

Projet National de recherche et développement

RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE

**RELEVES AUTOMATISES
DESCRIPTEURS DEGRADATIONS
ET METHODE DE CLASSIFICATION**

Auteur(s) / Organisme(s) :

Bruno Joly / Technologies Nouvelles

Damien Pilet/ Ginger CEBTP

Emmanuel Loison / COLAS

Hervé Guiraud/ Cerema

Julie Maignol / Nextroad Engineering

Romain Degrange / Diagway

Sébastien Wasner / Cerema

Stéphane Theret / CD27

Groupe travail

Mesures in situ – Relevés automatiques – Descripteurs dégradation

Thème de rattachement :

Thème 2 – Relevés automatisés

DVDC/R/032

N° lettre de commande : LC/19/DVDC/98/99/100/101/102/105/107

Date : 02/11/2022

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	2
1 Résumé	4
2 Groupe de travail	5
3 Objectif	5
4 Préambule	6
5 Présentation “Relevés automatisés” - Nouvelle approche	8
5.1 Méthodologie	8
5.2 Quadrillage par mailles élémentaires de 25 x 25	9
5.2.1 Principe	9
5.2.2 Détection des limites de voies	11
5.2.3 Stabilité du maillage	12
5.3 Quantifications élémentaires des dégradations par maille élémentaire.....	13
5.3.1 Fissuration	13
5.3.2 Fissuration pontée	15
5.3.3 Départs de matériaux sur la couche de roulement.....	16
5.3.4 Cavités.....	17
5.3.5 Usure du revêtement	18
5.3.6 Réparations	18
5.3.7 Remarques	19
5.4 Classification par gravité	20
5.4.1 Fissuration	20
5.4.2 Fissuration pontée	21
5.4.3 Départ de matériaux sur la couche de roulement	22
5.4.4 Cavités.....	23
5.4.5 Usure du revêtement	24
5.4.6 Réparations	24
5.5 Synthèse à pas fixe	25
5.5.1 Indicateurs par « images » ou par pas	25
5.5.2 Synthèse des indicateurs proposés.....	27
5.5.3 Restitution des données	27
6 Conclusion	30
7 Pour aller plus loin	31
8 ANNEXES	33

8.1	Synthèse des indicateurs proposés	34
8.1.1	Indicateurs par maille	34
8.1.2	Indicateurs par « image »	35

1 Résumé

Résumé en français

Les relevés de dégradations des chaussées peuvent aujourd'hui être réalisés à l'aide de capteurs d'imagerie laser qui permettent la numérisation 3D de la chaussée et ainsi de disposer d'un recueil d'informations beaucoup plus précis que ceux réalisés à partir de méthodes dites « visuelles » en termes d'informations disponibles et de localisation dans la voie.

Cependant, pour établir leur classification, les définitions "classiques" des dégradations fournies dans la méthode d'essai LPC n° 52, essentiellement fondées sur des descriptions générales complétées par des images et des photos, ne sont pas applicables. Elles ne sont en effet pas suffisamment descriptives, notamment sur les aspects géométrie et quantification.

L'objet de ce document est de proposer une nouvelle méthodologie de traitement/quantification des dégradations de chaussée. Il s'agit de fournir des caractéristiques minimales de reconnaissance et des paramètres permettant de classer et d'évaluer les gravités des différentes familles de dégradations. Ces descripteurs s'appuient sur les informations fournies par les nouveaux capteurs disponibles pour ce type d'acquisition.

Le document proposé s'appuie principalement sur l'analyse géométrique et surfacique des défauts, leur croisement géographique à petite échelle et leur localisation dans la voie. A titre d'exemple, une fissure peut dorénavant être caractérisée par sa densité, par son ouverture, par la surface de chaussée impactée, mais également par sa localisation sur la chaussée, son orientation, et par sa présence ou non dans une zone présentant des déformations.

Ce document n'a pas pour vocation à décrire et à raccrocher les descripteurs des dégradations selon l'interprétation décrite dans la méthode d'essai LPC n° 52, mais à proposer une nouvelle approche pour les qualifier.

Ce document ne traite pas les dégradations des chaussées béton.

Remarques :

Ce document ne traite pas de la façon dont les dégradations sont détectées (qui dépendent des méthodologies internes des fournisseurs) mais de leur raffinement à une échelle facilitant leur exploitation.

Ce document a pour objectif de compléter les méthodologies actuelles en proposant une démarche spécifique aux nouveaux matériels de mesures, et plus particulièrement les systèmes Laser3D et non à proposer une nouvelle méthodologie de classification/interprétation des dégradations de chaussée.

Les seuils proposés pour les traitements des données ainsi que leur classification sont le fruit d'un consensus établi lors des réunions du groupe de travail. Les choix se sont basés sur l'exploitation d'un échantillon de route, de type « route départemental », qui ne se veut pas représentatif de toutes les chaussées rencontrées sur le territoire. Dans le cas présent, le groupe s'est attaché à produire une méthodologie claire en termes d'exploitation des relevés automatisés de dégradations, et facilement programmable par les différents utilisateurs de ces données. Les seuils fournis constituent des repères pour l'exploitation d'un réseau départemental. Ils restent adaptables, à la discrétion des gestionnaires.

2 Groupe de travail

Romain DEGRANGE - DIAGWAY
Luc-Amaury GEORGE – NEXTROAD
Bruno JOLY – TECHNOLOGIES NOUVELLES
Julie MAIGNOL – NEXTROAD
Jean-Marc MARTIN - UGE
Fabien MENANT - UGE
Damien PILET – GINGER CEBTP
Frédéric SAGNIER – TECHNOLOGIES NOUVELLES

3 Objectif

L'objectif est de proposer une méthode de traitement et de quantification commune à tous les opérateurs de relevés de dégradations réalisés à l'aide de système permettant la détection automatique des dégradations et déformations garantissant aux gestionnaires la possibilité de disposer de résultats précis et homogènes quel que soit le matériel utilisé.

Les dégradations sont quantifiées, classifiées, et localisées sur la surface de la chaussée en vue d'alimenter les bases de données et systèmes de gestion de chaussée avec pour finalité la détermination des besoins d'entretien et l'évaluation de la stratégie de maintenance mise en œuvre.

4 Préambule

En première approche, le groupe de travail a souhaité mettre en place des descriptions précises des dégradations présentées dans le catalogue de la méthode d'essais LPC n°50, qui puissent être retranscrites « par des traitements informatiques ». Ces descriptions s'appuient principalement sur les caractéristiques géométriques et sur la localisation des dégradations, exprimées sous forme de règles simples, partagées, et destinées à alimenter des algorithmes de traitements informatiques capables d'exploiter les données brutes provenant des relevés « de dernière génération », et permettant de classer les informations dans le référentiel actuellement utilisé par l'ensemble des acteurs.

Lors des premiers échanges, le groupe s'est très vite heurté à la difficulté d'établir des définitions et descriptions suffisamment précises permettant d'aboutir à une classification partagée par tous.

Il a semblé nécessaire de créer de nouveaux paramètres permettant de décrire précisément les dégradations. Par exemple, pour décrire la fissuration, des paramètres tels que la segmentation (en tronçon de fissure, fissure élémentaire, fissure complète), la longueur fissurée (réelle, projetée, ...), l'orientation, la sinuosité, ou le taux de ramification, ont été proposés. La multiplication de ces paramètres a finalement complexifié le travail de description au lieu de le simplifier, sans apporter de réponse satisfaisante.

Cette approche très « déterministe » présentait également un autre inconvénient : elle se « raccrochait » aux méthodes usuelles, en exprimant des résultats sous forme de longueur de chaussée affectée par telle ou telle autre dégradation, en abandonnant finalement une partie des informations fournies par les systèmes de relevés automatisés, et notamment tout ce qui permettait de localiser précisément les informations sur la surface de la chaussée.

Au regard de ces constats, une seconde approche a été élaborée, pour répondre à deux objectifs :

- D'une part, proposer des règles de description des dégradations compréhensibles par tous et facilement quantifiables, pouvant être traduites informatiquement ;
- D'autres part, fournir une localisation surfacique des dégradations, c'est-à-dire, donner la possibilité de situer précisément les dégradations sur la surface de la chaussée. Cet aspect est important lors de la définition des solutions d'entretien.

Cette méthode s'appuie sur un découpage initial de la surface de la chaussée en carrés élémentaires de petite taille (25 x 25 cm), dans lesquels les informations fournies par les systèmes automatisés sont synthétisées.

L'exploitation de ces informations permet de construire de nouveaux descripteurs qui permettent d'exprimer les quantités de dégradations par familles, en surface, en longueur ou en nombre à l'échelle de pas de 10 m de chaussée par exemple.

Après avoir tester les possibilités offertes sur la base de ce découpage élémentaire, la méthode a finalement été retenue pour l'exploitation des relevés automatisés.

Cette nouvelle méthodologie de traitement est présentée dans les chapitres suivants.

Remarque :

- Le projet a été conduit sur la base de relevés produits à l'aide de la technologie de type « LCMS ». Aucun autre matériel n'a pu être testé dans le cadre de l'étude réalisée.
- Les informations relatives aux relevés automatisés (fissuration, arrachements, ...) proviennent des bibliothèques d'extraction des dégradations élaborées par le fournisseur de cette technologie.
- Dans l'étude présentée, l'exploitation des arrachements est basée sur l'indicateur « Ravelling Index » et le ressuage est traité à partir de l'indicateur « Bleeding ».
- Le calage des seuils a été réalisé en exploitant les données recueillies sur un échantillon de route départementales représentant environ 50 km.

5 Présentation “Relevés automatisés” - Nouvelle approche

5.1 Méthodologie

La nouvelle méthode proposée s'appuie sur l'exploitation surfacique des dégradations. L'analyse est réalisée à partir « d'images chaussées 3D » (1), générées au pas de 5 m ou de 10 m, par voie, et reposant sur les principes suivants :

- Les images chaussées « 3D » provenant des systèmes de relevés automatisés sont « découpées » en surface élémentaires correspondant à des carrés de 25 x 25 cm, appelés mailles élémentaires, par voie ;
- Les dégradations détectées par les algorithmes de traitement d'images et de données laser font l'objet d'une première quantification par maille élémentaire en s'appuyant sur les paramètres natifs fournis par les capteurs de relevés automatisés, ainsi que sur des informations complémentaires calculées :
 - o Longueur, valeur descriptive mesurée, ...
 - o Calcul de densité,
- Les dégradations comprises dans chaque maille élémentaire font l'objet d'une analyse permettant d'exprimer un niveau de gravité par carré en fonction de seuils préétablis.
- La restitution des informations est réalisée sous forme agrégée, par voie, au pas de 5 m, ou 10 m, ... par surfaces de dégradation, par nombre d'entités identifiées, ou/et par longueur, en s'appuyant sur les gravités calculées lors de l'étape précédente,
 - o Les surfaces calculées correspondent à la somme des surfaces des mailles élémentaires affectées par la dégradation, par gravité ;
 - o Les longueurs calculées correspondent à la somme des longueurs considérées ;
 - o Les quantités dénombrées correspondent à la somme des nombres de mailles élémentaires affectés, en fonction de la gravité.

(1) : une image « 3D » est une image de la chaussée vue de dessus, et comportant une composante verticale de profondeur associée à chaque pixel.

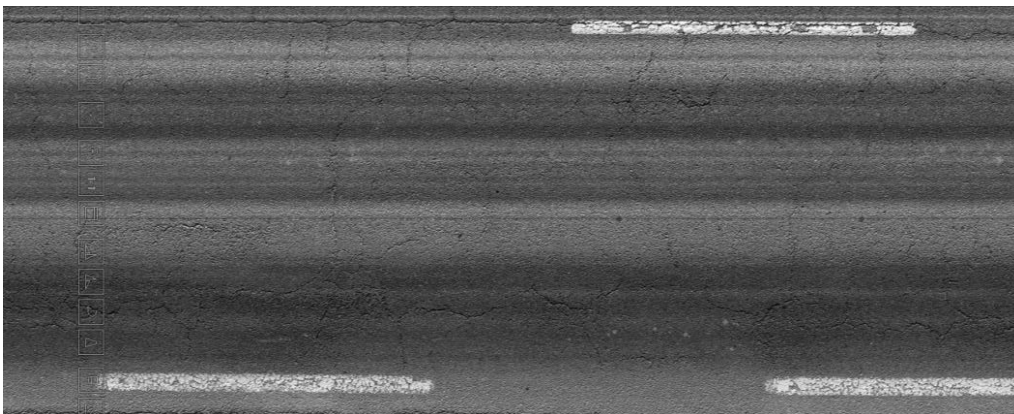


Fig 1 : Image « 3D » chaussée.

5.2 Quadrillage par mailles élémentaires de 25 x 25

5.2.1 Principe

Sur les « images chaussées 3D » de la chaussée recueillies lors de la phase d'acquisition, on superpose une grille d'analyse constituée de carrés (ou maille élémentaire) de 25 cm de côté, dont l'un des bords est parallèle à l'axe de la chaussée. L'« axe » principal de la grille est généré selon l'axe de la chaussée, qui est égal à l'axe de la voie.

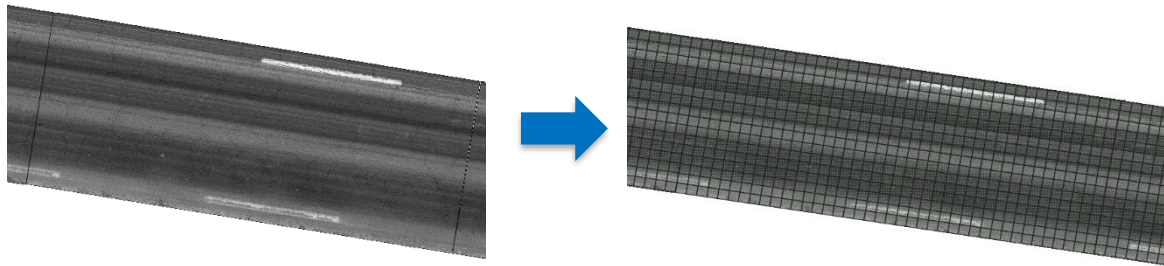


Fig 2 : Mise en place de la grille.

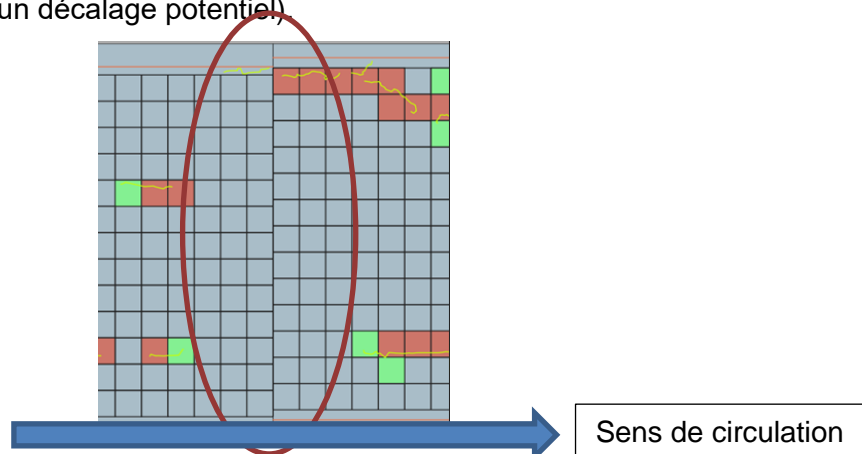
Le quadrillage (ou maillage) est réalisé depuis le centre de la voie en partant de chaque côté, jusqu'aux limites de l'image.

Les images « chaussées 3D » couvrent une emprise de 4 m de large. Dans cette configuration, il existe un risque de prendre en compte l'accotement ou la présence de trottoir côté droit et de déborder au-delà de l'axe de la chaussée côté gauche. Pour lever cette difficulté, des traitements complémentaires d'images sont réalisés pour n'extraire et ne traiter que la partie « utile » de l'image. Nous présentons les principales possibilités permettant de gérer ces cas dans le chapitre suivant.

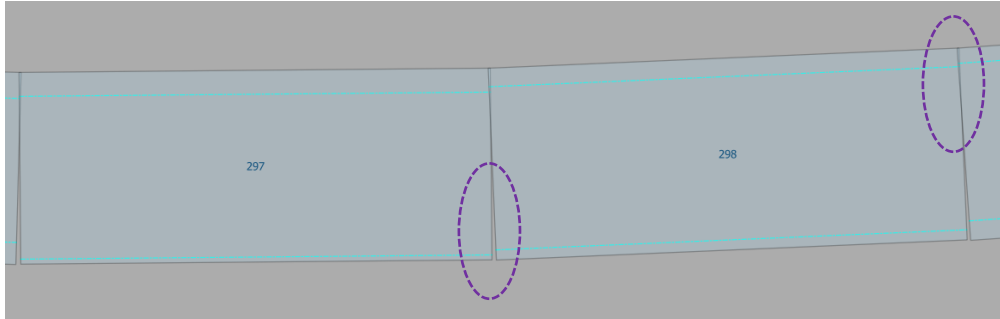
Dans le cadre du projet, nous avons retenu la grille fournie par le fournisseur de système LCMS Pavémétrie pour le calcul de l'indicateur RI (« Ravelling Index »), en activant les options permettant de retenir uniquement les carrés complets compris sur la voie, situés entre marquage en axe et marquage de rive (module détection du marquage « activé »).

Remarque :

Le maillage est réalisé à l'échelle de chaque image chaussée 3D. Chaque image représente un segment de voie correspondant à un rectangle de 10 m x 4 m (ou 5 m x 4m) et est indépendante. Il n'y a pas de « fusion » réalisée pour recaler le maillage d'une image à l'autre. Ainsi, il peut arriver que les grilles ne soient pas rigoureusement jointives entre 2 images successives (présence d'un décalage potentiel)



De même, en virage, la combinaison des rectangles ne permet pas d'obtenir une couverture à 100% de la voie et quelques zones de chevauchement partiel peuvent exister (cf image ci-dessous). Comme précédemment les grilles ne sont dans ce cas pas jointives.



Au regard de la méthodologie de traitement des dégradations mise en œuvre, le groupe de travail a considéré que le biais engendré restait faible par rapport à l'erreur potentielle.

Aucune correction n'a été apportée par rapport à ces écarts.

5.2.2 Détection des limites de voies

Les systèmes de relevés automatisés permettent de détecter, lorsqu'elle existe, la présence de signalisation horizontale en axe et/ou en rive. Ils permettent également de mettre en évidence la limite de voie en rive en détectant la présence de « marches » éventuelles, représentatives de bordures ou de bords d'enrobés.

Le groupe de travail propose d'exploiter ces données selon les recommandations suivantes :

- Si présence de marquage des deux côtés : la grille est créée entre les deux limites de marquage : il peut subsister un espace de voie non couvert entre les limites de la grille et le marquage.

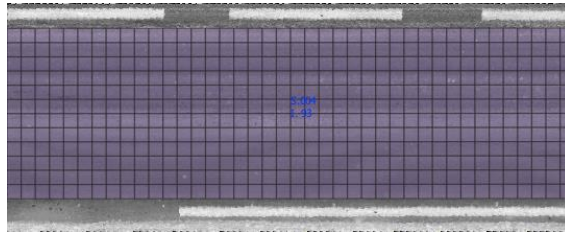


Fig 3 : Positionnement grille d'analyse en présence de marquage axe et rive.

- Si présence de marquage d'un côté uniquement : la grille est créée en partant depuis le marquage identifié et en appliquant ensuite une largeur fixe pour la voie ;

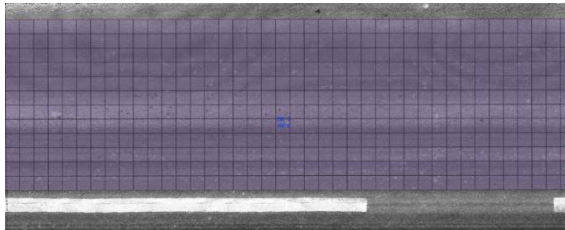


Fig 4 : Positionnement grille d'analyse en présence de marquage en rive.

- Si absence totale de marquage : la grille est créée en partant du centre de l'image et en appliquant une largeur fixe. Les systèmes automatisés permettent d'affiner ce positionnement en cas de détection des bords de chaussée. Dans ce cas, on peut s'appuyer sur ce dernier pour un positionnement type « présence marquage ».

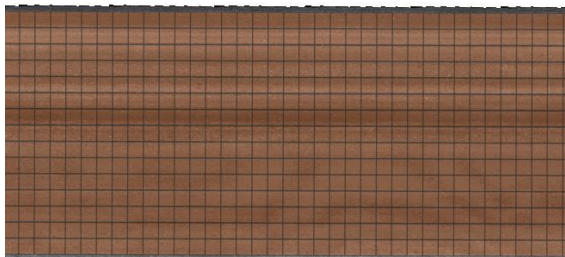


Fig 5 : Positionnement grille d'analyse sans présence de marquage.

Les valeurs de largeur fixe proposées lorsque les limites extérieures de voie ne sont pas identifiées sont :

- 3,50 m pour réseau structurant (voie « large »)
- 3,00 m pour réseaux secondaires,
- 2,75 m pour réseaux tertiaires

Ces largeurs peuvent être ajustées en fonction de la réalité terrain ou des besoins exprimés par les gestionnaires.

5.2.3 Stabilité du maillage

Le maillage est une composante importante de la méthodologie proposée. En effet, les traitements et quantifications réalisés pour connaître le niveau de dégradations des chaussées reposent sur l'exploitation de cette grille.

La « stabilité » du maillage n'a pas été étudiée spécifiquement pendant les travaux de la tranche 3. En effet, il était illusoire de penser que lors de 2 passages par un même appareil ou par des appareils différents, le maillage serait rigoureusement identique et superposable. L'objectif n'étant pas de comparer les résultats dans les carrés de 25 cm, mais plutôt au niveau de pas de 10 m à minima, nous avons dans un premier temps pris comme hypothèse que le décalage du maillage avait un impact peu significatif dans la quantification finale fournie au pas de 10 m, pour nous attacher plus à la pertinence et à la qualité du livrable final.

Cependant, ce point ne doit pas être écarté et quelques précisions doivent être apportées afin de valider l'hypothèse de départ. Quelques points restent ainsi à préciser :

- Evaluer l'impact d'un léger décalage de grille en mesurant les conséquences sur les résultats finaux
 - Simuler un décalage de quelques centimètres par exemple.
- Considérer plusieurs passages sur une même section :
 - Quelle est la répétabilité de la méthode ?
 - Quelle est sa reproductibilité ?

La stabilité du maillage fera l'objet d'une étude complémentaire dans la tranche 4.

5.3 Quantifications élémentaires des dégradations par maille élémentaire

Dans ce chapitre, nous présentons la méthode de quantification des dégradations par maille élémentaire, représentée par un carré de 25 x 25 cm. Les traitements sont réalisés par voie.

5.3.1 Fissuration

La quantification de la fissuration est réalisée en exploitant les segments de fissures détectées automatiquement par le système d'acquisition.

Un travail d'orientation préalable est réalisé pour définir le cap global de chaque segment de fissure.

5.3.1.1 Orientation des fissures

L'orientation est définie selon deux directions : longitudinale ou transversale.

- Si l'orientation du segment élémentaire est inférieure ou égale à 60° (*) par rapport à l'axe de la voie : fissure orientée longitudinalement (FL).
- Si l'orientation du segment élémentaire est supérieure à 60° par rapport à l'axe de la voie : fissure orientée transversalement (FT).

(On considère ici que l'axe de circulation du véhicule et l'axe de la voie sont confondus).

Cette information permet d'enrichir la qualité de la synthèse finale.

(*) : la valeur de 60 ° est issue de l'expérience des utilisateurs.

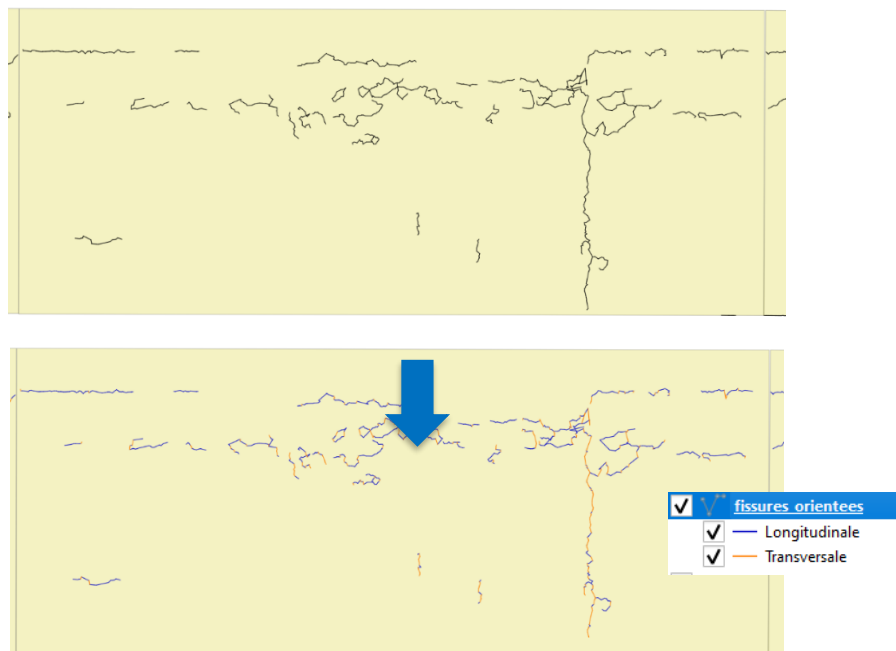


Fig 6 : exemple d'orientation des segments de fissure.

5.3.1.2 Paramètres calculés

Pour la fissuration (FIS), les paramètres calculés pour chaque maille élémentaire sont présentés ci-dessous :

Informations de base :

- Longueur cumulée de fissuration LgFIS (en m) : prise en compte de tous les segments compris dans la maille ; si les tronçons sont à cheval sur 2 carrés, découpage des tronçons en limites de maille ;
- Densité de la fissuration DensFIS : le calcul réalisé correspond au ratio longueur de fissure par m².

Informations complémentaires :

Les paramètres présentés pour quantifier les fissures sont également calculés en distinguant les segments de fissures orientés longitudinalement et transversalement :

- Longueur cumulée (m) de fissuration longitudinale « LgFL » et densité DensFL
- Longueur cumulée (m) de fissuration transversale « FT » et densité DensFT



Fig 7 : visualisation des mailles de la grille avec présence de fissuration (les mailles sans données ne sont pas affichées pour alléger la représentation)

A ce stade, bien qu'étant une donnée disponible à l'issue de la phase d'exploitation des images 3D, le paramètre « largeur de fissure » n'a pas été exploité. Ce paramètre peut en effet être influencé par plusieurs facteurs pour lesquels nous ne disposons pas d'étude d'impact :

- Répétabilité,
- Reproductibilité,
- Impact des variations de climat (évolution de la largeur en période hivernale/ période estivale)

La prise en compte de ce paramètre a toutefois été envisagée pour compléter la méthode. Cette prise en compte pourrait se traduire sous forme d'une grille de gravité supplémentaire à mettre en œuvre en fonction de la largeur de la fissure mesurée, qui pourrait être croisée avec la gravité liée à la densité pour obtenir une gravité globale de fissuration par maille.

5.3.2 Fissuration pontée

Les fissures pontées proviennent de l'exploitation des « taches » détectées par les systèmes d'extraction de données. Les taches sont exploitées pour extraire un squelette sous forme de ligne, représentatif du pontage. Les traitements réalisés par la suite s'appuient sur le squelette ainsi constitué.

Pour la fissuration pontée (FP), la démarche est identique à celle mise en place pour la fissuration (découpage des segments en limite de maille élémentaire si nécessaire). Les paramètres calculés pour chaque maille élémentaire sont présentés ci-dessous :

Informations de base :

- Longueur cumulée (en m) de fissuration pontée L_gFP (quelle que soit l'orientation) : prise en compte de tous les segments compris dans la maille ; si les tronçons sont à cheval sur 2 mailles élémentaires, découpage des tronçons en limites de maille.
- Densité de la fissuration pontée $DensFP$: le calcul réalisé correspond au ratio longueur de fissure pontée par m^2 .

5.3.4 Cavités

Une cavité est une dégradation de la surface de la chaussée consécutive à un départ significatif de matériaux et formant un trou dans la couche de roulement. Cette cavité peut potentiellement impacter les couches sous-jacentes (couche de liaison ou couche de base).

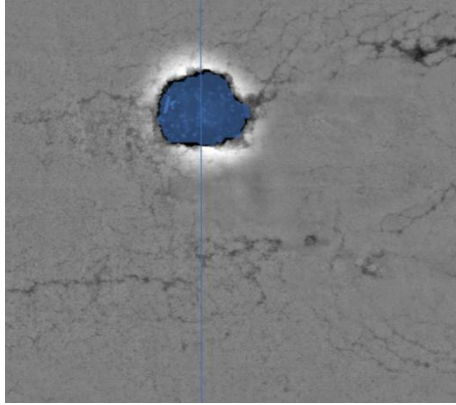


Fig 9 : exemple de détection de cavité

Les nids de poule et pelades sont comptabilisés dans cette famille de dégradation, sans pour autant être caractérisés en tant que nid de poule ou pelade (d'où la notion de cavité). Les départs locaux de matériaux au niveau de réparations de tranchées ou d'émergences par exemple entrent également dans cette famille.

Les cavités détectées sont associées aux informations suivantes :

- Volume en cm^3 ,
- Surface en cm^2 ,
- Diamètre interne en mm,
- Profondeur en mm.

Remarques :

- Les cavités identifiées ne sont pas forcément circulaires.

Pour être classée dans la famille "cavité", la dégradation détectée présente les caractéristiques minimales suivantes :

- Diamètre interne minimum de 5 cm ;
- Profondeur 2 cm minimum

Informations de base (information par maille) :

- Nombre de cavité par maille (localisation basée sur l'exploitation du centre de gravité de la cavité)

Informations complémentaires :

- Volume total en cm^3
- Surface totale en cm^2 .

5.3.5 Usure du revêtement

Les zones présentant des remontées de liant, des enfoncements de gravillons, ou d'usure de gravillons sont caractérisées par la présence de secteurs relativement « lisses » de la couche de roulement. Ces zones présentent une surface avec un aspect lisse et brillant.

Dans le cadre de l'étude, c'est l'indicateur « Bleeding » (données « LCMS ») qui a été utilisé pour être représentatif de cette dégradation. Il s'appuie sur les variations de valeurs de macrotexture locale.

Cette dégradation est classée dans la catégorie « Usure » et s'apparente en partie à du ressuage. Le descripteur représentatif de cette dégradation est nommé « RessElem ».

Informations de base :

- Surface par maille élémentaire : SurfRessElem (m²)

5.3.6 Réparations

Les réparations ne constituent pas une dégradation au sens de la méthode d'essai 52 (ME 52). Elles constituent toutefois un indicateur susceptible de traduire en partie l'état global de la chaussée.

A ce jour (2020), les réparations ne sont pas directement détectées par les systèmes automatisés, hormis la fissuration pontée. Les familles concernées sont les réparations de type « Emplois partiels », reprise type « Béton Bitumineux sur découpe », tranchées longitudinales ou transversales, ou mise en œuvre d'enrobés à froid destinés à reboucher les nids de poule par exemple.

Elles pourraient être ajoutées dans la base de données de travail moyennant un traitement complémentaire type « saisie manuelle ou par autre procédé » à partir des images.

- Dans ce cas, les réparations doivent être localisées « géographiquement » dans l'image, sous forme de polygones. Ainsi, elles pourront être exploitées à l'aide de la grille de dégradations.

Si les réparations sont intégrées, pour chaque maille, on calcule les paramètres présentés ci-dessous.

Informations de base :

- Surface affectée par des réparations de type « Béton bitumineux » (% ou valeur) : SurfRepBB
- Surface affectée par réparation de type « Emplois partiels » (% ou valeur) : SurfRepPAT
- Pour les réparations de type « Enrobé à Froid » et autres réparations :
 - SurfRepAut (m²)
 - NbRepAut : nombre de réparations.

L'exploitation des réparations selon le procédé proposé peut conduire à ce que plusieurs mailles moyennes présentent des valeurs de 100 %.

5.3.7 Remarques

Quelques familles de dégradations décrites dans la méthode d'essai M52 « Catalogue des dégradations de surface de chaussées » ne sont pas totalement classifiées à ce niveau. On peut citer la fissuration transversale, les joints longitudinaux ou transversaux ou le faïençage par exemple.

En effet, ces familles de dégradations ne sont pas « interprétables » à l'échelle des mailles élémentaires de 25 cm de côté. Pour réaliser cette classification, il est nécessaire de réaliser des traitements complémentaires pour agréger ou classifier les informations à une échelle plus grande. Dans ce cas, l'exploitation des données élémentaires devra être réalisée à l'aide d'une maille plus large (plus grande) par exemple, ou par la compilation des mailles de 25 cm selon des règles d'agrégation à déterminer.

Ce point n'est pas traité dans le cadre de la présente étude. Néanmoins, le groupe de travail a réalisé des simulations et a pu démontrer la faisabilité de ces classifications, basées sur des lissages appropriés. Quelques exemples sont fournis dans le chapitre 7 « Pour aller plus loin ... ».

5.4 Classification par gravité

L'étape présentée au chapitre 5.3 permet de quantifier les dégradations par maille élémentaire. A ce niveau, chaque maille dispose d'informations « chiffrées » traduisant la réalité physique de chaque dégradation. Pour simplifier l'exploitation de ces valeurs et réaliser des synthèses, des seuils de classification ont été mis en place pour traduire l'importance des dégradations en niveau de gravité.

La méthodologie et les seuils proposés sont présentés dans le présent chapitre. Ces seuils pourront être adaptés au contexte de la chaussée (autoroute, route nationale, route départementale, voirie communale, ...) et en fonction du niveau d'attente du gestionnaire.

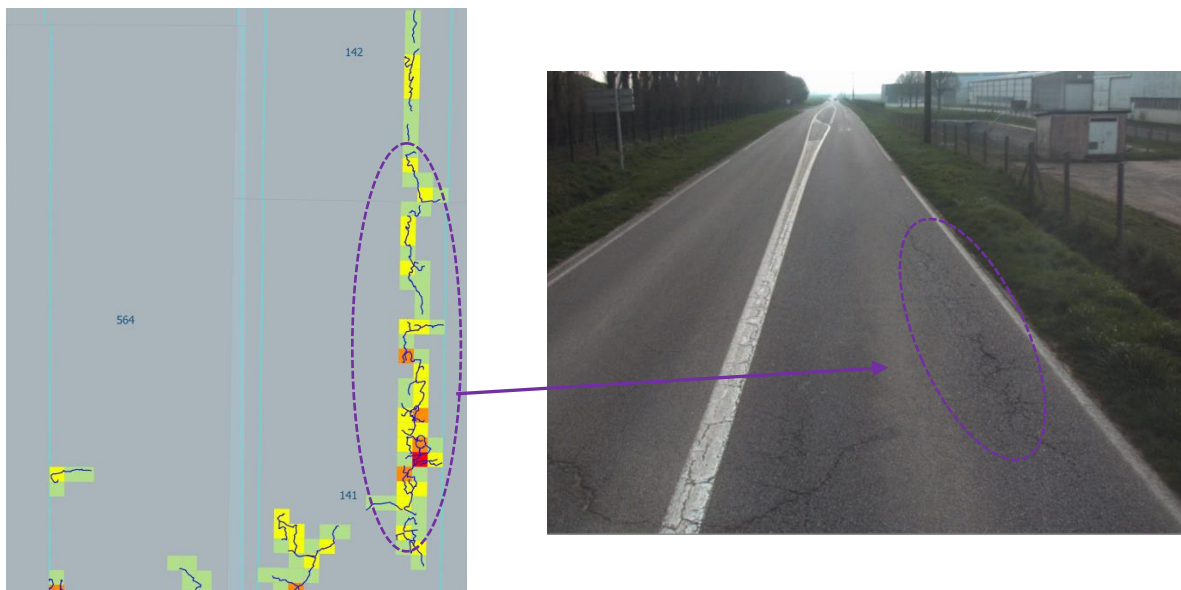
5.4.1 Fissuration

La gravité de la fissuration est exprimée par classe en s'appuyant sur la densité de fissuration. Quatre classes de fissuration sont proposées. La méthodologie de calcul et les seuils retenus pour ces classes sont présentés ci-dessous.

- Pour la densité de fissuration : calcul par maille, exprimé en m/m²
 - G1 : densité < 5 m/m²
 - G2 : densité comprise entre 5 et 10 m/m²
 - G3 : densité supérieure ou égale à 10 à 15 m/m²
 - G4 : densité supérieure ou égale à 15 m/m²

Nous présentons ci-dessous la visualisation des résultats obtenus sur une section.

Exemple de rendu.



Les seuils proposés ont fait l'objet d'une validation terrain sur l'échantillon de routes auscultées.

Ce traitement peut également être mis en œuvre sur les fissures orientées selon la classification « longitudinale » ou « transversale » proposée dans le chapitre 5.3.1.1.

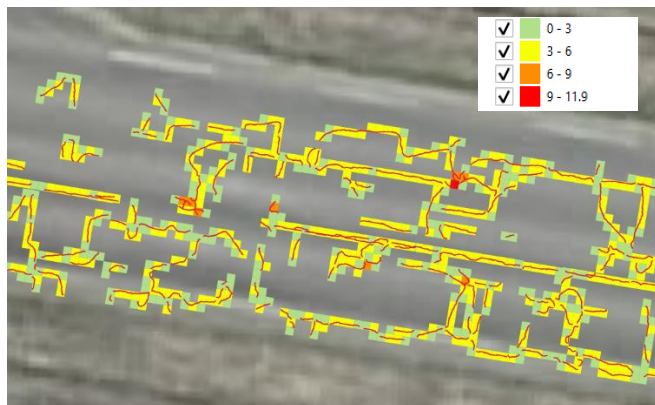
- GravFL : gravité de fissuration longitudinale (1 à 4)
- GravFT : gravité de fissuration transversale (1 à 4)

5.4.2 Fissuration pontée

Le calcul de la gravité de la fissuration pontée s'appuie sur la densité de la fissuration pontée par maille élémentaire. Elle est calculée à partir des longueurs du squelette du pontage. Les seuils de gravité suivants ont été retenus :

Pour la fissuration pontée GravFP :

- G1 : densité < 3 m/m²
- G2 : densité comprise entre 3 et 6 m/m²
- G3 : densité comprise entre 6 et 9 m/m²
- G4 : densité supérieure ou égale à 9 m/m²



Les seuils proposés ont fait l'objet d'une validation terrain sur l'échantillon des routes auscultées.

5.4.3 Départ de matériaux sur la couche de roulement

La gravité de la dégradation type « Départs de matériaux » s’appuie sur l’exploitation de la valeur « DM », exprimée en cm^3/m^2 . Dans le cadre de l’étude, la valeur DM est directement issue de la valeur RI « Ravelling Index » (issue de données type LCMS).

La gravité « GravDM » est directement restituée par maille, chaque maille élémentaire disposant de la valeur « DM ». Quatre classes sont proposées G0 à G3. Les seuils retenus pour les classes sont présentés ci-dessous :

Indicateur créé : GravDM :

- Grav 0 : 0 à $125 \text{ cm}^3/\text{m}^2$
- Grav 1 : 125 à $250 \text{ cm}^3/\text{m}^2$
- Grav 2 : 250 à $400 \text{ cm}^3/\text{m}^2$
- Grav 3 : $\geq 400 \text{ cm}^3/\text{m}^2$

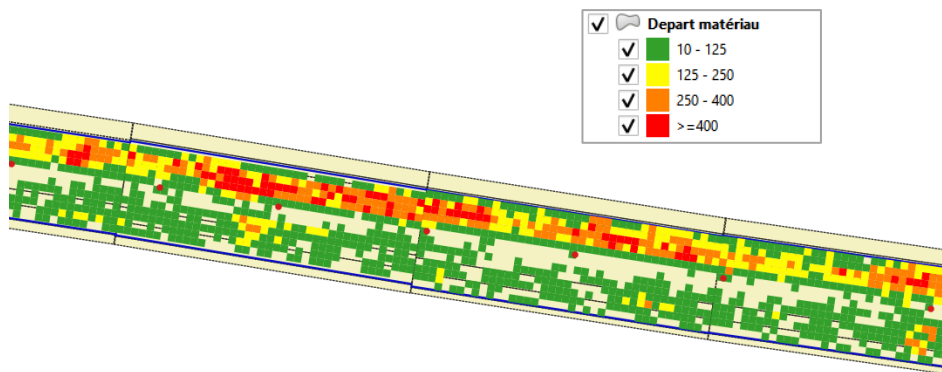


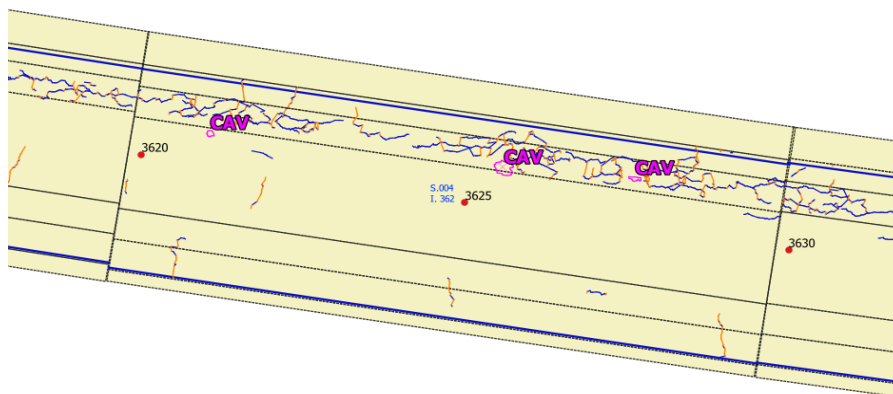
Fig 8 : départs de matériau Indicateur « DM » - visualisation des mailles de la grille avec $DM > 10 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ (les mailles avec DM compris entre 0 et $10 \text{ cm}^3/\text{m}^2$ ne sont pas affichées pour alléger la représentation).

5.4.4 Cavités

La gravité des cavités « GravCAV » est définie en s'appuyant sur le volume de la cavité, cumulant les deux paramètres surface et profondeur. Les gravités ne sont donc pas calculées par maille, mais par cavité directement.

Trois classes de gravités sont établies :

- G1 : volume inférieur à "50 cm³" :
- G2 : volume compris entre "50 cm³" et "250 cm³"
- G3 : volume supérieur ou égal à "250 cm³"



Remarque :

Les paramètres surface et profondeur peuvent également faire l'objet d'indicateurs élémentaires (non traités dans la présente étude).

5.4.5 Usure du revêtement

Il existe un indicateur spécifique au LCMS nommé « Bleeding » qui permet de localiser les zones ponctuelles présentant des remontées de liant ou des enfoncements de gravillons. Nous n'avons pas étudié d'autres indicateurs provenant d'autres systèmes d'acquisition de dégradations automatisés, faute de données disponibles.

L'échantillon de routes analysées ne comprenait que très peu de zones présentant ce type de dégradation. Ainsi, n'ayant pour l'instant pas assez d'informations relatives à la qualification de différents niveaux d'usure, nous n'avons pas proposé de seuils pour cette dégradation : la gravité s'exprime finalement sous la forme d'un seul niveau G1 lorsque cette dégradation est présente.

5.4.6 Réparations

Les réparations ne font pas l'objet de calcul de gravité par maille élémentaire. Seule la surface et la nature sont restituées dans chaque maille, par type de réparation.

- Pour rappel les réparations prises en compte sont les suivantes :
 - SurfRepBB : Réparations de type « Bétons bitumineux » (purges par exemple) ;
 - SurfRepPAT : Réparations de type « Emplois partiels » ;
 - SurfRepAut : Toutes les autres réparations : déflachage par exemple.

5.5 Synthèse à pas fixe

La mise en place des mailles élémentaires permet de disposer d'informations fines au niveau de la chaussée. Elles sont très utiles pour réaliser une étude « micro » de zones ciblées de la chaussée (étude ponctuelle sur zones présentant une pathologie particulière, réhabilitation de chaussée, ...) mais elles sont trop nombreuses pour une exploitation « macro » par un gestionnaire. Pour obtenir une synthèse, un travail de compilation complémentaire s'est avéré nécessaire.

La compilation est réalisée sous forme d'une synthèse à pas fixe, par voie, consistant à agréger les informations contenues dans les mailles élémentaires. Le pas retenu est le pas des images chaussées 3D – 5 m ou 10 m en général : l'agrégation consiste à réaliser des sommes de valeurs à pas fixe.

La restitution des informations est réalisée pour chaque voie, par surface, par nombre, par longueur, en s'appuyant sur les gravités calculées, par image (au pas de 5 m, ou 10 m, ... en fonction des paramètres d'acquisition choisis), selon le processus suivant :

- Pour le rendu de type « surface » : somme des surfaces des mailles élémentaires affectées par la dégradation, par gravité ;
- Pour le rendu de type « dénombrement » : somme des nombres de mailles élémentaires affectées, en fonction de la gravité ;
- Pour le rendu de type « longueur » : somme des longueurs considérées.

5.5.1 Indicateurs par « images » ou par pas

Les indicateurs fournis sont listés dans les paragraphes suivants. La valeur restituée correspond à la synthèse par « image », c'est-à-dire au pas de 5 ou 10 m.

5.5.1.1 Fissuration

- Indicateur de base :
 - SurfFIS : Surface de chaussée impactée par de la fissuration (G1 à G4 confondus)
 - Détail Surface FIS G1 / Surface FIS G2 / Surf Fis G3 / Surf Fis G4
- Indicateurs complémentaires : prise en compte de l'orientation des fissures :
 - Surf FL / Surface FL G1 / Surface FL G2 / Surface FL G3 / Surface FL G4
 - Surf FT / Surface FT G1 / Surface FT G2 / Surface FT G3 / Surface FT G4

Remarque :

Les longueurs de fissure par pas sont également fournies :

- LongFIS / LongFisG1 / LongFisG2 / Long FisG3 / Long FisG4
- Idem pour FL et FT (prise en compte de l'orientation)

5.5.1.2 Fissuration pontée

- Indicateurs de base :
 - SurfFP : surface de chaussée impactée par de la fissuration pontée (m²)
 - LongFP : Longueur fissuration pontée cumulée (m)
- Indicateurs complémentaires :
 - SurfFPG1/SurfFPG2/SurfFPG3 : surface de chaussée impactée par la fissuration pontée (m²)

5.5.1.3 Départ de matériaux

- Indicateur de base :
 - SurfDM : surface de chaussée affectée par départs matériaux (G1 à G3) (m²)
 - Surface DM G0 / Surface DM G1 / Surface DM G2 / Surface DM G3 (m²)
- Indicateurs complémentaires :
 - Sans objet

5.5.1.4 Usure du revêtement

- Indicateur de base :
 - SurfRES : surface de chaussée affectée par ressuage (quantification G1)
- Indicateurs complémentaires :
 - Sans objet

5.5.1.5 Cavités

- Indicateur de base :
 - NbCavTOT : nombre total de cavités par image
 - SurfCavTOT : Surface totale des CAV (m²) ;
 - VolCavTOT : Volume total des cavités (cm³) :
- Indicateurs complémentaires :
 - Indicateurs par gravité,
 - Nombre Cav G1 / Nombre Cav G2 / Nombre Cav G3
 - Profondeur moyenne des cavités (mm)

5.5.1.6 Réparations

Les indicateurs listés ci-dessous ne sont disponibles que si les réparations ont bien été intégrées et traitées avec la grille d'analyse.

- Indicateur de base :
 - SurfTotBB : Surface de chaussée affectée par Réparation type BB (m²);
 - SurfTotPAT : Surface de chaussée affectée par Réparation type PAT (m²)
 - SurfTotAut : Surface de chaussée affectée par Réparation type « Autres » (m²)
 - NbTotAut : Nombre «Autres» (réparations de type « enrobés à froid » par exemple)

5.5.2 Synthèse des indicateurs proposés

Nous rappelons en annexe 8.1 la liste des indicateurs décrits dans les chapitres précédents.

5.5.3 Restitution des données

5.5.3.1 Restitution cartographique

Lorsque les images 3D « chaussées » sont associées à des coordonnées géographiques, toutes les informations peuvent être restituées sous forme cartographique :

- Données natives (données entrantes – relevés de dégradations automatisés),
- Informations calculées,
- Synthèses par pas.

Les analyses et résultats produits sont exploitables dans les formats classiques : shapefile, kml, ...



5.5.3.2 Fichiers texte

Les données sont regroupées par voie, par pas de 5 ou 10 m sous forme de fichier texte de type Excel, csv, ...

La localisation est réalisée en s'appuyant sur les données traditionnelles de type ROUTE, PR, Abscisse, distance cumulée, ... Ces informations peuvent être complétées avec des données de géolocalisation du début et de la fin du pas de synthèse (coordonnées XY).

ROUTE	CUMUL	CUMUL	LgTotFL	LgTotFT	S_FissG1	S_FissG2	S_FissG3	PourcentFL	PourcentFT	S_DMG0	S_DMG1	S_DMG2	S_CAV	Nb_CAVG1	Nb_CAVG2
D133	0	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.38	0.1875	0	0
D133	10	20	0.20	0.10	0.00	0.13	0.06	0.66	0.34	2.69	0.75	0.5	0	0	0
D133	20	30	0.24	0.18	0.06	0.06	0.06	0.57	0.43	0.38	0.00	0.125	0	0	0
D133	30	40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0	0	0	0
D133	40	50	3.99	1.47	0.00	0.13	0.50	0.73	0.27	2.44	0.00	0	0	0	0
D133	50	60	2.06	1.82	0.31	0.13	0.63	0.53	0.47	3.19	0.00	0	0	0	0
D133	60	70	0.47	0.50	0.06	0.06	0.13	0.48	0.52	3.50	0.00	0	0	0	0
D133	70	80	0.53	1.07	0.00	0.19	0.13	0.33	0.67	2.25	0.00	0	0	0	0
D133	80	90	0.83	0.28	0.13	0.00	0.13	0.75	0.25	1.56	0.00	0	0	0	0
D133	90	100	0.39	1.28	0.06	0.38	0.13	0.23	0.77	2.31	0.00	0	0	0	0
D133	100	110	0.41	0.50	0.25	0.13	0.13	0.45	0.55	3.75	0.00	0	0	0	0
D133	110	120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
D133	130	140	0.19	0.36	0.13	0.06	0.06	0.35	0.65	0.00	0.00	0	0	0	0
D133	140	150	0.04	0.18	0.13	0.00	0.00	0.19	0.81	0.19	0.00	0	0	0	0
D133	150	160	0.42	0.34	0.00	0.19	0.06	0.55	0.45	0.13	0.00	0	0	0	0
D133	160	170	1.38	0.95	0.00	0.00	0.38	0.59	0.41	0.25	0.00	0	0	0	0
D133	170	180	0.49	0.46	0.06	0.38	0.19	0.52	0.48	0.06	0.00	0	0	0	0
D133	180	190	2.17	1.08	0.13	0.19	0.38	0.67	0.33	0.88	0.00	0	0	0	0
D133	190	200	4.95	3.64	0.13	0.06	0.50	0.58	0.42	4.38	0.25	0.1875	0	0	0

Dans cet exemple, les données sont calées en distance cumulées :

- S_FissG1, S_FissG2, ... représentent les surfaces (en m²) par pas de 10 m pour la fissuration, par gravité,
- S_DMG1, S_DM_G2, ... représentent les surfaces (en m²) par pas de 10 m pour les départs de matériau, par gravité ;
- S_CAV représente la surface totale (en m²) des cavités par pas de 10 m ;
- NbCAVG1, NbCAVG2, ... représentent le nombre total de cavité par pas de 10m, par gravité ;
- LgTotFL représente la longueur totale de fissure longitudinale sur le pas de 10 m ;
- LgTotFT représente la longueur totale de fissure transversale sur le pas de 10 m.

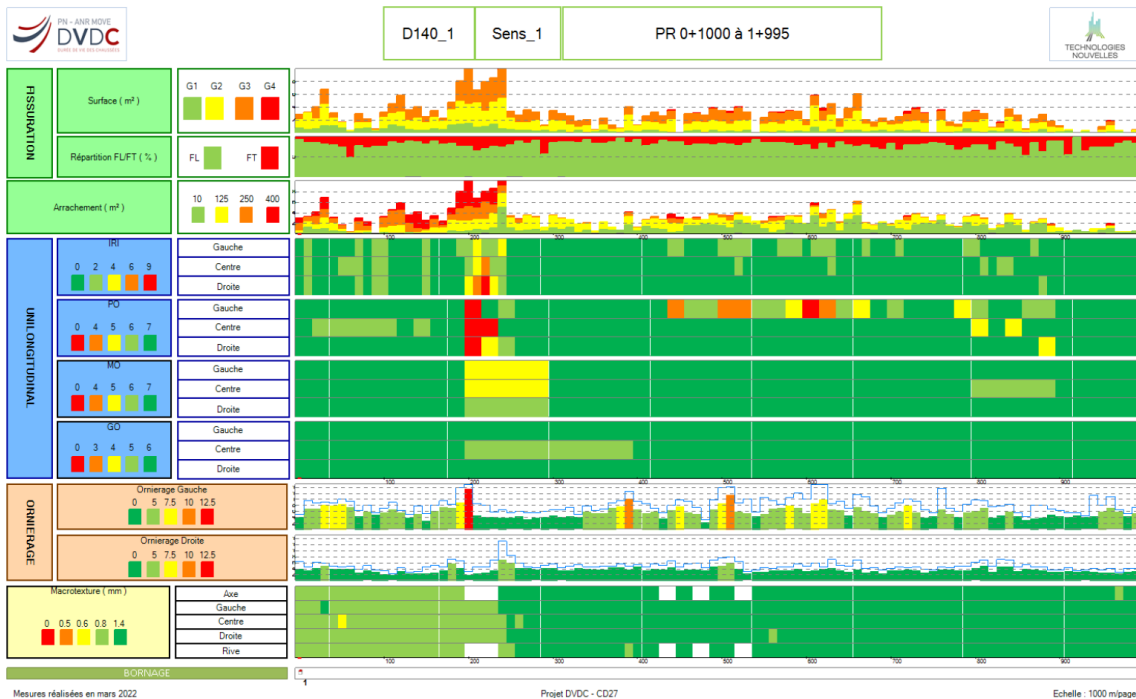
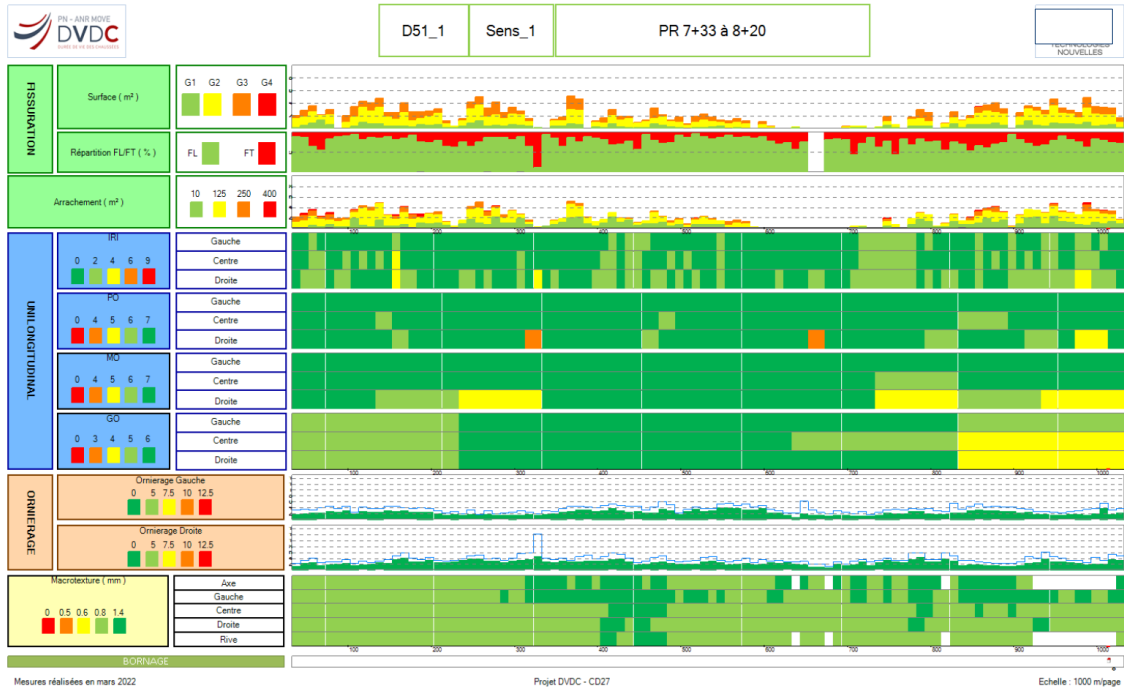
Les fichiers produits peuvent alimenter les bases de données routières et autres systèmes de gestion de chaussées « expert ».

5.5.3.3 Schéma itinéraire

Les synthèses sont exploitables sous formes de schémas itinéraires permettant de visualiser les quantités de dégradations par route ou par sections :

- Sous forme de surfaces affectées,
- En fonction des longueurs de chaussées affectées.

Nous présentons ci-dessous quelques exemples de rendu.



6 Conclusion

La méthodologie proposée permet de réaliser une synthèse quantitative et qualitative par famille de dégradations, via l'utilisation d'un système de maillage. Il n'y a pas besoin de s'appuyer sur un catalogue descriptif des caractéristiques géométriques précises pour décrire et définir les différentes familles. Il s'agit simplement de réaliser du « dénombrement » et du « classement » des différentes informations produites par les systèmes de relevés automatisés.

La quantification initiale est réalisée par carrés de 25 x 25 cm pour ensuite être synthétisée par « pas de mesure » et par voie, correspondant dans un premier temps à la longueur de l'image d'acquisition initiale (5 ou 10 m en général). Cette gestion offre la possibilité d'agrèger les résultats sur un pas plus important si nécessaire (50 m 100 m, ...) par compilation des données disponibles.

Les données sont synthétisées sous forme de **surface de chaussée impactée par type de dégradation**, selon différentes gravités, en fonction de seuils qui pourront être affinés en fonction des réseaux étudiés. Les informations relatives aux longueurs sont également disponibles.

Les données calculées permettent d'alimenter tout type de base de données routières ou documents tels « schémas itinéraires » permettant de visualiser le niveau de dégradation des chaussées.

7 Pour aller plus loin ...

Lors du premier travail d'exploitation des données fournies par les nouvelles technologies de relevés automatisés, seule une partie des informations disponibles a été exploitée.

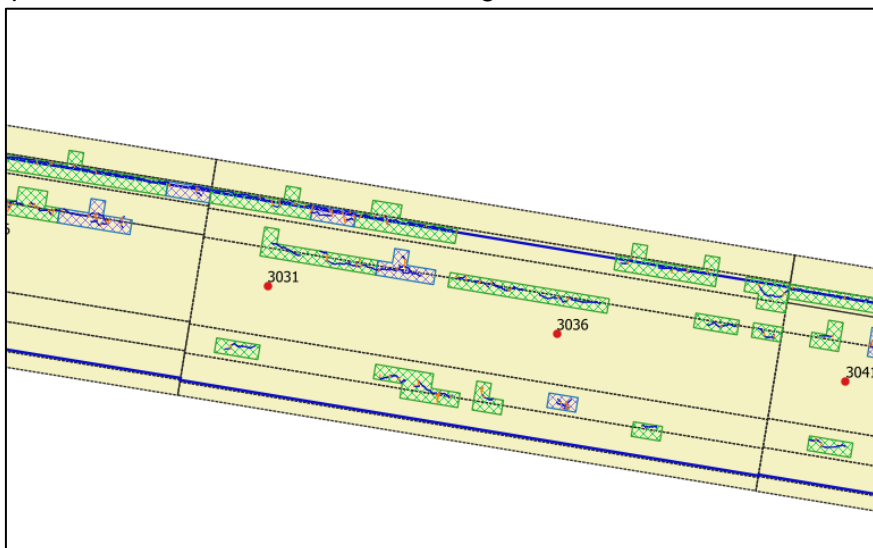
Dans une seconde phase, la prise en compte de paramètres supplémentaires permettra d'enrichir la méthodologie proposée. Nous présentons ci-dessous quelques pistes :

- Intégration de la prise en compte de la localisation des déformations (prenant en compte l'uni longitudinal et l'uni transversal) :
 - L'idée est de croiser les informations de type « Déformations » avec la présence d'autres dégradations ;
 - Cette prise en compte permettra de fournir des informations supplémentaires type "BDR"* ou "NSBDR**", et donc pour le croisement avec la fissuration, des descripteurs de type "Surface FissG1_BDR" ou "Surface FissG1_NSBD"R
 - Enrichir et affiner le niveau d'informations à extraire et à « reconstituer ». Par exemple, pour la fissuration :
 - Caractériser la fissuration longitudinale ;
 - Caractériser le faïençage ;
 - Caractériser les fissures transversales.
- Pour ces 3 thématiques, les tests réalisés en exploitant les mailles élémentaires démontrent la faisabilité de cette classification.

* BDR : Bande de roulement

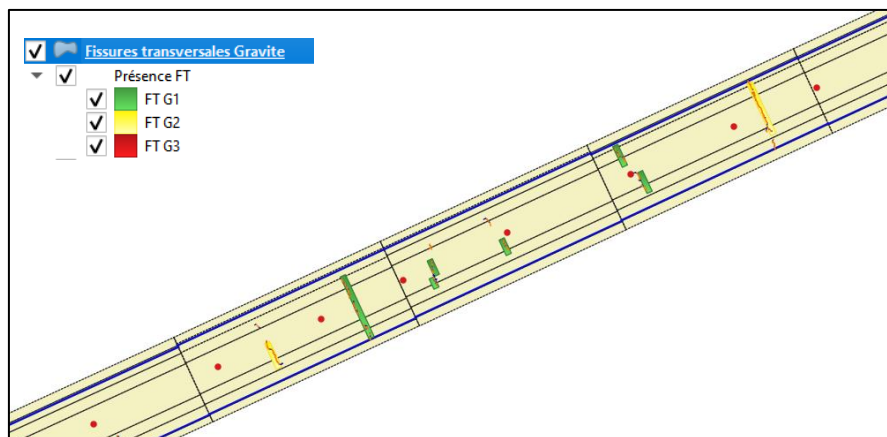
** NSBDR : Non spécifique aux bandes de roulement

➔ Exemple de détection de la fissuration longitudinale :



La fissuration longitudinale est représentée par les zones vertes et bleues, en fonction de leur gravité.

→ Exemple de détection de la fissuration transversale :
La méthode permet de localiser les fissures transversales et de leur attribuer une gravité.



8 ANNEXES

8.1 Synthèse des indicateurs proposés

8.1.1 Indicateurs par maille

Indicateurs par maille élémentaire	Description	Base	Option
LgFIS	Longueur cumulée de fissuration (m)	x	
DensFIS	Densité de fissuration (m/m ²)	x	
LgFP	Longueur cumulée de fissuration pontée (m)	x	
DensFP	Densité de fissuration pontée (m/m ²)	x	
DM	Valeur départ de matériau (cm ³ /m ²)	x	
NbCAV	Nb cavité par maille	x	
VolCAV	Volume cavité (cm ³)	x	
SurfCAV	Surface des cavités (cm ²)	x	
SurfRessElem	Surface de ressuage (m ²)	x	
GravFIS	Gravité fissuration (1 à 4)	x	
GravFP	Gravité fissuration pontée (1 à 3)	x	
GravDM	Gravité départ de matériau (0 à 3)	x	
GravCAV	Gravité associée à chaque cavité (1 à 3)	x	
LgFL	Longueur cumulée de fissuration longitudinale (m)		x
DensFL	Densité de fissuration longitudinale (m/m ²)		x
LgFT	Longueur cumulée de fissuration transversale (m)		x
DensFT	Densité de fissuration transversale (m/m ²)		x
LgFPL	Longueur cumulée de fissuration longitudinale pontée (m)		x
DensFPL	Densité de fissuration longitudinale pontée (m/m ²)		x
LgFPT	Longueur cumulée de fissuration transversale pontée (m)		x
DensFPT	Densité de fissuration transversale pontée (m/m ²)		x
GravFL	Gravité fissuration longitudinale (1 à 4)		x
GravFT	Gravité fissuration transversale (1 à 4)		x
GravFPL	Gravité fissuration longitudinale pontée (1 à 3)		x
GravFPT	Gravité fissuration transversale pontée (1 à 3)		x
SurfRepBB	Surface des réparation de type BB (cm ²)		x
SurfRepPAT	Surface des réparation de type PAT (cm ²)		x
SurfRepAUT	Surface des réparation de type enrobés à froid (cm ²)		x
NbRepAUT	Nb réparations de type enrobés à froid		x

8.1.2 Indicateurs par « image »

Indicateurs par image	Description	Base	Option
SurfFIS	Surface de chaussée affectée par fiss. de gravité G1àG4 (m ²)	X	
SurfFISG1	Surface de chaussée affectée par fiss. de gravité G1 (m ²)	X	
SurfFISG2	Surface de chaussée affectée par fiss. de gravité G2 (m ²)	X	
SurfFISG3	Surface de chaussée affectée par fiss. de gravité G3 (m ²)	X	
SurfFISG4	Surface de chaussée affectée par fiss. de gravité G4 (m ²)	X	
SurFFT	Surface de chaussée affectée par fis. transversale (m ²)	X	
SurFFP	Surface de chaussée affectée par fis. pontée (m ²)	X	
LongFIS	Longueur cumulée de fissuration (m)	X	
LongFP	Longueur cumulée de fissuration pontée (m)	X	
SurfDM	Surface de chaussée affectée par des départs de matériaux (m ²)	X	
SurfDMG0	Surface de chaussée affectée par des départs de matériaux G0 (m ²)	X	
SurfDMG1	Surface de chaussée affectée par des départs de matériaux G1 (m ²)	X	
SurfDMG2	Surface de chaussée affectée par des départs de matériaux G2 (m ²)	X	
SurfDMG3	Surface de chaussée affectée par des départs de matériaux G3 (m ²)	X	
SurFRES	Surface de chaussée affectée par ressuage (m ²)	X	
NbCavTOT	Nombre total de cavités	X	
SurfCavTOT	Surface totale des cavités (m ²)	X	
VolCavTOT	Volume total des cavités (cm ³)	X	
SurFFLG1	Surface cumulée de fissuration long. de gravité G1 (m ²)		X
SurFFLG2	Surface cumulée de fissuration long. de gravité G2 (m ²)		X
SurFFLG3	Surface cumulée de fissuration long. de gravité G3 (m ²)		X
SurFFLG4	Surface cumulée de fissuration long. de gravité G4 (m ²)		X
SurFFTG1	Surface cumulée de fissuration trans. de gravité G1 (m ²)		X
SurFFTG2	Surface cumulée de fissuration trans. de gravité G2 (m ²)		X
SurFFTG3	Surface cumulée de fissuration trans. de gravité G3 (m ²)		X
SurFFTG4	Surface cumulée de fissuration trans. de gravité G4 (m ²)		X
SurFFPG1	Surface de chaussée affectée par fis. Pontée de gravité 1 (m ²)		X
SurFFPG2	Surface de chaussée affectée par fis. Pontée de gravité 2 (m ²)		X
SurFFPG3	Surface de chaussée affectée par fis. Pontée de gravité 3 (m ²)		X
NbCavG1TOT	Nombre total de cavités G1		X
NbCavG2TOT	Nombre total de cavités G2		X
NbCavG3TOT	Nombre total de cavités G3		X
LongFISG1	Longueur cumulée de fissuration G1 (m)		X
LongFISG2	Longueur cumulée de fissuration G2 (m)		X
LongFISG3	Longueur cumulée de fissuration G3 (m)		X
LongFISG4	Longueur cumulée de fissuration G4 (m)		X
LongFLG1	Longueur cumulée de fissuration long. G1 (m)		X
LongFLG2	Longueur cumulée de fissuration long. G2 (m)		X
LongFLG3	Longueur cumulée de fissuration long. G3 (m)		X
LongFLG4	Longueur cumulée de fissuration long. G4 (m)		X
LongFTG1	Longueur cumulée de fissuration trans. G1 (m)		X
LongFTG2	Longueur cumulée de fissuration trans. G2 (m)		X
LongFTG3	Longueur cumulée de fissuration trans. G3 (m)		X
LongFTG4	Longueur cumulée de fissuration trans. G4 (m)		X
SurFTotBB	Surface de chaussée affectée par Réparation type BB (m ²)		X
SurFTotPAT	Surface de chaussée affectée par Réparation type PAT (m ²)		X
SurFTotAut	Surface de chaussée affectée par Réparation type AUTRE (m ²)		X
NbTotAut	Nombre de réparations de type Autre		X