

Projet National de recherche et développement

**RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE**

**MIRANDA : mesure d'indicateurs routiers  
automatisée par appareils nomades  
d'auscultation  
Expérimentation dans l'Eure (CD27)  
Tranche 1**

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

Jean-Marc MARTIN – IFSTTAR

Stéphane THERET – CD27

**Thème de rattachement :**

Thème 2-2

DVDC/R/008

LC/17/DVDC/23

Mars 2018

Site internet : [www.dvdc.fr](http://www.dvdc.fr)

Plateforme collaborative : [www.omnispace.fr/dvdc](http://www.omnispace.fr/dvdc)

Président : Dominique JAUMARD

Directeurs : Eric LAYERLE et Christine LEROY

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

## Sommaire

<b>Sommaire</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Résumé</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Objectifs</b> .....	<b>4</b>
<b>4 Description du démonstrateur Miranda</b> .....	<b>5</b>
4.1 Grandeur mesurée.....	5
4.2 Automatisation des phases de mesure et d'exploitation .....	6
4.2.1 L'application smartphone.....	7
4.2.2 Exploitation automatique des fichiers de mesures .....	8
4.2.3 Le système de gestion de base de données.....	12
<b>5 Expérimentation dans le département de l'Eure</b> .....	<b>15</b>
5.1 Déroulement des essais.....	15
5.2 Analyse des résultats sur le réseau de desserte locale .....	15
5.2.1 Mesures avant travaux .....	15
5.2.2 Mesures après travaux .....	17
5.2.3 Synthèse des résultats sur réseaux 3 et 4 .....	21
5.3 Analyse des résultats sur le réseau principal .....	21
5.3.1 Mesures Miranda avant travaux .....	21
5.3.2 Mesures après travaux .....	23
5.3.3 Comparaison à l'appareil de référence de mesure d'uni.....	25
5.3.4 Synthèse des résultats sur réseau principal.....	25
<b>6 Bilan et perspectives de l'expérimentation</b> .....	<b>25</b>
6.1 Bilan .....	25
6.2 Perspectives.....	25

## 1 Résumé

---

Afin d'optimiser la gestion du réseau secondaire, les gestionnaires souhaiteraient disposer d'outils simples d'utilisation et automatiques permettant d'évaluer sommairement l'état de leur routes en équipant leur flotte de véhicules (véhicule de patrouille par exemple). Les objectifs étant d'une part d'avoir une image représentative du réseau (notamment celui rarement ausculté) et d'autre part, si la fiabilité est démontrée, de s'en servir pour hiérarchiser la programmation d'entretien. Le démonstrateur « Miranda », développé par l'IFSTTAR, pourrait répondre à ce besoin. Déjà expérimenté dans d'autres départements, le déploiement dans le CD27, partenaire du projet, doit permettre d'apporter précisément des réponses, puisque l'idée est de se focaliser sur des mesures « avant/après travaux » sur le réseau de desserte locale qui doit faire l'objet de travaux d'entretien en 2017. Des mesures complémentaires seront aussi réalisées sur le réseau principal afin de situer les résultats par rapport aux appareils d'auscultation de référence traditionnels. Cette expérimentation démontrera aussi tout l'intérêt de l'automatisation des tâches d'exploitation et d'alimentation de bases de données.

### Abstract

In order to optimize the management of the secondary network, the managers would like to have easy-to-use and automatic tools for assessing the state of their roads by equipping their fleet of vehicles (patrol vehicle for example). The objectives are, on the one hand, to have a representative image of the network (in particular the one seldom surveyed) and, on the other hand, if reliability is demonstrated, to use it to prioritize maintenance programming. The "Miranda" demonstrator, developed by IFSTTAR, could meet this need. Already experienced in other departments, the deployment in the CD27, partner of the project, must provide answers precisely, since the idea is to focus on "before / after work" measurements on the local service network that is due for maintenance in 2017. Complementary measurements will also be made on the main network to locate the results in comparison with traditional reference survey auscultation devices. This experiment will also demonstrate the importance of automating the tasks of operating and supplying databases

## 2 Introduction

L'une des préoccupations des gestionnaires routiers est d'optimiser la gestion de leur réseau, ce qui passe par une réduction des coûts d'auscultation. Il existe aussi un besoin d'évaluation des catégories de réseaux qui sont rarement auscultées. Pour répondre à ce besoin, l'IFSTTAR mène depuis quelques années des recherches portant sur l'usage combiné de capteurs « bas coût » et de véhicules traceurs. Le principe de la solution technologique est d'équiper une flotte de véhicules professionnels (ex : véhicules de patrouille d'une collectivité territoriale) au moyen de capteurs collectant une somme d'informations en lien avec l'état du réseau routier lors de leurs déplacements de service. Par ce procédé ainsi que par le développement d'une chaîne de mesures et de traitement automatisée, l'objectif est de proposer au gestionnaire un outil économique et pratique lui permettant d'avoir une connaissance de l'état de son réseau avec un niveau de précision certes approximatif mais « à tout moment et partout ». Ainsi, le gestionnaire peut suivre plus finement l'évolution de son réseau et optimiser, dans le temps et dans l'espace, l'appel à des appareils d'auscultation « lourds », ces derniers étant très coûteux à l'achat et à l'usage. Dans ce contexte, l'IFSTTAR a développé un démonstrateur assurant le suivi quasi automatique de l'état du profil de la chaussée par l'utilisation de véhicules traceurs équipés d'appareils nomades tels que des smartphones (interrogeant ses propres capteurs internes). Ce démonstrateur nommé MIRANDA (acronyme de « Mesures d'Indicateurs Routiers Automatisée par appareils Nomades d'Auscultation ») a d'abord été validé sur 1000 km du réseau secondaire de la Loire Atlantique. Deux autres expérimentations à grande échelle sont en cours dans la Manche (CD50) et en Eure et Loire (CD28) avec comme objectifs de tester la robustesse de l'outil utilisé de façon intensive dans les conditions de patrouilles quotidiennes : conduite aléatoire dépendant des circonstances du moment (arrêt, accélération, vitesse variable, roues sur accotement, ...) et sans se préoccuper de l'acquisition des mesures (plusieurs heures de mesures en continu). L'attente de ces gestionnaires est autant le suivi de l'évolution de son réseau notamment dans les zones sujettes à des déformations assez rapides, qu'une aide à la priorisation des zones de travaux d'entretien annuels.

Dans le cadre du projet DVDC, l'expérimentation menée avec le département de l'Eure (CD27) a des objectifs un peu différents, puisqu'il s'agit ici de se focaliser sur la précision de l'outil, de l'optimiser (ajout de capteurs communicant éventuels, prévu en tranche 2) et de démontrer son intérêt en comparant les mesures avant et après travaux sur les sections faisant l'objet d'entretien courant en 2017. Ce rapport après avoir présenté le principe de fonctionnement du démonstrateur, affiche les résultats obtenus en tranche 1, c'est-à-dire à partir de données issues des capteurs accélérométriques d'un smartphone installé dans l'habitacle.

## 3 Objectifs

Une concertation entre l'IFSTTAR et le CD27, début 2017, a permis de définir l'expérimentation à mener en 2017 afin qu'elle soit complémentaire à celles menées dans d'autres départements. Il a été décidé trois actions principales :

- ▶ Prise en main de l'outil par le CD27 en se focalisant uniquement sur l'utilisation des capteurs internes au smartphone positionné dans l'habitacle
- ▶ Utiliser « Miranda » sur les « petits » réseaux (desserte locale) qui font l'objet d'entretiens en 2017. L'idée est de mesurer plusieurs fois avant et après travaux les routes concernées et cela sur des linéaires englobant largement les zones de travaux
- ▶ Evaluer l'outil au regard des résultats d'auscultations traditionnelles réalisées en 2017 sur le réseau de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> catégorie.

Ces actions devraient permettre de répondre aux objectifs prioritaires suivants :

- ▶ Sur le réseau secondaire non structurant, vérifier si « Miranda » traduit bien le ressenti du gestionnaire et détecte bien les zones à entretenir et connaître l'impact des travaux sur les indicateurs.
- ▶ Sur le réseau principal structurant, confronter Miranda aux mesures de référence (profil en long notamment), montrer son intérêt en premier niveau d'alerte, montrer ses limites, et identifier les évolutions à apporter en tranche 2 (capteurs additionnels par exemple)

Ce rapport s'attache donc à illustrer ces objectifs, après avoir fait une description complète du démonstrateur « Miranda »

NB : pour rappel, dans la tranche 1, les capteurs utilisés sont exclusivement ceux du smartphone, à savoir le GPS et les accéléromètres (voire gyroscopes).

## 4 Description du démonstrateur Miranda

### 4.1 Grandeur mesurée

Le démonstrateur MIRANDA porte, pour l'instant, sur la mesure d'une caractéristique routière bien connue des gestionnaires d'infrastructures routières à savoir l'uni longitudinal des chaussées. Ce terme technique désigne une partie des irrégularités géométriques présentes à la surface de la chaussée dans son axe longitudinal (Figure 1). L'uni est une caractéristique de surface qui contribue à garantir principalement les fonctions suivantes :

- Confort vibratoire offert aux usagers
- Sécurité de conduite (un défaut d'uni peut nuire à la qualité de contact entre le pneu et la chaussée).

Par ailleurs, la qualité d'uni d'une chaussée peut, dans certaines conditions, témoigner de l'état de la structure dans son ensemble c'est-à-dire en considérant également les différentes couches non visibles composant une chaussée. Pour toutes ces raisons, la mesure de l'uni sur un réseau routier ou du moins une approximation de cette mesure intéresse fortement les gestionnaires.



Figure 1. Chaussée présentant un défaut d'uni longitudinal et appareil d'auscultation dédié à la mesure de ce défaut (APL)

Sur le plan métrologique, l'uni longitudinal d'une chaussée regroupe les irrégularités géométriques de longueurs d'ondes comprises entre 0.7 m et 45 m. La détermination de l'intégralité du spectre de ces « défauts » nécessite l'utilisation d'appareils de mesures relativement complexes et onéreux puisque ceux-ci sont composés d'instruments haut de gamme. Si le recours à ce type d'appareils est incontournable et parfois automatique pour la caractérisation de chantiers neufs ou après travaux, leur intervention pour les activités de surveillance de l'état du réseau routier pourrait être davantage optimisé. Le système MIRANDA s'inscrit dans ce dernier cas de figure en se positionnant comme un premier outil d'évaluation dont la finalité est de dresser, pour une période donnée, une cartographie de la qualité du pseudo profil en long d'un réseau routier (information en lien avec l'uni longitudinal). Sur la base de ces renseignements, le gestionnaire pourra alors, s'il le juge nécessaire, faire intervenir des appareils dédiés de façon ciblée dans le temps et dans l'espace afin d'obtenir une meilleure caractérisation des défauts. Enfin, pour les catégories de réseaux de faible trafic (ex : réseaux secondaires), le système MIRANDA est susceptible de constituer en soit une solution d'auscultation suffisante aux gestionnaires pour préserver un certain niveau de service.

## 4.2 Automatisation des phases de mesure et d'exploitation

Le démonstrateur MIRANDA, conçu par l'IFSTTAR, est un processus quasi automatisé allant de la collecte d'informations par des véhicules traceurs jusqu'à la représentation des indicateurs de qualité sur des SIG. Ce démonstrateur est schématiquement représenté sur la Figure 2.

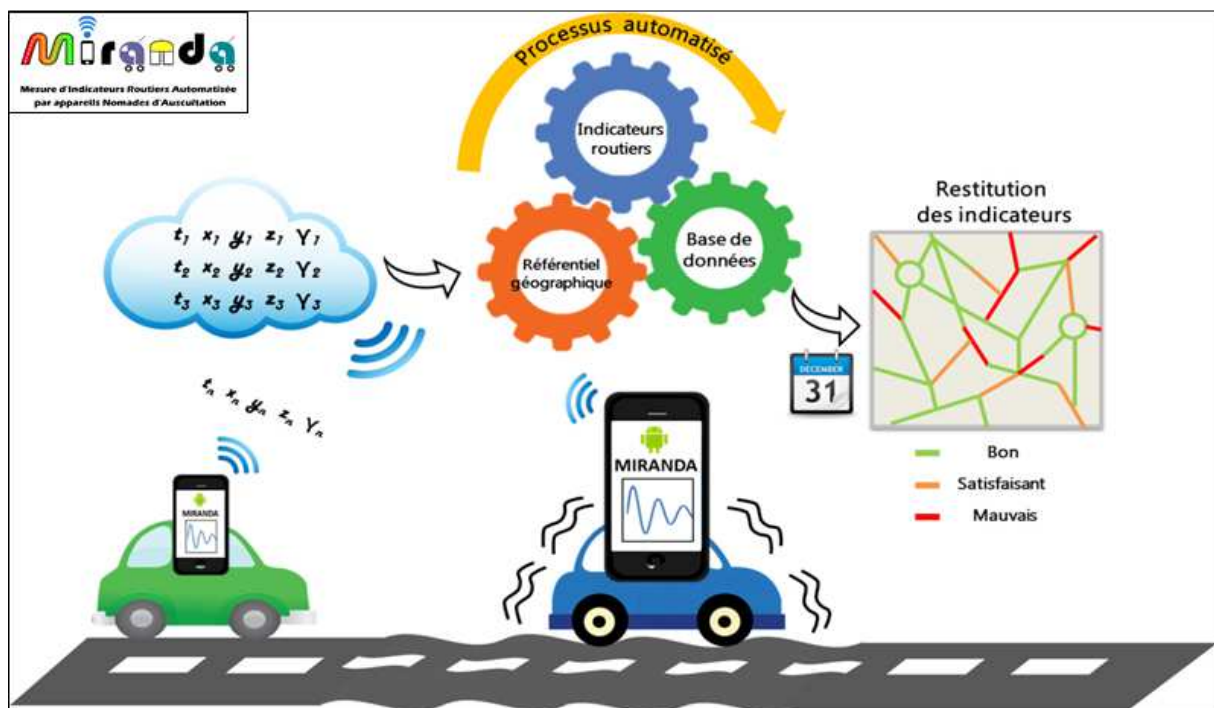


Figure 2 - Synoptique général du démonstrateur

Le développement du démonstrateur a permis de mettre en évidence les faisabilités en terme :

- De niveau de performance des capteurs (accéléromètre, gyroscope, GPS) de différents smartphones pour fournir des mesures corrélées à une référence connue en termes d'uni longitudinal ;
- De transfert automatique des données en fin de mesure (3G et plus) vers un serveur de données ;
- D'exploitation automatique des mesures (recalage sur référentiel, identification, génération d'indicateurs de confort) ;
- De système de gestion de base de données pour ces indicateurs (architecture, fusion de données, ...) ;
- De consultation cartographique à distance des données ;
- De faculté d'acquisition, par les smartphones, de données provenant de capteurs externes et communicant en Bluetooth (bus CAN, capteurs communicants placés sur le véhicule, ...).

Les différentes fonctions du démonstrateur et leur enchaînement, assurant une simplicité et une automatisation, sont présentés dans les paragraphes suivants.

#### **4.2.1 L'application smartphone**

Répondant à un cahier des charges bien précis, l'application, développée sous Android (système d'exploitation le plus courant aujourd'hui), permet de réaliser les actions suivantes :

- Paramétrage
  - o Paramètres liés à l'utilisateur du smartphone (véhicule utilisé, nom conducteur, modèle du smartphone, ...)
  - o Indentification du serveur de stockage des mesures pour l'envoi automatique
  - o Sélection des capteurs interrogés (internes et externes)
- Acquisition synchrone des mesures capteurs (GPS, accéléromètre, gyroscope, ...) à une fréquence de 100 Hz
- Phase de transfert des mesures

Une fois l'application paramétrée, (identifiant du véhicule, type de smartphone, nom de l'utilisateur, ...), le smartphone doit alors être fixé sur la planche de bord du véhicule ou tout autre endroit solidaire de la caisse exempt de vibrations parasites; le lancement de l'acquisition peut ensuite être effectué.

Les copies d'écran suivantes (Figure 3) illustrent la page d'accueil de l'application développée ainsi que la sauvegarde des mesures sur un serveur informatique distant après envoi des fichiers par réseau 3G (ou plus).



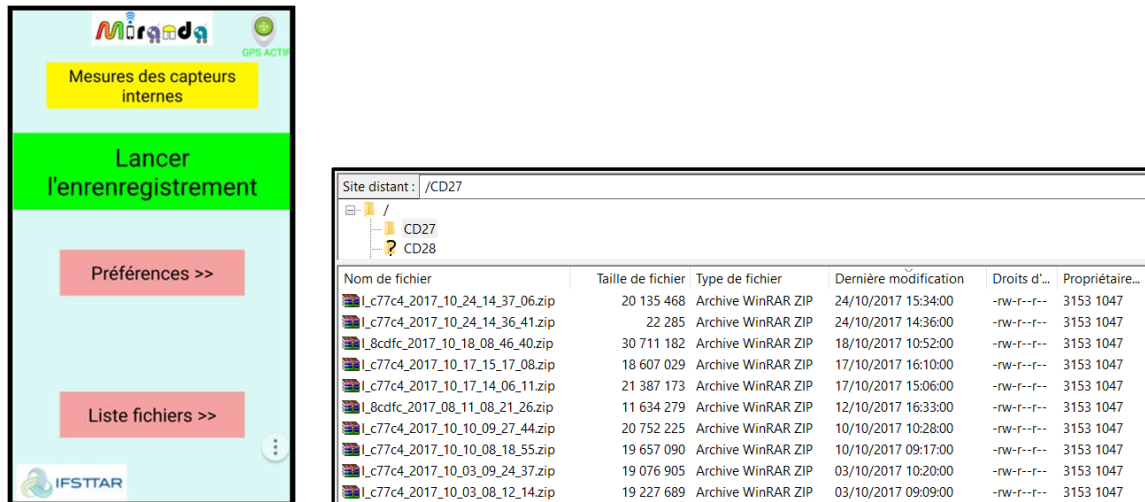


Figure 3 - Copies d'écran de l'application Android et du site distant recevant les fichiers

#### 4.2.2 Exploitation automatique des fichiers de mesures

Un des principaux intérêts pour un gestionnaire routier est l'automatisation des phases d'exploitation des fichiers de mesure. En effet, à la différence des fichiers délivrés par les appareils d'auscultation dédiés qui sont exploités par des laboratoires spécialisés et qui assurent l'alimentation manuelle d'une base de données, les fichiers issus de l'application smartphone doivent être exploités automatiquement sans intervention du gestionnaire. Un outil de traitement automatique a donc été développé assurant les tâches suivantes :

- Scrutation permanente du serveur informatique dans le but de lancer la procédure d'exploitation dès l'arrivée d'un nouveau fichier de mesure ;
- Exécution d'une phase de map-matching sur un référentiel cartographique (BD Topo de l'IGN) ;
- Identification de la route auscultée (nom, début, fin, sens, ...) ;
- Reconstitution du pseudo profil en long ;
- Génération des indicateurs courants relatifs à l'uni longitudinal (NBO, IRI, ...) ;
- Alimentation automatique de la base du gestionnaire avec ces indicateurs.

Les principales tâches sont présentées dans les paragraphes suivants.

##### 4.2.2.1 Map-matching sur référentiel cartographique

Afin de calculer un indicateur d'état de profil de la chaussée portant sur un même segment de route, il est indispensable de recalcr toutes les trajectoires brutes des véhicules traceurs (trajectoires définies par les positions GPS successives des smartphones) sur un même référentiel ou trajectoire de référence. Dans MIRANDA, cette opération est assurée au moyen de techniques de map-matching qui ont été adaptées aux pratiques de l'auscultation des chaussées (ex : repérage des segments de route par rapport à des bornes kilométriques). À cette fin, un module de calcul permettant de traiter automatiquement l'ensemble des trajectoires des véhicules



traceurs sur un réseau routier donné a été spécialement développé dans MIRANDA en prenant comme référentiel la BD Topo de l'IGN (Figure 4). Cette phase délivre aussi un indicateur de fiabilité du recalage afin de ne pas prendre en compte des mesures dont la trajectoire ne serait pas fiable (map-matching en échec ou trajectoire brute trop éloignée de la référence).

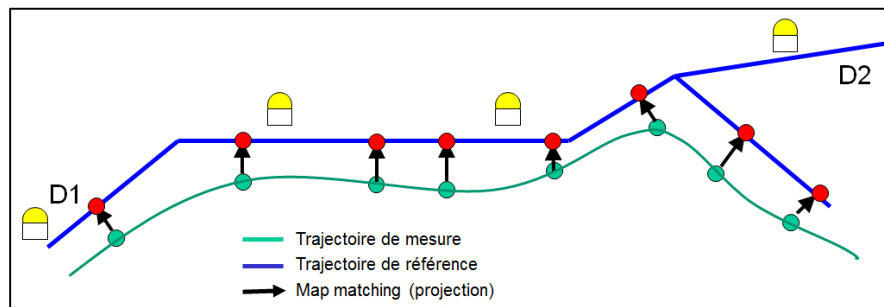


Figure 4 - Principe du map-matching

#### 4.2.2.2 Identification automatique du tronçon de route auscultée

Cette étape est aussi très importante puisque c'est elle qui permet de localiser la mesure dans le langage habituel d'un gestionnaire routier, c'est-à-dire affecter un nom de route, un point de départ et de fin, ainsi qu'un sens de déplacement sur cette route. Cette phase est aussi automatique puisque le référentiel sur lequel a été recalée la mesure comporte le détail de l'identification du réseau.

Ainsi un fichier brut, comportant des mesures rattachées uniquement à des coordonnées géographiques, est transformé en fichier de mesures localisées précisément sur un tronçon de route connu du gestionnaire.

#### 4.2.2.3 Reconstitution du profil en long et calcul des indicateurs usuellement utilisés

A ce stade, on dispose de mesures recalées sur un référentiel et localisées comme cela est le cas pour des mesures issues d'appareils d'auscultation dédiés. Ces mesures (accéléromètre et GPS) peuvent donc être exploitées afin d'en restituer le pseudo profil en long tel que ressenti dans le véhicule. Ensuite, sont appliqués sur ce profil les traitements habituels appliqués aux mesures d'uni, à savoir un filtrage par bandes d'onde permettant d'obtenir des notes d'uni dans trois niveaux de longueurs d'ondes de défauts. Des traitements consistant à calculer l'IRI ou une densité spectrale de puissance sont aussi possibles.

La figure 5 illustre ces phases de constitutions de profil et de calcul d'indicateurs à partir des informations accélérométriques et GPS.

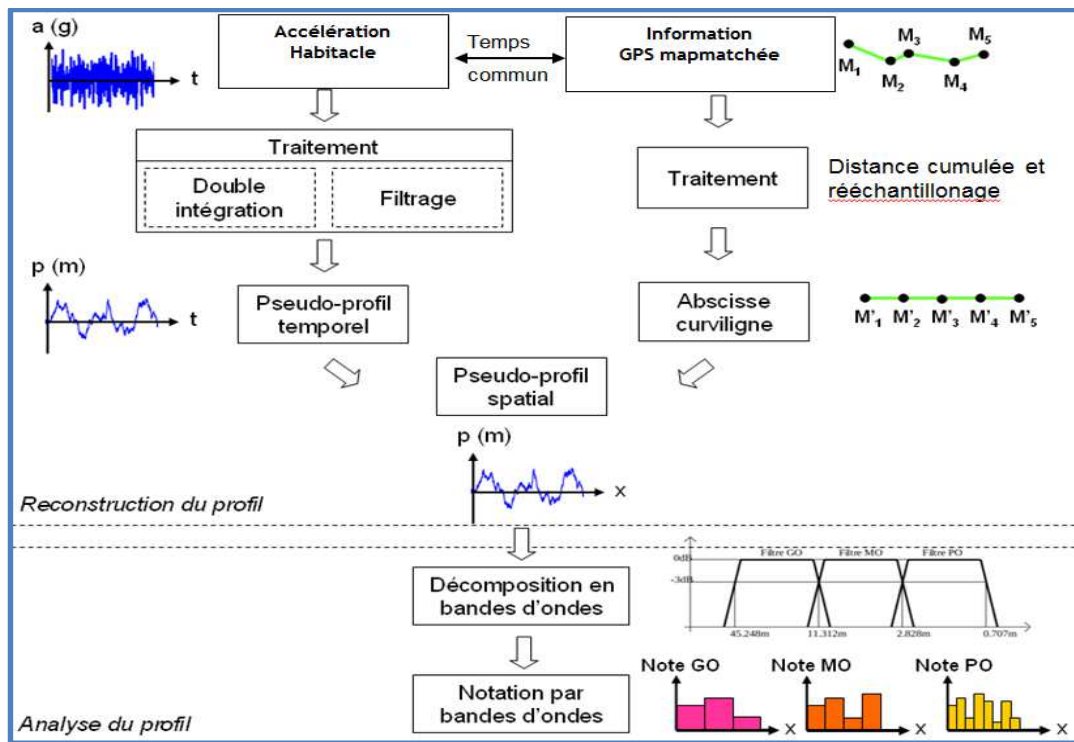


Figure 5 - Construction du profil et calcul d'indicateur

L'analyse du profil visant à obtenir une notation dans trois bandes d'ondes (NBO) répond à la méthode française [1] et est illustrée par le schéma suivant. Ce traitement, illustré par la figure 6, permet d'obtenir des notes variant entre 0 et 10, représentatives des défauts d'uni, pour trois gammes de longueurs d'ondes (petite : PO, moyenne : MO, grande : GO). Selon la gamme d'ondes, la longueur d'analyse varie de 20 à 200 mètres.

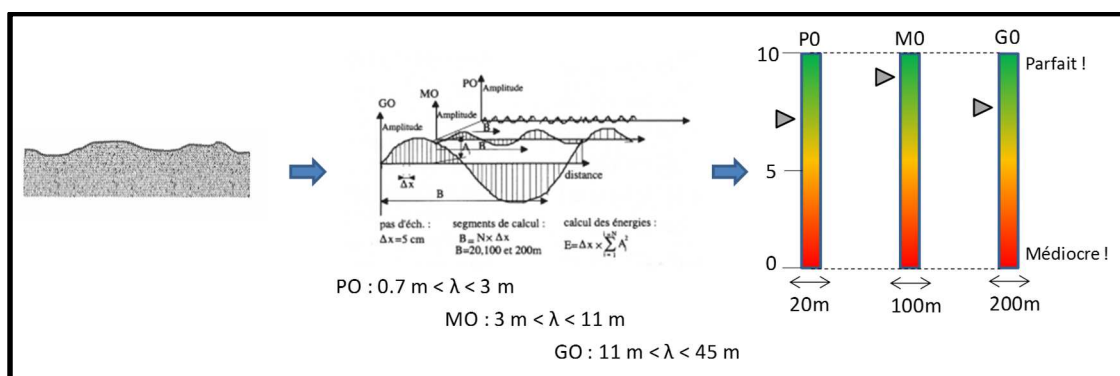


Figure 6 - Principe de la notation par bandes d'ondes (NBO)

Une autre analyse, plus globale sur un tronçon de route, consiste à calculer la densité spectrale de puissance sur le profil mesuré. Ce traitement, illustré par la figure 7, permet d'avoir sur toute la gamme de longueurs d'ondes une estimation de l'énergie du profil mesuré et même d'avoir une idée de la note moyenne (NBO) sur le tronçon de route exploité.

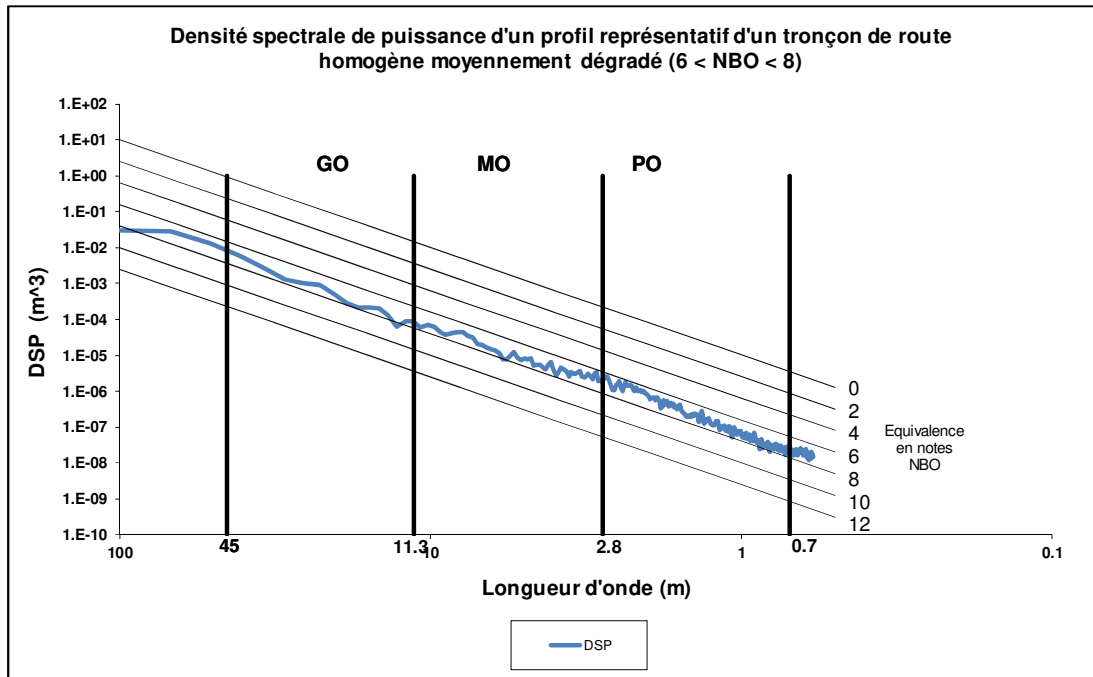


Figure 7 - Représentation de la densité spectrale de puissance d'un profil

Du fait de la mesure accélérométrique réalisée dans un véhicule, il n'est bien sûr pas possible de mesurer tout le spectre comme le fait un appareil de référence (figure 8), mais uniquement les grandes ondes et une bonne partie des moyennes ondes. Cependant cela peut être suffisant pour de l'évaluation sommaire du niveau de déformation d'une chaussée. En effet les notes de moyennes ondes traduisent bien de le ressenti à l'intérieur de l'habitacle. L'autre indicateur capable de traduire ce ressenti et donc les déformations, est l'IRI mais il est beaucoup moins utilisé en France. Il est donc systématiquement calculé comme les NBO.

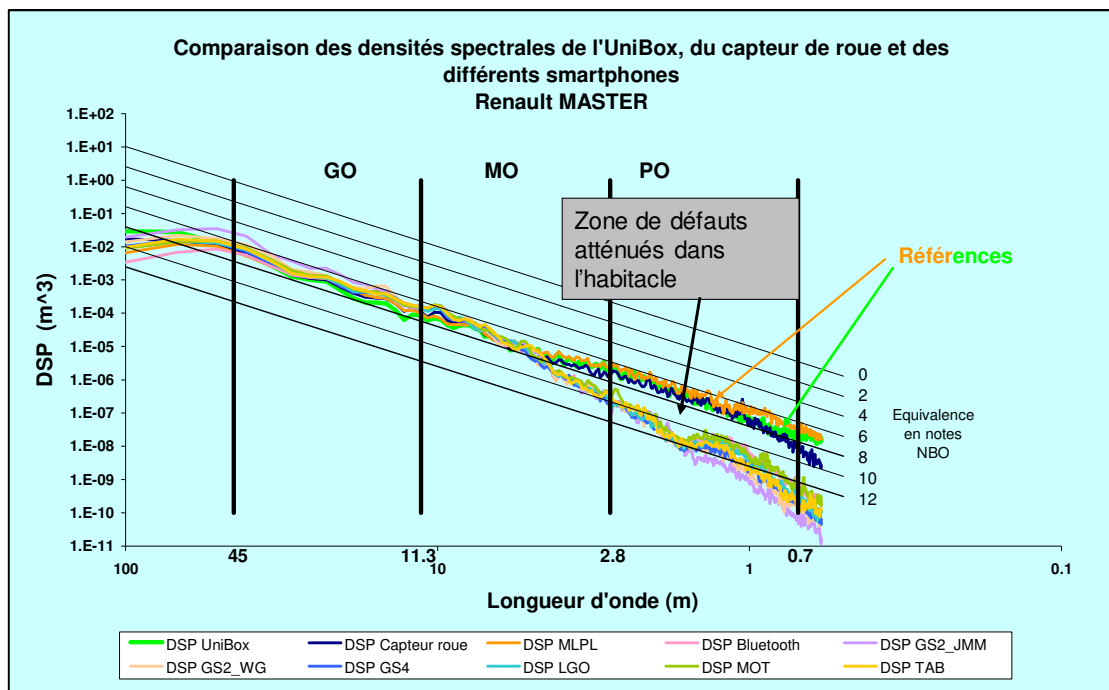


Figure 8 – Comparaison des densités spectrales issue de smartphone et d'appareils dédiés de référence

#### 4.2.2.4 Alimentation automatique de la base du gestionnaire

Toujours dans le but de proposer au gestionnaire le moins possible de manipulations de fichiers, les indicateurs calculés et localisés précédemment sont automatiquement importés dans les tables d'une base de données possédant une structure d'accueil préalablement paramétrée. Cette base de données est installée sur un serveur accessible par le gestionnaire, qui bien sûr, doit disposer de l'outil de gestion de cette base, ou au minimum un outil de consultation pour faire ses requêtes.

#### 4.2.2.5 Enchaînement et automatisation des tâches

Toutes les tâches décrites précédemment sont exécutées automatiquement et compilées dans un seul et même logiciel qui se lance dès que des fichiers, issus des smartphones, arrivent sur le serveur de données. L'exploitation automatique d'une dizaine de kilomètres de mesures ne prend que quelques secondes.

### 4.2.3 Le système de gestion de base de données

L'intérêt majeur du système de gestion de base de données, outre l'archivage automatique de toutes les données reçues, est de pouvoir les consulter, de faire des requêtes sur différents critères, et d'afficher les résultats sous différentes formes (tableaux, cartographie). Compte tenu de la spécificité de l'auscultation par véhicules traceurs, des techniques de fusion de données ont été aussi mises en œuvre puisque pour un même tronçon de route, on peut disposer de données issues de différents véhicules étant passés peut-être plusieurs fois sur des périodes assez courtes. Ces techniques de fusion [2] basées sur des concepts mathématiques (théories des probabilités, des possibilités, des croyances, ...) ont pour objectif de fiabiliser et apporter plus de robustesse au résultat final. En fait, appliquées sur des données d'entrée pouvant être entachées d'erreurs (imprécision des capteurs bas coût, erreurs de trace, véhicules différents, conduites différentes, ...), ces techniques restituent un résultat tenant compte de ces éventuelles incertitudes. Il est aussi possible d'afficher, selon le paramétrage de la requête, d'autres résultats statistiques tels que la moyenne, l'écart-type, ... Compte tenu de l'influence de la vitesse sur les résultats (à faible vitesse les défauts sont moins bien mesurés), le paramétrage de la requête permet de ne retenir que les mesures comprises entre telles et telles vitesses.

Ce système de gestion doit aussi permettre de suivre l'évolution de son réseau dans le temps. Pour cela il est possible de consulter l'état de son réseau régulièrement en faisant des requêtes temporelles : par exemple afficher l'état du réseau à partir des mesures réalisées avant l'hiver (septembre, octobre) puis le comparer à l'état du réseau après l'hiver à partir de mesures réalisées au printemps. Cela peut aussi servir à comparer des mesures avant / après travaux d'entretien.

Les copies d'écran suivantes (figure 9, 10, 11, 12) illustrent une table de la base de données, la boîte de dialogue assurant la requête souhaitée, le résultat de la requête et une représentation cartographique du résultat de la requête selon différents seuils de note paramétrables.

GSR-Base de données 139 - CD27\_New

Fichier Exploitation Outils ?

Req Red

Liste des tables Liste des routes Requête 1

Table / Champ	Niveau	route	plo_de...	abs_de...	plo_fin	abs_fin	cote	note	energie	vitesse	date	heure	sens	veh_type	veh_ma...	veh_mo...	immatr...	pseudo	smartp...
1	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	6.5	188	15.4	2017-05..	14:44	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
2	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	8.5	65	16.8	2017-05..	10:39	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
3	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	8.5	66	18.2	2017-11..	10:23	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
4	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	6.5	184	15.3	2017-05..	13:59	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
5	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	5.5	262	15.1	2017-05..	13:45	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
6	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	4	569	13.1	2017-05..	13:45	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
7	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	3	752	15.5	2017-11..	10:23	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	tutu	WFE	
8	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	5	333	13.6	2017-05..	14:44	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
9	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	6.5	153	15.3	2017-05..	10:39	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
10	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	2.5	1096	13.4	2017-05..	13:59	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
11	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	2	1167	13.3	2017-05..	13:59	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
12	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	3	733	15.5	2017-11..	10:23	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
13	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	0.5	2517	13.1	2017-05..	13:45	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
14	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	1	2118	12.1	2017-05..	10:39	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
15	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	1	2020	12.5	2017-05..	14:44	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
16	D0003	PR10U	370.3	PR10U	470.3	U	3.5	689	8.6	2017-05..	10:39	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
17	D0003	PR10U	370.3	PR10U	470.3	U	3.5	704	8	2017-05..	13:45	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	
18	D0003	PR10U	370.3	PR10U	470.3	U	2.5	932	9	2017-05..	14:44	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE	

Table / Champ Niveau

- route text
- plo\_debut text
- abs\_debut real
- plo\_fin text
- abs\_fin text
- cote text
- note real [0 - 10]
- energie double precision
- vitesse real
- date date
- heure text
- sens text
- veh\_type text
- veh\_marque text
- veh\_modele text
- immatriculation text
- pseudo text
- smartphone text

Figure 9 – Contenu de la table de données relatives aux notes de moyennes ondes

Requête

Type de requête Smartphone Exécuter

**Données à traiter**

Bande :  PO  MO  GO  IRI

Toutes les routes  Les routes [dropdown]

Par zone GPS [input] [input] [input]

Période d'analyse : du : 01/01/2017 au : 28/11/2017

Afficher les mesures

**Contraintes à vérifier**

Sens :  +1  -1  Les deux

Capteur : [dropdown]

**Véhicule**

Type : [dropdown] Marque : [dropdown]

Modèle : [dropdown] Immatriculation : [dropdown]

Pseudo : [dropdown]

Activer le filtrage vitesse >= 40 km/h et <= 999 km/h

Pour le calcul de la moyenne, ignorer les valeurs > à Moy+/- 1 Sigma  Activer le filtre statistique

**Opérations**

Minimum  Maximum  Moyenne  Ecart-type  Fusion

Fusionner les tronçons voisins identiques

Figure 10 – Boite de dialogue assurant le paramétrage de la requête



GSR-Base de données 1.95 - CD27\_New

Fichier Exploitation Outils ?

Req Req SI [Icons]

Liste des tables Liste des routes Requête 1

	Route	Chaussée	PR Déb...	Absciss...	Distanc...	PR Fin	Absciss...	Distanc...	Moyenne	Nombre	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	D0003	U	2	626.8	2600	2	726.8	2700	0.5	2	0.5	0.5				
2	D0003	U	2	726.8	2700	2	826.8	2800	1	1	1					
3	D0003	U	2	926.8	2900	3	14.4	3000	1.5	2	2	1				
4	D0003	U	3	14.4	3000	3	114.4	3100	1.5	2	3	0				
5	D0003	U	3	114.4	3100	3	214.4	3200	0.5	1	0.5					
6	D0003	U	3	214.4	3200	3	314.4	3300	1	1	1					
7	D0003	U	3	314.4	3300	3	414.4	3400	2	1	2					
8	D0003	U	3	514.4	3500	3	614.4	3600	2.5	2	2	2.5				
9	D0003	U	3	614.4	3600	3	714.4	3700	4.5	5	5.5	5	4.5	4	4.5	
10	D0003	U	3	714.4	3700	3	814.4	3800	4.5	5	5	4.5	4	4.5	4	
11	D0003	U	3	814.4	3800	3	914.4	3900	7	5	8	7.5	7	7	6	
12	D0003	U	3	914.4	3900	4	14.4	4000	7	5	7.5	6.5	7	8.5	7	
13	D0003	U	4	14.4	4000	4	114.4	4100	7	5	9	7	7.5	7	7	
14	D0003	U	4	114.4	4100	4	214.4	4200	8.5	5	9	8	8.5	8.5	8.5	
15	D0003	U	4	214.4	4200	4	314.4	4300	7.5	5	9.5	6	8.5	6.5	7	

Figure 11 – Résultat de la requête affichant la note moyenne issue des Vx passages

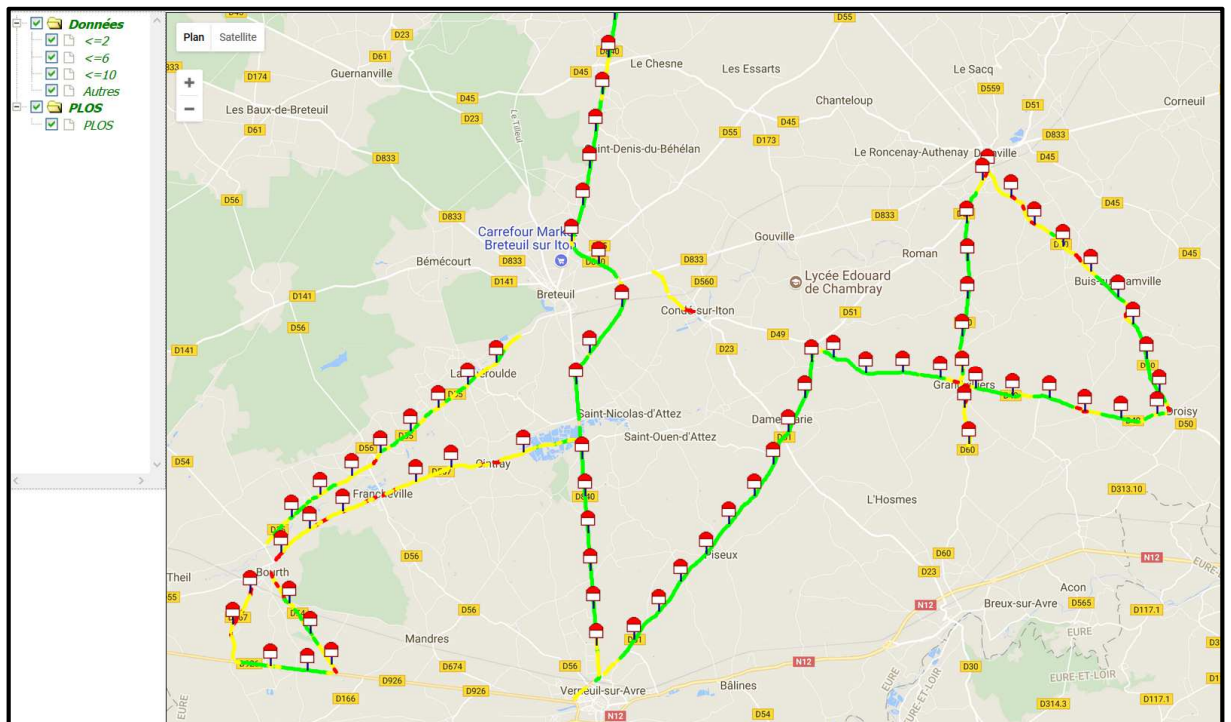


Figure 12 – Résultat cartographique de la requête avec trois niveaux de couleurs selon la note moyenne calculée

## 5 Expérimentation dans le département de l'Eure

### 5.1 Déroulement des essais

A l'issue de la concertation début 2017, trois smartphones de l'IFSTTAR ont été mis à disposition du CD 27. S'en sont suivies une prise en main et une sensibilisation des responsables d'unité territoriales du département et de leurs patrouilleurs. Les mesures ont débuté début mai.

Pour le réseau de desserte locale (catégorie 3 et 4) la consigne était de focaliser les mesures sur les routes devant faire l'objet d'un entretien en 2017, de sorte à pouvoir disposer, fin 2017, de mesures avant et après travaux. L'objectif étant de montrer le pouvoir discriminant de l'outil Miranda en terme d'évaluation sommaire des déformations d'un tel réseau.

Pour le réseau structurant, les routes relevées avec Miranda sont celles qui font l'objet d'auscultations traditionnelles telles que la mesure d'uni par l'APL par exemple.

### 5.2 Analyse des résultats sur le réseau de desserte locale

Le réseau de desserte locale ausculté par Miranda porte sur les RD suivantes : RD 4, 7, 8, 8E, 10, 34, 54, 55 et 567 soit une centaine de kilomètres.

#### 5.2.1 Mesures avant travaux

La figure 13 est la cartographie des notes NMO (défauts dans les moyennes ondes) avant travaux et représentées selon un code couleur dépendant du niveau d'uni :

- Bon uni ( $6 < NMO \leq 10$ ) en vert
- Uni moyen ( $2 < NMO \leq 6$ ) en jaune
- Uni mauvais ( $NMO \leq 2$ ) en rouge

Les seuils ont été choisis pour coller au mieux au ressenti dans l'habitacle et aussi à l'avis que le gestionnaire se fait de son réseau.

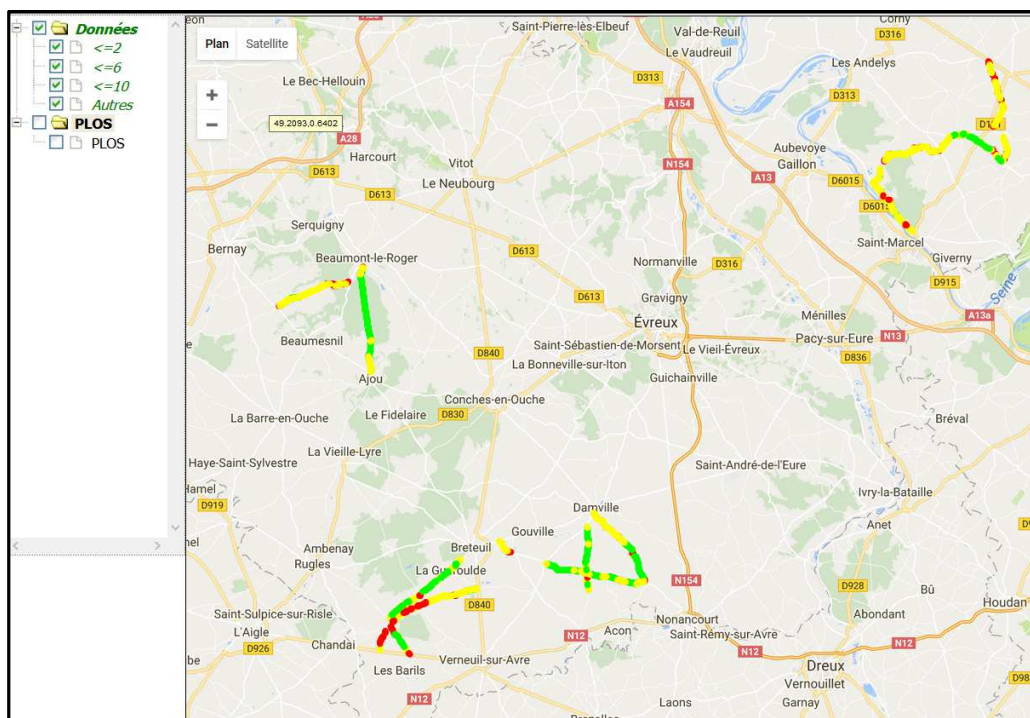




Figure 13 – Résultat cartographique de la requête sur les RD de catégorie 3 et 4

On constate que ces RD sortent majoritairement en jaune traduisant un réseau présentant des déformations. Certaines zones vont faire l'objet, au moins en partie, d'un entretien. La Photo 1 ci-après est bien représentative des zones « jaunes ». La Photo 2 illustre le niveau de déformations rencontrées sur les zones en rouge.



Photo 1 : Exemple de route présentant une note de 5



### Photo 2 : Exemple de route présentant une note de 1

Comme illustré par l'histogramme de la figure 14, le niveau moyen des notes MO se répartit autour de 5.

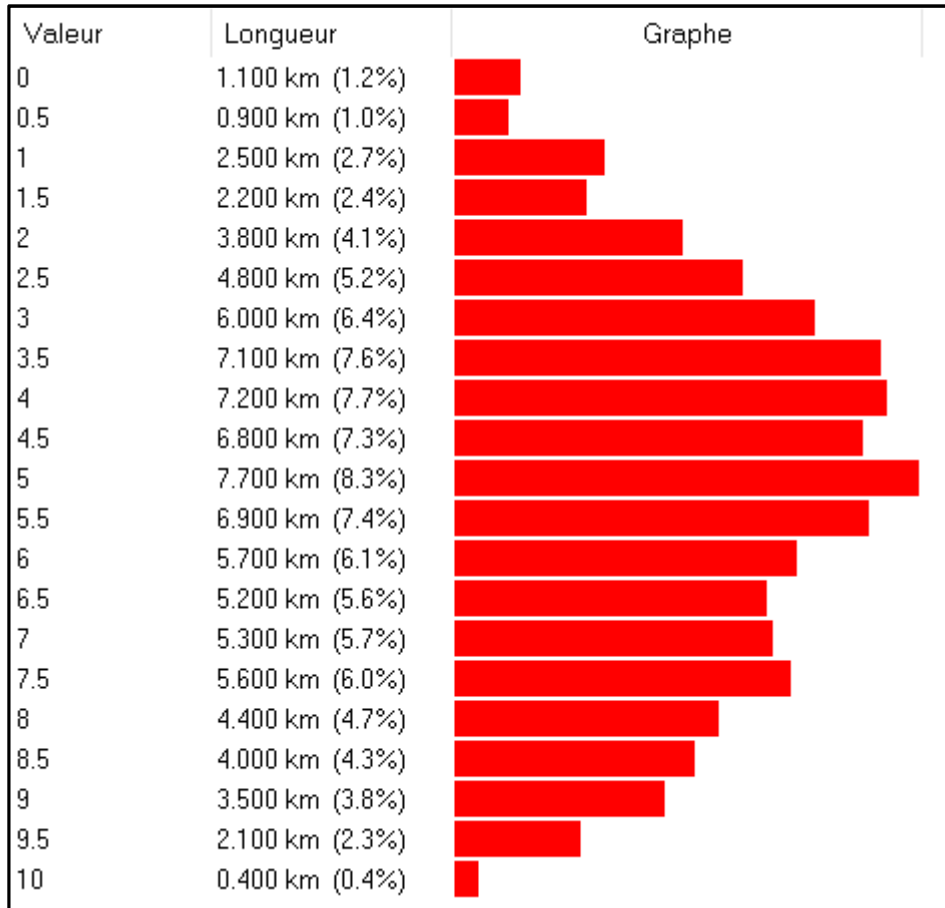


Figure 14 – Histogramme des notes MO avant travaux sur le réseau de catégorie 3 et 4

### 5.2.2 Mesures après travaux

Les mesures après travaux (2017) réalisées sur cette catégorie de réseau, en rase campagne (hors traversée de village et de hameaux), représentent quelques kilomètres.

Les zones et natures des travaux d'entretien sont les suivantes :

- RD 7 du PR 14 au PR 17 : BBSG
- RD 49 du PR 56 au PR 61 : ESU

Les photos 3 et 4 donnent une idée de l'état de ces deux routes.



Photo 3 – Vue de la RD 7



Photo 4 – Vue de la RD49

Les figures 15, 16 et 17 illustrent les notes avant travaux et après travaux sur le RD7 (BSBG)

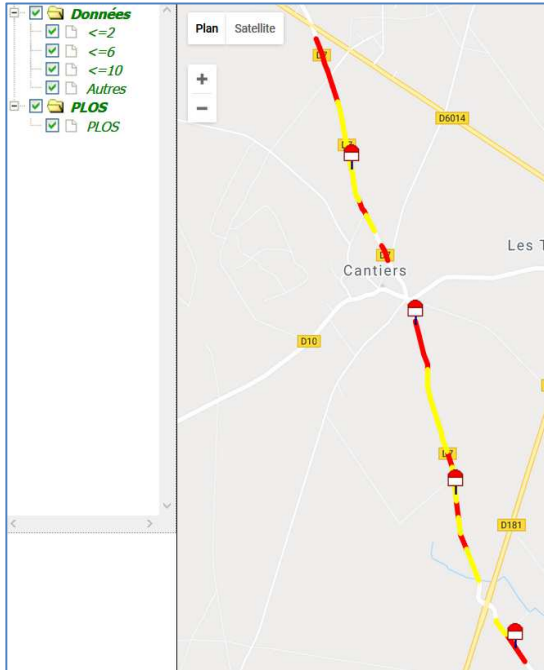


Figure 15 – Notes avant travaux sur RD7

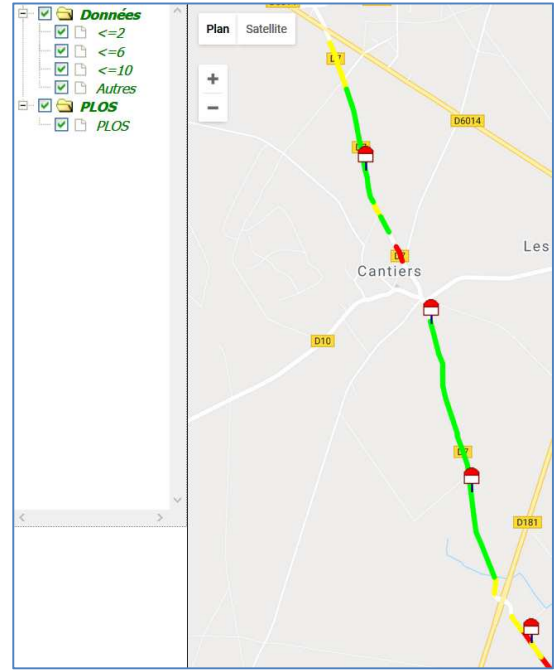


Figure 16 – Notes après travaux sur RD7 (BSBG)

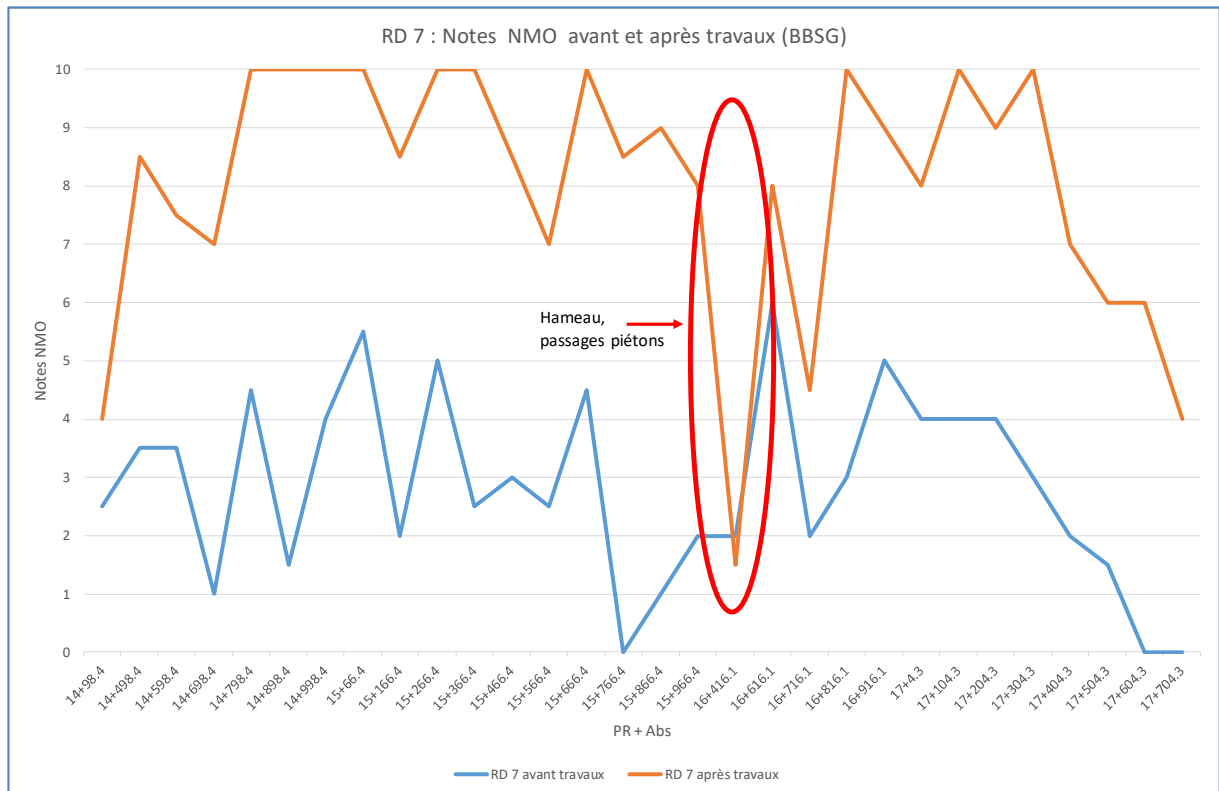


Figure 17 - schéma itinéraire des notes avant/travaux sur RD7



Les figures 18, 19 et 20 illustrent les notes avant travaux et après travaux sur le RD49 (ESU)



Figure 18 – Notes avant travaux sur RD49



Figure 19 – Notes après travaux sur RD49 (ESU)

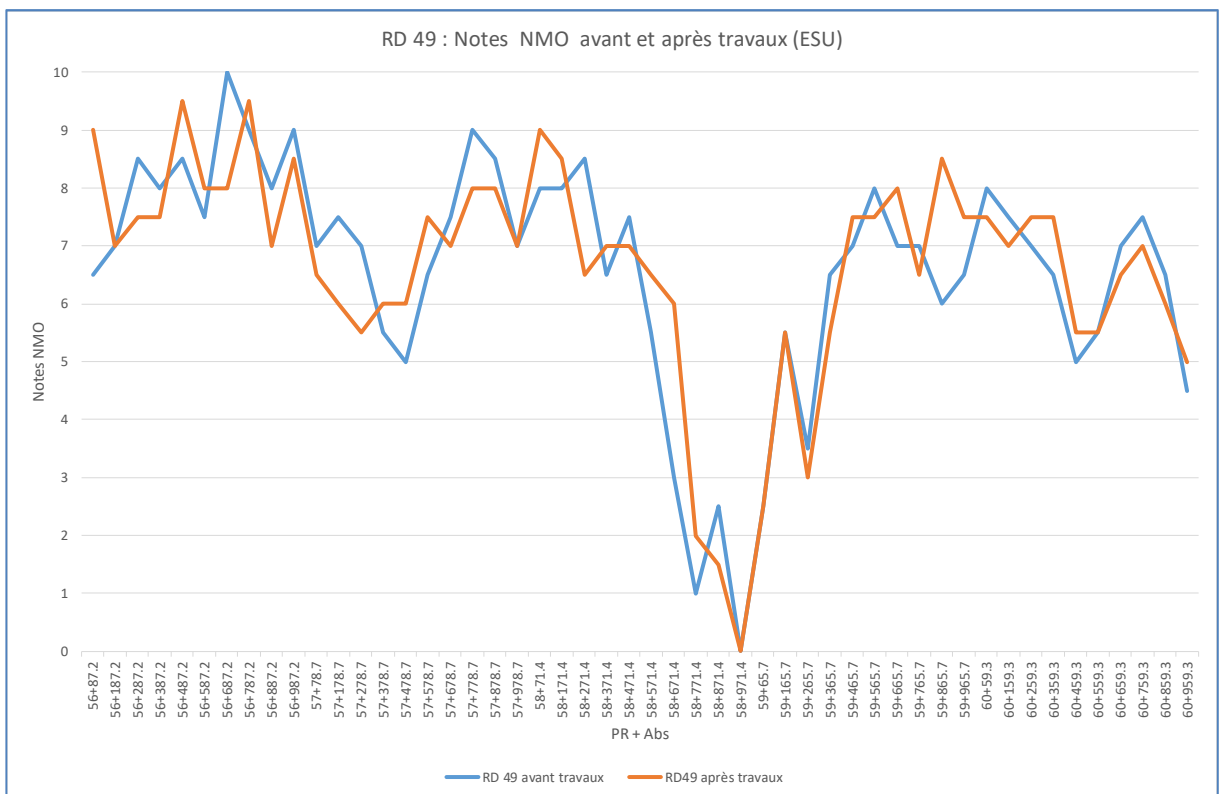


Figure 20 - schéma itinéraire des notes avant/travaux sur RD49

### 5.2.3 Synthèse des résultats sur réseaux 3 et 4

Les deux cas d'études sur les RD7 et RD49 illustrent parfaitement la contribution que peut apporter un relevé de type Miranda sur cette catégorie de réseaux. En présence d'une chaussée déformée, comme la RD7, l'outil permet de restituer, de façon discriminante, le niveau de déformation. Cela peut permettre de cibler les zones nécessitant des travaux plus lourds qu'un simple ESU. Ici par exemple, un entretien en BBSG, permet de gommer les déformations (notes moyenne de 3) ce que voit nettement les relevés puisque, après travaux, les notes remontent à un niveau très correct (entre 8 et 10).

Le cas de la RD49 montre bien, et c'est logique, que la mise en œuvre d'un ESU n'améliore pas le niveau de déformation, autant plus que ce tronçon, avant travaux, n'est pas très déformé (note moyenne de 7).

## 5.3 Analyse des résultats sur le réseau principal

Le réseau principal ausculté par Miranda porte sur les RD suivants : RD 51, 133, 140, 613, 830, 840 et 926

### 5.3.1 Mesures Miranda avant travaux

La Figure 21 est la cartographie des notes NMO (défauts dans les moyennes ondes) avant travaux et sont représentées selon un code couleur dépendant du niveau d'uni :

- Bon uni ( $6 < NMO \leq 10$ ) en vert
- Uni moyen ( $2 < NMO \leq 6$ ) en jaune
- Uni mauvais ( $NMO \leq 2$ ) en rouge

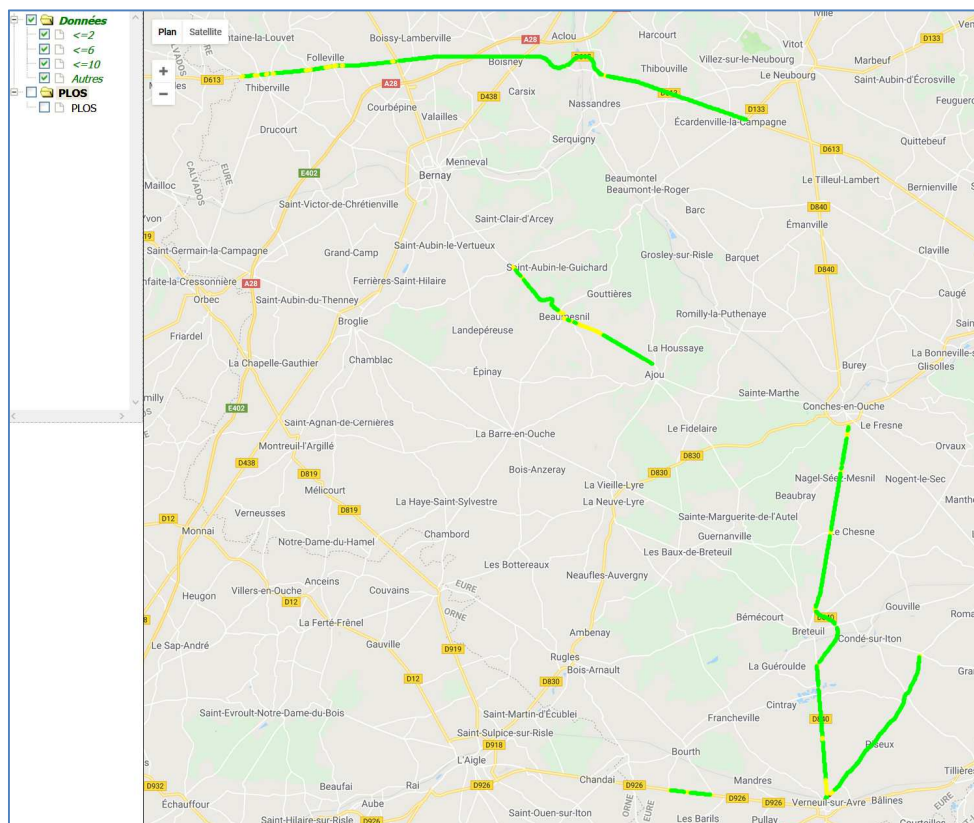


Figure 21 – Résultat cartographique de la requête sur les RD de catégorie 1 et 2

On constate que ces RD sortent majoritairement en vert traduisant un réseau présentant peu de déformations ressenties dans le véhicule. Les photos 5 et 6 ci-après sont bien représentatives de l'état de ce réseau. Comme illustré par l'histogramme de la Figure 22, le niveau moyen des notes MO est bon puisque 90% des notes sont supérieures à 6 et 60% supérieure à 8.



Photo 5 : Exemple de route présentant une note de 8





Photo 6 : Exemple de route présentant une note de 4

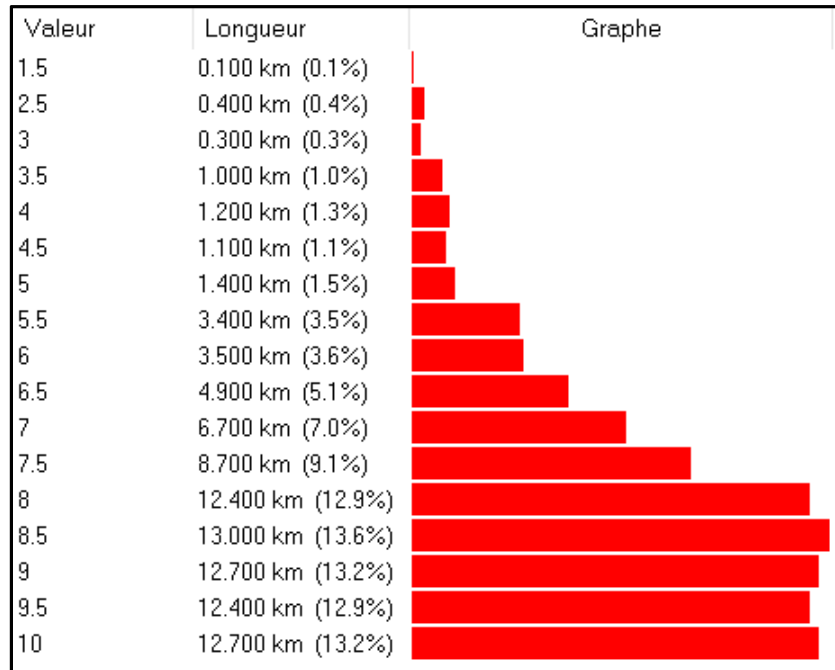


Figure 22 – Histogramme des notes MO sur le réseau de catégorie 1 et 2

### 5.3.2 Mesures après travaux

Il est intéressant de vérifier si les relevés peuvent aussi apporter une indication sur l'impact des travaux sur le réseau structurant (catégorie 1 et 2). Pour cela on compare les notes avant/après travaux d'un tronçon qui a été entretenu en BB et pour le lequel on dispose de suffisamment de mesures pour faire l'exercice de comparaison. Il s'agit de la RD140 du PR 31 au 33.

Comme le montre figure 23, les mesures avant travaux donnent des notes variant entre 3 et 6 (jaune).

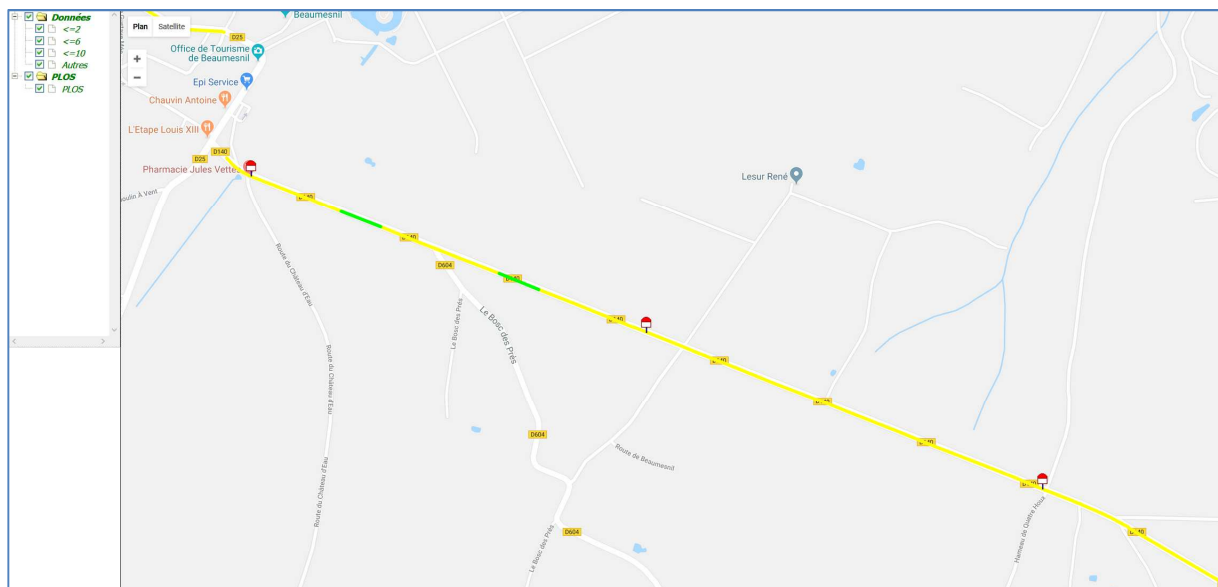


Figure 23 – Notes avant travaux sur RD 140

Après travaux, la figure 24 montre que la plupart des notes se trouvent augmentées et sont souvent supérieures à 8

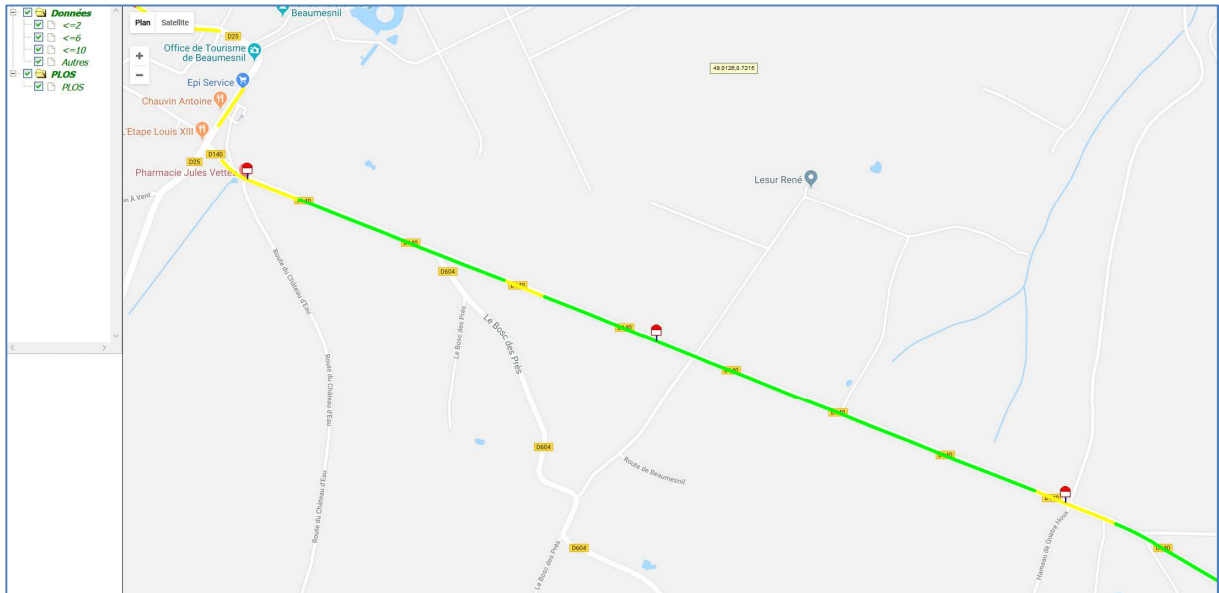


Figure 24 – Note après travaux sur RD 140

Les écarts de notes avant / après sont illustrés par le schéma itinéraire de la figure 25

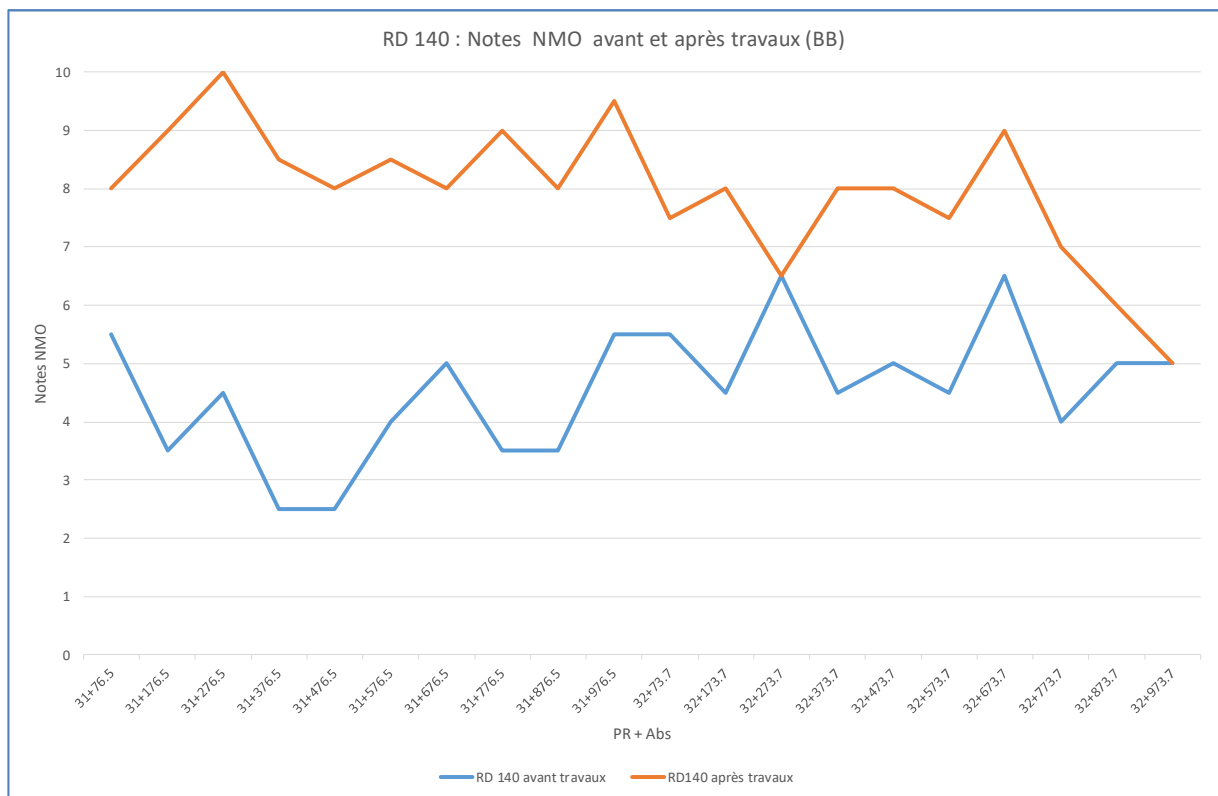


Figure 25 : schéma itinéraire des notes avant/travaux sur RD140

### 5.3.3 Comparaison à l'appareil de référence de mesure d'uni

***Les mesures issues d'appareils de référence sur ce réseau structurant ne sont pas disponibles dans cette tranche du projet.***

### 5.3.4 Synthèse des résultats sur réseau principal

Faute de comparaison à des mesures de référence, l'analyse s'est concentrée sur une comparaison avant / après travaux sur le tronçon de route de la RD 140 de 2 kilomètres. Comme pour le petit réseau, l'outil Miranda permet d'être assez discriminant pour voir d'une part les zones présentant un uni moyen, et d'autre part pour voir le gain d'uni apporté par des travaux d'entretien de type rechargement en BB.

## 6 Bilan et perspectives de l'expérimentation

### 6.1 Bilan

L'expérimentation menée en tranche1 du projet permet de tirer les enseignements suivants :

- l'application Android de prise de mesure et de transfert de données est fiable
- les outils d'exploitation automatique des mesures (map-matching, calcul indicateurs, alimentation de la base) n'ont pas rencontré de problème particulier
- les indicateurs calculés sur un pseudo profil en long (celui filtré par le véhicule) et s'inspirant de ceux délivrés par des profilomètres de référence (NMO, NGO et IRI), permettent de traduire correctement le niveau de déformabilité du réseau tel que perçu par le gestionnaire. La cartographie interactive représentant trois niveaux est appréciée du gestionnaire
- les comparaisons avant/après travaux ont montré que les indicateurs sont suffisamment discriminants pour mettre en évidence le gain d'uni apporté par les travaux faisant intervenir un reprofilage préalable
- l'outil de consultation, de requête et de représentation cartographique (ou sous forme de fichiers) est satisfaisant
- l'absence de mesures de référence comparatives sur réseau principal ne permet pas de pas de confronter les indicateurs.

### 6.2 Perspectives

En tranche 2 du projet il est envisagé de :

- poursuivre les relevés réguliers et les généraliser si possible sur l'ensemble du réseau
- comme en 2017, étudier les niveaux de déformations sur les tronçons retenus pour les entretiens 2018 (en fonction de la nature de l'entretien).
- reproduire la comparaison avant-après travaux en 2018
- monter un capteur accélérométrique sur une fusée de roue et l'exploiter automatiquement comme les informations issues du smartphone
- comparer les résultats à des mesures de référence
- montrer que l'outil peut contribuer à la programmation de l'entretien du réseau