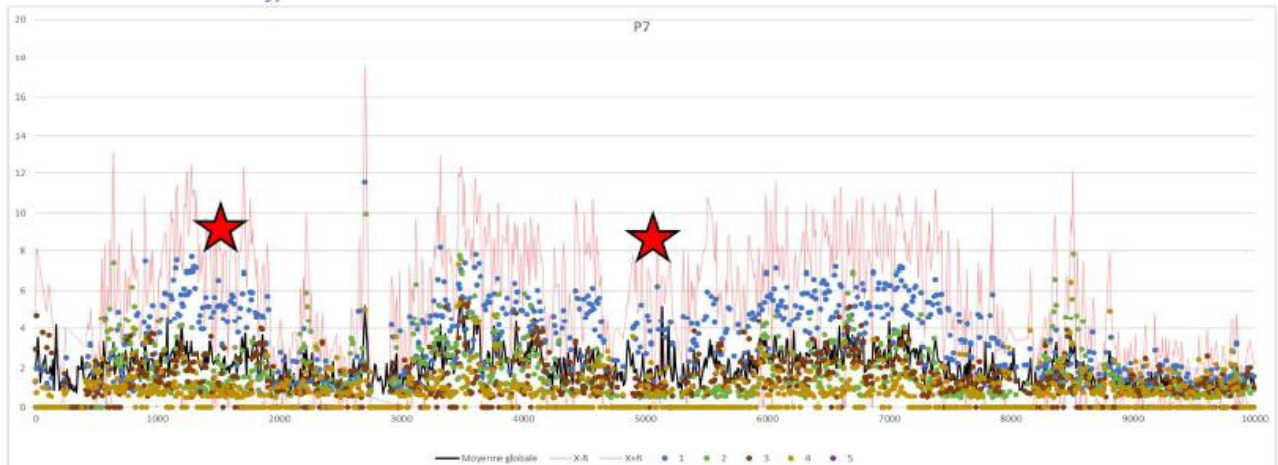
Figure 8 - Bande de roulement droite

Profondeur d'orniérage selon la méthode Française : Analyse après reconstitution d'un profil complet

4.3.1.2 Calibration de la géométrie

La mesure de hauteur d'eau dépend à la fois du niveau de déformation transversale et du calcul du dévers réalisé à partir des données de profil et soit de données provenant d'accéléromètres situés sur le capteur, soit fourni par une centrale inertielle.

La figure ci-dessous montre le décalage entre l'opérateur 1 et les autres opérateurs.



Peu d'écart sur la valeur d'ornière droite par exemple sur la même planche.

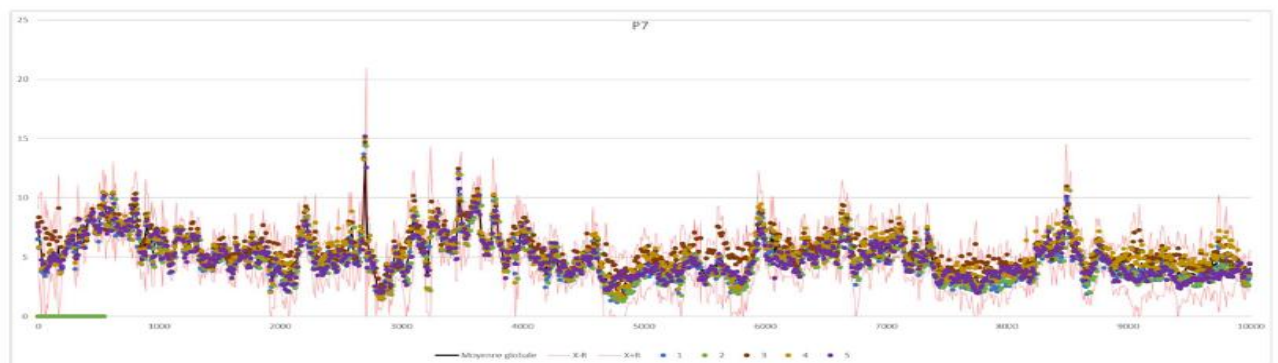


Figure 44 - Bande de roulement droite

Cet écart peut être le résultat d'un problème d'étalonnage de la centrale inertielle.

4.3.1.3 Calibration des lasers

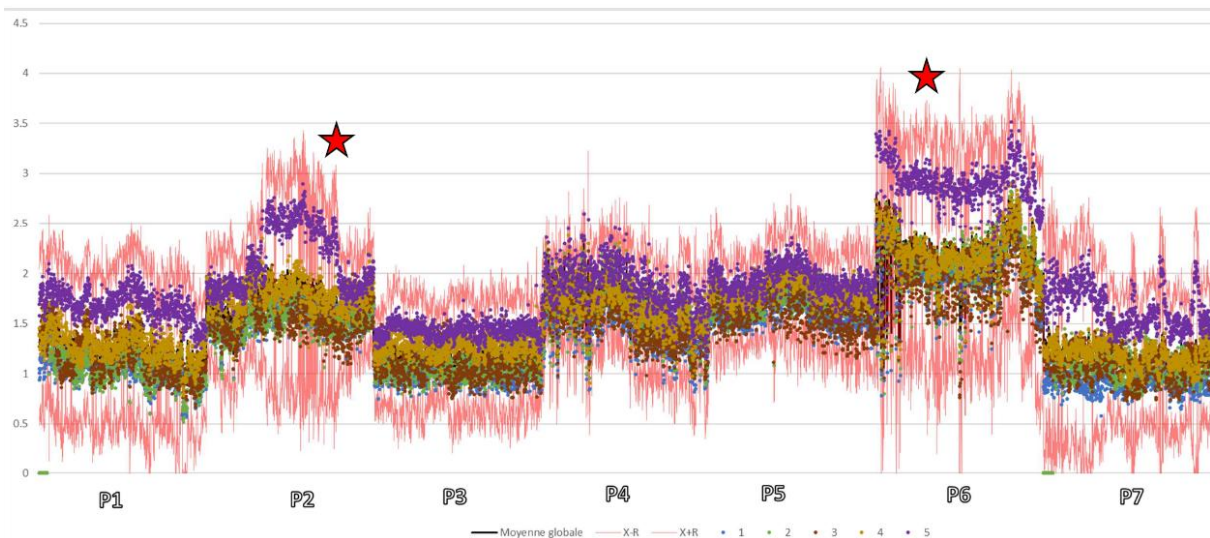
4.3.1.3.1 Précision du focus

Chaque capteur LCMS enregistre des profils grâce à l'utilisation d'une source laser.

Certaines mesures comme la macrotexture sont très sensibles à leur étalonnage d'usine

Le graphe ci-dessous permet de visualiser la mesure de la macrotexture sur l'ensemble des planches dans la bande de roulement droite.

L'opérateur 5 présente des niveaux supérieurs aux autres opérateurs pour la macrotexture en bande de roulement droite qui met en évidence un souci sur l'étalonnage du capteur



C'est le cas pour le capteur gauche pour un autre opérateur.

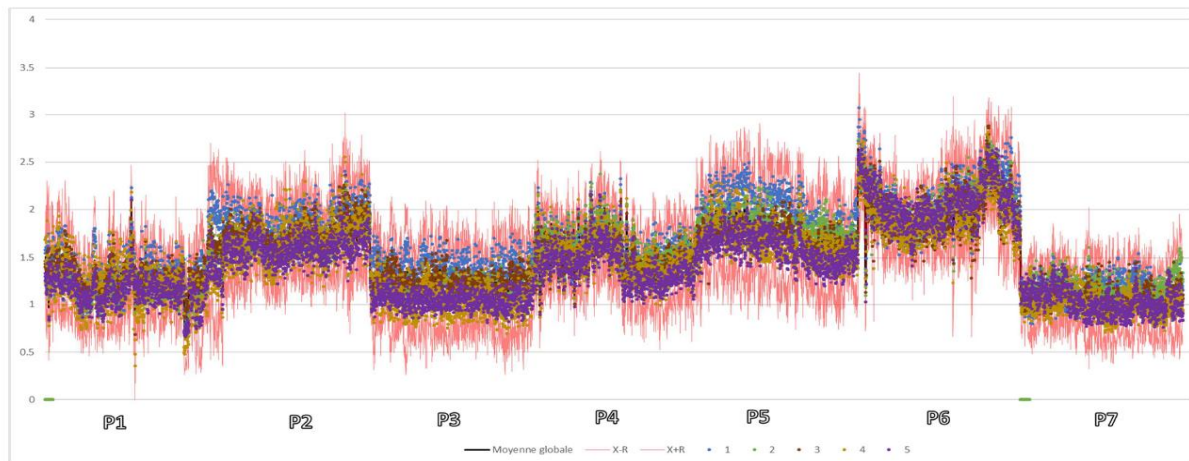


Figure 7: Bande de roulement gauche

La finesse du rayon a une influence directe sur la mesure de macrotexture.

De même que pour la macrotexture, la mesure des arrachements sur enrobés drainants peut présenter des écarts significatifs comme le montre la figure ci-dessous pour la planche 6.

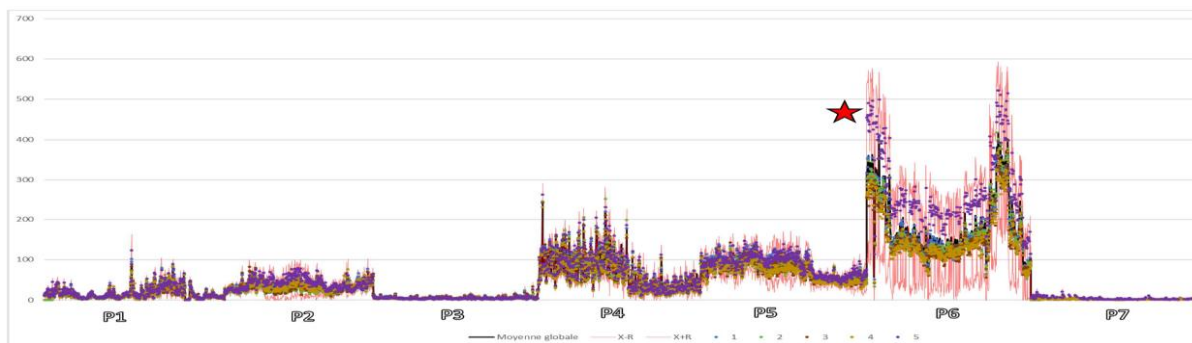


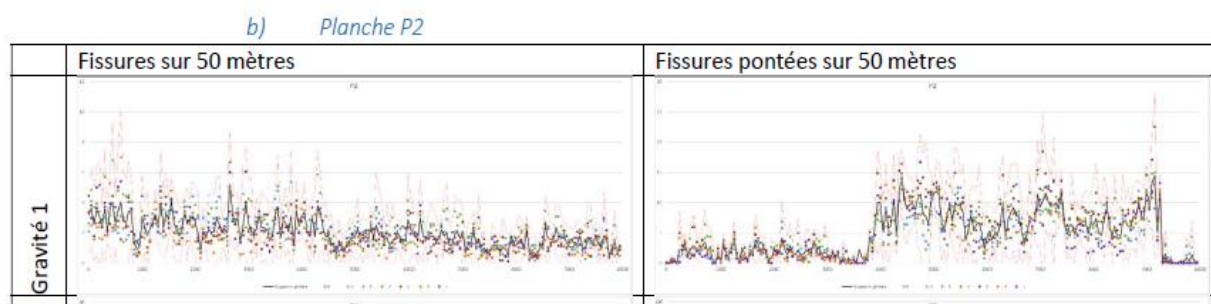
Figure 7 : Arrachements sur 20 mètres

La macrotexture est la mesure la plus sensible avec potentiellement des limites sur les revêtements drainants. Elle différencie bien les niveaux mais ne pourrait être utilisée pour de la réception de travaux.

4.3.1.3.2 Impact sur le relevé des fissures pontées, ressuage

Le niveau de réflexion des lasers est utilisé pour qualifier la présence de fissures pontées. Ces descripteurs ont été analysés dans la phase 2.

On remarque que les fluctuations sont plus importantes sur les fissures pontées que sur les fissures franches comme le montre la figure ci-dessous.



La détection de fissure pontée n'est pas à remettre en cause et les zones présentant cette pathologie sont bien mises en évidence. Il peut subsister des écarts sur les longueurs.

4.3.2 Tendances phase 1

La phase 1 a fait l'objet d'une analyse statistique (cf §4.2) du Cerema présentée dans le rapport « *DVDC_rapport_essais_croisés_LCMS_phase1* ».

La phase 1 correspond à la phase d'exploitation de données brutes issues de l'utilisation des bibliothèques fournies par Pavemetrics.

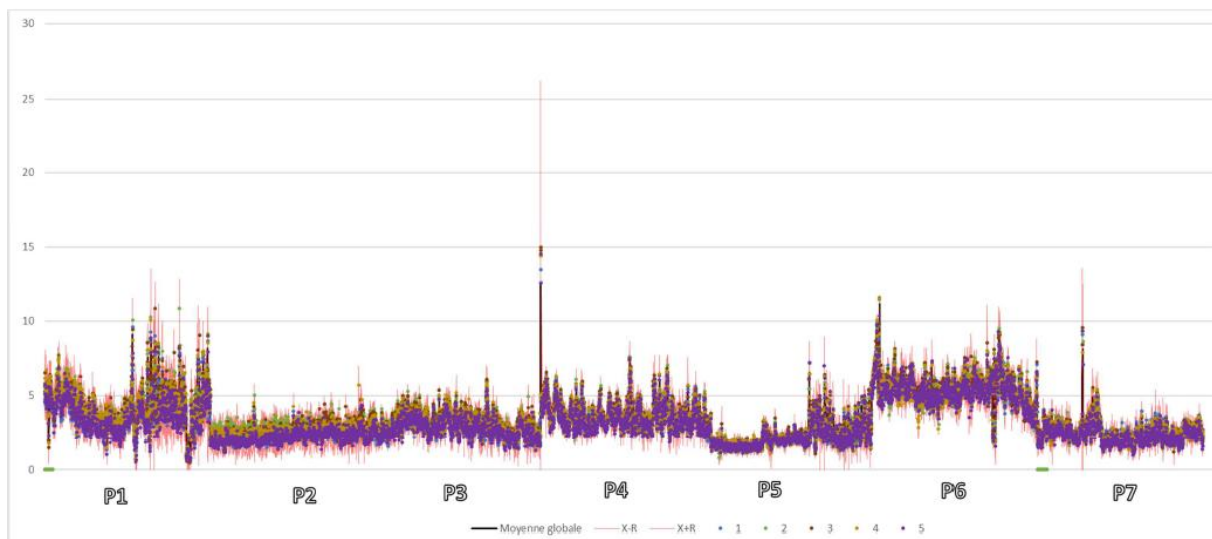
Pour tous les opérateurs, la version de RoadInspect utilisée pour le calcul des descripteurs était la v4.50.7.0.

4.3.2.1 Déformations

Pour l'analyse du niveau de performance des mesures de déformation, il faut distinguer les mesures de déformations du profil en travers et celles du profil en long.

4.3.2.1.1 Déformations transversales (Orniérage, Hauteur d'eau)

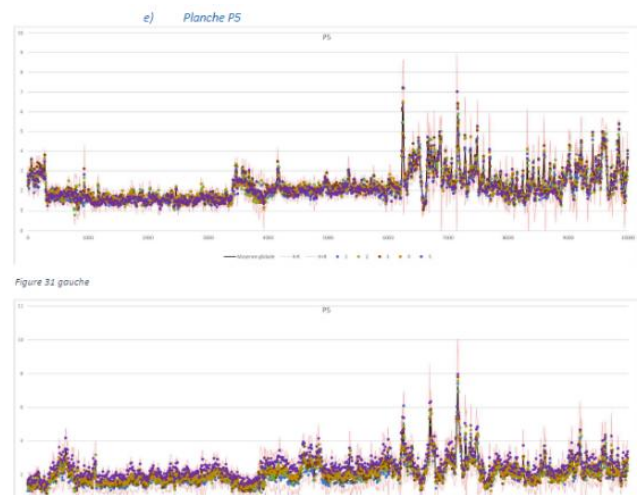
Sur l'ensemble des 7 planches, seules les planches n°1 et n°6 présentent un niveau d'orniérage sensible, autour de 5 mm moyen, qui correspond au premier seuil de gravité de l'indicateur IQRA.



Pour la présente analyse, et contrairement à la pratique usuelle, l'indicateur ASTM est l'indicateur pris en référence car il s'affranchit dans le calcul de l'orniérage, de l'alignement des 2 capteurs LCMS. L'écart maximal entre les moyennes des opérateurs est de 0,3 mm sur l'ornière gauche et de 0,5 mm sur l'ornière droite avec une différence d'écart type maxi de 0,1 mm sur ces deux grandeurs.

Les niveaux de répétabilité ou reproductibilité sont inférieurs à 1 mm.

La figure ci-contre montre les différentes zones retrouvées par tous les opérateurs y compris lors de fluctuations rapides comme sur la planche 5.



Il en est de même pour le calcul des largeurs d'ornières comme le démontre la figure ci-dessous sur la planche 6 pour les caractéristiques de la bande de roulement gauche et de la bande de roulement droite. :

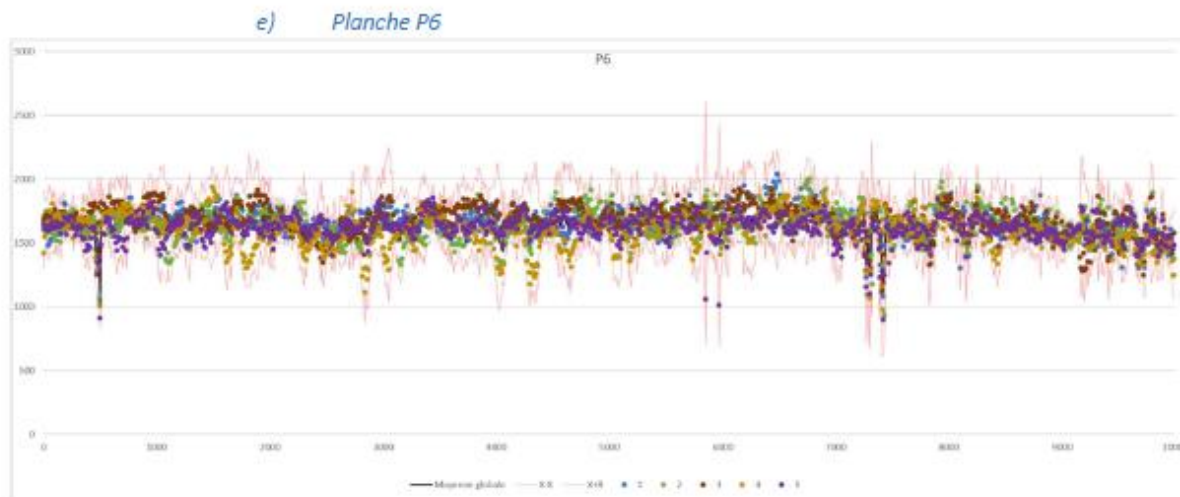
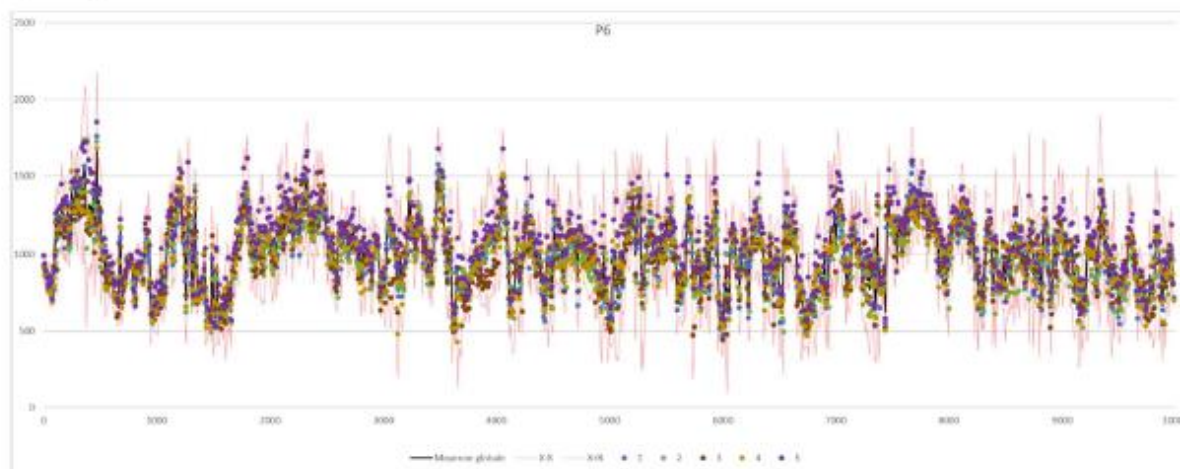


Figure 37 gauche

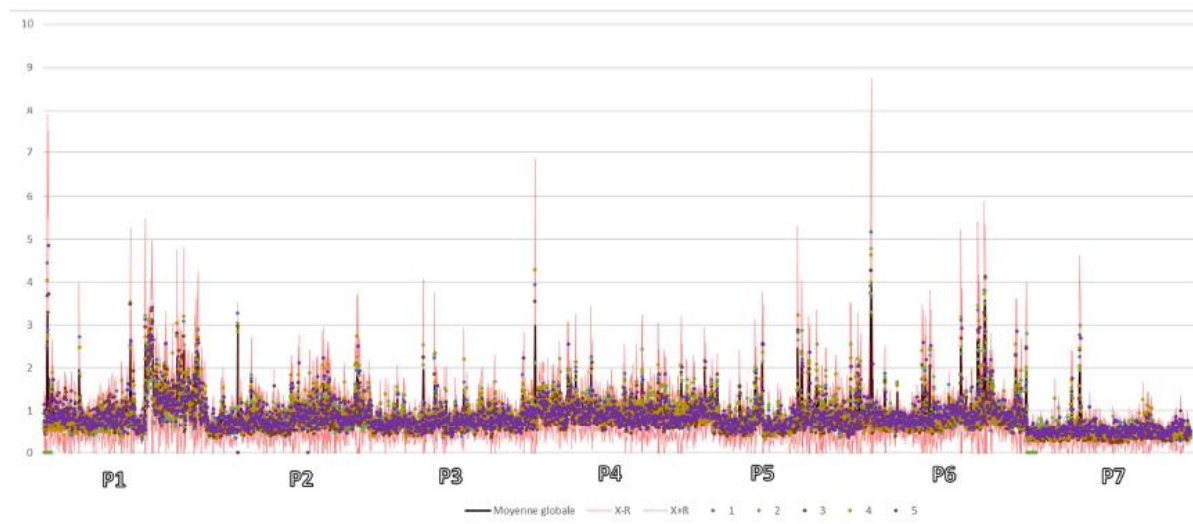


Pour mémoire, les seuils de 600 mm ou 800 mm sont appliqués pour distinguer les ornières à petit rayon et grand rayon.

4.3.2.1.2 Déformations longitudinales

Le niveau de déformation longitudinal des 7 sections ne permet pas d'analyse approfondie selon une approche de type NBO (Notation en bandes d'ondes) parce que le niveau de déformation longitudinale était très faible.

Pour ces faibles niveaux, Il est intéressant de regarder comment se distribue les niveaux d'IRI sur des planches comme la planche 7. Le niveau moyen mesuré est de 0,5 m/km correspondant à des niveaux excellents sont bien mis en évidence quel que soit l'opérateur.

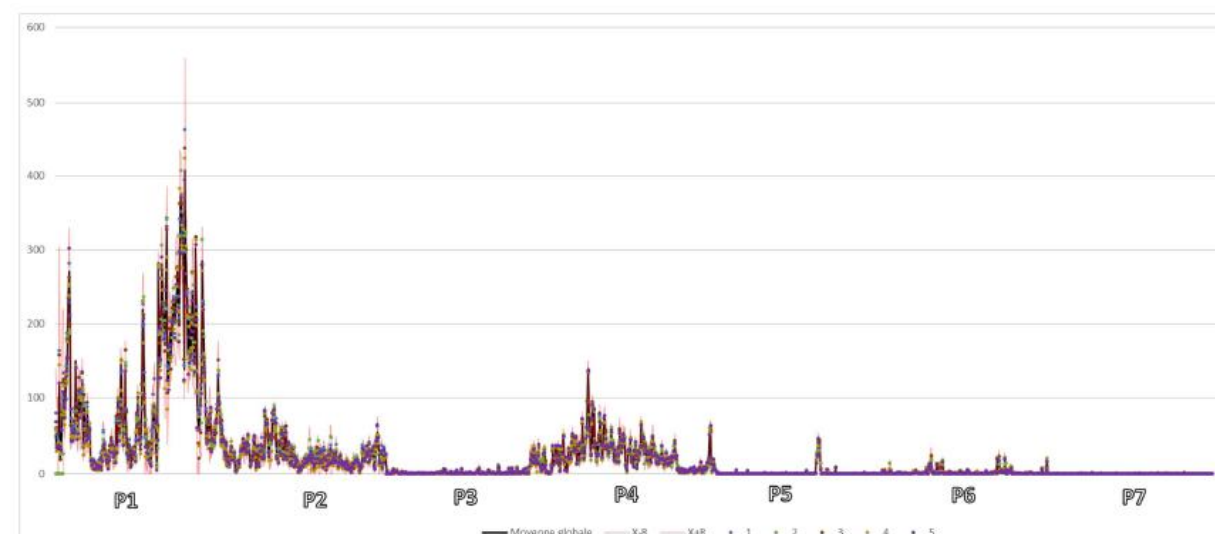


Les défauts perçus ne correspondent qu'à des défauts localisés (joints de tapis ou joint d'ouvrage).

Les valeurs mesurées sont en phase avec la matrice des seuils d'IRI présentée au paragraphe 3.2.1 proposée par la banque mondiale.

4.3.2.2 Dégradations

4.3.2.2.1 Fissuration



Les planches sont globalement peu fissurées. Sur la planche 1, la plus endommagée, les niveaux moyens sont similaires avec un suivi cohérent des tendances.

Il y a un peu plus de dispersion lorsque les niveaux augmentent.

4.3.2.2.2 Arrachements

La notion d'arrachement dans le cas présent correspond à des départs de granulats tel que défini par le descripteur « Raveling Index » (RI) fourni par Pavemetrics.

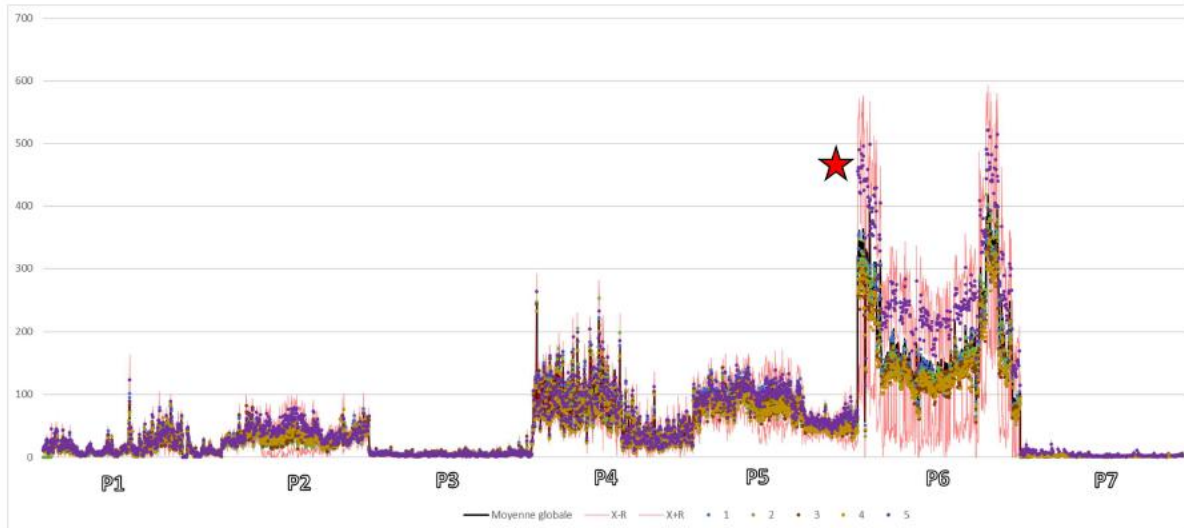


Figure 7 : Arrachements sur 20 mètres

Les tendances se suivent globalement excepté pour la planche 6. Sur cette planche, un opérateur est en décalage avec la moyenne.

Les plus grandes dispersions sont observées sur la planche 4 dont les couches de roulement sont en BB Drainants. Cependant, deux sections sont bien différenciées par tous les opérateurs.

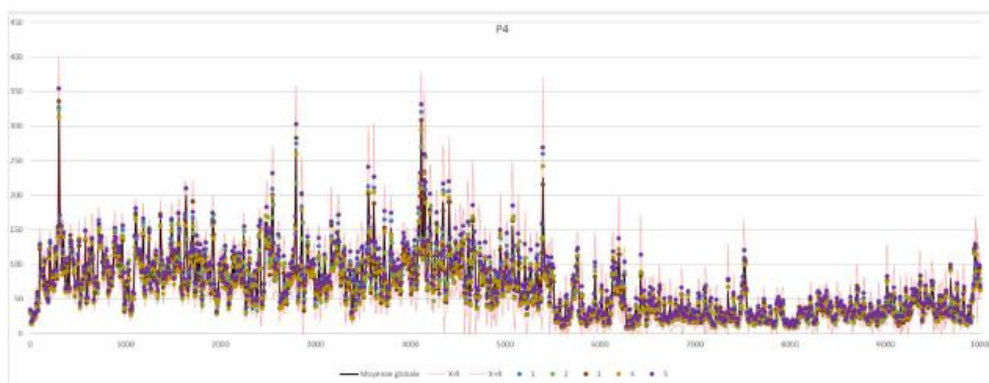
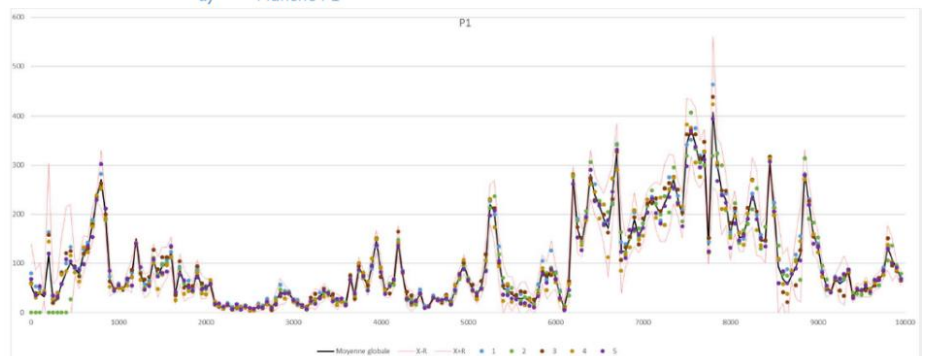


Figure 38 : Arrachements sur 10 mètres

Les planches 3 et 7 sur les sections dites en bon état sont bien mises en évidence.

a) Planche P1



4.3.2.2.3 Nids de poule

Compte tenu de la typologie des sections, il est difficile de faire une analyse sur cette pathologie.

Cependant, la nature des informations 3D collectées par le LCMS présentent de sérieuses garanties quant à leur détection et leur description physique (diamètre, profondeur).

4.3.2.3 Macrotexture

4.3.2.3.1 Mean Texture Depth (Equivalent PMT : Méthode volumétrique)

En prenant en compte la section 4 sur laquelle la répétabilité a pu être évaluée, la figure ci-dessous montre la bonne cohérence des valeurs mesurées **en axe** (répétabilité de 0,1 mm et reproductibilité de 0,1 mm).

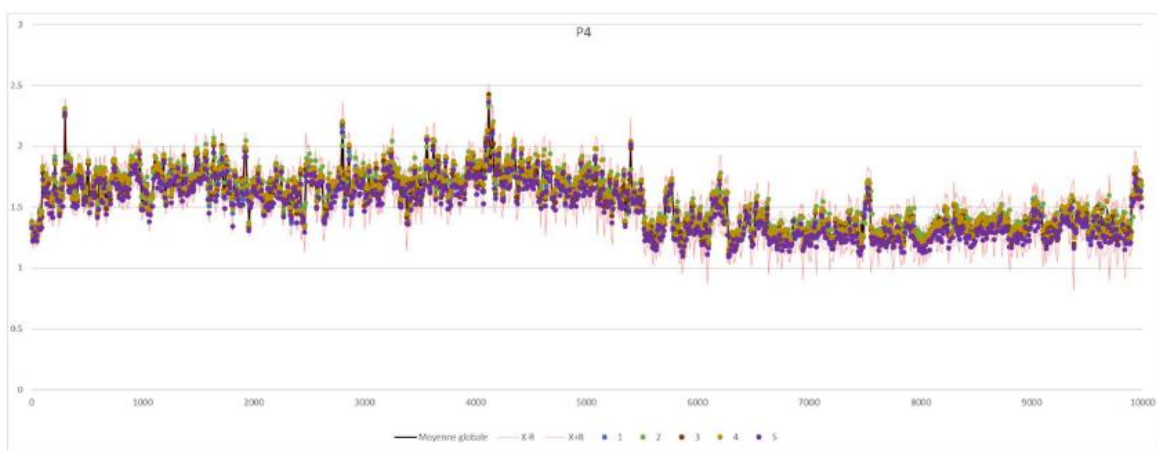


Figure 38 : Axe

Sur la **bande de roulement gauche** la reproductibilité est de 0,3 mm ce qui est relativement important.

Sur la **bande de roulement de droite** comme le montre la figure ci-dessous, la reproductibilité de 0,6 mm, ce qui est très important.

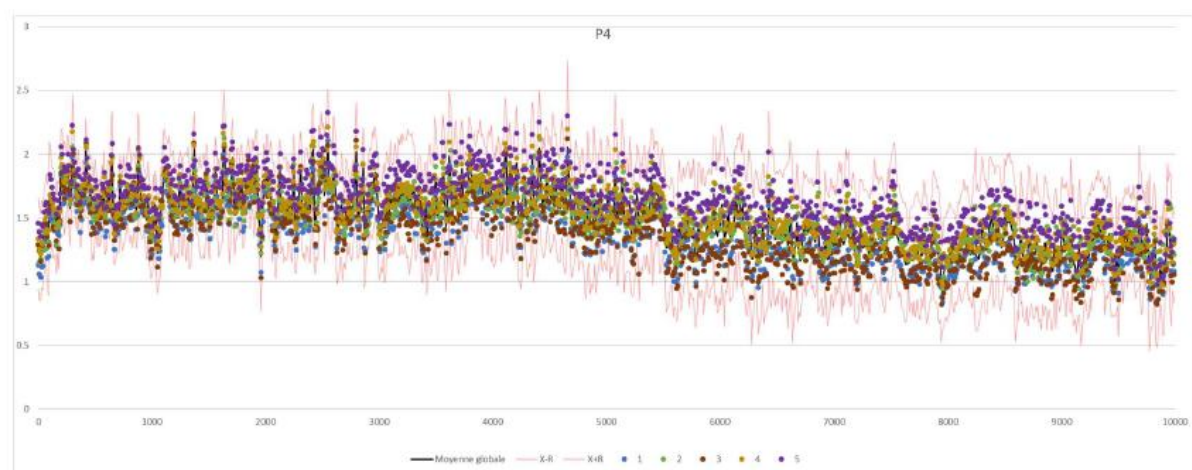


Figure 39 : Bande de roulement droite

Cette mesure montre l'impact des réglages des lasers (réglage d'usine), réglages propres à chaque capteur.

4.3.2.3.2 Mean Profile Depth (Equivalent PMP)

Les observations sont similaires pour le MPD avec des variations plus soutenues sur la bande de roulement droite.

4.3.3 Tendances phase 2

La phase 2 a fait l'objet d'une analyse statistique (cf §4.2) du Cerema présentée dans le rapport « *DVDC_rapport_essais_croisés_LCMS_phase2* ».

Sur cette phase, les mêmes traitements ont été appliqués sur les données brutes pour disposer d'une lecture surfacique des dégradations en application de la méthodologie d'exploitation développée dans le cadre du projet DVDC.

Les départs de matériaux et la fissuration ont été analysés, le but étant d'évaluer les surfaces impactées en fonction du niveau de gravité sur ces deux pathologies.

4.3.3.1 Fissuration

Le tableau ci-dessous caractérisant la planche 1 est une bonne représentation des résultats obtenus entre opérateurs sur la fissuration et la fissuration pontée :

Descripteurs (moy / 50 m)	Opérateur 1		Opérateur 2		Opérateur 3		Opérateur 4		Opérateur 5		Moyenne	(r) / R
Planche 1	Non pontée	Pontée	Non pontée	Pontée	Non pontée	Pontée	Non pontée	Pontée	Non pontée	Pontée	Non pontée	Non pontée
Fissuration Gravité 1 (m)	10,5	0,7	9,8	0,8	9,8	0,8	8,7	0,9	10,1	0,5	9,8	4,1
Surface fissuration Gravité 1 (m²)	5,9	0,4	5,4	0,4	5,4	0,4	4,9	0,4	5,5	0,2	5,4	2,1
Fissuration Gravité 2 (m)	65,8	2,8	64,7	3,0	64,8	3,0	60,5	2,7	61,2	1,5	62,8	16,5
Surface fissuration Gravité 2 (m²)	18,2	0,7	17,9	0,7	17,9	0,7	16,8	0,6	16,6	0,4	17,5	4,1
Fissuration Gravité 3 (m)	5,8	0,0	5,6	0,0	5,7	0,0	5,1	0,0	4,9	0,0	5,3	3,8
Surface fissuration Gravité 3 (m²)	0,9	0,0	0,9	0,0	1,0	0,0	0,9	0,0	0,8	0,0	0,9	0,6
Fissuration Gravité 4 (m)	20,6	0,0	19,8	0,0	21,0	0,0	19,6	0,0	18,8	0,0	20,0	9,2
Surface fissuration Gravité 4 (m²)	2,0	0,0	1,9	0,0	2,0	0,0	1,9	0,0	1,8	0,0	1,9	0,9
Fissuration Longitudinale (m)	74,8	3,4	73,5	3,7	73,2	3,6	68,6	3,5	69,1	2,0	71,7	18,3
Fissuration Transversale (m)	27,3	0,1	25,9	0,1	26,8	0,1	24,7	0,1	25,0	0,0	26,1	7,0
Toute fissuration (m)	101,9	3,4	98,5	3,8	100,1	3,8	93,5	3,6	94,2	1,9	97,8	24,6
Ratio Fissure Longitudinale (%)	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,0
Ratio Fissure Transversale (%)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0

Sur la gravité 1, la plus représentée, l'étendue est de 5 m² sur une moyenne de 62,8 m², soit 8%, niveau que l'on retrouve quelles que soient les gravités.

Le niveau monte à 10% sur les fissures transversales.

C'est beaucoup plus compliqué sur la fissuration pontée comme l'illustre la synthèse ci-dessous de la planche 2 :

Planche 2	Non pontée	Pontée	Non pontée	Pontée	Non pontée	Pontée	Non pontée	Pontée	Non pontée	Pontée	Non pontée	Non pontée
Fissuration Gravité 1 (m)	2,1	4,5	2,3	5,2	1,8	5,7	1,6	4,6	2,1	4,5	2,0	1,7
Surface fissuration Gravité 1 (m²)	1,2	2,2	1,3	2,6	1,0	2,6	0,9	2,1	1,2	2,1	1,1	0,9
Fissuration Gravité 2 (m)	21,7	33,0	21,6	30,7	18,8	27,8	17,9	22,2	20,0	22,1	20,0	9,1
Surface fissuration Gravité 2 (m²)	6,5	8,0	6,4	7,5	5,8	6,7	5,5	5,4	6,1	5,4	6,1	2,6
Fissuration Gravité 3 (m)	0,8	0,1	1,1	0,1	0,7	0,1	0,6	0,1	0,7	0,0	0,8	1,4
Surface fissuration Gravité 3 (m²)	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,3
Fissuration Gravité 4 (m)	0,7	0,0	0,7	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0	0,7	1,0
Surface fissuration Gravité 4 (m²)	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
Fissuration Longitudinale (m)	20,1	35,7	20,1	34,4	17,2	31,5	16,3	25,1	18,8	25,7	18,5	8,8
Fissuration Transversale (m)	5,1	2,6	5,4	2,8	4,7	3,0	4,4	2,6	4,8	1,6	4,9	2,5
Toute fissuration (m)	25,2	37,4	25,6	36,6	21,9	33,6	20,5	27,3	23,5	27,2	23,4	9,9
Ratio Fissure Longitudinale (%)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,1
Ratio Fissure Transversale (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1

L'étendue peut être de 30 % comme sur la planche 2 sur la gravité 2 sachant qu'elle est très peu représentée.

4.3.3.2 Départ de matériaux

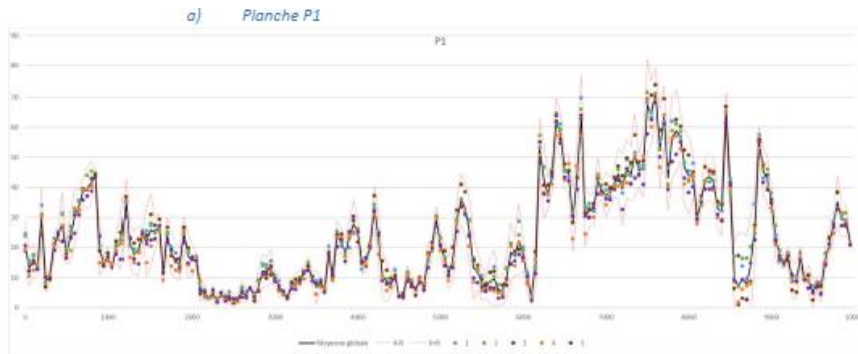
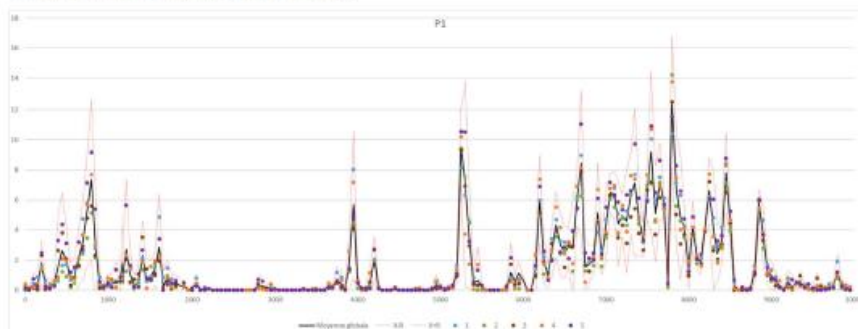


Figure 17 : Départ de matériaux sur 50 mètres – Gravité 0



La planche P1 est une des planches présentant le plus de départ de granulats.

Pour la gravité la plus représentée (G0), les tendances sont similaires et l'ensemble des opérateurs retrouvent les mêmes zones.

Pour la gravité 1, il y a davantage de dispersion quand le niveau augmente.

4.3.4 Tendances phase 3

La phase 3 a fait l'objet d'une analyse statistique (cf §4.2) du Cerema présentée dans le rapport « *DVDC_rapport_essais_croisés_LCMS_phase3* ».

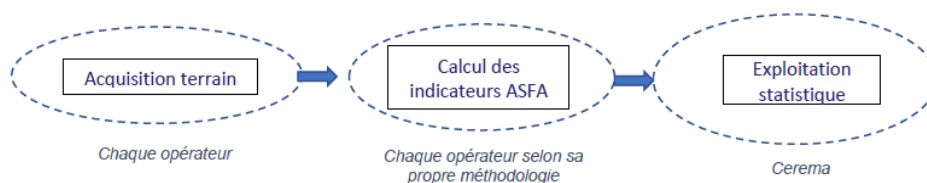
4.3.4.1 Descriptions

La phase 3 correspond au calcul par les opérateurs des descripteurs demandés dans le cahier des charges ASFA selon un mode d'exploitation propre à chaque opérateur.

Ces descripteurs servent notamment à calculer l'ISTRU et sont listés ci-après :

- Arrachements,
- Nids de poule,
- Glaçage (ARR)
- Faïençage (FA)
- Fissuration longitudinale (FL)
- Fissuration transversale (FT)
- Joints longitudinaux (JLO)
- Réparations totales (RET)

Le process suivi dans le cadre de cette phase est illustré dans la figure ci-dessous :



Un même traitement a été effectué pour les opérateurs op1 et op4.

La figure ci-dessous présente, pour 3 dégradations retenues à titre d'exemple, les modes de traitements réalisés par les opérateurs selon la légende suivante :

	Manuel	Semi-automatique			Automatique	
	LISTE	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5
Fissuration longitudinale						
Paramétrage RoadInspect						
Angle fissure						
Position BDR HBDR						
Traces de jantes						
JLO						
Contrôle et Neutralisation						
Faïençage						
Pré-détection						
Qualification						
Position BDR HBDR						
Nids de poule						
Paramétrage RoadInspect						
Pré-Détection						
Qualification						

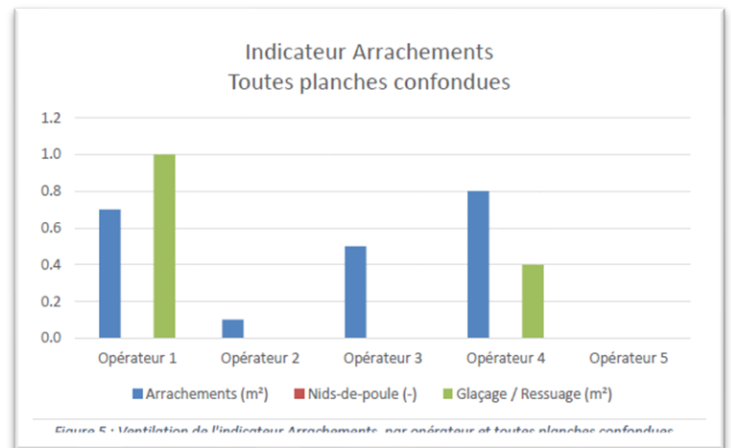
L'opérateur 2, par exemple, privilégie des opérations manuelles (visuelles) contrairement à l'opérateur 3 qui est le plus souvent en automatique.

4.3.4.2 Observations toutes planches confondues

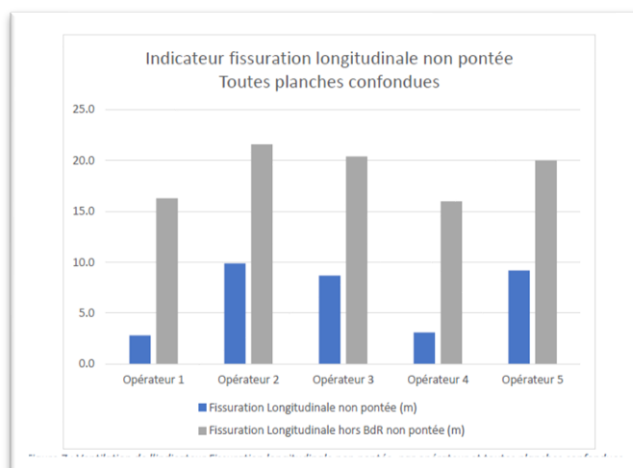
4.3.4.2.1 Arrachements – Nids de poule – glaçage

L'arrachement est mis en évidence pour les opérateurs 1,3 et 4.

Seuls les opérateurs 1 et 4 identifient des zones de glaçage.

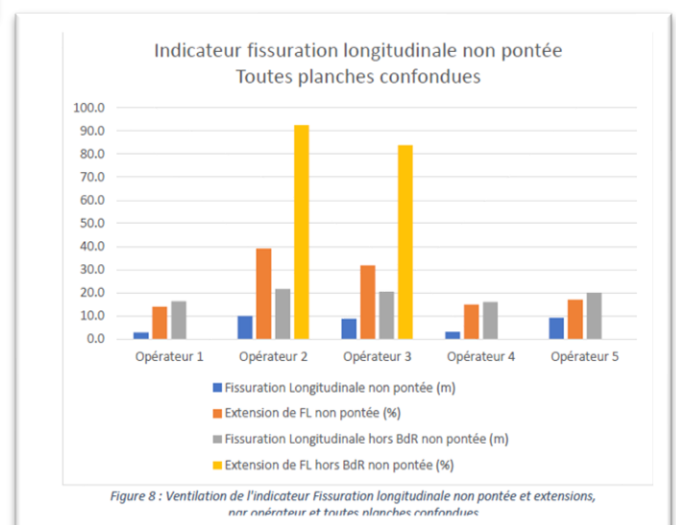


4.3.4.2.2 Fissuration longitudinale non pontée



Les opérateurs 1 et 4 identifient des quantités équivalentes qui sont plus importantes pour les opérateurs 2, 3 et 5.

Tous les opérateurs ne calculent pas les extensions liées aux quantités de fissures hors bande de roulement.



4.3.4.2.3 Fissuration longitudinale pontée

Opérateur et toutes planches confondues

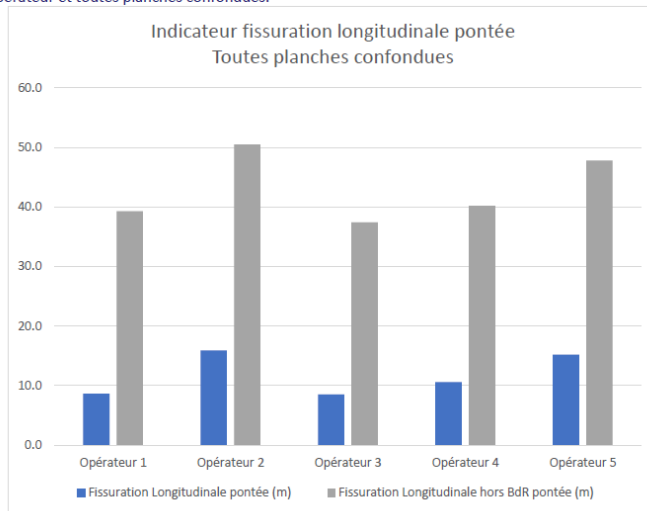


Figure 9 : Ventilation de l'indicateur Fissuration longitudinale pontée, par opérateur et toutes planches confondues

Les opérateurs 2 et 5 détectent globalement plus de fissures (+20 %).

Les opérateurs 2 et 5 détectent globalement plus de fissures. Seuls les opérateurs 2 et 3 ont calculés les extensions.

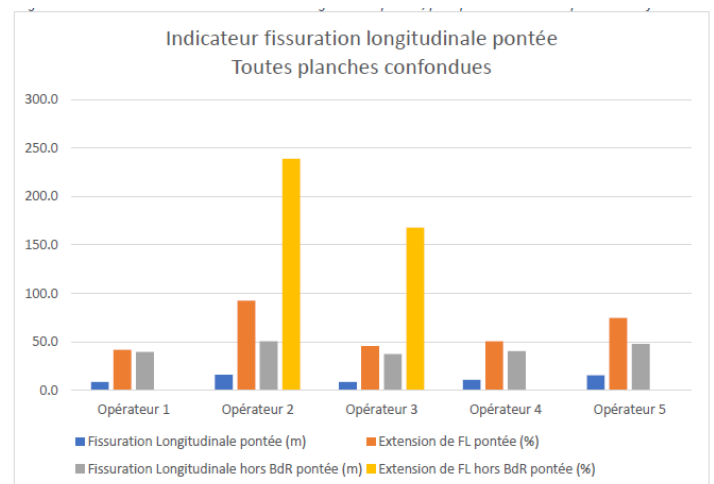


Figure 10 : Ventilation de l'indicateur Fissuration longitudinale pontée et extensions, par opérateur et toutes planches confondues

4.3.4.2.4 Fissuration transversale

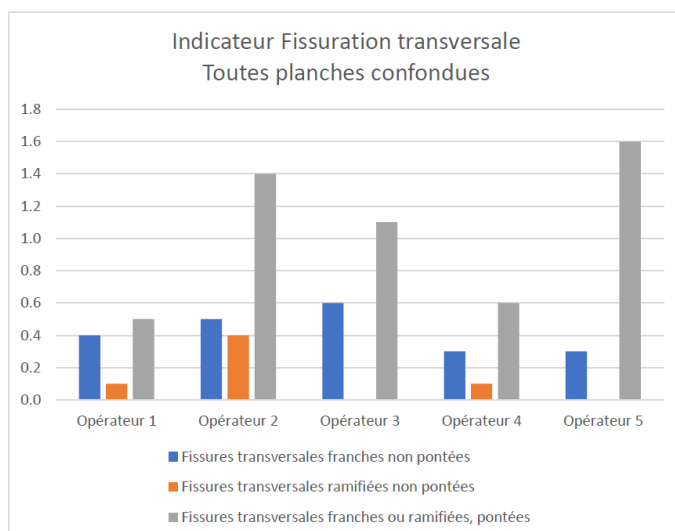


Figure 11 : Ventilation de l'indicateur Fissuration transversale, par opérateur et toutes planches confondues

Même constat sur les fissures transversales : Les opérateurs 2,3 et 5 en détectent beaucoup plus.

4.3.4.2.5 Joints longitudinaux et traces de jantes

Peu de traces de jantes détectées
excepté pour l'opérateur 2.

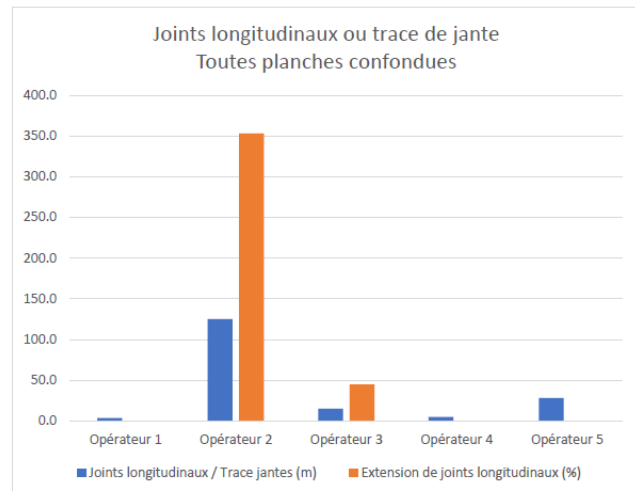


Figure 12 : Ventilation de l'indicateur Joints longitudinaux ou trace de jante, par opérateur et toutes planches confondues

4.3.4.2.6 Faïençage

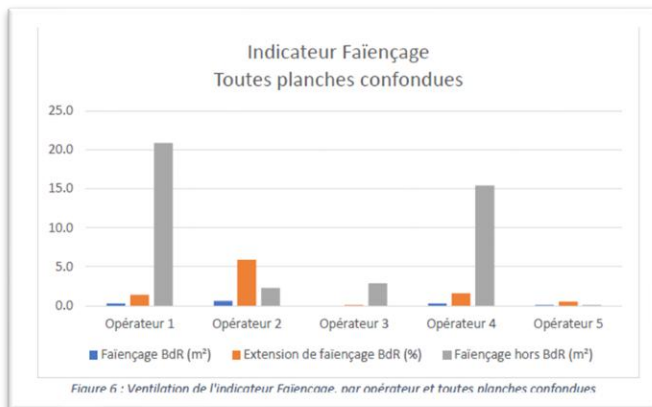


Figure 6 : Ventilation de l'indicateur Faïençage, par opérateur et toutes planches confondues

Les opérateurs 1 et 4 trouvent beaucoup plus de faïençage que les opérateurs 2, 3 et 5.

A contrario, ils trouvaient moins de fissuration tant longitudinale que transversale.

La notion de faïençage ne semble pas similaire d'un opérateur à l'autre.

Quand cette pathologie est mise en évidence, elle est considérée hors bande de roulement pour les opérateurs 1 et 4 et plutôt en BDR pour l'opérateur 2.

4.3.4.2.7 Réparations

Les réparations relevées visuellement
présentent des résultats similaires pour
les opérateurs 1, 2 et 4.

L'estimation est plus faible pour les
opérateurs 3 et 5.

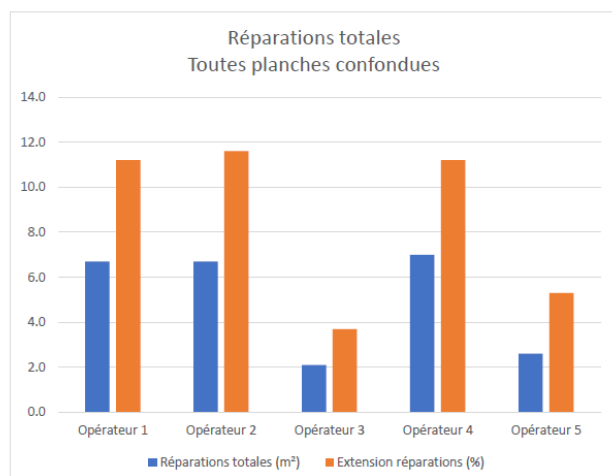


Figure 13 : Ventilation de l'indicateur Réparations, par opérateur et toutes planches confondues

4.3.5 Conclusions phase 3

Les résultats de la phase 3 montrent une disparité des résultats plus importante qu'en phase 1 ou 2 pour lesquels les traitements appliqués étaient rigoureusement les mêmes.

Les résultats de la phase 3 montrent des écarts entre opérateurs sur plusieurs descripteurs comptabilisés, qui sont liés à différents facteurs d'influence comme :

- Paramétrage de RoadInspect,
- Paramètres pris en compte par chaque opérateur pour les comptabilisations de certains descripteurs en l'absence de référentiel technique commun (par exemple l'orientation des fissures, la densité de fissuration...),
- Métrologie et influence de facteurs extérieurs (conditions météorologiques),
- Les modes de contrôle et de neutralisation de faux positifs est propre à chaque opérateur.

5 Synthèse

5.1 Démarche - Bienfaits et REX partagé

Ces essais qui ont constitué une première en Europe ont favorisé un partage d'expérience à la fois entre opérateurs et représentants des SCA.

Ils ont permis à chaque opérateur de se situer et d'appliquer des actions correctives quand ils étaient en présence d'un décalage avec les autres opérateurs.

Malgré des planches plutôt en bon état, tous les opérateurs identifient bien les zones dégradées et ce quels que soient les paramètres.

5.2 Cadrage commun

5.2.1 Respect des spécifications

Ces essais peuvent à minima mieux préciser les conditions d'installation et d'utilisation des LCMS. Ils doivent permettre d'établir un paramétrage commun.

Ce travail reste à finaliser.

5.2.2 Section commune

Afin de renforcer les aspects « Calibration » et « Métrologie », le choix d'une section commune parcourue tous les ans avant les campagnes avec présentation des résultats aux SCA concernées pourrait être une première étape avant la systématisation d'essais croisés qui pourrait intégrer la labellisation des appareils d'auscultation (cf. ci-après).

5.2.3 Labellisation

Depuis désormais deux décennies, les capteurs utilisés dans le domaine de l'auscultation de chaussées viennent de pays étrangers.

Un label décerné par les services de l'Etat aurait l'avantage de rassurer les maîtres d'ouvrage.

5.2.4 Classification

Ces essais montrent aussi au regard des performances affichées en phase 1, l'impact de méthodes d'exploitation propres à chaque opérateur mis en évidence en phase 3.

L'avancée technologique indéniable des LCMS n'a pas donné lieu en parallèle à la mise à jour de la doctrine. Comment traduire un « faïençage significatif en bande de roulement » en élément concret et mathématique.

L'arrivée de l'IA dans le champ de l'évaluation de l'état des chaussées pose la même question.

5.3 Conclusion

Ces essais croisés constituaient une première en Europe et au-delà des résultats bruts, ont contribué sous forme de retour d'expérience à renforcer la maîtrise de ce type d'essai pour l'ensemble des participants.

Les résultats en phase 1 montrent la qualité et le niveau de performance de la technologie LCMS®. Ils montrent également les limites lorsque les opérateurs sont limités à des suivis uniquement internes.

Les résultats en phase 2 montrent l'opportunité de lire les résultats de manière différente et constituent une première approche pour apprécier finement l'état de dégradation d'une chaussée sur un plan surfacique.

Les résultats en phase 3 montrent des écarts entre opérateurs sur plusieurs descripteurs comptabilisés, qui sont liés à différents facteurs d'influence comme le paramétrage de RoadInspect, les paramètres pris en compte pour la comptabilisation de certains descripteurs, la métrologie et l'influence des facteurs extérieurs (conditions météorologiques pendant la période de réalisation des mesures).