

Projet National de recherche et développement

**RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE**

**Elaboration d'une méthodologie de  
traitement de données dans le cadre de  
l'étude de la durabilité des couches de surface**

**Auteur(s) / Organisme(s) :**

Milèna BARRAS – Cerema

Julien DRUET - Cerema

**Thème de rattachement :**

Thème 3 : Evaluation de la durée de vie résiduelle des chaussées

DVDC/R/039

LC/19/DVDC/71

27/02/2019

## Sommaire

<b>Sommaire</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Résumé</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Liste des acronymes</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Introduction</b> .....	<b>7</b>
<b>4 Méthodologie retenue</b> .....	<b>7</b>
4.1 Choix des sites .....	7
4.2 Choix de l'outil de mesure .....	8
<b>5 L'outil Aigle 3D</b> .....	<b>14</b>
<b>5.1 Présentation de l'outil</b> .....	<b>14</b>
5.2 Descripteurs retenus pour l'outil Aigle 3D .....	15
5.3 Ciblage des données à extraire.....	16
<b>6 Site étudié</b> .....	<b>19</b>
<b>7 Utilisation des données Aigle 3D sur la RD681</b> .....	<b>19</b>
7.1 Correspondance entre les zones relevées par l'A3D et la réalité sur site.....	20
7.2 Correspondance entre les mesures réalisées par l'A3D et les données fournies par le questionnaire .....	20
<b>8 Obtention des résultats issus de l'outil Aigle 3D concernant la RD681</b> .....	<b>21</b>
8.1 Visite sur site.....	21
8.2 Développement d'un outil nomade connecté .....	21
8.3 Outils supplémentaires utilisés lors de la visite .....	22
8.4 Réalisation de la visite sur la RD681 .....	23
8.4.1 Difficultés rencontrées sur le terrain .....	24
8.5 Report des données issues de la visite sur la RD681 dans le logiciel Arcgis .....	24
8.5.1 Découpage en tronçons homogène et exclusions de zones spécifiques .....	26
8.5.2 Obtention des résultats en zones homogènes .....	26
8.5.3 Extraction et mise en forme des données Aigle 3D .....	26
8.5.4 Validation des données .....	27
<b>9 Méthodologie d'analyse des résultats</b> .....	<b>28</b>
9.1 Méthodologie d'analyse du petit orniérage d'après les données Aigle 3D .....	28
9.1.1 Comparaison du petit orniérage pour chaque planche étudiée .....	29
9.1.2 Evolution du petit orniérage selon l'âge pour un type de structure spécifique .....	30
9.2 Méthodologie d'analyse de la PMT d'après les données A3D .....	30

9.2.1	Comparaison de la PMT mesurée pour chaque planche étudiée .....	31
9.2.2	Comparaison de la PMT la plus représentative pour un type de structure .....	33
9.2.3	Evolution de la PMT selon l'âge de la couche de surface pour un type de structure ...	33
9.3	Méthodologie d'analyse des fissurations et des zones sans dégradation d'après les données A3D.....	34
9.3.1	Etude des données de fissurations mesurées par l'A3D.....	34
9.3.2	Etude des données concernant les zones sans dégradations recensées par l'A3D ....	35
9.3.3	Evolution des descripteurs de fissuration et de zones sans dégradation en fonction de l'âge pour un type de technique de roulement donné .....	36
9.4	Conclusion intermédiaire concernant les descripteurs retenus et leur pertinence dans le cas de laRD681 .....	37
<b>10</b>	<b>Evolutions possibles de la méthode et gains d'efficacité .....</b>	<b>38</b>
<b>11</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>40</b>
<b>ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE DE RECENSEMENT DE SITES DANS LE CADRE DU PROJET DVDC – « DURABILITÉ DE VIE DES COUCHES DE SURFACE » .....</b>		<b>41</b>
	Descriptif de la technique de chaussée et procédé mis en œuvre .....	43
	Données concernant les sites d'applications .....	45
	Suivis des chaussées.....	46
	Processus de fin de vie du procédé pour les sites référencés.....	48
	Remarques supplémentaires.....	49
<b>ANNEXE 2 : BILAN DES SITES RECENSÉS LORS DE LA PREMIÈRE PHASE DU PROJET .....</b>		<b>50</b>
	Tableau récapitulatif des sites recensés, classés par technique de surface .....	51
<b>ANNEXE 3 : FICHE DE PRÉSENTATION DE L'OUTIL AIGLE 3D.....</b>		<b>52</b>
<b>ANNEXE 4 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ENSEMBLE DES PHOTOGRAPHIES RÉALISÉES LORS DE LA PHASE PRELIMINAIRE.....</b>		<b>55</b>
<b>ANNEXE 5 : DONNÉES COMPLÉMENTAIRES FOURNIES PAR LE CD71 LORS DE LA VISITE TERRAIN (ORIGINE : IQRN) .....</b>		<b>57</b>
<b>ANNEXE 6 : VARIATION DE SECTIONNEMENT SUITE À TRANSMISSION DE COMPLÉMENTS D'ÉLÉMENTS DE LA PART DU CD71 .....</b>		<b>60</b>
<b>ANNEXE 7 : Atlas de dégradations .....</b>		<b>63</b>
	Exemple d'atlas de dégradations pour la planche 1 .....	63

# 1 Résumé

## Résumé en français

Face à la nécessité croissante de répondre aux exigences d'atténuation du changement climatique et d'économie des ressources naturelles, les gestionnaires d'infrastructures routières se sont tournés depuis plus d'une vingtaine déjà vers des techniques d'entretien plus sobres telles que le recyclage des enrobés ou bien les enrobés tièdes.

Toutefois, si le comportement de ces techniques innovantes d'entretien des couches de surface a été observé classiquement de façon empirique à travers des suivis de chantier reposant principalement sur des relevés visuels de dégradations, il pourrait, aujourd'hui, s'avérer intéressant d'utiliser les nouveaux moyens d'auscultation à notre disposition tels que, par exemple, les capteurs laser LCMS (Laser Crack Measurement System) pour mieux quantifier et qualifier le comportement de ces enrobés après plusieurs années de service.

Pour ce faire, il est nécessaire de développer une nouvelle méthodologie adaptée à ce contexte spécifique. En effet, jusqu'à présent, les appareils LCMS ont principalement été utilisés pour des mesures à grand rendement sur des linéaires importants afin de produire des indicateurs globaux de gestion du patrimoine routier.

Le présent rapport explicite donc cette méthodologie spécifique qui a ensuite été mis en œuvre sur une section test de la RD681 gérée par le Conseil Départemental de la Saône-et-Loire (CD71), dans le but d'évaluer sa pertinence et les difficultés rencontrées et afin envisager d'éventuelles améliorations.

Cette méthodologie doit ensuite permettre de réaliser une comparaison des planches entre elles (enrobés sans et avec recyclés, tièdes et chauds) sur un panel de sites qui ont pu préalablement être recensés grâce à l'envoi d'un questionnaire aux professionnels de la route.

*Ce travail ultérieur fera l'objet d'un second rapport correspondant à la lettre de commande (LC/21/DVDC/137).*

## Abstract

Faced with the growing need to meet the requirements of mitigating climate change and saving natural resources, road infrastructure managers have turned for more than twenty years to more sober maintenance techniques such as recycling asphalt or warm asphalt.

However, if the behavior of these innovative surface layer maintenance techniques has traditionally been observed empirically through site monitoring based mainly on visual records of degradation, it could, today, be interesting to use the new monitoring means at our disposal such as, for example, the LCMS (Laser Crack Measurement System) laser sensors to better quantify and qualify the behavior of these asphalt mixes after several years of service.

To do this, it is necessary to develop a new methodology adapted to this specific context. Indeed, until now, LCMS devices have mainly been used for high-performance measurements on large lengths in order to produce global indicators of road asset management.

This report therefore explains this specific methodology which was then implemented on a test section of the RD681 managed by the Departmental Council of Saône-et-Loire (CD71), in order to assess its relevance and the difficulties encountered and to consider possible improvements.

This methodology must then make it possible to carry out a comparison of the boards between them (asphalt without and with recycled, warm and hot) on a panel of sites which could be identified beforehand thanks to the sending of a questionnaire to the road professionals.

*This subsequent work will be the subject of a second report corresponding to the order letter (LC/21/DVDC/137).*

## 2 Liste des acronymes

---

APL : Analyseur de Profil en Long

BBDr : Béton Bitumineux Drainant

BBE : Béton Bitumeux à l'Emulsion

BBM : Béton Bitumeux Mince

BBME : Béton Bitumeux à Module Elevé

BBS : Béton Bitumineux Souple

BBSG : Béton Bitumineux Semi-Grenu

BBTM : Béton Bitumeux Très Mince

BBUM : Béton Bitumeux Ultra-Mince

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

CFL : Coefficient de Frottement Longitudinal

CFT : Coefficient de Frottement Transversal

ES : Enduit de Surface

FTP : Fiche Technique Produit

GE : Grave Emulsion

GNSS : Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites

HRA : Hot Rolled Asphalt

IQRN : Image Qualité du Réseau National

LCMS : Laser Crack Measurement System

MBCF : Matériau Bitumineux Coulé à Froid

PMT : Profondeur Moyenne de Texture

SMA : Stone Mastic Asphalt

SSV : Système de saisie Visuelle

VPN : Virtual Private Network

## 3 Introduction

---

Le projet DVDC – « Durabilité de vie des couches de surfaces » tend à étudier le comportement sur le long terme de techniques de surfaces innovantes ou de techniques jusqu'à présent peu étudiées sur le long terme afin de tenter, par une approche statistique, d'estimer leur durée de vie, voire d'obtenir des informations concernant des lois de comportement propres à chaque technique.

Cependant, les complications de ce type d'exercice sont multiples :

- Utiliser un outil de mesure qui soit fiable et répétable quelques soient les sites recensés au niveau national ;
- Pallier aux disparités liées à une étude à échelle nationale (climat, gestion du patrimoine, trafic, contexte géologique...);
- Développer une méthodologie qui permet d'évaluer les dégradations surfaciques et d'exclure les zones présentant des dégradations structurelles.

Le présent rapport constitue un retour d'expérience concernant le développement d'une méthodologie de récupération et de traitement de données permettant d'obtenir un état des lieux d'une section. L'objectif de ce rapport est de pouvoir réaliser, dans un second temps, une étude à échelle plus grande et comparative entre plusieurs sites, notamment sur l'usage de techniques tièdes, puis, éventuellement, de recyclage, en couche de surface.

## 4 Méthodologie retenue

---

### 4.1 Choix des sites

Le projet a été initié par une collecte d'informations concernant des sites pouvant répondre aux besoins de l'étude. Le groupe de travail a cherché à recenser des sites ayant les conditions suivantes :

- Un âge de mise en œuvre avancé : n'étaient visés que les sites ayant des âges de mise en œuvre supérieurs à 5 ans, voire, idéalement, supérieurs à 8 ans ;
- L'usage d'une technique soit de type recyclage, soit de type tiède dans la couche de surface<sup>1</sup> ;
- L'accessibilité à des données d'archives, notamment sur les conditions de mise en œuvre (année, météorologie, matériaux...), et la possibilité de se rendre sur site afin de pouvoir réaliser des visites *in-situ* le cas échéant.

Afin d'étayer le recensement, un questionnaire a été rédigé à destination des gestionnaires, notamment des Conseils Départementaux, expédié dès septembre 2019 (**Annexe 1**).

---

<sup>1</sup> Pour le cas du recyclage, un pourcentage minimum de 30% de recyclé était visé ; pour le cas du tiède, le choix a été fait de recenser l'ensemble des sites possibles pour ensuite pouvoir décomposer en gamme de température pour la phase comparative.

Les résultats du recensement sont les suivants :

Technique	Nombre de sites	Répartition en catégorie de route	Année de mise en œuvre (Année min – année max)
Tiède	18	4 Autoroutes 13 RD 1 RN	2005 (1994 – 2011)
Recyclé	12	1 giratoire 1 Autoroute 10 RD	2013 (2009 – 2014)

L'**Annexe 2** présente un récapitulatif des sites répertoriés lors de la phase de recensement entreprise en début de projet.

Le recensement des sites pouvant être étudiés dans le cadre du projet DVDC – « Durabilité de vie des couches de surface » comporte une multiplicité, tant de conditions d'usages (trafic, type de véhicule), de contraintes (climatiques, géotechniques) que de gestions (entretien), qui complexifie l'évaluation du comportement des techniques de surface.

Pour éviter d'ajouter des biais dus à une incertitude concernant la mixité des opérateurs et des lieux lors des mesures de l'état de surface des sites et obtenir des résultats comparables les uns par rapport aux autres, il est nécessaire d'utiliser un outil pouvant recueillir des mesures tangibles sur l'état de surface des chaussées.

## 4.2 Choix de l'outil de mesure

Traditionnellement, les suivis de ces chantiers innovants se basent sur les doctrines d'auscultation des réseaux routiers.

Aussi, ces suivis de sections innovantes font intervenir des relevés visuels de dégradations. Ces relevés visuels qui permettent de quantifier et de qualifier les dégradations observées telles que les fissures longitudinales et transversales spécifique / non spécifique bandes de roulement, l'orniérage petit et grand rayon, le faïençage, se font soit à pied, soit à bord d'un véhicule circulant à faible vitesse grâce à une console de saisie des différentes dégradations observées (SSV).

Ces relevés de dégradations se font classiquement selon la méthode d'essai LPC n°38-2 (relevé des dégradations de surface des chaussées) [1] et la méthode d'essai n° 52 (catalogue des dégradations de surface des chaussées) [2] qui répertorie le type de dégradations de surface que l'on peut rencontrer usuellement sur les réseaux auscultés.

Certaines de ces données peuvent également être obtenues à l'aide d'appareils de mesures à grand rendement :

- Analyseur de Profil en Long (APL), UNIBOX, MLPL, Laserprof ou HAWKEYE pour la mesure de l'UNI longitudinal ;
- Transversoprofilomètre ou règle à ultrason (TUS) pour la mesure des profils en travers et la mesure de l'orniérage ;

Les suivis de ces chantiers innovants sont généralement complétés d'une part par des données et des essais concernant la caractérisation des matériaux utilisés (formulation, essais sur les bitumes et les granulats) et d'autre part par des mesures d'adhérence effectuées soit manuellement (Profondeur Moyenne de Texture obtenue par essais à la tâche) soit effectuées par des appareils à grand rendement (Coefficient de Frottement Transversal obtenu à l'aide du SCRIM, Coefficient de Frottement Longitudinal obtenu à l'aide du GRIPTESTER ou de l'ADHERA, Profondeur Moyenne de Profil obtenue à l'aide du RUGOLASER).

Comme on peut le constater, le suivi de ces chantiers innovants peut faire intervenir un nombre assez importants d'appareils d'auscultation ce qui peut poser des difficultés pour la compilation et l'exploitation des données relevées.

De plus, pour éviter d'ajouter des biais dus à une incertitude concernant la mixité des opérateurs et des lieux lors des mesures de l'état de surface des sites et obtenir des résultats comparables les uns par rapport aux autres, il est nécessaire d'utiliser un outil pouvant recueillir des mesures tangibles sur l'état de surface des chaussées.

Aussi, dans le cadre de cette étude, il apparaîtrait opportun de pouvoir utiliser des nouveaux outils d'auscultation issus des technologies plus récentes basée sur les mesures laser : les capteurs LCMS. [3]

En effet, grâce à leur technologie de pointe permettant l'acquisition de nuages de points sur la surface de la chaussée auscultée, ces nouveaux outils ont l'avantage d'être polyvalents et de remplacer plusieurs appareils de mesures.

Ainsi, ces appareils vont permettre d'obtenir :

- des données visualisables et traitables automatiquement dans un SIG en trois dimensions ;
- une fiabilité, une précision et une répétabilité plus fine et plus objective des descripteurs relevés, que dans le cas d'un relevé non automatique ;
- une analyse de toute la surface de la chaussée circulée (sur 4 m de large), avec localisation précise de la dégradation (et non plus uniquement « dans » ou « non spécifique » bande de roulement) ;
- un rendement plus important, ces mesures étant réalisées dans le flot de circulation ;
- éventuellement d'exploiter les descripteurs relevés lors de leur passage dans le cadre de la programmation d'entretien ou du diagnostic de réseau (en modifiant l'agrégation ou l'algorithme d'analyse si besoin). Au contraire, un relevé de dégradations manuel ou semi-automatique selon un mode précis n'est pas transposable dans un autre mode opératoire a posteriori ;
- le relevé de tous les descripteurs requis, à l'exception de la micro-texture qui devra être évaluée à l'aide d'un matériel de mesure d'adhérence (SCRIM, GRIPTESTER, ADHERA, éventuellement SRT).

La plupart des mesures sont réalisées conformément aux référentiels techniques ASTM et ISO6 ;

- une exploitation automatique des descripteurs, donc plus fiable et plus rentable ;

Toutefois, l'utilisation de ces matériels présentent néanmoins quelques inconvénients.

En effet, le gabarit généralement important de ce type d'appareil de mesure (Gabarit classique d'un véhicule doté de LCMS : largeur : ~2,5m ; longueur : ~6.2m ; hauteur : ~3,1 m) peut rendre délicate leur utilisation sur certains types de réseaux :

- les voies auscultables ne doivent pas générer de fortes vibrations du véhicule (sensibilité du matériel ; voies pavées, voies fortement dégradées...);
- les voies auscultables ne doivent pas empêcher le croisement du véhicule avec d'autres véhicules (par exemple, coupure de la mesure laser à faible vitesse, risque de collision des véhicules...);

Par ailleurs, du fait de l'utilisation de technologie laser, la chaussée doit être sèche et propre.

Enfin, même si l'on s'affranchit du passage de plusieurs appareils différents grâce à ce seul outil polyvalent, il demeure que le coût de la mesure à l'aide de cette technologie de pointe peut s'avérer assez élevé, surtout si l'on ausculte des sections de courtes distances, ce qui est le cas dans le présent projet. [4]

Aussi, il pourrait être intéressant pour l'auscultation des sites envisagés dans le cadre du présent projet de se pencher sur des technologies innovantes à bas coûts développées récemment par certains constructeurs.

Ces technologies reposent principalement sur l'apport de l'intelligence artificielles combinée à des moyens d'acquisition relativement courant et peu coûteux telles que des caméras embarquées ou même de simples smartphones.

Le principe est d'utiliser l'intelligence artificielle pour exploiter les données filmées afin de déterminer les diverses dégradations rencontrées. Ce type de solution se base également sur le deep learning qui permet à l'outil de s'améliorer au fur et à mesure du traitement des données collectées [5].

Parmi, les diverses solutions développées lors de ces dernières années nous pouvons citer par exemple les produits développés par l'entreprise VAISALA (<https://www.vaisala.com/en/products/road-ai>). [6]

A noter que le déploiement de cette technologie a fait l'objet d'une expérimentation avec le Conseil Départemental de la Haute-Garonne (CD31). En effet, dans le cadre du programme public national Appel à projet d'innovation « Routes et Rues » (session 2019), le comité « Innovation Routes et Rues » a retenu l'innovation « diagnostic continu de la chaussée avec intelligence artificielle » présenté conjointement par la société VAISALA et le Conseil Départemental de la Haute-Garonne. [7]

A ce jour, nous ne disposons malheureusement de publication sur cette expérimentation très récente.

Il existe aujourd'hui un certain nombre d'entreprises qui ont développé des outils relativement similaire. Parmi celles-ci, on peut noter, de manière non exhaustive :

- VIAPIX (<https://viapix.fr/en/home/smart-processing/>) ;
- ROADCARE : <https://www.roadcare.ai/> ;
- VIALYTICS : <https://www.vialytics.fr/> ;

- LOGIROAD : <https://logiroad.ai/466/releve-de-degradation-des-routes/> ;
- JAKARTA : <https://www.jakarta.com/fr/> ;
- Rival Solutions : [http://www.rivalsolutions.com/rubix/?page\\_id=8](http://www.rivalsolutions.com/rubix/?page_id=8) et <http://www.drivenby.be/fr/street-check-up/auscultation-directe> ;
- DIAGWAY Smart : [https://fondation-ferec.fr/wp-content/uploads/2020/03/AAP2018\\_DIAGWAY\\_livvable.pdf](https://fondation-ferec.fr/wp-content/uploads/2020/03/AAP2018_DIAGWAY_livvable.pdf) ;
- ROADROID : <https://www.roadroid.com/>

Parmi d'autres solutions existant sur le marché ; nous pouvons également évoquer le démonstrateur MIRANDA (Mesure d'Indicateurs Routiers Automatisé par appareil Nomades d'Auscultation) développé par l'Université Gustave Eiffel (UGE) (<https://lames.univ-gustave-eiffel.fr/materiels-et-logiciels/miranda>) qui est un outil de monitoring automatisé destiné aux gestionnaires d'infrastructures routières pour la surveillance de certaines caractéristiques de surface des chaussées.

Actuellement, cet outil permet la détection et le suivi de défauts de profils longitudinaux dont les longueurs d'ondes sont comprises entre 3m et 45m (défauts impactant le confort de conduite) ainsi que certains défauts significatifs de plus petites tailles (ex : nids-de-poule).

Développé en partenariat avec les laboratoires SII et Géoloc de l'Université Gustave Eiffel, MIRANDA est un système s'appuyant sur l'utilisation de véhicules traceurs (ex : flotte de véhicules professionnels) équipés de smartphones comme moyens de recueil et de transmission d'informations (via une application Android fonctionnant de manière autonome). Ces informations, collectées de façon continue dans le temps et dans l'espace, sont converties en indicateurs routiers (ex : estimation de notes d'uni ou de l'IRI\*) ces derniers alimentant ensuite une base de données en temps quasi-réel. Par l'exécution de requêtes, le gestionnaire peut alors afficher les indicateurs pour une zone et une période données sur des fonds de carte.

Conçu dans un premier temps pour l'auscultation des réseaux non principaux (ex : réseaux secondaires), MIRANDA devrait permettre aux gestionnaires de connaître régulièrement le niveau de service de leurs réseaux par rapport à certains critères comme le confort de conduite par exemple.

\* International Roughness Index



Figure 1. Schéma de principe du démonstrateur MIRANDA

A noter que ce démonstrateur MIRANDA a fait l'objet d'une expérimentation dans le cadre du projet GERESE pour lequel ce prototype a été utilisé sur environ 100 km dans les départements de la Seine-Maritime et de la Mayenne, soit un total d'environ 200 kilomètres de mesures. [8]

Ce démonstrateur a également été testé dans le cadre du projet DVDC pour lequel 2 rapports ont été produits.

Néanmoins, si ces solutions innovantes bas coût s'avèrent extrêmement prometteuses, elles sont encore en cours de développement et l'on manque actuellement de recul pour évaluer précisément leur fiabilité et leur degré de précision.

Aussi, pour ce projet, nous avons fait le choix d'utiliser l'outil Aigle 3D (A3D), développé par le Cerema.

En effet, cet outil étant déployé par le Cerema depuis 2018, nous disposons de ce fait d'un certain recul concernant les mesures effectuées principalement sur le réseau routier national non concédé.

Ainsi, le projet global « Durabilité de vie des couches de surface » s'appuie sur les mesures réalisées par l'outil A3D pour mener une comparaison entre chaque site retenu et ainsi tenter l'obtention d'une estimation de la durée de vie des techniques de surface ciblées (tièdes et de recyclage), voire de déterminer une loi de comportement propre à chaque technique.

Cependant, l'outil A3D n'a été utilisé jusqu'à présent que pour mener des études à échelle nationale, pour des résultats statistiques, et n'était pas préparé pour s'adapter aux besoins et contraintes du projet, qui nécessite une approche plus fine (par tronçons homogènes, voire par types de défauts).

En effet, l'outil Aigle 3D est jusqu'à présent principalement utilisé dans le cadre de l'IQRN qui consiste en une opération d'évaluation annuelle des chaussées du réseau routier national non concédé. Dans le cadre de cette évaluation du RRNC, des indicateurs (IQe = Indicateur de Qualité d'Etat et IQp : Indicateur de Qualité du Patrimoine) sont produits chaque année au pas de 200 m. Toutefois, à ce jour, aucune communication officielle n'a été faite sur la méthodologie de construction de ces indicateurs.

Aussi, dans le cadre de ce projet, il a donc été nécessaire de développer une méthodologie et des outils associés à l'A3D pour pouvoir extraire les données utiles, les mettre sous format exploitable pour le projet, définir le besoin minimal de reconnaissances *in-situ* et définir des indicateurs permettant d'aboutir à des résultats pouvant qualifier un état des lieux (sur un tronçon court, à une date précise). C'est l'objectif du présent rapport « Elaboration d'une méthodologie de traitement des données dans le cadre de l'étude de la durabilité des couches de surface ».

La méthodologie et les outils développés ont suivi le programme suivant :

- Choix d'un site test sur lequel mener l'étude ;
- Recensement des données A3D nécessaires et détermination des outils et données supplémentaires nécessaires ;
- Détermination d'indicateurs utiles dans le cadre de l'étude ainsi que leur partition en niveaux permettant une évaluation comparative des tronçons ;
- Concaténation de ces données avec celles fournies par le gestionnaire ;
- Préparation à une sortie terrain qui a pour objectif un recueil des spots singuliers et des particularités à photographier ;
- Observations *in-situ* en compagnie du gestionnaire avec prises de clichés et géolocalisation des données recensées ;
- Découpage de la section en tronçons homogènes en techniques, âges et structures (nommés « planches ») ;
- Extraction de zones présentant des spécificités d'usages, de trafic, de contraintes ou d'usure parmi les zones mesurées par l'A3D ;
- Examen des données brutes et vérification de leur pertinence ;
- Analyse des données du site test et interprétations au regard des observations faites ;
- Observation des résultats obtenus et de leur pertinence devant les objectifs du projet ;
- Elaboration d'une méthodologie d'analyse reproductible à plus grande échelle tenant compte des raccourcis possibles et des économies d'échelle.

## 5 L'outil Aigle 3D

### 5.1 Présentation de l'outil

L'outil A3D est un dispositif de mesure à haut rendement utilisant la technique laser (capteurs LCMS) afin de réaliser, par un unique passage possible à grande vitesse (jusqu'à 110 km/h), l'ensemble des mesures et relevés suivants :

- Marquage au sol ;
- Mesure de fissuration ;
- Orniérage ;
- Macrotecture (PMT) ;
- Départ des granulats en surface (raveling) ;
- Présence de nids de poule ;
- Fissures scellées\* ;
- Zone d'arrêt d'enrobé (regards, avaloirs, trottoirs, bas-côté, objets étrangers...) ;
- Fluage\* ;
- Rayon de courbure ;
- UNI longitudinal.

(\* mesures considérées comme non répétables)

L'A3D est utilisé chaque année pour l'estimation du niveau de dégradation des routes nationales dans le but de faciliter la programmation des travaux et des budgets à l'échelle nationale pour l'entretien routier (Annexe 3 : Fiche de présentation de l'outil Aigle 3D).

A ce titre, l'outil est fortement utilisé, chaque année, pour circuler sur l'ensemble du réseau national.



Figure 2. Photographie de l'Aigle 3D

Dans le cas d'utilisation de l'outil pour un projet tel que le projet DVDC – « Durabilité de vie des couches de surfaces », il est nécessaire de faire remonter une demande en amont afin qu'une planification puisse être programmée.

Outre la problématique logistique liée à l'usage d'A3D, viennent s'insérer des problématiques administratives, liées à la mesure (interdiction par le code de la route de réaliser la mesure sur les voies qui ne sont pas les plus à droite) ou à l'accès et à l'usage des données, et également des problématiques techniques fortes, telles qu'une accessibilité limitée à des techniciens spécialisés, l'usage d'outils spécifiques et non provisionnés à tous (utilisation du logiciel Arcgis Pro), ainsi que la connaissance de langages spécifiques qui demandent une réelle maîtrise des outils informatiques liés pour pouvoir extraire et associer les données.

L'ensemble de ces facteurs et divers imprévus ont nécessité un travail important de la part des équipes du Cerema impliquées dans ce projet. Malgré cette forte implication, l'accès aux données et leur traitement dans le cadre de ce projet a néanmoins subi quelques retards.

## 5.2 Descripteurs retenus pour l'outil Aigle 3D

Des descripteurs pertinents devraient permettre une analyse suffisamment fine pour discrétiser les différents sites recensés, mais aussi de fournir des résultats répétables et reproductibles afin d'éviter d'ajouter un biais supplémentaire qui compliquerait une future analyse déjà rendue délicate par une population hétérogène d'échantillons.

Trois descripteurs ont été retenus à ce titre :

- Les petits orniérages (po) : l'A3D mesure la profondeur d'ornière (en mm) des petits orniérages recensés ; L'orniérage est calculé par la méthode ASTM E1703 « Standard Test Method for Measuring Rut-Depth of Pavement Surfaces Using a Straightedge », appliquée sur chaque demi-largeur de voie. Ce descripteur utilise deux paramètres :
  - o Le calcul de l'orniérage petit rayon dans les bandes de roulement droite et gauche, au pas de 1 m. Toutes les ornières d'une profondeur supérieure à 7 mm sont prises en compte. Des boîtes d'une largeur égale à la bande de roulement, et d'un mètre de longueur sont ainsi créées ;
  - o La nécessaire continuité du phénomène d'orniérage sur au moins 3 boîtes contiguës dans une même bande de roulement.
- Les départs de granulats (raveling) : l'A3D mesure les surfaces (en m<sup>2</sup>) de départ de granulats selon l'importance de ceux-ci (quantité de granulats enlevés en surface) ; Les arrachements sont calculés sur des mailles de 0,5 m de longueur sur 0,25 m de large. Le processus de calcul est le suivant :
  - o Calcul du volume d'arrachement sur la maille. Cette valeur est notée RI. Le seuil d'alerte est fixé à 80 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d'arrachement de matériaux ;
  - o Lorsqu'il y a au moins une zone de 3 m<sup>2</sup> de mailles concomitantes validant le seuil d'alerte, la zone est considérée comme présentant des arrachements lourds. Enfin, cette zone est agrandie de 30 cm afin de supprimer les éventuels « trous » correspondants à des mailles qui ne valident pas le seuil d'alerte, afin d'avoir des ensembles cohérents.
- Les macrotextures : Le descripteur « macrotexture » est calculé de manière surfacique. Ces surfaces correspondent à des mailles de 0,25 m de longueur, et un découpage transversal basé sur 5 bandes à savoir : une bande centrale de 1000 mm, deux bandes de roulement de 750 mm et deux bandes extrêmes avec la largeur restante de chaque côté.  
Le processus de calcul est le suivant :

- Pour chaque case calculée, une macro-texture moyenne est déterminée. Le seuil de la classe est fixé à 0,40 mm ;
- Lorsqu'il y a au moins une zone de 3 m<sup>2</sup> de mailles concomitantes validant le seuil d'alerte, la zone est considérée comme présentant une macrotexture faible. Enfin, cette zone est agrandie de 30 cm afin de supprimer les éventuels « trous » correspondants à des mailles qui ne valident pas le seuil d'alerte, afin d'avoir des ensembles cohérents.

La valeur de 0,4 mm a été fixée par analogie aux seuils retenus dans la note technique du 30 septembre 2015 relative à l'adhérence des couches de roulement neuves du domaine routier. De la même manière que pour le raveling, le seuil de 3 m<sup>2</sup> permet d'éviter de prendre en compte des phénomènes trop locaux.

Ci-joint un tableau présentant les différents niveaux retenus pour chaque descripteur :

Niveau	Petit orniéage X = profondeur d'ornière en mm	Raveling X = Raveling Index – mesure spécifique à A3D concernant le raveling en cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	PMT X = mesure de PMT en mm
0	$X < 5$	$X < 80$	$0,00 \leq X < 0,40$
1	$5 \leq X < 7$	$80 \leq X < 100$	$0,40 \leq X < 0,50$
2	$7 \leq X < 10$	$100 \leq X < 150$	$0,50 \leq X < 0,60$
3	$10 \leq X < 15$	$150 \leq X < 300$	$0,60 \leq X < 0,70$
4	$15 \leq X < 20$	$300 \leq X < 500$	$0,70 \leq X < 0,80$
5	$20 \leq X < 25$	$500 \leq X$	$0,80 \leq X < 0,90$
6	$25 \leq X < 30$		$0,90 \leq X < 1,00$
7	$30 \leq X$		$1,00 \leq X < 1,10$
8			$1,10 \leq X < 1,20$
9			$1,20 \leq X < 1,50$
10			$1,50 \leq X < 1,80$
11			$1,80 \leq X$

A cela s'ajoutent des éléments complémentaires tels que :

- Les surfaces fissurées : prise en compte des linéaires de fissures recensées auxquelles sont associées des zones tampon de 10 cm de large de part et d'autre, permettant l'obtention d'une surface de fissuration pour chaque planche ;
- Les surfaces ne présentant aucune dégradation détectée : calcul, pour chaque planche, des surfaces n'ayant aucune fissuration détectée, ni de Raveling de classe 1 à 5, ni de petit orniéage de classe 1 à 7.

### 5.3 Ciblage des données à extraire

Le ciblage d'une zone nécessite de fournir des coordonnées géographiques précises, et, si possible, les dates de passages de l'outil A3D.

Une fois ces données brutes extraites, elles peuvent être intégrées sur un fond de plan représentant une vue satellite de la zone étudiée.

Il y a alors nécessité d'utiliser l'outil Arcgis, soit, sous format Arcgis Pro (peu accessible), soit, sous format Arcgis Enterprise, qui admet une accessibilité plus grande, mais qui limite les moyens d'intervention.

L'outil Arcgis permet une projection géolocalisée des mesures de l'outil A3D, via un jeu de couches superposables.



Figure 3. Projection des recensements de petits orniérages issus du passage de l'Aigle 3D sur la RD681



Figure 4. Projection des recensements de raveling issus du passage de l'Aigle 3D sur la RD681

Ces données sont utiles pour réaliser une pré-analyse du linéaire, notamment dans la distinction entre des dégradations a priori structurelles (descripteurs orniérage à grand rayon, EMO et EPO) et des dégradations de couches de surface (descripteurs fissuration, raveling, orniérage à petit rayon et macrotexture). Cependant, elles ne sont pas exploitables pour une étude comparative ou statistique, comme envisagée dans le cadre du projet.

Il est alors nécessaire de cibler des zones homogènes et d'en retirer les zones présentant des contraintes spécifiques (carrefour, rond-point...), puis, avec les secteurs sélectionnés, de réaliser une extraction des données sous un format plus facilement exploitable de type tableur.

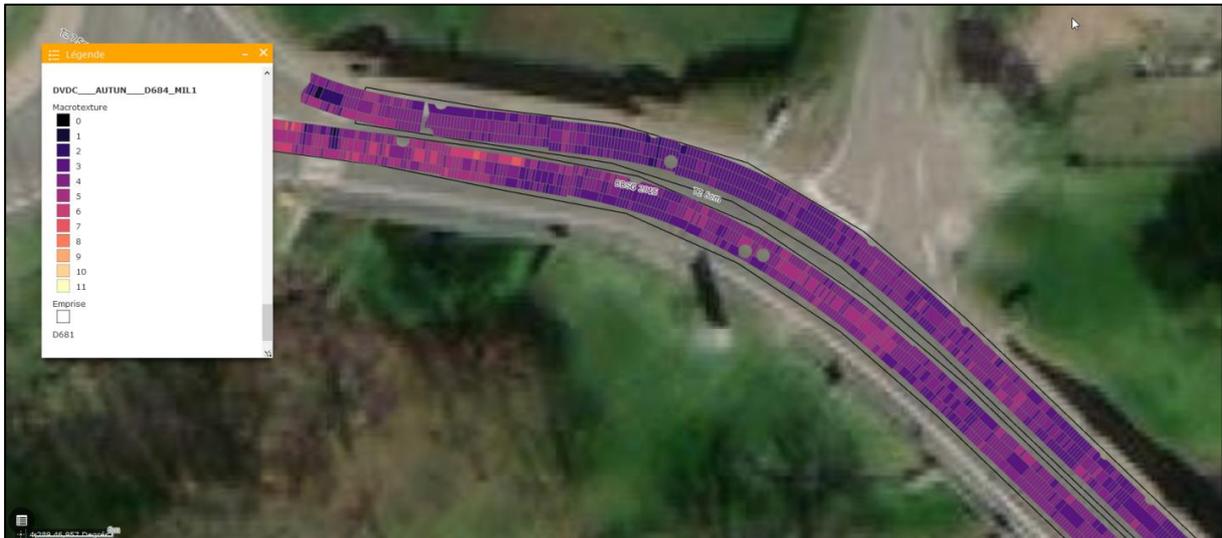


Figure 5. Projection des recensements de macrotexture (PMT) issus du passage de l'Aigle 3D sur la RD681



Figure 6. Projection des recensements de fissures et de zones sans dégradation issus du passage de l'Aigle 3D sur la RD681

## 6 Site étudié

---

La méthodologie n'étant pas définie, il a été prévu un apprentissage sur un site test sur lequel a pu être mis en évidence de manière anticipée les difficultés d'ordre organisationnel ou technique.

Le choix du site ne correspondant pas forcément à une cible pour le projet DVDC – « Durabilité de vie des couches de surfaces » appliqué aux matériaux recyclés, mais présentant plutôt une multiplicité de planches pouvant permettre une comparaison entre planches similaires et entre planches différentes dans l'objectif de mettre en évidence les enseignements potentiels de la méthode.

Le site étudié est une route départementale (RD681) traversant de part en part le département de Saône-et-Loire (71) sur une longueur de 35 km.

La RD681 traverse la ville d'Autun et est composée d'une grande variété de techniques, tant en surface qu'en couches structurelles et en âge de mise en œuvre.

Le choix de ce site a été motivé par :

- L'existence des données du site, favorisée par une implication forte du gestionnaire (CD71) dans le projet et par l'accessibilité à des données pouvant permettre le croisement des sources de données et leur cohérence entre elles ;
- Une multiplicité des contraintes liées au site (agglomération, présence d'obstacles (ponts, passages à niveau...), présence de zones à circulation spécifiques (giratoires, carrefours, sorties de véhicules lourds (usines, fermes) ...) pouvant permettre la mise en évidence de toutes les étapes de préparation au traitement des données par la représentation de nombreux cas de figure ;
- Une uniformité de contraintes (climatique, géologique, de trafic) et de gestion du patrimoine sur l'ensemble du linéaire, pouvant permettre une comparaison entre les tronçons en ne tenant compte que des paramètres de construction ;
- Une multiplicité d'âge et de techniques, qui peuvent permettre d'éprouver les descripteurs développés par l'A3D et d'apprécier plusieurs méthodes d'approches comparatives sur plus d'une dizaine de planches différentes.

## 7 Utilisation des données Aigle 3D sur la RD681

---

Le travail d'étude correspondant à ce rapport aura réuni des efforts importants de collaboration et de disponibilité des services CD71 et du service informatique d'A3D au Cerema DTecITM.

Le recoupement des données A3D sur le site d'Autun doit être confronté à deux autres bases de données :

- la réalité sur site, et les observations relevées ;
- les données fournies par le gestionnaire.

## 7.1 Correspondance entre les zones relevées par l'A3D et la réalité sur site

L'outil A3D recense automatiquement une diversité de zones à exclure, notamment en tenant compte des ouvrages spécifiques au domaine routier (ponts, passages à niveau...).

Cependant, cette automatisation n'est pas sans erreurs et nécessite une vérification manuelle et des ajouts ponctuels de zones à exclure, appelées zones de masque.

De plus, le projet DVDC – « Durabilité de vie des surfaces » ne s'intéresse qu'aux zones présentant des dégradations dues à une mauvaise tenue de la couche de surface. Il est donc nécessaire d'exclure les zones présentant des dégradations structurelles.

Pour cela, il est possible de s'appuyer sur les résultats des mesures de l'A3D afin de recenser les zones susceptibles de présenter des problématiques structurelles (cf. §5.3). Ces ajustements ne peuvent cependant être considérés viables qu'après validation suite à une observation terrain et à un échange avec le gestionnaire.

## 7.2 Correspondance entre les mesures réalisées par l'A3D et les données fournies par le gestionnaire

Le Conseil Départemental 71 (CD71), participant au projet DVDC – « Durabilité de vie des chaussées » est en possession de nombreuses données concernant le linéaire étudié et a proposé de les fournir dans le cadre du projet.

Les données proposées sont composées sur l'ensemble du linéaire par :

- la connaissance précise du site et des problématiques spécifiques associées (trafic, climat, accidentologie, travaux...);
- la structure de la route, à savoir les techniques utilisées sur chacune des couches composant le linéaire;
- les dates de mise en œuvre pour chaque couche composant la route.

Dans un premier temps, les données correspondantes aux couches de surfaces ont été extraites par le CD71 et transmises au Cerema. Une projection de ces données a été intégrée au fond de carte utilisé pour visualiser les données mesurées par l'A3D.

Cependant, des incohérences de géolocalisation ont pu être identifiées : le référentiel de coordonnées géographiques utilisé par le CD71 n'étant pas le même que le référentiel GPS utilisé par l'A3D. Il a donc été nécessaire de recalculer les profils de l'axe routier pour identifier avec précision les limites des tronçons homogènes.



Figure 7. Présentation de la différence géographique notable entre les données issues du CD71 et l'emprise de route mesurée par l'Aigle 3D

## 8 Obtention des résultats issus de l'outil Aigle 3D concernant la RD681

### 8.1 Visite sur site

L'exploitation des données issues de l'A3D a permis de se rendre compte des différentes limites de leur usage et de la nécessité de procéder à des reconnaissances sur le terrain.

Les objectifs de la visite terrain sont :

- Recaler les données issues du CD71 avec le référentiel utilisé par l'outil A3D ;
- Valider la bonne compréhension des données gestionnaire avec le CD71, et les compléter si besoin ;
- Identifier les zones présentant des dégradations structurelles avérées et utiliser la connaissance du terrain du gestionnaire pour conforter les bornages de ces zones ;
- Identifier les zones présentant des spécificités structurelles (pont, passages de canalisations...) qui n'auraient pas été prises en compte par l'outil A3D ;
- Identifier les zones présentant des contraintes spécifiques à exclusion de l'étude (carrefours importants, ronds-points, zones d'agglomération, sorties d'usine ou d'exploitation agricole...) ;
- Vérifier la pertinence des mesures réalisées par l'A3D.

### 8.2 Développement d'un outil nomade connecté

Pour faciliter l'acquisition des données lors de la visite terrain et permettre une correspondance géographique entre les éléments recensés sur site et les données A3D, un outil d'édition a été développé sur le logiciel Arcgis.

L'outil d'édition du logiciel permet la réalisation de surfaces auxquelles l'utilisateur peut associer un titre ainsi qu'un commentaire libre permettant une prise de note pratique.

Le matériel associé est une tablette avec une connexion internet (via un point d'accès WIFI fourni par un téléphone) et l'installation d'un outil VPN spécifique lui permettant d'accéder aux données Arcgis stockées sur la plateforme du Cerema Arcgis Enterprise.

L'outil VPN est un système d'accès à un réseau spécifique et protégé, ici lié au ministère.

L'accès à l'outil Arcgis Enterprise sur une tablette, qui permet la vision du site sur un fond de carte type satellite, ainsi que les données recensées par l'A3D, assure une maniabilité sur le terrain, ainsi qu'un dispositif de prise d'informations connectées et géographiquement référencées.

### 8.3 Outils supplémentaires utilisés lors de la visite

Afin de pallier à toute éventualité, deux précautions ont été prises lors de la visite pour la récupération de données géolocalisées les plus précises possibles :

- L'impression de plans présentant la vue satellite de la carte contenant les données du CD71 zoomées sur les zones de changement de structure en couche de surface afin d'identifier les zones exactes de changement de structure ;
- La programmation sur le téléphone portable de la géolocalisation des photographies. Cet outil devait permettre de prendre des photographies, source de reconnaissances géométriques des lieux clés du linéaire, auxquelles correspondaient des coordonnées géographiques précises que pourrait ensuite retranscrire automatiquement le logiciel Arcgis.

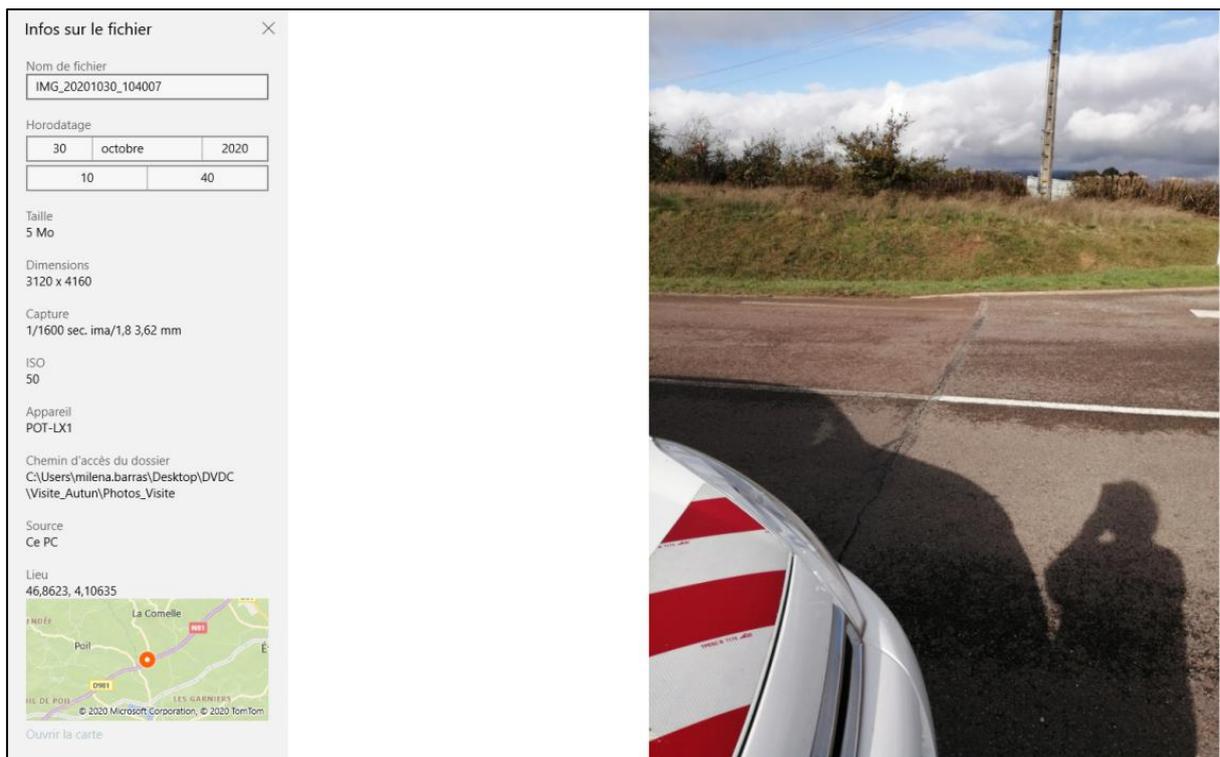


Figure 8. Exemple d'une photographie prise à une intersection de planche ainsi que les informations associées, notamment les coordonnées géographiques

Pour permettre une continuité de la donnée entre la visite sur le terrain et l'exploitation ultérieure des données recueillies lors de la visite, a été imprimé un tableau permettant l'indication de la référence de la photo en première colonne, et une zone libre pour recueil des données (Annexe 4 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des photographies réalisées et des informations associées).

## 8.4 Réalisation de la visite sur la RD681

La visite sur site s'est organisée avec présence du CD71 afin de pouvoir échanger in-situ des informations qui pourraient compléter les données déjà répertoriées.

Dans le cadre du site de la RD681, nous avons eu la chance d'avoir un gestionnaire impliqué qui a mis à disposition pour la visite un agent territorial ayant une forte connaissance des données historiques et des contraintes locales.

Ce type de ressource est particulièrement précieux, car il a été constaté lors de la phase de recueil des sites intéressants dans le cadre du projet DVDC – « Durabilité de vie des chaussées » que de nombreuses archives sont manquantes et que le recueil sur l'historique des sites s'avère bien souvent laborieux, voire sans issue.

Dans un premier temps a été prévu un temps d'échange sous forme de réunion en salle. Cette phase a permis la présentation de l'outil Arcgis, ainsi que la présentation des données recueillies par l'A3D et la correspondance entre ces données et celles fournies par le CD71.

Cela a permis de contextualiser les besoins inhérents à la visite, de présenter des premiers résultats au CD71, et d'organiser la logistique pour la visite sur le terrain en accord avec eux.

De plus, le CD71 a préparé un document (format papier) complémentaire contenant la description des techniques ainsi que l'année de mise en œuvre de l'ensemble des couches composant la RD681 sur la moitié du linéaire. Ces informations sont issues d'archives IQRN conservées par le CD71 (Annexe 5).

Ce document a été particulièrement apprécié, car il contribue à la connaissance fine du réseau ainsi qu'au découpage du linéaire en zone homogène, non pas seulement en couche de surface, mais sur l'ensemble de la structure de la route, qui influence le comportement de la couche de surface.

Ces informations se sont révélées indispensables, car elles ont donné lieu à un redécoupage du linéaire comparativement au premier découpage issu de données surfaciques. Ce redécoupage, tenant compte de modifications parfois importantes, a nécessité une nouvelle intégration dans l'outil Arcgis, la création de nouvelles planches et de refaire une partie de calculs (Annexe 6).

La suite a consisté en la visite du site, sur l'ensemble du linéaire. Par souci d'efficacité et nécessité, au vu de la longueur du site, la visite a été réalisée entièrement en voiture. La météo lors de cette visite était clémente, ne compliquant pas la prise de note, ni la visibilité de la route.

A chaque changement de tronçon homogène en structure et âge, sur toute la constitution de la route, un arrêt a été effectué pour prise de notes d'informations sur le tronçon et prise de photos géolocalisées et contextualisées (permettant de rendre compte des spécificités terrains des zones d'interface).

La visite a permis aussi l'échange en direct avec le gestionnaire, qui a fourni des informations concernant l'historique du site, ainsi que les problématiques spécifiques aux terrains parcourus par le linéaire et le type de gestion de patrimoine qui est pratiqué sur la zone étudiée.

L'élaboration du tableau de recueil des informations associées aux photographies géolocalisées prises sur le terrain a été particulièrement utile pour noter les informations qui pouvaient être associées à des zones spécifiques.

#### **8.4.1 Difficultés rencontrées sur le terrain**

Cependant, l'utilisation d'une tablette ayant un accès internet et pouvant disposer d'une connexion stable à l'outil VPN, puis à l'application Arcgis Enterprise s'est avérée moyennement adaptée.

Le matériel fonctionnait correctement en passant par un WIFI fourni par un téléphone mobile situé à proximité, mais, l'échange de données étant copieux, le temps de charge de l'éditeur était beaucoup trop long pour proposer une ergonomie satisfaisante, et la prise de notes sans clavier est peu aisée.

Lors de la visite sur le terrain, la tablette n'a été en définitive utilisée que pour visualiser les données fournies par le CD71 sur le fond de plan satellite et ainsi permettre un meilleur repérage géographique des interfaces entre deux tronçons homogènes, notamment pour le cas de changements structurels en couches non surfaciques.

Le découpage en tronçons homogènes a été fait sur site, à partir des documents fournis par le CD71, et nécessitait régulièrement un recalage avec les PR et la vue satellitaire du site.

La présence d'un agent territorial lors de cette visite a été précieuse, car nous pouvions aussi nous appuyer sur sa connaissance du terrain, notamment pour la localisation des interfaces entre deux tronçons admettant des variations structurelles en couches inférieures, mais recouvertes par la couche de surface.

### **8.5 Report des données issues de la visite sur la RD681 dans le logiciel Arcgis**

Suite à la visite sur le terrain, une extraction des données de localisation des photographies a été réalisée.

Chaque localisation a été associée à un début ou à une fin de tronçon, donnant lieu à 16 tronçons homogènes en structure et en date de mise en œuvre.

Ultérieurement, ces données ont été intégrées dans le logiciel Arcgis, qui représentera un point pour chaque photographie prise sur site.

Une analyse visuelle des résultats a conclu à la non-viabilité de l'usage du téléphone portable pour géolocaliser efficacement les interfaces entre deux tronçons.

En effet, certaines géolocalisations pouvaient admettre jusqu'à plusieurs dizaines de mètres d'écart par rapport au point réel. Cette constatation entraîne un doute sur la pertinence de la

géolocalisation de l'ensemble des points photographiques et le besoin de noter manuellement des informations pour chaque cliché.



Figure 9. Marge d'erreur parfois très importante entre la géolocalisation du téléphone lors de la prise de la photographie et la géolocalisation réelle

Il a été fait le choix de recalibrer manuellement chaque localisation en utilisant une reconnaissance du contexte routier (présence de panneaux, carrefour, maisons...) fournie par les photographies, couplée à un pré-positionnement grâce à la localisation des PR.

Pour réaliser ce recalage, la méthodologie utilisée est :

- Repérer, via l'outil Géoportail, la zone géographique imprécise où se situe le PR d'interface entre deux tronçons ;
- Retrouver la zone via un outil de vues satellitaires récentes (préférer éventuellement Google Earth à Géoportail, qui ne propose pas toujours une vue assez récente, entraînant parfois une non-reconnaissance de certaines zones car ne tenant pas compte de travaux récemment réalisés) ;
- Affiner le positionnement via une reconnaissance selon deux principes :
  - o Vue de la césure entre deux couches de roulement réalisées à des années différentes ou utilisant des techniques différentes ;
  - o Repérage en se basant sur les photographies réalisées sur site<sup>2</sup> ;
- Reporter l'endroit repéré sur le fond de carte de Google Earth sur le fond de carte de l'outil Arcgis ; les deux fonds de carte étant identiques.

Après reprise de l'ensemble des points photographiques, il a été constatée une mauvaise retranscription géographique pour environ un tiers des photographies.

A ce titre, l'éditeur a été complété afin de permettre l'ajout de points (« photo »). Cet outil est particulièrement utile pour cibler des lieux spécifiques sur le fond de carte et pour préparer la création de polygones.

<sup>2</sup> Pour chaque interface, plusieurs photographies ont été réalisées : une de la route à l'endroit de l'interface, une de la vue générale dans un sens de circulation et une pour l'autre sens de circulation. Selon les cas, des spécificités routières ont été photographiées (présence de panneaux, carrefours, maisons, portail ou chemins).

### 8.5.1 Découpage en tronçons homogène et exclusions de zones spécifiques

Lorsque les points présentant les interfaces entre deux tronçons homogènes ont été reportés, des zones ont pu être créées afin de représenter chaque tronçon homogène.

Les zones ont été créées de telle sorte qu'elles débutaient et finissaient par une interface entre deux tronçons, et qu'elles avaient une surface englobant le tracé de la route relevée par l'A3D.

A ce titre, l'éditeur a été amélioré par l'adjonction de la possibilité d'ajouter des zones « Planches », à distinguer des zones « Masques » qui étaient jusqu'ici les seuls polygones que l'utilisateur pouvait tracer sur Arcgis Entreprise.

Une fois les planches homogènes créées, des zones de masques ont aussi été rajoutées. Ces zones correspondent aux sections du linéaire à exclure de l'étude. Pour rappel, sont exclues de l'étude les zones suivantes :

- Zones à spécificité structurelle : ponts, passages à niveau, présence de buses...
- Zones à contraintes de circulation spécifique : carrefours, sorties d'usine ou de bâtiment agricole, ronds-points...
- Zones présentant des problématiques structurelles.<sup>3</sup>

Remarque : dans le cadre du site de la RD681 a été fait le choix d'exclure la zone d'agglomération d'Autun pour plusieurs raisons :

- Une zone en agglomération a des contraintes très spécifiques de circulation, ne permettant aucune comparaison avec des zones hors agglomération ;
- L'étude du comportement des couches de roulement est compromise par la présence très grande de réseaux et de zones de confortement ponctuels ;
- La multiplication des travaux induit la multiplication de la création de zones de masque et enlève tout sens concernant une étude statistique par approche globale sur un tronçon ;
- La visite de la zone d'agglomération lors de la visite sur site semblait source de difficultés et allongement de la durée de la visite pour un recueil de données difficile à exploiter ultérieurement.

### 8.5.2 Obtention des résultats en zones homogènes

La création de l'ensemble des tronçons homogènes et des zones à exclure de l'analyse a permis l'extraction automatisée des données de l'A3D sous format tableur, transmis sous le logiciel Excel.

### 8.5.3 Extraction et mise en forme des données Aigle 3D

Chaque descripteur (petit orniérage (po), raveling, PMT) fait l'objet d'un fichier Excel contenant une colonne se référant au nom du tronçon (planche i), une colonne se référant au niveau de dégradation mesurée, et une colonne se référant à la surface mesurée par l'outil A3D.

---

<sup>3</sup> Aucune zone correspondant à ce dernier point n'a été retirée. Dans le cadre du site d'Autun, les zones à problématiques structurelles correspondent à des tronçons. Aucune exclusion n'a été faite pour avoir une visibilité sur les résultats de l'A3D. Cette comparaison entre zones présentant des problématiques structurelles et autres zones permettra d'identifier la pertinence des résultats de l'A3D dans l'élaboration, en amont aux visites sur site, d'une pré-évaluation des zones à exclure.

Pour le descripteur PMT, une colonne supplémentaire est ajoutée, elle correspond à l'axe (bande de roulement / axe de roulement) selon lequel la PMT a été mesurée.

A cela s'ajoute l'extraction de données complémentaires : la surface totale mesurée par tronçon homogène, la surface totale par tronçon ne présentant aucune dégradation et la surface fissurée pour chaque tronçon, chaque donnée correspondant à un fichier Excel.

L'ensemble de ces données a été concaténé dans un unique document Excel qui permet une vision globalisée des planches uniformes, associés à des informations complémentaires fournies par le CD71 et aux mesures réalisées par l'A3D.

#### **8.5.4 Validation des données**

La validation des données permet de vérifier, d'une part, l'absence d'erreur informatique sur les éléments extraits de la base de données A3D, et, d'autre part, la juste interprétation des données recueillies auprès du CD71.

Une primo-analyse des résultats a permis de recenser quelques points bloquants :

- Le pourcentage de surface pour lequel l'A3D a détecté du raveling était pour certaines planches supérieur à 100% comparativement à la surface totale de la planche ;
- Le relevé de petit orniérage de niveau 0 semblait très faible (surface nulle ou quasiment nulle) comparativement à la contrainte ( $< 5\text{mm}$ ) ;
- Le pourcentage de surface ne présentant aucun endommagement semblait relativement faible comparativement aux pourcentages de surfaces cumulés des autres s et des zones fissurées.

L'ensemble de ces éléments ont été remontés auprès de l'équipe informatique du Cerema travaillant sur l'A3D et une vérification des processus de calcul du logiciel a été réalisée.

Les corrections suivantes ont été apportées :

- Les zones de masques n'avaient pas été prises en compte dans le calcul, donnant effectivement des surfaces trop grandes pour le descripteur raveling ;
- Le relevé du petit orniérage de niveau 0 ne prend en compte que les petits orniérages admettant une profondeur de 5 mm, ce qui réduit très fortement la quantité relevée par l'A3D. Le niveau 1 ne prend alors en compte que les petits orniérages ayant une profondeur  $X$  (en mm) telle que  $5\text{ mm} < X < 7\text{ mm}$

En parallèle, une vérification conjointe avec le CD71 a permis de valider le découpage en tronçons homogènes.

Une reprise a dû être réalisée par l'ajout d'un tronçon entre les planches 10 et 11, car le changement de couche de roulement n'avait pas été pris en compte lors du premier découpage. La planche nouvellement créée a été appelée « Planche 10Bis ».

Les données concernant les structures de la route ne concernaient que la première moitié du linéaire (PR 0 + 000 au PR 21 + 600). La validation du découpage en tronçons homogènes avec le CD71 a permis une prise de conscience de la nécessité d'obtenir le même niveau d'informations pour la seconde moitié du linéaire, notamment pour valider la possibilité de réaliser une comparaison des données recueillies entre les planches 12 à 16.

Un travail de recherche complémentaire réalisé par le CD71 a permis le recensement des structures et âges des couches composant la seconde moitié du linéaire.

Ces nouvelles données permettent de conclure à l'importance de mener une étude approfondie des structures des routes étudiées et de ne pas se contenter d'aborder l'étude des couches de surfaces, car elles impliquent un redécoupage en tronçons homogène et réduisent les possibilités de comparaison entre les planches 12 à 16.

La prise en compte de ces derniers éléments dans l'étude menée actuellement nécessiterait une seconde visite sur site afin de recueillir les coordonnées géographiques de chaque interface (non visible depuis la route) nouvellement créées.

Au vu de la situation sanitaire actuelle et des échéances courtes concernant cette étude, il a été décidé de ne pas approfondir l'étude sur cette section ; elle pourra éventuellement être poursuivie ultérieurement.

## 9 Méthodologie d'analyse des résultats

L'étude de cas du site de la RD681 a permis l'évaluation de données A3D pouvant être utilisées dans des constructions graphiques visant à comparer le comportement des différentes sections selon les descripteurs petit orniéage, PMT, ainsi que l'étude de la proportion de zones fissurées et de zone ne présentant pas de dégradations.

Le descripteur de raveling n'a pas été présenté ici, car les mesures réalisées par l'A3D ne présentent, soit, aucun résultat, ce qui signifie que l'outil n'a pas détecté de zones de raveling, soit des zones de raveling de niveau 0, c'est-à-dire des zones ne présentant pas de dégradations remarquables.

Le présent rapport présente les résultats obtenus dans l'objectif de proposer une méthodologie de traitement des données, afin de simplifier l'analyse lors des futures phases d'étude dans le cadre du projet DVDC.

Les courbes présentées ci-après représentent les résultats obtenus pour le site de la RD681, cependant, il est difficile de réaliser une comparaison entre les sections qui puisse être utile pour le cadre du projet DVDC – « Durabilité des couches de surface » pour plusieurs raisons :

- Les sections sont trop hétérogènes pour pouvoir réaliser la comparaison ;
- Les sections homogènes sont trop jeunes pour avoir un recul pertinent sur le comportement à long terme des techniques utilisées ;
- Les sections ne présentent pas de techniques ciblées dans le cadre du projet DVDC – « Durabilité des couches de surface », rendant l'analyse peu utile.

### 9.1 Méthodologie d'analyse du petit orniéage d'après les données Aigle 3D

Pour chaque tranche de profondeur d'ornière mesurée, l'A3D donne la surface totale d'ornière mesurée pour chaque planche.

### 9.1.1 Comparaison du petit orniérage pour chaque planche étudiée

La comparaison entre chaque planche étudiée proposée est de classer les profondeurs d'ornièrre en trois catégories :

- Les petits orniérages admettant une profondeur inférieure à 10 mm (niveaux 0 à 2) ;
- Les petits orniérages admettant une profondeur comprise entre 10 mm et 20 mm (niveaux 3 et 4) ;
- Les petits orniérages admettant une profondeur supérieure à 20 mm. (niveaux 5 à 7).

Le choix de ces catégories permet une discrétisation rapide, par visualisation graphique, des niveaux de dégradations des planches selon le descripteur « petit orniérage ».

Pour chaque catégorie de profondeur de petit orniérage est associé un pourcentage de surface ramené à la surface totale de la planche associée.

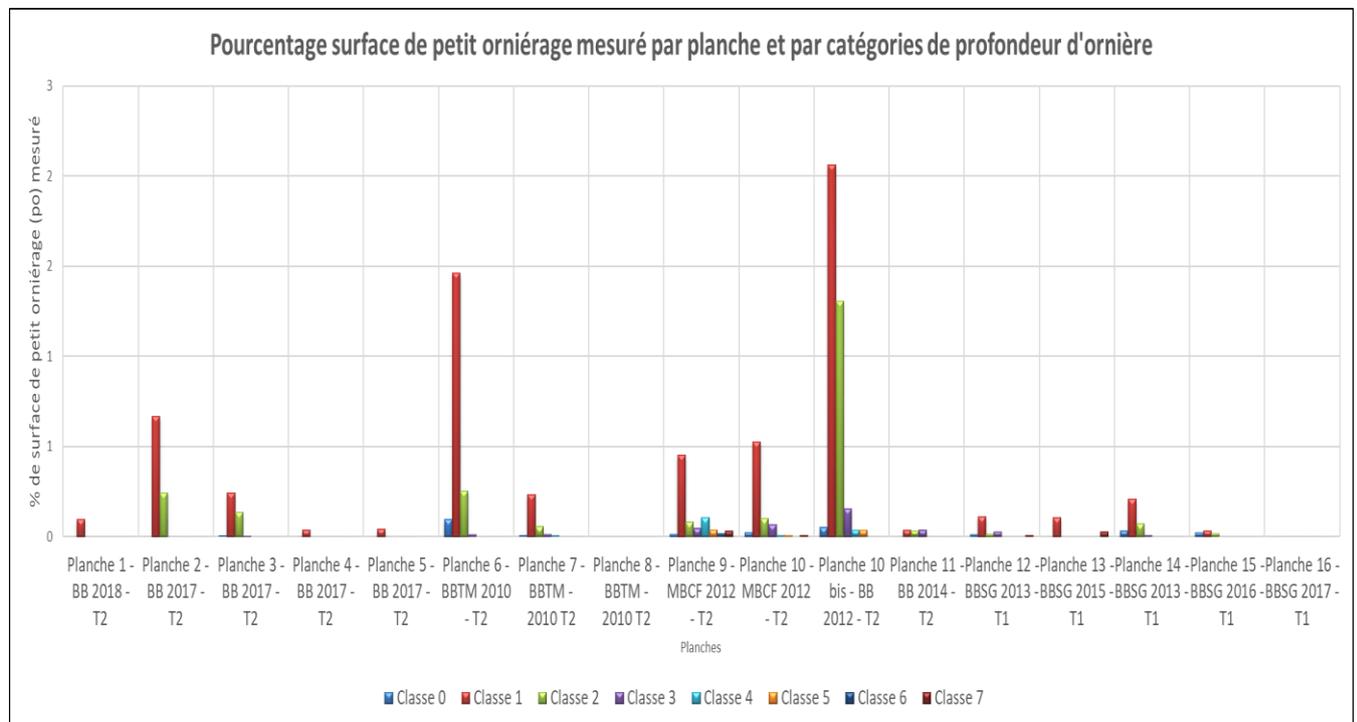


Figure 10. Pourcentage surfacique de petit orniérage mesuré par planche et par catégorie de profondeur d'ornièrre

Dans le cas du site de la RD681, les mesures réalisées par l'A3D donnent des pourcentages surfaciques extrêmement faibles, qui témoignent d'une gestion routière efficace de la part du CD71. D'ailleurs, la classe 0, n'apparaît pas sur le graphique, car les pourcentages de surfaces sont nuls ou proche de zéro pour cette classe (). Cependant, ce type de résultats ne permet pas de conclusions utiles pour le projet DVDC – « Durabilité des couches de surface ».

Il est malgré tout envisageable que ce type de graphique pourra mettre en évidence des disparités plus ou moins fortes de comportement entre des planches ayant des structures distinctes lors de l'étude de cas de recyclage en couche de surface.

### 9.1.2 Evolution du petit orniérage selon l'âge pour un type de structure spécifique

Le graphique 2 permet une étude de l'évolution de la proportion des catégories de petit orniérage en fonction de l'âge des couches de roulement.

Pour permettre la comparaison, il est nécessaire de regrouper sur un même graphique les mêmes structures utilisées et de s'assurer d'une uniformité de gestion du patrimoine et d'usure des planches recensées.

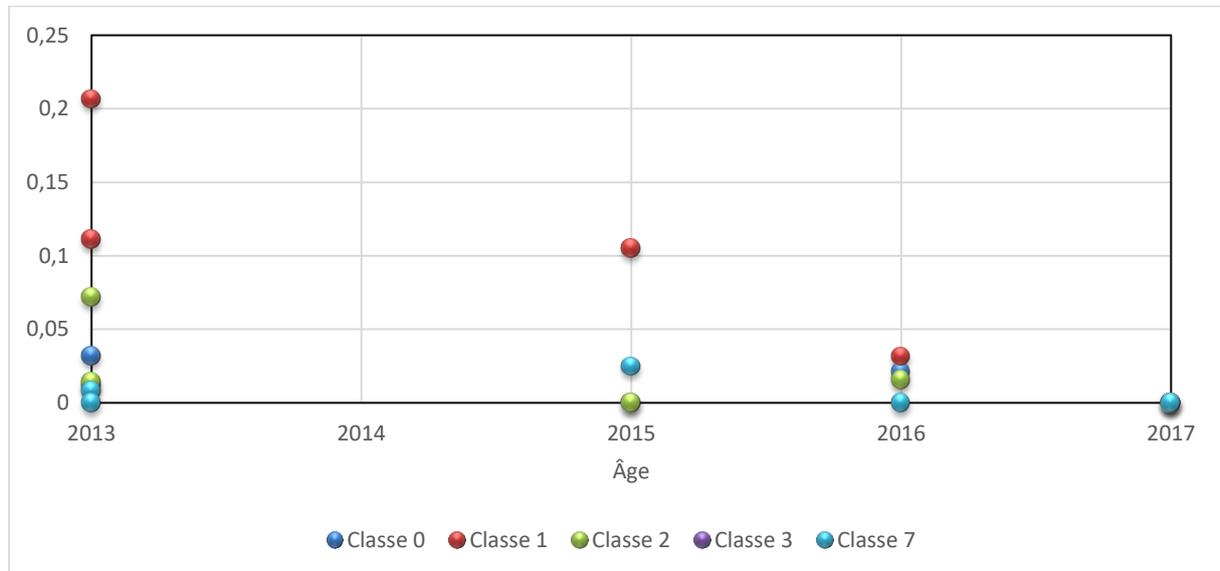


Figure 11. Evolution des mesures de petit orniérage, classés par catégories de profondeur d'ornière, en fonction de la date de mise en œuvre des couches de roulement et pour le cas de structure en BBSG

Dans le cadre du site de la RD681, le choix s'est porté sur la structure en BBSG, qui présentait un nombre suffisant de planches successives et d'âge variés pour permettre une comparaison.

Il s'agit en l'occurrence des planches 12 à 16 qui comportent toutes des couches de roulement en BBSG qui supportent un trafic équivalent (T1).

Comme présenté dans le cadre du graphique 1, cet indicateur ne permet pas d'établir des conclusions utiles pour le projet DVDC – « Durabilité des couches de surfaces ».

Cependant, la visualisation de l'évolution des proportions de petit orniérage en fonction de l'âge pour une technique donnée devrait apporter, dans le cadre de l'étude du recyclage en couche de surface, des résultats a priori utiles et porteurs d'informations pertinentes.

## 9.2 Méthodologie d'analyse de la PMT d'après les données A3D

L'A3D mesure des valeurs de PMT sur l'ensemble de chaque profil en travers. Toutefois, on peut, par traitement des données, déterminer les valeurs de PMT situées en axe de roulement (entre les axes de passage des roues des véhicules) et celles situées en bande de roulement (sous le passage des roues des véhicules).

Pour permettre une étude du descripteur « PMT », il est nécessaire de comparer ces deux mesures : des écarts prononcés vont signifier que les dégradations causées par le passage des roues sont significatives.

### 9.2.1 Comparaison de la PMT mesurée pour chaque planche étudiée

Le graphique 3 présente les valeurs de PMT représentées majoritairement, en termes de surfaces mesurées par rapport aux surfaces de chaque planche, pour chaque planche et pour chaque axe de mesure.

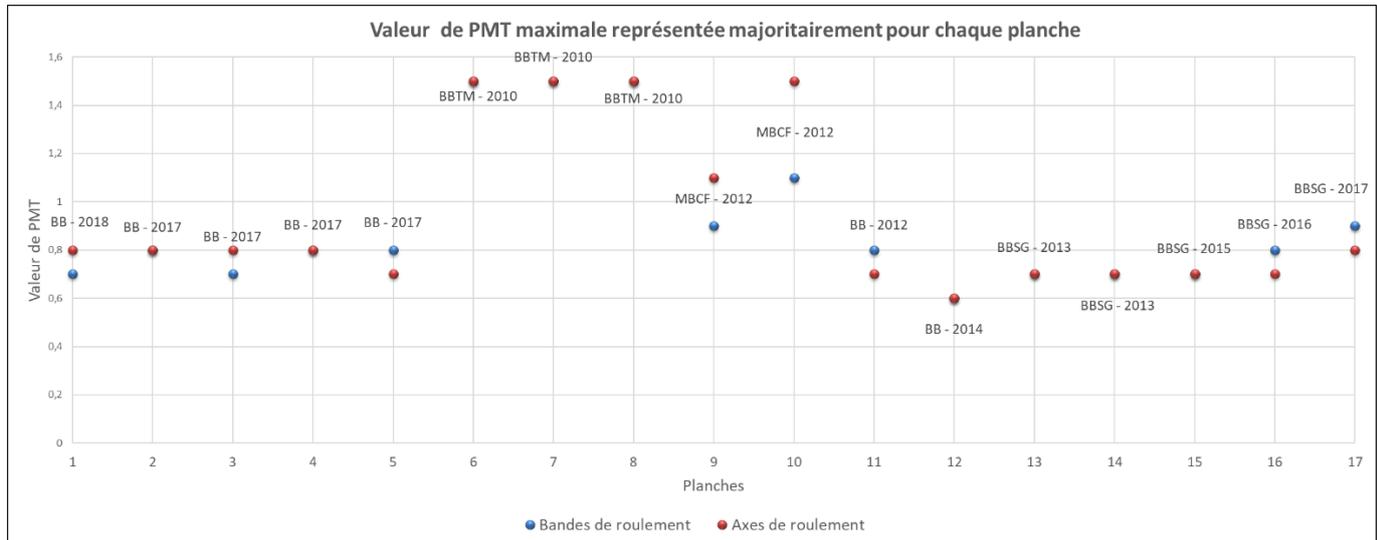


Figure 12. Valeur de PMT la plus représentative, en terme de proportion surfacique, mesurée en axe de roulement et en bande de roulement pour chaque planche

Certaines planches admettent des mesures présentant des proportions surfaciques similaires pour plusieurs valeurs de PMT mesurées. Afin de discrétiser au maximum les mesures, a été fait le choix de ne retenir que les valeurs de PMT maximales.

Le tableau de la figure 12 correspond aux mesures réalisées par l'A3D pour la planche 4 du site de la RD681.

Pour les mesures réalisées en bandes de roulement (1) et (3), nous pouvons constater des valeurs de surfaces mesurées similaires pour deux valeurs de PMT distinctes (PMT = 0,7 et PMT = 0,8).

Si nous prenons en compte les deux séries de mesures, il est difficile de déterminer quelle valeur de PMT retenir, la surface mesurée pour PMT = 0,7 étant supérieure pour la bande de roulement (1), celle pour la PMT = 0,8 étant supérieure pour la bande de roulement (3).

Il a donc été fait le choix de ne retenir que la valeur PMT = 0,8, car c'est la valeur la moins-disante et donc la plus discriminante.

Dans le cadre du site de la RD681, les proportions surfaciques correspondent en moyenne à 15% de la surface totale de chaque planche, ce qui est peu significatif pour tirer des conclusions sur les résultats obtenus.

Ces proportions seront certainement à prendre en compte pour la suite du projet DVDC afin d'évaluer la pertinence des résultats et les conclusions qui en découleront.

Par exemple, pour le cas de la planche 4, la surface totale de la planche est égale à 14 500,9 m<sup>2</sup>.

La proportion surfacique mesurée en bandes de roulement est de 1 514,1 m<sup>2</sup>, soit 10,4% de la surface totale de la planche et celle mesure en axe de roulement est de 2 241,3 m<sup>2</sup>, soit 15,5% de la surface totale de la planche.

		Valeur de PMT	Surface mesurée (m <sup>2</sup> )
		<b>PMT</b>	<b>Bande de roulement (1)</b>
0,50	0,0		
0,60	90,7		
0,70	1320,3		
0,80	1514,1		
0,90	331,7		
1,00	27,4		
1,10	0,5		
1,20	0,0		
1,50	0,0		
1,80	0,0		
3,00	0,0		
<b>Axe de roulement (2)</b>	0,40		0,0
	0,50		0,0
	0,60		55,7
	0,70		2041,2
	0,80		2241,3
	0,90		263,5
	1,00		8,9
	1,10		0,3
	1,20		0,0
	1,50		0,0
	1,80		0,1
	3,00		0,0
<b>Bande de roulement (3)</b>	0,40		0,0
	0,50		2,6
	0,60		306,9
	0,70		1486,9
	0,80		1155,3
	0,90		307,7
	1,00		26,5
	1,10		2,3
	1,20		0,0
	1,50		0,0
	1,80		0,0
	3,00		0,0

Figure 13. Mesures de PMT réalisées sur la planche 4 du site de la RD681

## 9.2.2 Comparaison de la PMT la plus représentative pour un type de structure

Une comparaison similaire à celle entre les planches d'un même site peut être réalisée pour comparer l'évolution d'un type de structure spécifique.

Pour mener à bien cette comparaison, il sera nécessaire de s'assurer d'une uniformité de contraintes auxquelles seront soumises les planches retenues.

Dans le cadre du site de la RD681, l'uniformité est assurée, car les planches sont toutes situées sur une même zone géographique, elles font ainsi l'objet de mêmes contraintes de circulation, ainsi que de mêmes conditions de vieillissement climatiques et d'entretien routier.

L'avantage de ce ciblage pour la comparaison est de pouvoir utiliser une valeur minimum acceptable de la PMT en-dessous de laquelle nous pouvons considérer que la structure de surface a atteint la limite d'usage.

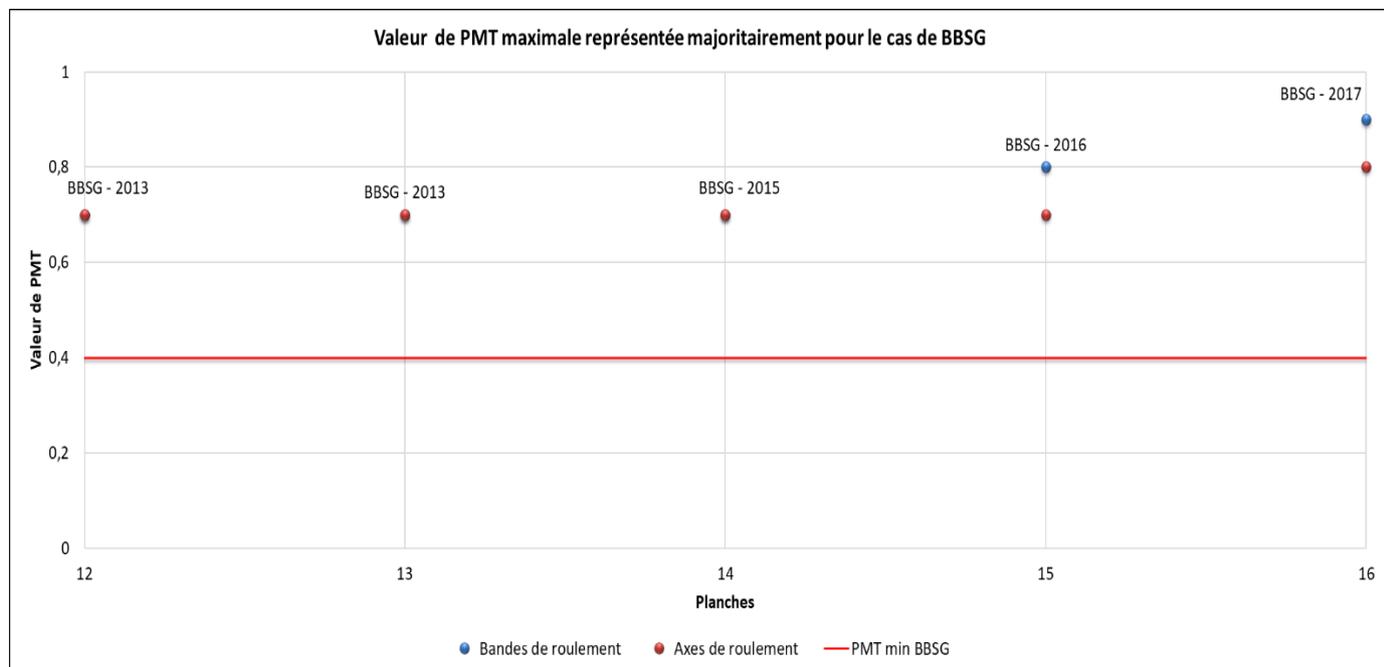


Figure 14. Valeurs de PMT les plus représentatives en bande de roulement et en axe de roulement pour une structure de type BBSG (avec un trafic T1) ainsi que le seuil minimum admissible pour ce type de structure

Dans le cadre du site de la RD681, les valeurs de PMT sont toutes supérieures à 0,6 mm, ce qui témoigne de la bonne tenue de la couche de surface.

## 9.2.3 Evolution de la PMT selon l'âge de la couche de surface pour un type de structure

Une étude de l'évolution de la PMT selon l'âge de la couche de surface pour un type de structure est aussi réalisable. Ce type de graphique devrait permettre une visualisation de l'évolution de la PMT, qui doit diminuer en fonction de l'âge de la couche de surface.

La représentation graphique du seuil minimum acceptable de la PMT en fonction du type de structure étudiée peut être maintenue, afin de cibler efficacement à compter de quel âge la structure semble ne plus répondre aux spécifications routières.

Dans le cadre du site de la RD681, a été fait le graphique 15, qui représente l'évolution de la PMT pour le cas de couches de surface en BBSG.

Nous ne pouvons pas conclure à une franche évolution de la PMT en fonction de son âge, cependant, la plage d'évolution de l'âge est assez réduite (vieillessement sur 5 ans maximum).

A été rajouté, pour information, les valeurs de pourcentage surfacique maximale, bandes et axe de roulement confondus, pour chaque planche retenue. L'ajout de cette information donne une information sur la représentativité de la valeur de PMT comparativement à l'ensemble du linéaire étudié.

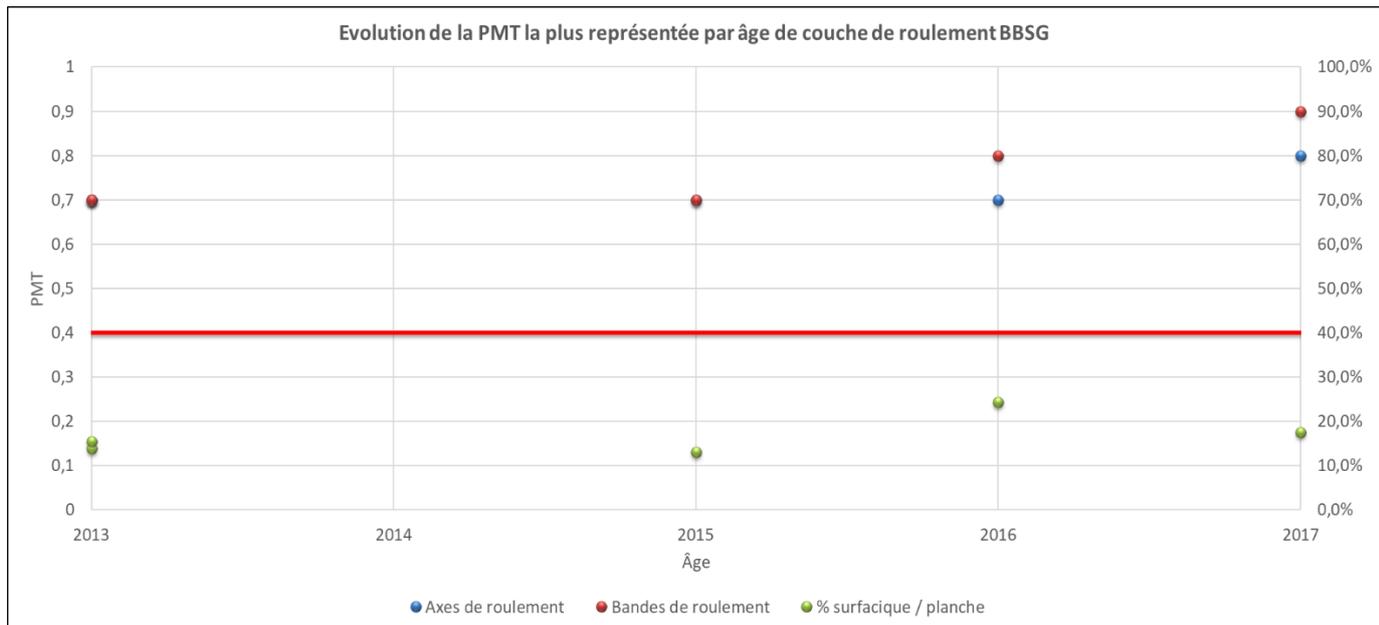


Figure 15. Evolution de la PMT la plus représentative par âge de couche de roulement en BBSG (Trafic T1) pour le cas du site de la RD681

## 9.3 Méthodologie d'analyse des fissurations et des zones sans dégradation d'après les données A3D

### 9.3.1 Etude des données de fissurations mesurées par l'A3D

Les données concernant la fissuration fournies par l'A3D sont sous forme de surfaces mesurées que nous pouvons comparer à la surface totale de la planche à laquelle la mesure est associée.

Afin de permettre une bonne comparaison entre les planches composant le linéaire, il a été fait le choix de rapporter la surface mesurée sur une planche à une surface mesurée au km, ce pour chaque planche.

Pour cela, a été considéré une largeur de la route uniforme sur l'ensemble du linéaire, et, pour le cas du site de la RD681, la valeur de largeur de la route retenue est de 7m.

Pour une meilleure lisibilité des résultats et une comparaison plus efficace entre les planches, il a été fait le choix de discrétiser chaque planche selon sa classe de structure.

Pour le cas du site de la RD681, trois classes sont représentées : les structures semi-rigides, les structures souples et les structures bitumineuses épaisses.

Certaines planches sont, à ce stade de l'étude avec une structure inconnue. Cependant, l'information pourra être mise à jour ultérieurement grâce au recueil d'informations complémentaires fournies par le CD71.

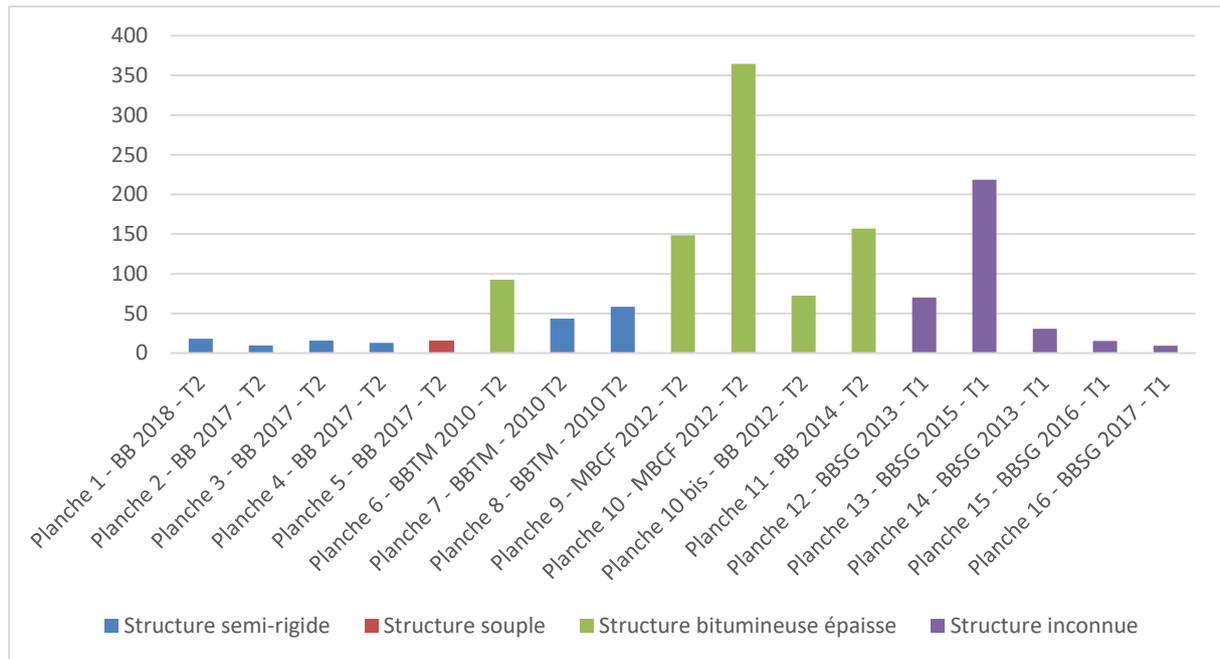


Figure 16. Quantité de surface de fissuration mesurée au kilomètre pour chaque planche pour le cas du site de la RD681

### 9.3.2 Etude des données concernant les zones sans dégradations recensées par l'A3D

L'A3D fourni, pour chaque planche, une surface correspondant aux zones sans dégradations. Cette information est utile pour présenter la santé de la couche de surface : plus la surface déduite est importante, moins la route est dégradée.

Pour permettre une comparaison entre chaque planche, il a été choisi de représenter la proportion surface de zone sans dégradation par rapport à la surface totale de la planche correspondante.

De plus, pour une meilleure lisibilité des résultats, chaque planche a été classée selon la technique de couche de roulement utilisée : soit en technique mince, soit en technique épaisse pour le cas du site de la RD681.

Dans le cas du site de la RD681, les proportions de zone sans dégradations sont toutes de l'ordre de 70 à 80% de la surface totale de chaque planche.

Ces valeurs élevées permettent de conclure à une bonne tenue des couches de roulement des planches du site qui est due à leurs âges relativement peu élevés, ainsi qu'à une gestion du patrimoine efficace de la part du gestionnaire.

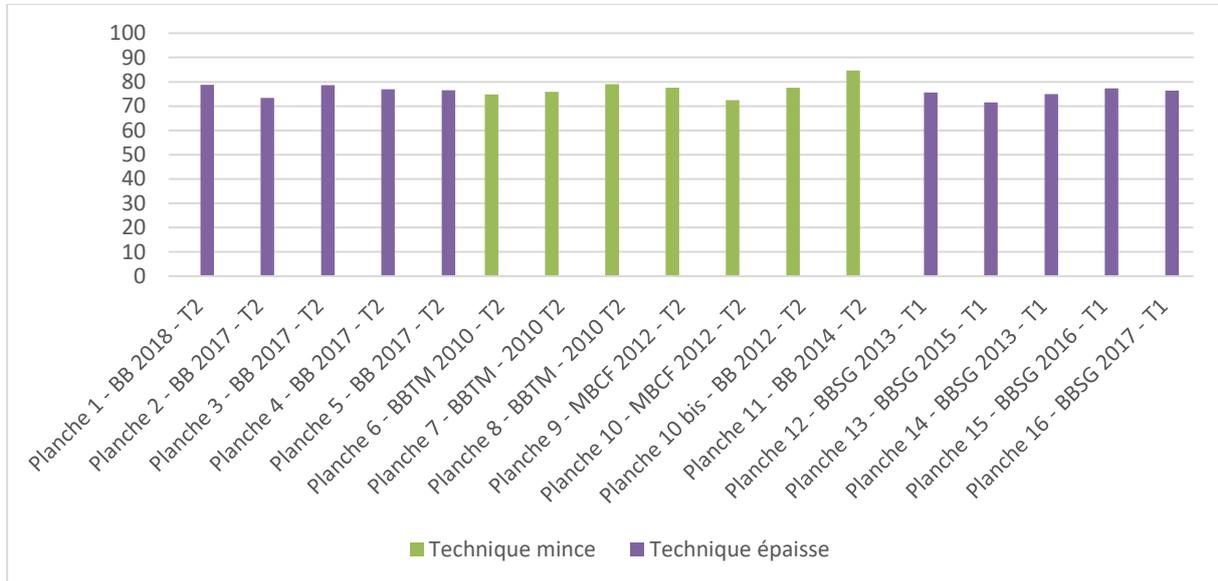


Figure 17. Proportion surfacique de route ne présentant aucune dégradation pour chaque planche et en fonction de la technique de roulement utilisée

### 9.3.3 Evolution des descripteurs de fissuration et de zones sans dégradation en fonction de l'âge pour un type de technique de roulement donné

Le graphique 18 correspond à une étude croisée entre surfaces fissurées au kilomètre et zones sans endommagement pour le cas d'une couche de roulement en BBSG sur le site de la RD681.

Ce graphique permet de visualiser l'évolution, en fonction de l'âge de mise en œuvre des couches de roulement en BBSG pour un ensemble de planches présentant les mêmes contraintes d'usure et d'utilisation.

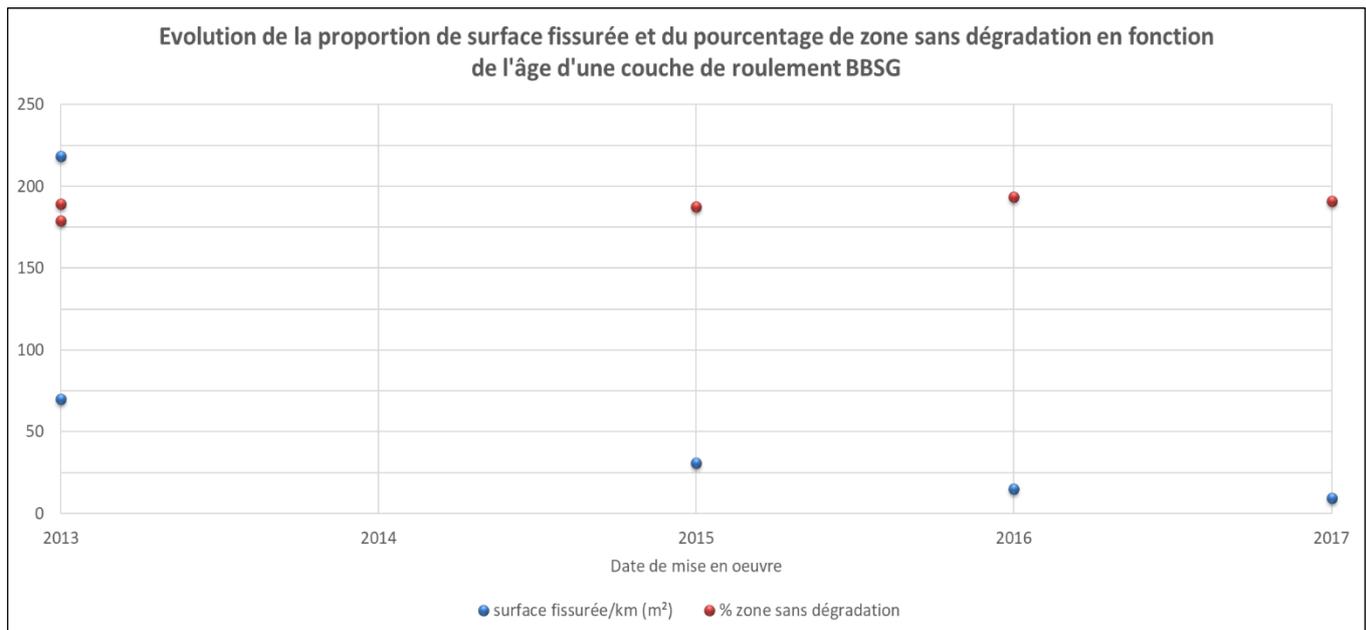


Figure 18. Proportion surfacique de route ne présentant aucune dégradation pour chaque planche et en fonction de la technique de roulement utilisée

Pour le cas du site de la RD681, nous pouvons constater une évolution de la proportion de surface fissurée en fonction de l'âge des couches de roulement. Cependant, nous avons un maintien de la proportion de zones sans dégradation qui témoigne d'une gestion du patrimoine réussie sur ces planches.

## 9.4 Conclusion intermédiaire concernant les descripteurs retenus et leur pertinence dans le cas de la RD681

Comme dit en préambule de ce chapitre, les résultats obtenus pour le site de la RD681, permettront difficilement de réaliser une comparaison entre les sections qui puisse être utile pour le cadre du projet DVDC, car les sections sont trop hétérogènes pour pouvoir réaliser la comparaison et surtout les sections ne présentent pas de techniques ciblées dans le cadre du projet DVDC (recyclés ou tièdes).

Toutefois, quelques tendances peuvent être néanmoins émerger :

- Les surfaces présentant de l'orniérage petit rayon sont extrêmement faibles. Cela traduit principalement la qualité du revêtement mis en place ainsi que son âge relativement jeune et l'entretien réalisé par le gestionnaire sur cette section auscultée ;
- Les valeurs de PMT en bandes de roulement sont assez proches de celles mesurées hors bande de roulement, ce qui semble traduire un comportement homogène de la chaussée et probablement une absence de dégradation du revêtement.
- On peut constater une légère différence des valeurs de PMT suivant les techniques de couches de surface (PMT plus élevée avec BBTM qu'avec BBSG ou BB). Il ne semble pas y avoir de variation de la PMT suivant l'âge de la couche de surface ;
- La densité de fissuration observée sur les planches contenant des structures bitumineuses épaisses semble plus élevée que les planches constituées de structures semi-rigides.

- Les pourcentages de zones sans dégradation sont quelle que soit la technique (mince ou épaisse) sont assez élevés ce qui traduit l'absence de dégradation. Cela provient très probablement du fait que cette section est relativement récente et bien entretenue.

## 10 Evolutions possibles de la méthode et gains d'efficacité

L'étude du site de la RD681 a permis l'évaluation des besoins et l'élaboration de méthodologies, afin de répondre aux objectifs de l'étude à mener dans le cadre de DVDC. Cette première étude joue un rôle clé dans l'objectif d'économie d'échelle, via, notamment, la mise en exergue et la résolution de problématiques non-envisagées lors du lancement du projet, ainsi qu'une réflexion à chaque étape de résolution de l'étude, afin d'élaborer une méthodologie applicable à grande échelle.

Tout d'abord, l'étude type Retour d'Expérience (REx) nécessite un travail de fond afin de compléter les éléments déjà recensés, et ce, dans le meilleur des cas, grâce au concours du gestionnaire qui pourra apporter un point de vue éclairé sur les sites retenus, leurs contraintes, leurs conditions d'utilisation et leur gestion du patrimoine.

Ces éléments sont nécessaires afin de mener une étude comparative et statistique légitime.

En complément, il est nécessaire de recenser a minima les données concernant la composition de la chaussée, tant en couche de surface qu'en couches inférieures. Ces données permettent une évaluation éclairée du comportement de la couche de surface, qui ne peut être considérée indépendamment de ses couches d'assises.

La visite sur le terrain, avec des outils adaptés, afin de simplifier la prise de note et le géoréférencement, est essentielle pour établir un état de lieux sans ambiguïté et pour compléter les données issues de l'outil Aigle 3D, qui ne peut permettre à lui seul de corrélation entre ses mesures et le comportement surfacique et/ou structurel du linéaire étudié.

L'étude du site de la RD681 a permis la mise en œuvre d'un premier outil qui s'avère d'ores et déjà pertinent pour les besoins des études à venir. Cependant, des compléments et amendements seront nécessaires, afin de simplifier le travail post-visite et d'améliorer l'efficacité de traitement des données glanées sur le terrain.

La question du géoréférencement des données recueillies sur site est à débloquent. Il est préconisé à ce stade du projet d'utiliser du matériel de précision, type GPS, qui évitera un recalibrage des données après visite sur le terrain. En complément, l'usage d'un outil ergonomique lors des visites (tablette avec manipulation sous forme de stylet par exemple) permettra le recensement de données référencées avec une précision suffisante pour permettre un traitement post-visite automatisé.

Enfin, l'élaboration d'une bibliothèque photographique est considérée, elle aussi, comme nécessaire lors des visites, car elle permet non seulement un partage de données concrètes avec l'équipe projet afin de discuter d'éventuels comportements tendancieux non évaluables avec les données seules de l'A3D, mais aussi une mise en mémoire de l'état des lieux du site et des zones/points de référence.

Par la suite, l'utilisation d'une tablette connectée avec carte SIM devrait permettre de géoréférencer avec suffisamment de précision les photographies en les intégrant directement dans un projet cartographique (SIG), afin de pouvoir directement lier les résultats d'auscultation obtenus avec l'Aigle 3D et les photographies prises lors de la visite.

L'analyse des données et la comparaison entre différents sites devront être réalisées en tenant compte des disparités inévitables entre ceux-ci.

Cette disparité peut, soit, être utilisée afin de démontrer les disparités de comportement entre différentes structures pour la technique tiède, soit, être réduite au maximum afin de mener une étude statistique qui rendra compte d'un comportement généralisé lié à la technique tiède.

L'objectif premier du projet DVDC est de tendre vers la seconde option, cependant, la disparité des sites recensés, la diversité des contraintes qui leurs sont liés ainsi que des structures qui composent les chaussées interrogent sur la pertinence d'une étude statistique. Un parti pris sera nécessaire en début de projet pour déterminer la meilleure approche à adopter au vu des sites recensés et des moyens matériels mis en œuvre pour mener l'étude.

## 11 Bibliographie

- [1] Méthode d'essai LPC n°38-2 (relevé des dégradations de surface des chaussées) - [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiMq7yY\\_rX9AhW3SaQEHRJ6C08QFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ifsttar.fr%2Ffileadmin%2Fuser\\_upload%2Feditons%2Ficpc%2FmethodeDEssai%2FmethodeDEssai-LCPC-ME38\\_2.pdf&usq=AOvVaw3m7v0J8sVLbmnsxf0BLVVJ](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiMq7yY_rX9AhW3SaQEHRJ6C08QFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ifsttar.fr%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Feditons%2Ficpc%2FmethodeDEssai%2FmethodeDEssai-LCPC-ME38_2.pdf&usq=AOvVaw3m7v0J8sVLbmnsxf0BLVVJ)
- [2] méthode d'essai n° 52 (catalogue des dégradations de surface des chaussées) - [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiMq7yY\\_rX9AhW3SaQEHRJ6C08QFnoECBqQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ifsttar.fr%2Ffileadmin%2Fuser\\_upload%2Feditons%2Ficpc%2FmethodeDEssai%2FmethodeDEssai-LCPC-ME52.pdf&usq=AOvVaw1iq2UyckPLEUQ5JmckK0T7](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiMq7yY_rX9AhW3SaQEHRJ6C08QFnoECBqQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ifsttar.fr%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Feditons%2Ficpc%2FmethodeDEssai%2FmethodeDEssai-LCPC-ME52.pdf&usq=AOvVaw1iq2UyckPLEUQ5JmckK0T7)
- [3] AUSCULTATION DES CHAUSSEES - VERS UNE METHODE DE RELEVÉS AUTOMATIQUES - RGRA N° 977 • NOVEMBRE-DÉCEMBRE 2020 : <https://doc.cerema.fr/default/digitalCollection/DigitalCollectionAttachmentDownloadHandler.aspx?parentDocumentId=2207&documentId=2208&skipWatermark=true&skipCopyright=true>
- [4] Gestion de patrimoines d'infrastructures - Cerema Octobre 2021 - Fiche n° 01 - Cahier des méthodes et outils de diagnostic de chaussées - <https://dtrf.cerema.fr/pdf/pj/Dtrf/0008/Dtrf-0008524/DT9063.pdf?openerPage=notice>
- [5] L'intelligence artificielle débarque sur les routes – Le Moniteur – 7 juin 2019 - <https://www.lemoniteur.fr/article/l-intelligence-artificielle-debarque-sur-les-routes.2040750>
- [6] Optimisation de l'auscultation des chaussées grâce à RoadAI – John Pool – Septembre 2019 - <https://www.editions-rgra.com/revue/966/auscultation/optimisation-de-lauscultation-des-chaussees-grace-roadai>
- [7] Outils acquisitions données – Lauréat de l'appel à projets 2018 « Des innovations numériques pour la conception, la construction, l'évaluation et la maintenance des infrastructures » - Fondation d'entreprise FEREC – septembre 2019 - [https://fondation-ferec.fr/wp-content/uploads/2020/03/AAP2018\\_OAD\\_livrable.pdf](https://fondation-ferec.fr/wp-content/uploads/2020/03/AAP2018_OAD_livrable.pdf)
- [8] GERESE GEstion du REseau SEcondaire, la gestion optimisée d'un réseau routier - PIARC – ROUTES/ROADS 2022 – n°394 - <https://www.piarc.org/fr/fiche-publication/39188-fr-GERESE%20E2%80%93%20GEstion%20du%20REseau%20SEcondaire,%20la%20gestion%20optimis%C3%A9e%20d%E2%80%99un%20r%C3%A9seau%20routier.htm>

---

## **ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE DE RECENSEMENT DE SITES DANS LE CADRE DU PROJET DVDC – « DURABILITÉ DE VIE DES COUCHES DE SURFACE »**

---

# Questionnaire – Retour d'expérience sur les mécanismes de dégradation des chaussées

Ce questionnaire est déployé auprès des entreprises participant au groupe DVDC. Il s'inscrit dans la tranche 3 – évaluation de la durée de vie résiduelle des chaussées.

Ce projet a pour ambition d'évaluer la durée de vie de procédés et techniques de surfaces, innovantes ou classiques, utilisés en revêtement de chaussées.

Le questionnaire ci-après permettra un premier recensement des procédés que vous avez pu appliquer ces 20 dernières années, regroupant tant les procédés de fabrication ou d'application que les techniques de mises en œuvre ou d'utilisation des matériaux.

Le sujet d'étude étant la durée de vie des chaussées, ne sont à recenser dans ce questionnaire que **les procédés mis en œuvre depuis plus de 5 ans**.

Il vous est demandé de faire un retour à la fois **sur les sites encore en exploitation à ce jour et sur ceux ayant été déconstruits ou réintégrés dans la structure**.

Ne sont pas retenus les sites ayant été totalement reconstruits à neuf.

Ce questionnaire s'adresse à toutes les techniques de surface innovantes. **Nous avons une attente particulière concernant les sites concernés par la Charte Innovation, les sites présentant des techniques de recyclage (20% minimum) et d'enrobés tièdes**. Nous vous remercions d'être le plus exhaustif possible, que ce soit dans la variété des techniques que vous avez utilisées, que dans la précision des réponses apportées au questionnaire.

Il est demandé de remplir **un questionnaire par type de procédé** selon les critères suivants : matériau utilisé, technique d'application et/ou de fabrication utilisée, association de matériaux ou d'un matériau avec une technique particulière.

Ces questionnaires feront l'objet d'une analyse comprenant entre autre un recoupement avec les données mises à disposition par les gestionnaires et des données issues des appareils d'auscultation à grand rendement. Les résultats seront par la suite transmis au groupe DVDC dont vous faites partie.

Ultérieurement, une auscultation par appareil à grand rendement, voire des carottages de la chaussée pourraient être envisagés et feront lieu de discussion avec les gestionnaires.

NOM, Prénom, contact (mail, téléphone) :

.....  
.....

Etablissement : .....

Type de procédé : (cocher la case correspondante ou préciser le type de procédé dans la case « autre »)

Recyclage 20%

Recyclage 30%

Enrobé tiède

Autre

## Descriptif de la technique de chaussée et procédé mis en œuvre

Question 1 : Quel est le nom de la technique de chaussée ?

Exemple : BBSG, BBME, BBS, BBM, BBDr, BBTM, BBUM, GE, BBE, ES, MBCF, SMA, HRA...

.....  
.....

Question 2 : Quel est le nom du produit de l'entreprise, s'il existe un « nom » ?

.....  
.....

Question 3 : Y avait-il une spécificité au liant utilisé ? Laquelle ?

Exemple : liant modifié, apport de fibre de verre...

.....  
.....

Question 4 : Quel est le pourcentage d'agrégats dans le produit ?

.....  
.....

Question 5 : Quelles étaient les caractéristiques techniques et mécaniques escomptées ?<sup>4</sup>

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Question 6 : Quel est le domaine d'emploi du produit ?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

---

<sup>4</sup> Pour complément d'information, les CCTP ou FTP sont-ils accessibles ? Dans le cas favorable, merci de transmettre ces données par retour de mail.

.....  
.....

Question 7 : Sur quel type de route est prévu le produit ?

*Exemple : fort trafic, RN, autoroute, trafic poids lourd important – donner le niveau de trafic si connu*

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....











## **ANNEXE 2 : BILAN DES SITES RECENSÉS LORS DE LA PREMIÈRE PHASE DU PROJET**

---

## Tableau récapitulatif des sites recensés, classés par technique de surface

Technique	Route	Département	Année de mise en œuvre
Tiède	A39	21	2007
Tiède	A41	69	2008
Tiède	RD75	92	2010
Tiède	RD72	92	2011
Tiède	RD63	92	2011
Tiède	RD910	92	2011
Tiède	RD75	92	2011
Tiède	RD180	92	2010
Tiède	RD31B	22	2004
Tiède	RD131	28	2005
Tiède	RD149	95	1994
Tiède	RD859	49	2005
Tiède	RD906	21	2008
Tiède	RD928	21	2009
Tiède	RD950	79	1995
Tiède	RN7	69	1994
Recyclage	A9	34	2012
Recyclage	RD12	37	2014
Recyclage	RD96	37	2014
Recyclage	RD33	83	2014
Recyclage	RD59	37	2014
Recyclage	RD84	83	2014
Recyclage	RD99	37	2014
Recyclage	RD560	83	2014
Recyclage	RD730	17	2014
Recyclage	RD730	17	2014
Recyclage	RD949B	85	2014
Recyclage	RD996	21	2011
Tiède & Recyclage	A75	34	2008
Tiède & Recyclage	RD193	58	2014 ?
Tiède & Recyclage	RD121	58	2014 ?
Tiède & Recyclage	RN4	54	2008
Tiède & Recyclage	RN88	42	2008
Tiède & Recyclage	RN88	69	2008

## **ANNEXE 3 : FICHE DE PRÉSENTATION DE L'OUTIL AIGLE 3D**

---



## L'innovation AIGLE 3D : un outil au service d'une gestion patrimoniale intégrée

### DES GESTIONNAIRES FACE À DES ENJEUX ÉCONOMIQUES ET SOCIÉTAUX

Le patrimoine routier français, estimé à environ 2 000 milliards d'euros pour plus d'un million de kilomètres de routes, entraîne des dépenses d'entretien importantes, évaluées à 10 milliards d'euros chaque année pour l'ensemble des routes (hors ouvrages d'art). Les enjeux sociétaux associés à cet entretien sont nombreux (nouveaux besoins de mobilité, sécurité des usagers, nouvelles technologies...) et liés à la place importante de la route dans l'économie française.

Il est donc aujourd'hui primordial pour les gestionnaires de se poser les bonnes questions quant à la gestion de son réseau transport : Quelle stratégie d'entretien est adaptée à mon réseau ? Comment faire avec des budgets d'entretien de plus en plus contraints ? Comment maintenir un réseau accessible et sûr en permanence ? Comment répondre aux demandes toujours plus fortes de transport tout en intégrant des composantes environnementales, démographiques, technologiques ?

Une gestion patrimoniale raisonnée consiste à d'abord connaître son réseau pour mieux agir

### AIGLE 3D : UN OUTIL POUR CARTOGRAPHIER EN 3D L'ÉTAT DE SON RÉSEAU ROUTIER

Le Cerema a développé des véhicules d'auscultation, baptisés Aigles 3D, capables de numériser la surface de la chaussée jusqu'à 130 km/h de jour comme de nuit avec une précision de l'ordre de 0,25 mm.

Ils permettent ainsi, avec un repérage entièrement géographique, de mesurer automatiquement la géométrie de la route et détecter les signes de dégradation et de fatigue. Ces résultats sont visualisables et traitables automatiquement dans un SIG en trois dimensions.

### 2018 : UNE PREMIÈRE PHASE RÉUSSIE SUR LE RÉSEAU ROUTIER NATIONAL NON CONCÉDÉ

Conçus en 2016 et 2017, les deux Aigle 3D du Cerema ont réalisé en 2018 la première campagne intégrale de relevé sur le réseau routier national non concédé, soit plus de 23 000 km de voies.

Le Cerema propose à l'État gestionnaire de réseau :

- Une nouvelle approche de l'ex-IQRN pour tirer le plus grand profit de la très grande quantité et qualité des données relevées
- De nouveaux indices sont calculés pour permettre d'une part d'avoir une image globale de la qualité et de l'état de l'ensemble du réseau et d'autre part de pouvoir hiérarchiser en termes d'enjeux (état physique, climat, trafic...) les travaux à réaliser.



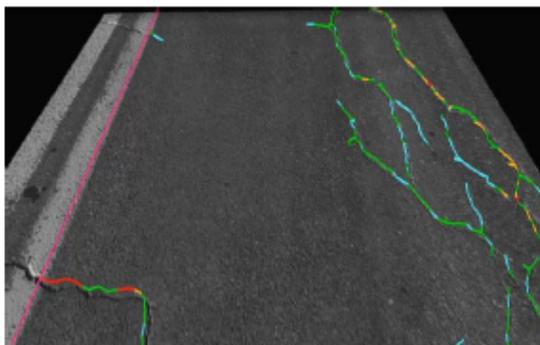
Véhicule Aigle 3D, inspection de l'état des chaussées

### DÉGRADATIONS ET SIGNES DE FATIGUE DE LA CHAUSSEE

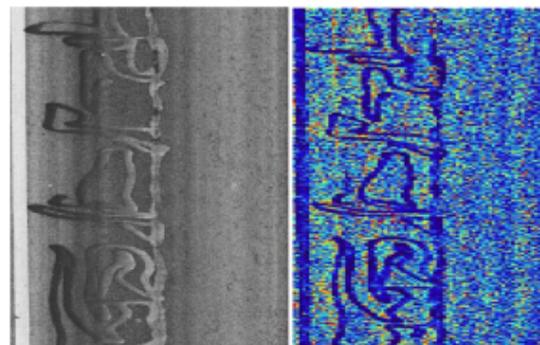
Fissures ouvertes ou pontées, arrachements, désenrobage, orniérage, modifications de l'uni transversal ou longitudinal...

### GÉOMÉTRIE DE LA ROUTE

Pente, dévers, rayon de courbure



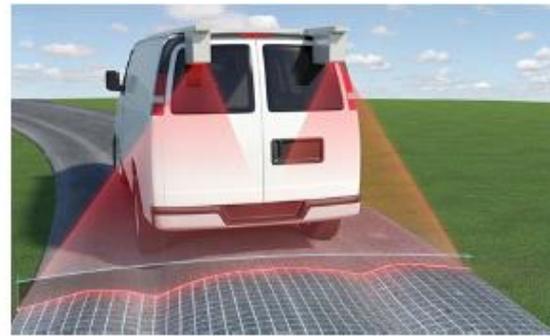
Détection des fissures et de leur gravité



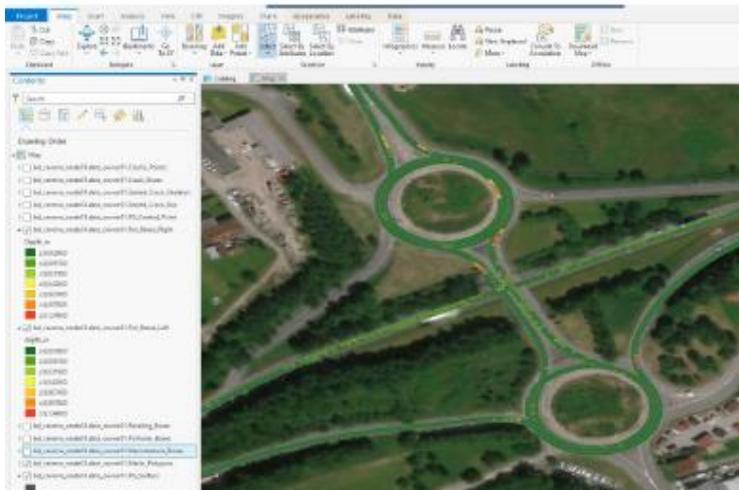
Détection du pontage des fissures

## UNE TECHNOLOGIE UNIQUE AU MONDE DÉVELOPPÉE PAR LE CEREMA

- Intégration des capteurs « LCMS » de la société Pavemetrics sur des véhicules produits sur mesure suivant les spécifications du Cerema
- Fonctionnant avec l'Architecture Porte Outil (APO) complété par un GNSS décimétrique et un guidage d'itinéraire
- Informatique embarquée et calculatoire conçue avec une solution de télémaintenance et de télémessure



Capteurs LCMS Pavemetrics™



Représentation de l'ornièrage par classe de gravité après traitement des données collectées par Aigle 3D



Représentation graphique de l'état de la chaussée par agrégation des données de fissuration collectées par Aigle 3D

## DES NOUVELLES PERSPECTIVES POUR LES GESTIONNAIRES ROUTIERS

L'outil de diagnostic Aigle 3D permet ainsi d'accompagner les gestionnaires pour une meilleure connaissance de leurs réseaux afin notamment d'optimiser l'utilisation des crédits d'entretien.

Pour aller plus loin dans la démarche, le Cerema a développé une approche intégrée de gestion patrimoniale qui prend en compte l'adaptation des réseaux aux nouveaux enjeux de demain pour les rendre plus résilients : changement climatique, nouvelles technologies, nouveaux usages...

### POUR EN SAVOIR PLUS sur la résilience des réseaux de transport

RDV à la Biennale des territoires du 18 au 20 mars 2019 à Paris-Beffroi de Montrouge  
 Un événement Cerema  
[www.biennaledesterritoires.fr](http://www.biennaledesterritoires.fr)  
 @BiennaleCerema

### Vers une gestion patrimoniale intégrée des réseaux

- 1 Mieux connaître les caractéristiques et l'état de son réseau
- 2 Analyser les vulnérabilités de son réseau
- 3 Optimiser ses coûts de gestion
- 4 Planifier en anticipant le futur



Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand  
 CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex  
 Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

### POUR NOUS CONTACTER

CEREMA INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET MATERIAUX  
 110 rue de Paris - 77171 Sourdun - France  
[communication-itm@cerema.fr](mailto:communication-itm@cerema.fr)  
[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)  
 Suivez-nous sur twitter : @CeremaRoute

## **ANNEXE 4 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DE L'ENSEMBLE DES PHOTOGRAPHIES RÉALISÉES LORS DE LA PHASE PRELIMINAIRE**

---

Heure	Remarques
10h25	PR 00 + 000
10h26	Borne de limite entre les départements Saône-et-Loire et Nièvre
10h34	PR 1 + 750
10h40	PR 2 + 695 (contexte : carrefour)
10h46	PR 6 + 660 (contexte : zone d'habitations)
10h47	Carrefour important – zone à exclure de l'étude
10h53	PR 9 + 200 (contexte : présence de barrières spécifiques)
10h56	PR 10 + 660 (contexte : poteau électrique)
11h00	PR 12 + 200 – début carrefour très important et à couche de roulement en technique spécifique → à exclure de l'étude
11h02	PR 12 + 580 - Fin du carrefour très important
11h06	PR 15 + 300 (contexte : zone rurale, présence d'un carrefour spécifique)
11h08	PR 15 + 580 – zone présentant de fortes dégradations de surface dues à une structure de la route qui n'a jamais été renforcée et qui induit des infiltrations d'eau néfastes (contexte : carrefour et photographies de l'état de la route)
11h12	PR 17 + 100 – début de pont à exclure de l'étude (photographie de l'état de la route)
11h15	PR 17 + 184 – fin du pont à exclure (contexte : route avec bosquet)
11h23	PR 20 + 800 (contexte : présence de murets en pierre)
11h30	PR 21 + 420 (contexte : panneau d'entrée de la ville d'Autun) – début de zone d'exclusion car zone agglomérée et présentant des caractéristiques de circulation très spécifique
11h39	PR 25 + 609 (contexte : panneau de sortie de la ville d'Autun)
11h45	PR 28 + 660 – début de pont à exclure ; attention, il y a présence d'un deuxième pont à la suite
11h48	PR 29 + 560 (contexte : présence d'un arrêt de bus abrité)
11h52	PR 32 + 030 (contexte : présence d'un carrefour à proximité)
11h56	PR 34 + 717 (contexte : présence d'une intersection de route perpendiculaire à proximité)
11h59	PR 35 + 1352 – fin de la section RD681 et limite entre les départements Saône-et-Loire et Côte-d'Or

## **ANNEXE 5 : DONNÉES COMPLÉMENTAIRES FOURNIES PAR LE CD71 LORS DE LA VISITE TERRAIN (ORIGINE : IQRN)**

---

Planches	PR début	PR fin	Photo début	Photo fin	Structure	Remarque	Début		Fin	
							Lat	Long	Lat	Long
1	0+0	1+750	102513	103404	CR - BB Ep 5,5cm (2018)   ESU 10/14 (2009)   [BBSG 6cm GTLH 25cm GNT 0/80 50 cm] (2000)	102631 : Borne limite départements	46,85164	4,07947	46,85873	4,09909
2	1+750	2+695	103404	104007	CR - BB Ep 5,5cm (2017)   ESU 4/6 (2010)   [BBSG 6cm GTLH 25cm GNT 0/80 50 cm] (2000)		46,85873	4,09909	46,8623	4,10635
						104011 : Carrefour				
3	2+695	6+660	104007	104639	CR - BB Ep 5,5cm (2017)   ESU 6/10 (2007)   [BBSG 6cm GTLH 25cm GNT 0/80 50 cm] (1999)	104642 + 104646	46,8623	4,10635	46,89582	4,14401
						104737 : Carrefour important				
4	6+660	9+200	104639	105329	CR - BB Ep 5,5cm (2017)   ESU 6/10 (2007)   [BBSG 6cm BBME 3cm GLTH 25cm] (1996)	105332	46,89582	4,14401	46,9009	4,16254
5	9+200	10+660	105329	105619	CR - BB Ep 5,5cm (2017)   ESU 10/14-4/6 loupé (2008)   [BBSG / GNT 23 cm] (1995)	105622	46,9009	4,16254	46,91441	4,18407
6	10+660	12+200	105619	110012	CR - BBTM Ep 3cm (2017)   ESU 10/14-4/6 loupé (2008)   [BBSG / GNT 23 cm] (1995)		46,91441	4,18407	46,91871	4,18731
	12+200	12+580	110012	110158		110015   ATTENTION CARREFOUR IMPORTANT - à exclure	46,91871	4,18731	46,91441	4,18407
7	12+580	15+300	110158	110625	CR - BBTM Ep 2,5cm (2010)   ESU 10/14-4/6 loupé (2008)   [BBM 2x4cm GB 0/14 9cm+12cm] (1994)	110630 + 110635	46,91441	4,18407	46,93727	4,21651
8	15+300	15+580	110625	110825	CR - BBTM Ep 2,5cm (2010)   ESU 10/14-4/6 loupé (2008)   [BB + ESU sur GB] (?)	110827 + 110830 + (111019 + 111025) -> dégradations de surfaces car route jamais renforcée (structurel) - à exclure	46,93727	4,21651	46,93823	4,21942
9	15+580	17+100	110825	111253	MBCF 0/10 Bicouche (2012)   [BB 0/10 4cm GB 0/10 9cm] (1993)	111312	46,93823	4,21942	46,94426	4,23578
	17+100	17+184	111253	111535		111541 / PONT - à exclure	46,94426	4,23578	46,9454	4,23688
10	17+184	20+800 -> modifier en 19+800	111535	112323	MBCF 0/10 Bicouche (2013)   [BB 0/10 4cm GB 0/10 9cm] (1993)	112327	46,9454	4,23688	46,95784	4,27665
10 bis	nouvelle plan MBCF 0/10 bicouche 2013									
11	20+800	21+420	112323	113025	MBCF 0/10 Bicouche (2013)   BB 0/10 4,5cm (2014)   [BB 7cm + GB + Herison 20cm] (?)	113029	46,95784	4,27665	46,95649	4,2848
	21+420	Giratoire	113025	-	MBCF 0/10 Bicouche (2013)   BB 0/10 5cm (2015)   [BB 7cm + GB + Herison 20cm] (?)	Giratoire : masque déjà existant sur Arcgis	46,95649	4,2848	-	-
Exclusion de toute la zone agglomération										
12	25+609	28+660	113928	114515	cf tableau excel CD71	113931	46,97369	4,3068	46,96003	4,30631
	28+660	-	114515	-	cf tableau excel CD72	Pont à exclure (deux ponts d'affiler - à déterminer via masque sur le plan Arcgis) - Eurovia	46,96003	4,30631	-	-
13	-	29+560	-	114759	cf tableau excel CD73	Recyclé - COLAS	-	-	47,008	4,3211
14	29+560	32+30	114759	115223	cf tableau excel CD74	115227 + COLAS	47,008	4,3211	47,02852	4,33228
15	32+30	34+717	115223	115647	cf tableau excel CD75	115651	47,02852	4,33228	47,04988	4,34648
16	34+717	35+1352	115647	115916	cf tableau excel CD76	115920 -> Borne limite département	47,04988	4,34648	47,03817	4,34817



## **ANNEXE 6 : VARIATION DE SECTIONNEMENT SUITE À TRANSMISSION DE COMPLÉMENTS D'ÉLÉMENTS DE LA PART DU CD71**

---

Nom de planche	PR début	PR fin	Type de sectionnement
Planche 1	PR 0 +000	PR 1 + 750	A
	PR 0 +000	PR 1 + 750	B
Planche 2	PR 1 + 750	PR 2 + 400	A
	PR 1 + 750	PR 2 + 695	B
Planche 3	PR 2 + 400	PR 2 + 695	A
	PR 2 + 695	PR 6 + 660	B
Planche 4	PR 2 + 695	PR 10 + 660	A
	PR 6 + 660	PR 9 + 200	B
Planche 5	PR 10 + 660	PR 12 + 230	A
	PR 9 + 200	PR 10 + 660	B
Planche 6	PR 12 + 230	PR 12 + 580	A
	PR 10 + 660	PR 12 + 200	B
Planche 7	PR 12 + 580	PR 15 + 580	A
	PR 12 + 580	PR 15 + 300	B
Planche 8	PR 17 + 054	PR 17 + 184	A
	PR 15 + 300	PR 15 + 580	B
Planche 9	PR 20 + 800	PR 21 + 425	A
	PR 15 + 580	PR 17 + 100	B
Planche 10	PR 21 + 425	PR 21 + 427	A
	PR 17 + 184	PR 20 + 800	B
Planche 11	PR 25 + 609	PR 28 + 660	A
	PR 20 + 800	PR 21 + 420	B
Planche 12	PR 28 + 660	PR 28 + 750	A
	PR 25 + 609	PR 28 + 660	B
Planche 13	PR 28 + 750	PR 29 + 560	A
	PR 29 + 000	PR 29 + 560	B
Planche 14	PR 29 + 560	PR 32 + 030	A
	PR 29 + 560	PR 32 + 030	B
Planche 15	PR 32 + 030	PR 34 + 717	A
	PR 32 + 030	PR 34 + 717	B
Planche 16	PR 34 + 717	PR 35 + 1352	A
	PR 34 + 717	PR 35 + 1352	B

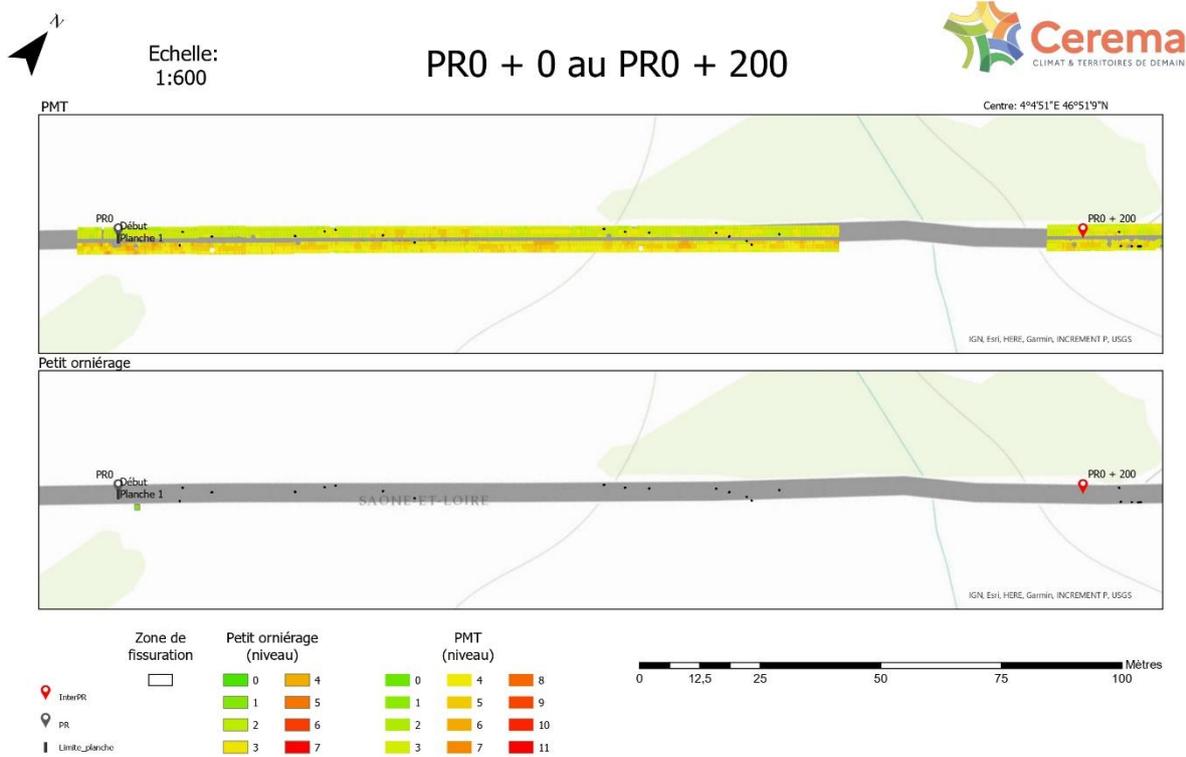
A : Sectionnement du linéaire de la RD681 d'après les données fournies par le CD71 en amont de la visite sur le terrain

**B** : Sectionnement du linéaire de la RD681 d'après les données fournies par le CD71 en amont ET durant la visite sur le terrain

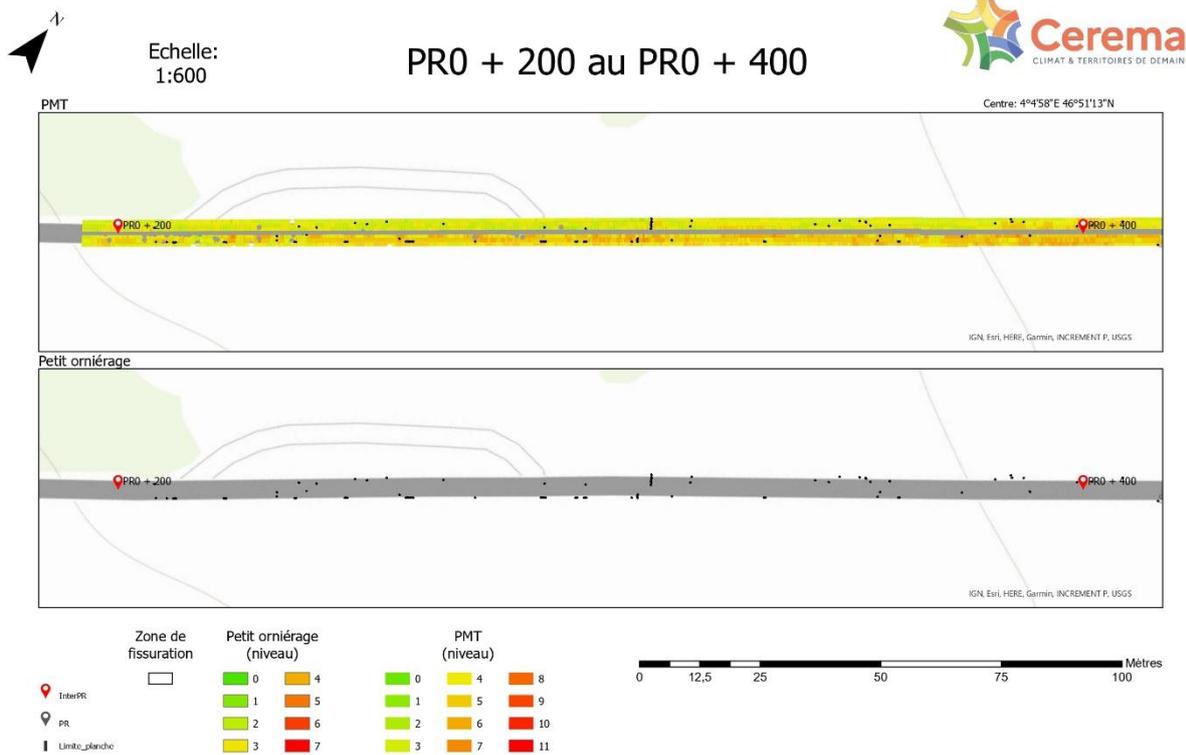
NB : Certaines zones ont été exclues d'office, car présentant des particularités et contraintes trop spécifiques pour être conservées dans le cadre de l'étude. Notamment, nous pouvons citer la présence de carrefours particulièrement importants ou ayant une structure de chaussée spécifique, la zone d'agglomération de Autun ainsi que la présence de zones de type pont. Cela se présente, dans le tableau ci-dessus, par des sauts dans les PR, notamment dans les lignes B.

## ANNEXE 7 : Atlas de dégradations

### Exemple d'atlas de dégradations pour la planche 1



Page 1 sur 10

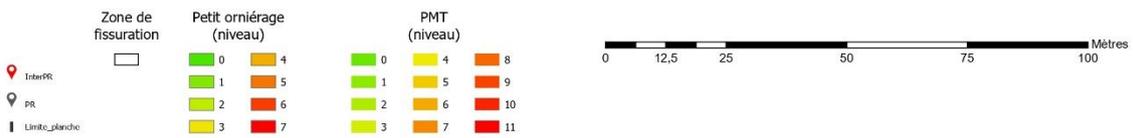
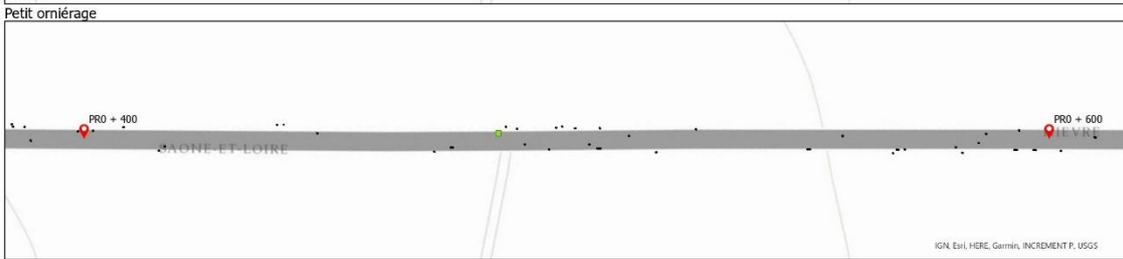
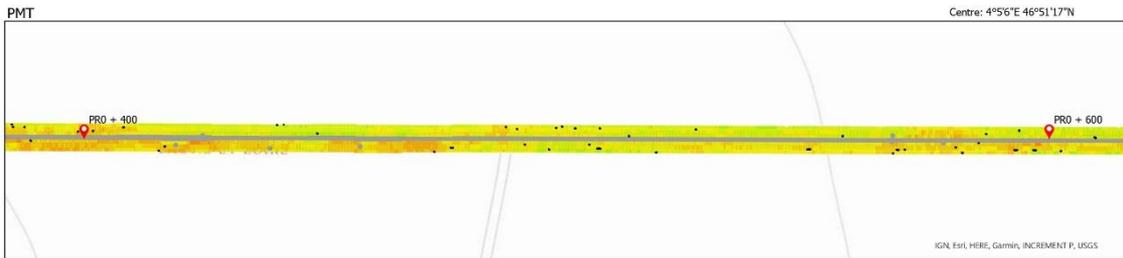


Page 2 sur 10



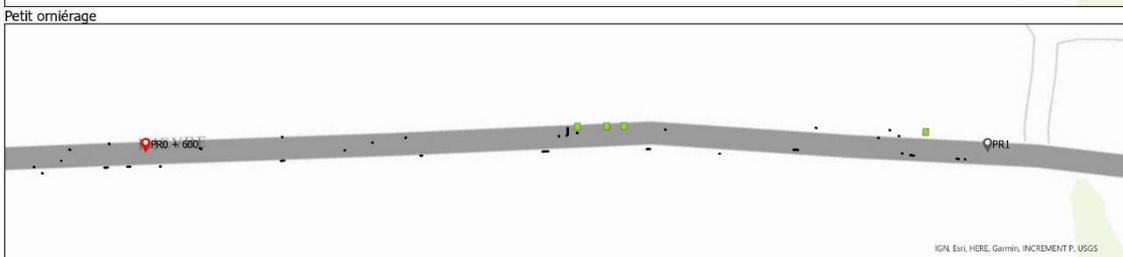
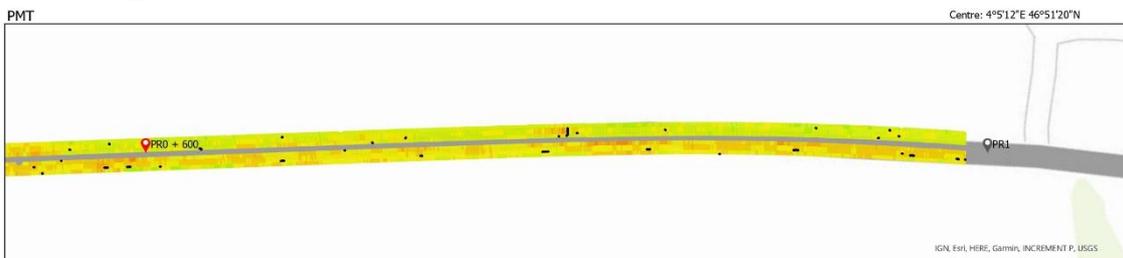
Echelle:  
1:600

### PR0 + 400 au PR0 + 600



Echelle:  
1:500

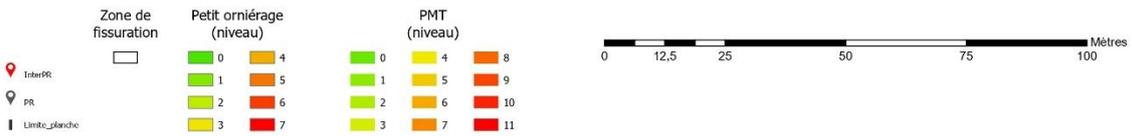
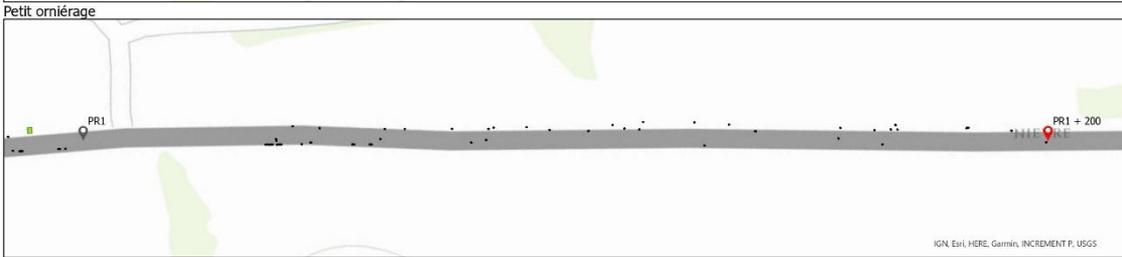
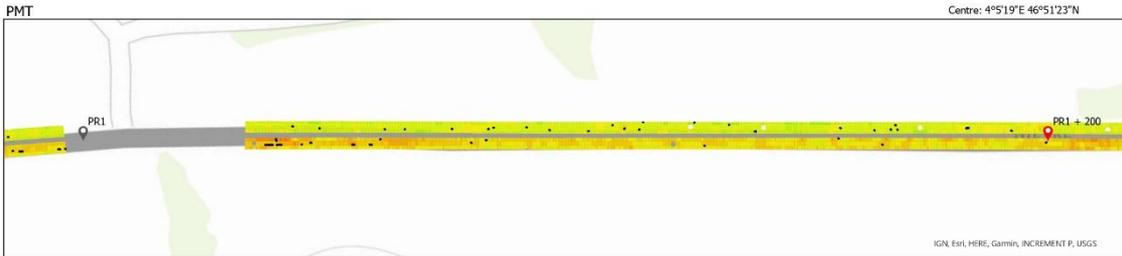
### PR0 + 600 au PR1 + 0





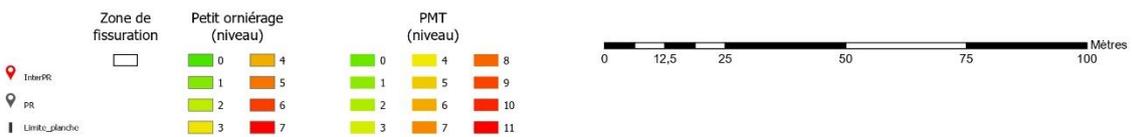
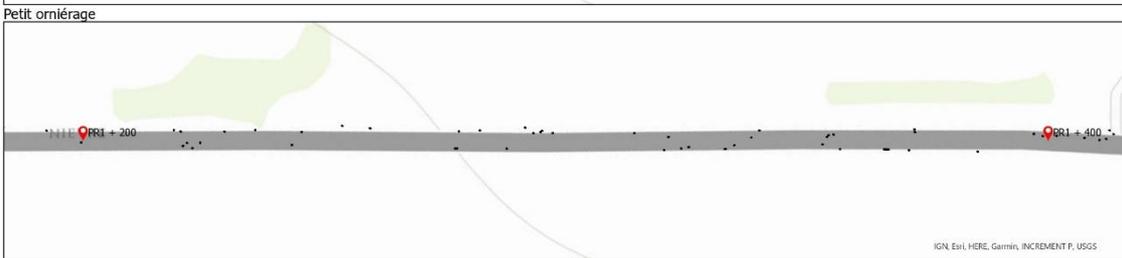
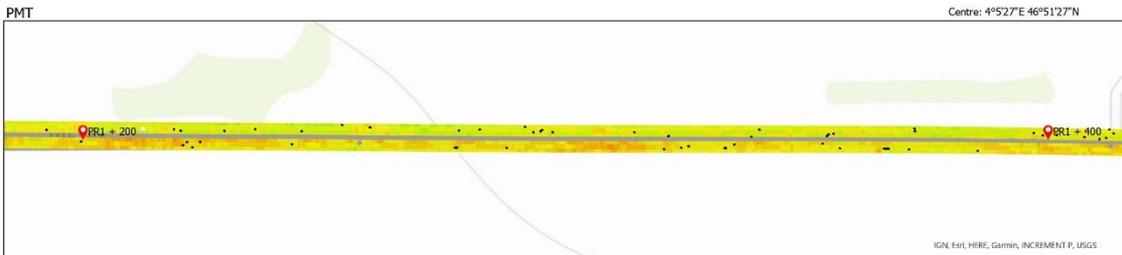
Echelle:  
1:600

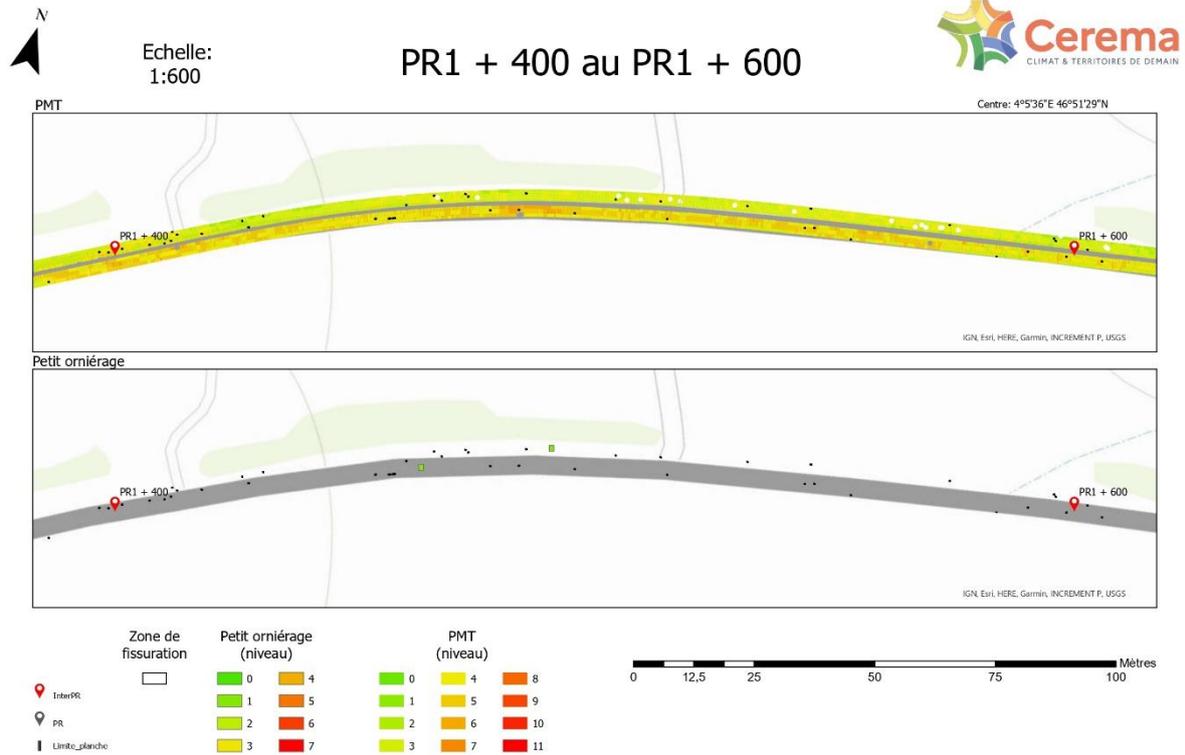
### PR1 + 0 au PR1 + 200



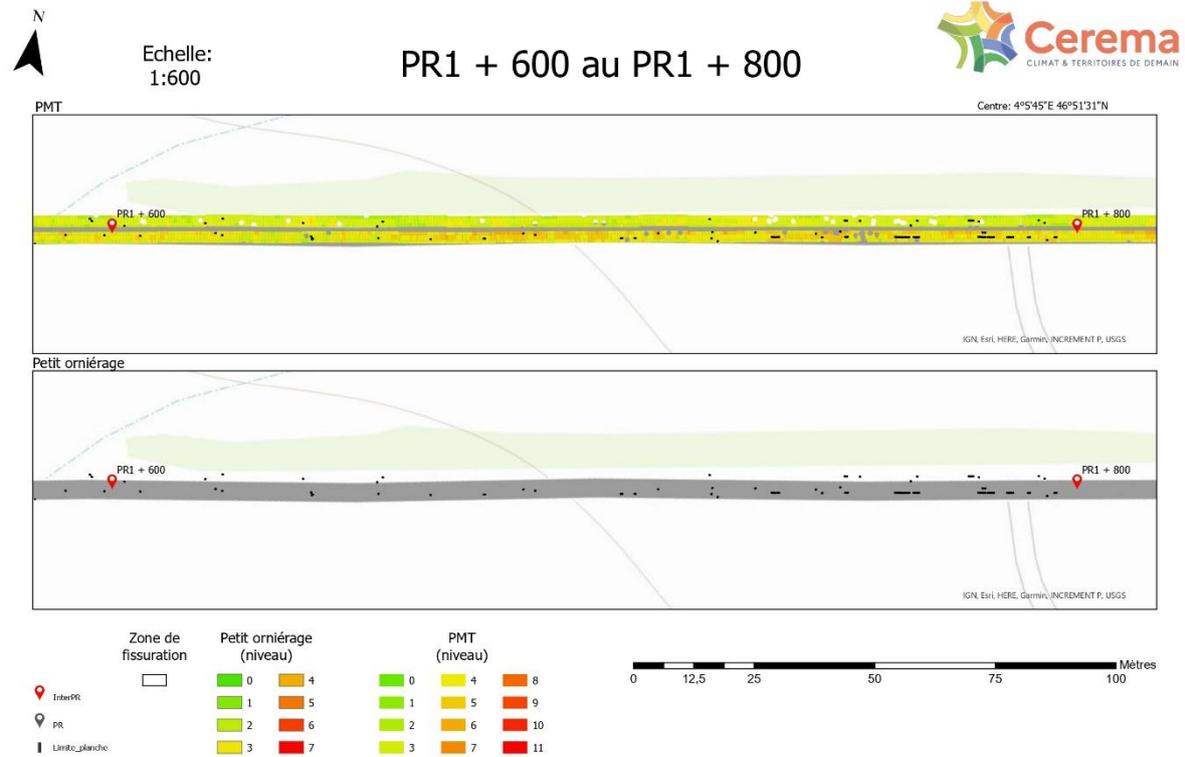
Echelle:  
1:600

### PR1 + 200 au PR1 + 400

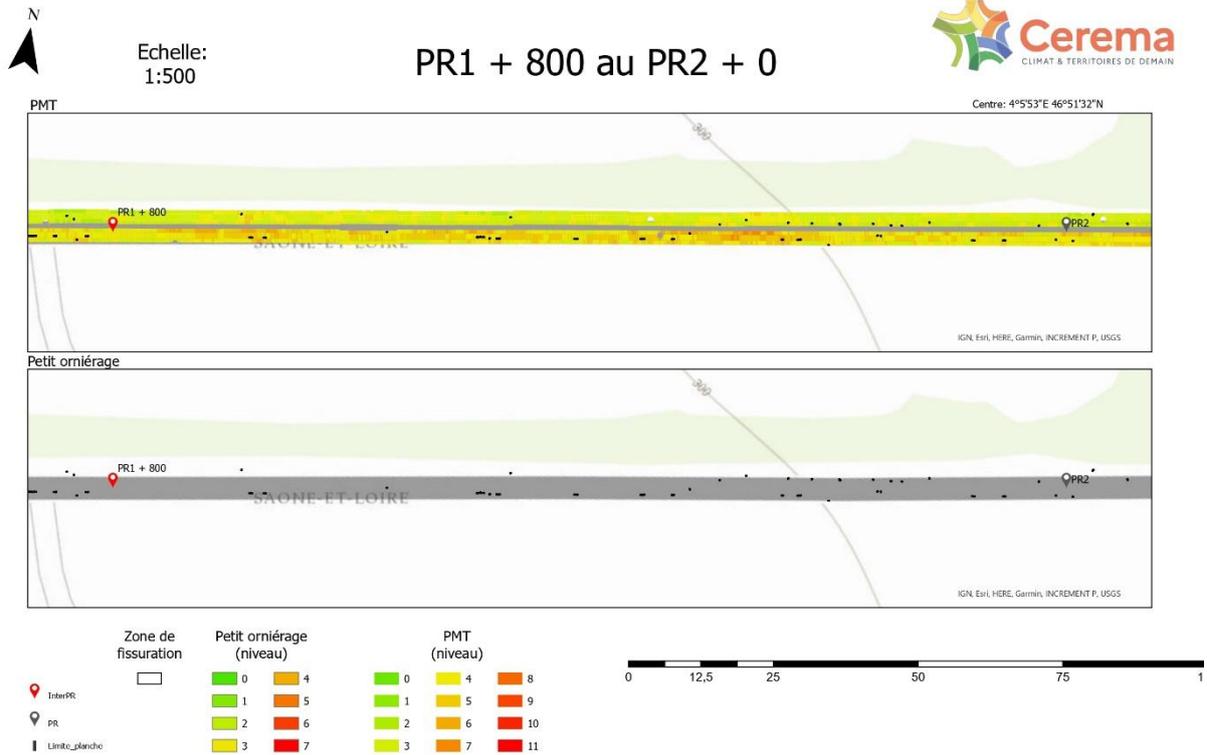




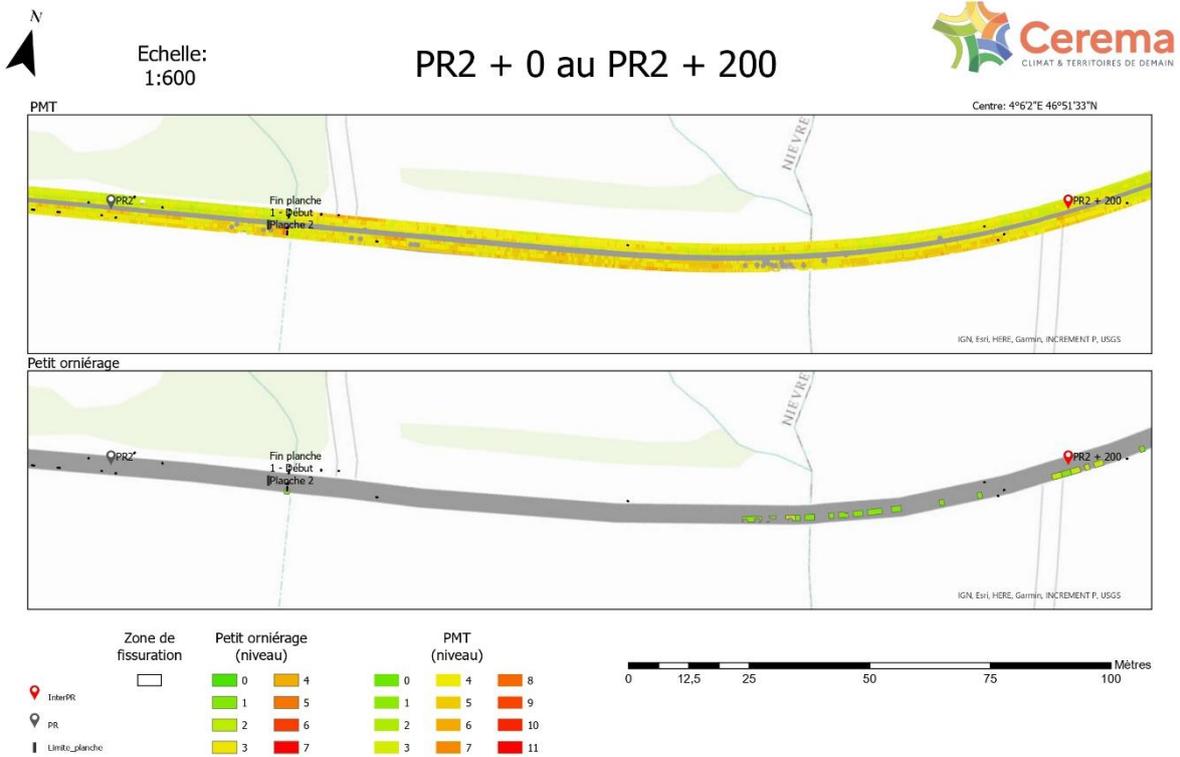
Page 7 sur 10



Page 8 sur 10



Page 9 sur 10



Page 10 sur 10