

Projet National de recherche et développement

RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE

MIRANDA

**Evaluation d'un capteur de roue (UniWheel)
Expérimentation dans l'Eure (CD27)**

Tranche 2

Auteur(s) / Organisme(s) :

Jean-Marc MARTIN – IFSTTAR

Fabien MENANT – IFSTTAR

Stéphane THERET – CD27

Thème de rattachement :

Thème 2-2

DVDC/R/023

LC/18/DVDC/68

Décembre 2019

Sommaire

Sommaire	2
Tables des illustrations	3
1 Introduction et rappel Tranche 1	5
2 Objectifs	6
3 Rappel du principe de fonctionnement du démonstrateur Miranda	6
3.1 Grandeur mesurée.....	6
3.2 Différentes phases de mesure et d'exploitation	7
3.2.1 L'application smartphone.....	8
3.2.2 Exploitation automatique des fichiers de mesures	8
3.2.3 Le système de gestion de base de données.....	10
4 Développement d'un capteur accélérométrique de roue	12
4.1 Caractéristiques du capteur	12
4.2 Caractéristiques des logiciels d'acquisition et d'exploitation	13
4.3 Attentes métrologiques du capteur de roue.....	14
5 Expérimentation dans le département de l'Eure	15
5.1 Itinéraires retenus	15
5.2 Véhicules participants et appareils de mesures.....	15
5.3 Déroulement des essais.....	17
5.4 Exploitation des mesures	18
5.4.1 Indicateur NMO (note moyennes ondes)	20
5.4.2 Indicateur NGO (note grandes ondes)	23
5.4.3 Indicateur NPO (note petites ondes)	25
5.4.4 Indicateur IRI (international roughness index).....	28
5.4.5 Comparaison des deux UniWheel	30
5.4.6 Comparaison UniWheel gauche (Kangoo) et UniBox gauche (Master).....	32
5.4.7 Synthèse des résultats	33
6 Bilan et perspectives de l'expérimentation	34
6.1 Bilan	34
6.2 Perspectives.....	34

Tables des illustrations

Figure 1 - Synoptique général du démonstrateur.....	7
Figure 2 - Copies d'écran de l'application Android et du site distant recevant les fichiers	8
Figure 3 - Principe du map-matching	9
Figure 4 - Construction du profil et calcul d'indicateur	9
Figure 5 - Contenu de la table de données relatives aux notes de moyennes ondes	10
Figure 6 - Boîte de dialogue assurant le paramétrage de la requête.....	10
Figure 7 - Résultat de la requête affichant la note moyenne issue des Vx passages	11
Figure 8 - Résultat cartographique de la requête avec trois niveaux de couleurs selon la note moyenne calculée.....	11
Figure 9 - Application Android et connexion distante.....	13
Figure 10 - Fenêtres du logiciel d'acquisition de l'UniWheel.....	13
Figure 11 - Comparaison des densités spectrales issue de smartphone et d'appareils dédiés de référence.....	14
Figure 12 – Image d'environnement synchronisée aux mesures UniBox	17
Figure 13 - Base de données et ses différentes tables.....	18
Figure 14 - Requête de comparaison.....	19
Figure 15 - Comparaison MLPL (en rouge) et UniBox (en vert) sur les notes PO.....	19
Figure 16 - Comparaison MLPL (en rouge) et UniBox (en vert) sur les notes MO	20
Figure 17 - Comparaison MLPL (en rouge) et UniBox (en vert) sur les notes GO	20
Figure 18 - Schémas itinéraire des notes MO.....	21
Figure 19 - comparaison UniBox / UniWheel en MO	21
Figure 20 - Comparaison UniBox / Smartphone en MO	22
Figure 21 - Histogramme des écarts de notes MO	22
Figure 22 - Schémas itinéraire des notes GO	23
Figure 23 - Comparaison UniBox / UniWheel en GO.....	24
Figure 24 - Comparaison UniBox / Smartphone en GO.....	24
Figure 25 - Histogramme des écarts de notes GO	25
Figure 26 - Schémas itinéraire des notes PO	26
Figure 27 - Comparaison UniBox / UniWheel en PO	26
Figure 28 - Comparaison UniBox / Smartphone en PO	27
Figure 29 - Histogramme des écarts de notes PO.....	27
Figure 30 - Schémas itinéraire des valeurs d'IRI	28
Figure 31 - Comparaison UniBox / UniWheel en IRI.....	29
Figure 32 - Comparaison UniBox / Smartphone en IRI.....	29
Figure 33 - Histogramme des écarts de valeurs d'IRI.....	30
Figure 34 : Positionnement des capteurs UniBox et UniWheel sur la voie.....	30
Figure 35 - Schémas itinéraire des notes MO incluant la deuxième UniWheel du CD27.....	31
Figure 36 - Histogramme des écarts de notes MO incluant la 2 ^{ème} UniWheel du CD27	32
Figure 37 : Histogramme des écarts de notes MO entre UniBox et UniWheel avec écart de trace	32
Photo 1 - Boitier hébergeant le capteur accélérométrique.....	12
Photo 2 - Capteur installé solidaire de l'axe de roue.....	12
Photo 3 - UniWheel sous Kangoo du CD27	15
Photo 4 - UniWheel sous Master de l'Ifsttar	16
Photo 5 - Véhicule instrumenté (appareils de référence MLPL et UniBox, smartphones, vidéo)	16
Tableau 1 - Synthèse des résultats de l'expérimentation	33

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. Le déploiement dans le CD27, partenaire du projet DVDC, a permis en Tranche 1 de montrer que l'accélération verticale mesurée dans l'habitacle d'un véhicule permet de correctement évaluer les déformations longitudinales d'un réseau, notamment de desserte locale. L'objectif de la Tranche 2 est de montrer qu'un capteur accélérométrique complémentaire disposé près d'une roue (appelé « UniWheel ») peut délivrer des indicateurs d'uni plus précis et similaires à ceux délivrés par des appareils de référence. Comme en Tranche1, une base de données est renseignée automatiquement par les indicateurs délivrés par chaque appareil.

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. The deployment in the CD27, partner of the DVDC project, allowed in Tranche 1 to show that the vertical acceleration measured in the passenger compartment of a vehicle makes it possible to evaluate the longitudinal deformations of a network, including the local service. The purpose of Tranche 2 is to show that a complementary accelerometer sensor placed near a wheel (called "UniWheel") can provide indicators more accurate and similar to the indicators provided by the reference devices. As in Tranche 1, a database is automatically populated by the indicators provided by each device (reference, UniWheel, smartphone).

1 Introduction et rappel Tranche 1

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 Automatisées par appareils Nomades d'Auscultation ») a été validé lors d'expérimentations à grande échelle dans la Manche (CD50) et en Eure et Loir (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 de la tranche 1 du projet DVDC (2017 – mi 2018), l'expérimentation menée avec le département de l'Eure (CD27) a eu des objectifs un peu différents, puisqu'il s'agissait de se focaliser sur la précision de l'outil et de démontrer son intérêt en comparant les mesures avant et après travaux sur les sections faisant l'objet d'entretien courant en 2017. L'expérimentation de la tranche 1 a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ▶ 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, notamment secondaire, tel que perçu par le gestionnaire. La cartographie interactive représentant trois niveaux de déformation 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
- ▶ Les premières comparaisons à des mesures de référence sur réseau principal sont encourageantes sur la faculté de Miranda à estimer les déformations dans les moyennes ondes.

Fort de ces enseignements encourageants, la proposition de la tranche 2, consistant à valider l'intérêt d'un capteur accélérométrique additionnel piloté et exploité selon le concept Miranda de la tranche 1, a été retenue. Le but étant de montrer la plus-value apportée par un tel capteur positionné sur la partie solidaire de la fusée de roue par rapport à l'accéléromètre d'un smartphone dans l'habitacle.

2 Objectifs

La tranche 2 qui a débuté fin 2018 pour s'achever en juin 2019 a les objectifs précis suivants :

- ▶ Développer et installer un capteur accélérométrique de roue sur un véhicule du CD27
- ▶ Acquérir et exploiter automatiquement les informations de ce capteur selon le concept Miranda, exactement comme celles issues du smartphone
- ▶ Comparer rigoureusement les résultats Miranda (avec et sans capteur de roue) à des mesures de référence

Ces actions doivent permettre de juger de l'intérêt de ce capteur additionnel vis-à-vis de l'évaluation de réseau en fonction de sa catégorie (principale ou desserte locale).

En parallèle le CD27 poursuit les relevés réguliers avec les smartphones et nouvelles tablettes dont il s'est récemment doté, et généralise ces relevés à l'ensemble du réseau. Cela lui permet d'avoir une image complète du réseau. Ces mesures, qui sont dans la continuité de la tranche 1, ne sont pas affichées dans ce rapport.

3 Rappel du principe de fonctionnement du démonstrateur Miranda

3.1 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, dans des longueurs d'ondes comprises entre 0.7 m et 45 m. 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.

Si le recours à des appareils de référence 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 démonstrateur

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 desserte locale (réseaux secondaires), MIRANDA tel qu'utilisée en tranche 1 (application smartphone mesurant les accélérations verticales dans l'habitacle) est susceptible de constituer en soit une solution d'auscultation suffisante aux gestionnaires pour préserver un certain niveau de service. Pour les réseaux principaux, le ressenti dans le véhicule n'est pas suffisant en terme de mesure d'uni. C'est sur ce réseau principal qu'un accéléromètre de roue devrait apporter les informations manquantes et approcher de façon significative celles délivrées par des appareils qualifiés tels que l'APL, le MLPL ou l'UniBox.

3.2 Différentes phases de mesure et d'exploitation

Le démonstrateur MIRANDA, 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 1.

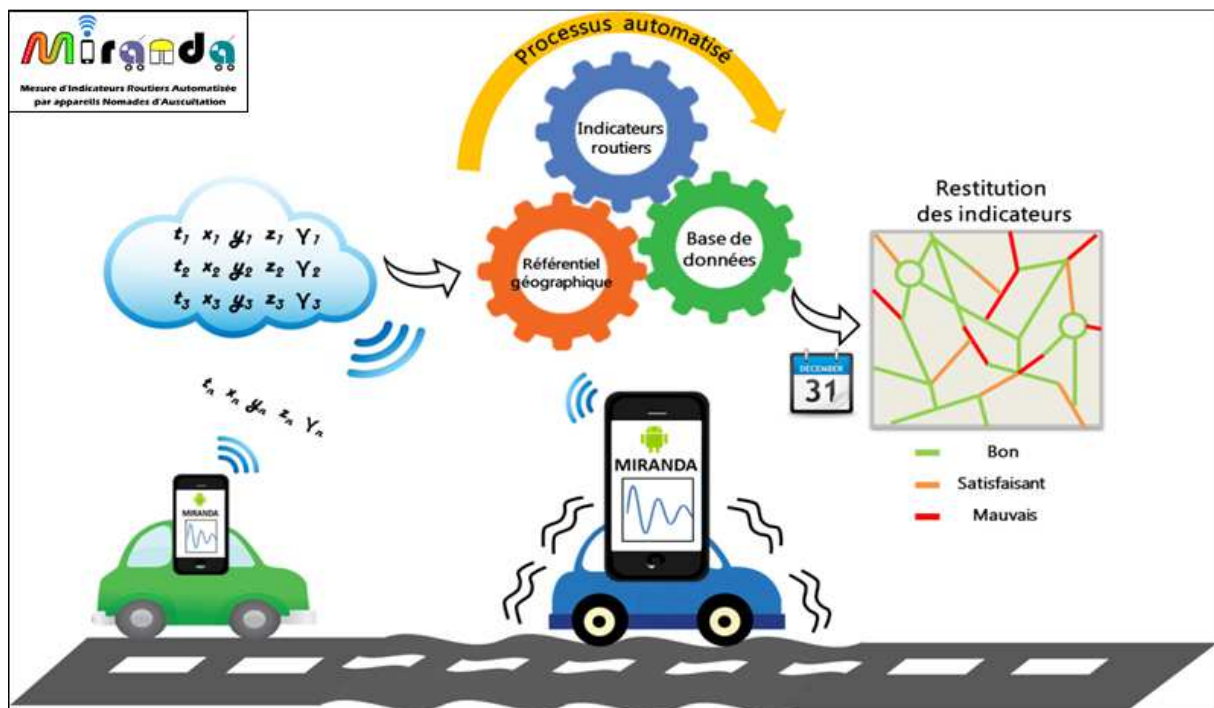


Figure 1 - Synoptique général du démonstrateur

Pour rappel les différentes phases sont illustrées dans les paragraphes suivants. Pour le détail de chaque phase, se reporter au livrable de la tranche 1.

3.2.1 L'application smartphone

L'application (Figure 2), développée sous Android, a été relookée et optimisée en termes de gestion des fichiers.

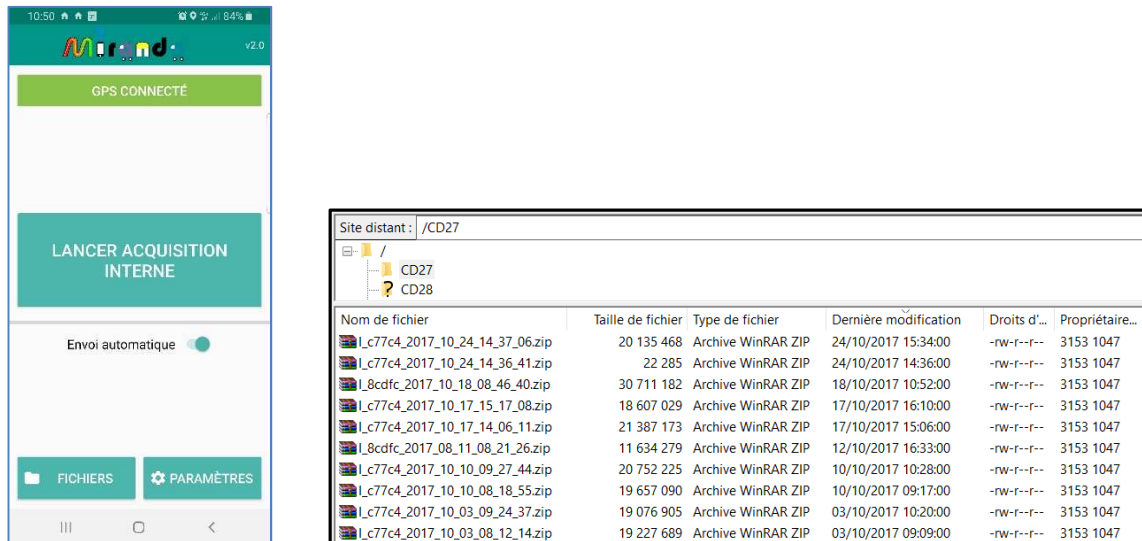


Figure 2 - Copies d'écran de l'application Android et du site distant recevant les fichiers

3.2.2 Exploitation automatique des fichiers de mesures

L'outil de traitement automatique assurent 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.

3.2.2.1 Map-matching sur référentiel cartographique et identification des routes

Ce module de calcul permet, automatiquement, de recalculer (map-matching) l'ensemble des trajectoires des véhicules traceurs sur un réseau routier donné en prenant comme référentiel la BD Topo de l'IGN, et de les identifier par le nom de route, le sens, les PR (Figure 3).

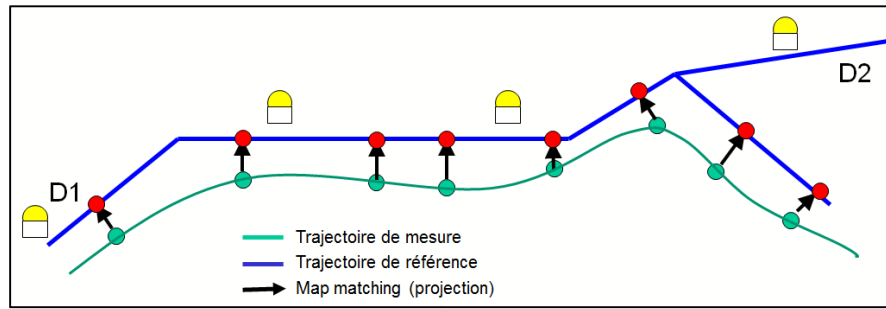


Figure 3 - Principe du map-matching

3.2.2.2 Reconstitution du profil en long et calcul des indicateurs usuellement utilisés

La Figure 4 illustre ces phases de constitutions de profil et de calcul d'indicateurs à partir des informations accélérométriques et GPS.

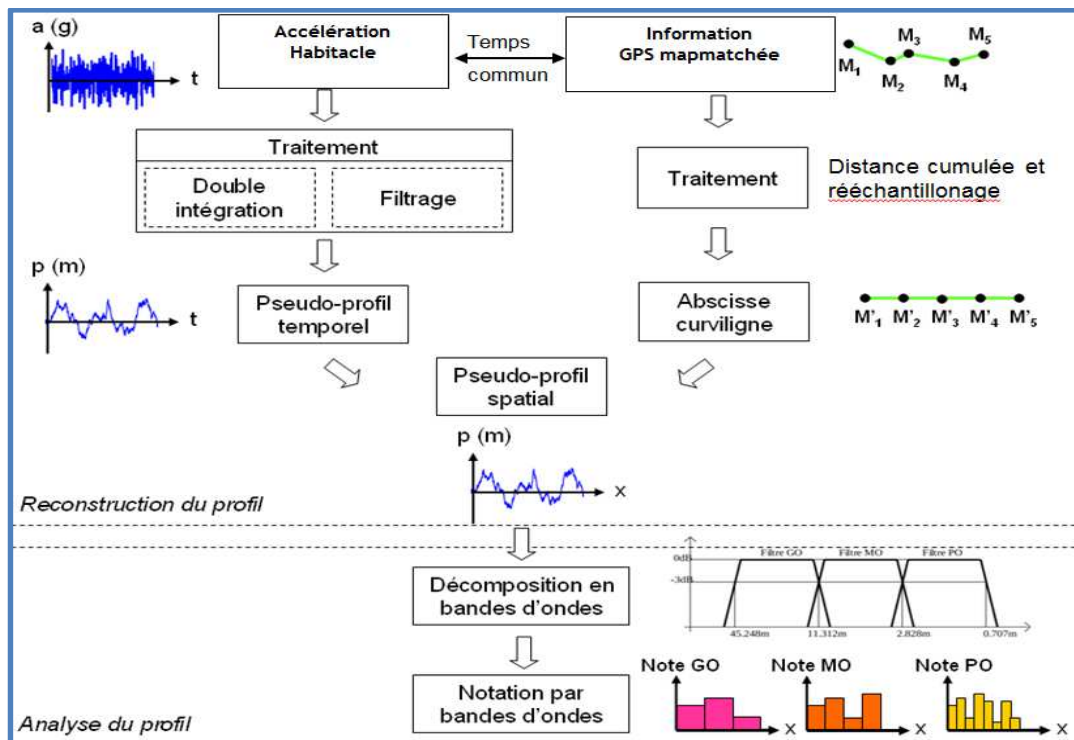


Figure 4 - Construction du profil et calcul d'indicateur

3.2.2.3 Alimentation automatique de la base du gestionnaire

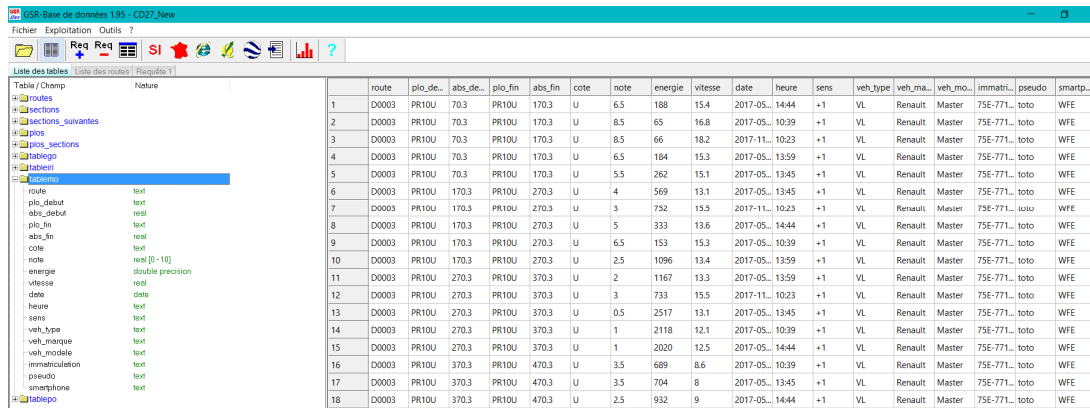
Les indicateurs calculés et localisés précédemment sont automatiquement importés dans les tables d'une base de données possédant une structure d'accueil préalablement paramétrée. Cette base de données est installée sur un serveur accessible par le gestionnaire, qui bien sûr, doit disposer de l'outil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

3.2.2.4 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.

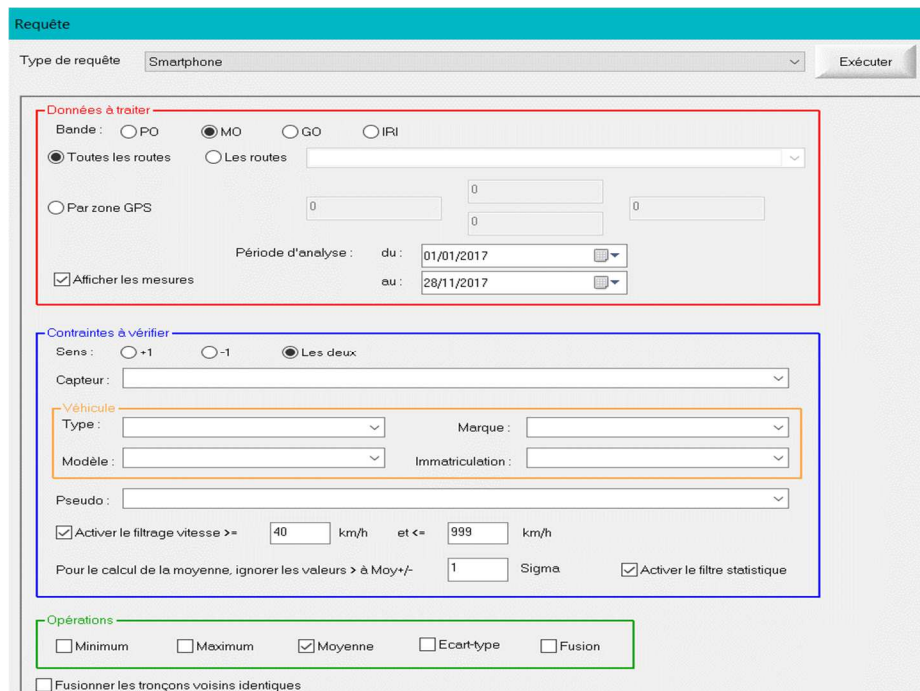
3.2.3 Le système de gestion de base de données

Les copies d'écran suivantes (Figure 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8) 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.



	route	pldo_de...	abs_de...	pldo_fin	abs_fin	cote	note	energie	vitesse	date	heure	sens	veh_type	veh_ma...	veh_mo...	immatri...	pseudo	smartp...
1	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	6.5	188	15.4	2017-05...	1444	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
2	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	8.5	65	16.8	2017-05...	1039	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
3	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	8.5	66	18.2	2017-11...	1023	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
4	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	6.5	184	15.3	2017-05...	1359	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
5	D0003	PR10U	70.3	PR10U	170.3	U	5.5	262	15.1	2017-05...	1345	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
6	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	4	569	13.1	2017-05...	1345	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
7	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	3	752	15.5	2017-11...	1023	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
8	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	5	333	13.6	2017-05...	1444	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
9	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	6.5	153	15.3	2017-05...	1039	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
10	D0003	PR10U	170.3	PR10U	270.3	U	2.5	1096	13.4	2017-05...	1359	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
11	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	2	1167	13.3	2017-05...	1359	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
12	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	3	733	15.5	2017-11...	1023	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
13	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	0.5	2517	13.1	2017-05...	1345	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
14	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	1	2118	12.1	2017-05...	1039	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
15	D0003	PR10U	270.3	PR10U	370.3	U	1	2020	12.5	2017-05...	1444	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
16	D0003	PR10U	370.3	PR10U	470.3	U	3.5	689	8.6	2017-05...	1039	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
17	D0003	PR10U	370.3	PR10U	470.3	U	3.5	704	8	2017-05...	1345	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE
18	D0003	PR10U	370.3	PR10U	470.3	U	2.5	932	9	2017-05...	1444	+1	VL	Renault	Master	75E-771...	toto	WFE

Figure 5 - 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 6 - Boîte de dialogue assurant le paramétrage de la requête

GSR-Base de données 1.95 - CD27_New

Fichier Exploitation Outils ?

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 7 - Résultat de la requête affichant la note moyenne issue des Vx passages

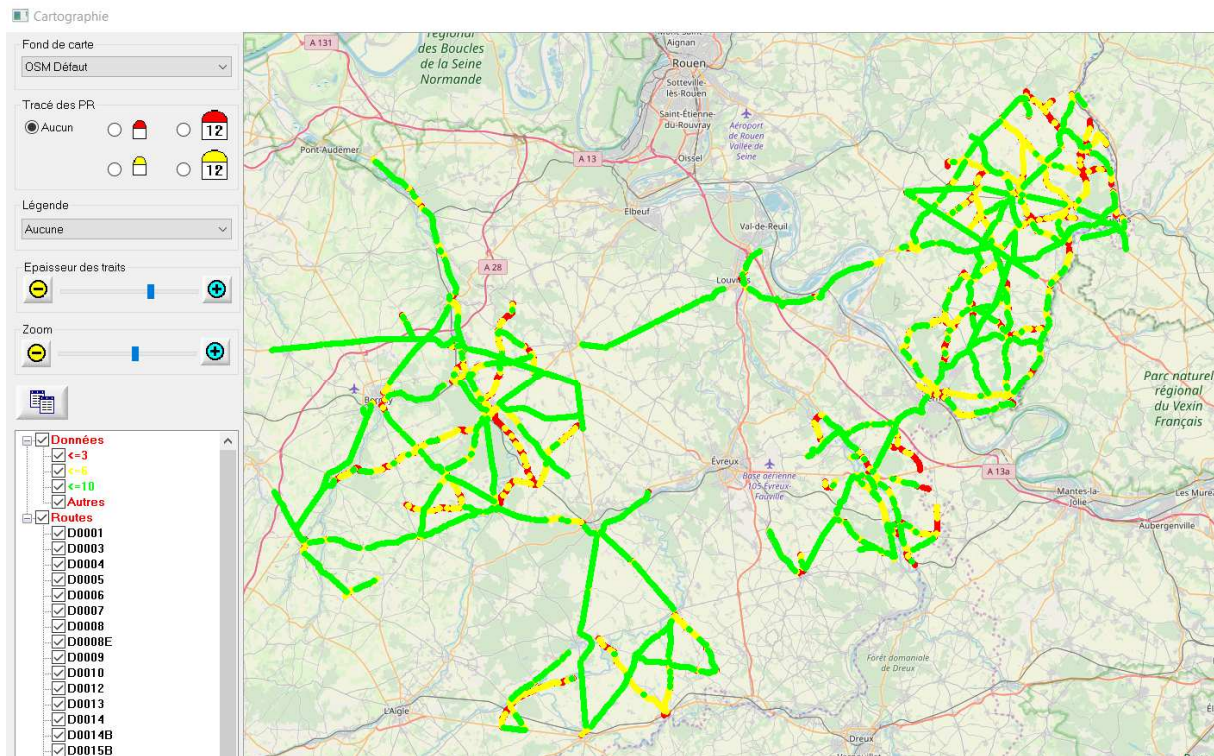


Figure 8 - Résultat cartographique de la requête avec trois niveaux de couleurs selon la note moyenne calculée

4 Développement d'un capteur accélérométrique de roue

4.1 Caractéristiques du capteur

Le capteur développé répond aux exigences suivantes :

- ▶ Supporter des accélérations pouvant atteindre 15 g
- ▶ Disposer d'une fréquence d'acquisition d'au moins 800 Hz
- ▶ Être étanche
- ▶ Pouvoir être installé facilement sur une partie solidaire de la fusée de roue (avant le système d'amortissement) : forme cubique inférieure à 60 cm³
- ▶ Être alimenté par le 12 V de la batterie du véhicule
- ▶ Comporter une liaison série pour la communication des données
- ▶ Permettre une conversion de la liaison série en wifi permettant de dialoguer sans fil avec le logiciel d'acquisition

Le capteur développé est illustré par les photos suivantes.

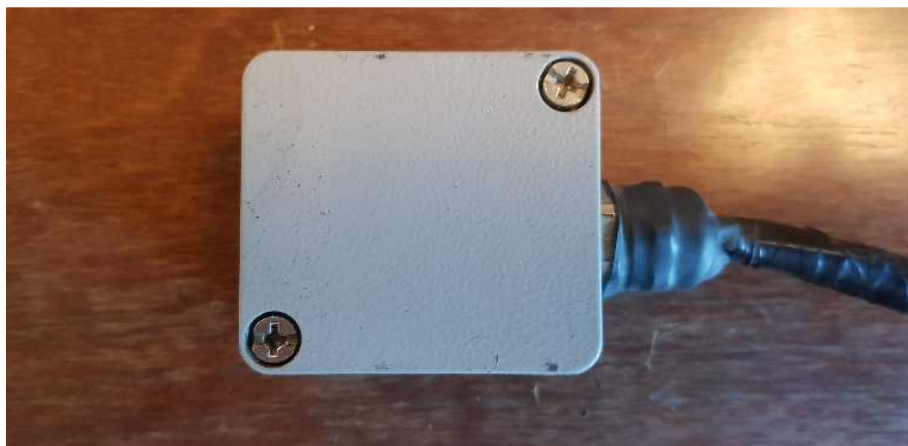


Photo 1 - Boîtier hébergeant le capteur accélérométrique



Photo 2 - Capteur installé solidaire de l'axe de roue

4.2 Caractéristiques des logiciels d'acquisition et d'exploitation

L'application Android « Miranda » (Figure 9) dispose d'une option d'interrogation du capteur distant via une communication Bluetooth.



Figure 9 - Application Android et connexion distante

Les essais de communication Bluetooth réalisés sur différents smartphones ont montré que la fiabilité d'une telle connexion, pour l'échange de données à 800 Hz, n'est pas de 100 %. En effet les tests ont montré des pertes aléatoires de trames sur certains téléphones sans réellement en comprendre les raisons.

Fort de cette expérience et de conseils de spécialistes en communication de données, nous avons testé une communication Wifi en connectant une interface Série/Wifi au capteur. Les tests se sont avérés alors très positifs puisque aucune perte de données n'a été constatée.

Cependant, en raison du manque de temps pour développer d'une part le protocole Wifi dans l'application Android « Miranda » et d'autre part, faire l'intégration d'un boîtier de conversion Série/Wifi opérationnel (carte, alim, câblage, test...), il a été décidé de réaliser les essais du capteur de roue, prévu avec le CD27, en mode filaire connecté en série à un PC portable sous Windows. Le logiciel Windows développé dispose des mêmes fonctionnalités simplifiées que sous Android hormis l'envoi sur le serveur en fin de mesure, c'est-à-dire un paramétrage, un enregistrement, et un format de données identiques. La Figure 10 suivante illustre l'IHM des fenêtres principales et de paramétrage du logiciel d'acquisition.

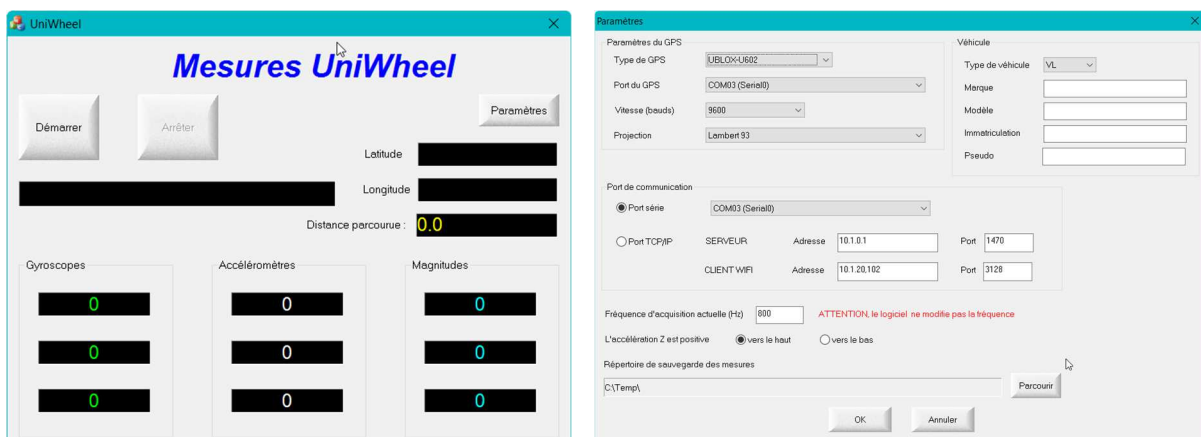


Figure 10 - Fenêtres du logiciel d'acquisition de l'UniWheel

Les fichiers générés (compressés) ont le même format que celui des fichiers générés par l'application Miranda lorsqu'elle interroge les capteurs internes du téléphone. Cela permet d'avoir la même procédure d'exploitation automatisée et donc d'alimenter la base de données avec les indicateurs d'uni (NBO, IRI) calculés à partir des données du capteur de roue.

Les tests réalisés autour de l'Ifsttar dans le CD44 (capteur monté sur un Renault Master) ayant été concluants, les outils (capteur, logiciel) ont pu être transférés au CD 27 pour formation, prise en main, installation et essais.

NB : cette alternative de fonctionnement sur PC Windows est temporaire, mais a aussi le mérite de montrer un fonctionnement en mode d'acquisition plus traditionnel qui n'est pas inintéressant puisqu'il pourrait s'avérer nécessaire dans un fonctionnement multifonction, si les autres fonctions sont aussi sous Windows.

4.3 Attentes métrologiques du capteur de roue

En tranche 1, la mesure accélérométrique réalisée dans un véhicule (smartphone dans l'habitacle) ne permettait pas, logiquement, de mesurer tout le spectre de longueurs d'ondes comme le fait un appareil de référence (Figure 11), mais uniquement les grandes ondes et une bonne partie des moyennes ondes. Les résultats ont montré que cela peut être suffisant pour l'évaluation sommaire du réseau de desserte locale, mais a ses limites sur le réseau principal. L'intérêt du capteur de roue, et ce que l'on souhaite mettre en évidence, est sa faculté à élargir le spectre vers les petites ondes et donc se rapprocher encore plus de la référence. Les courbes de densités spectrales illustrent bien cela puisque la DSP « capteur roue » (courbe noire) tend vers les courbes des appareils de référence que sont les appareils qualifiés MLPL et Unibox. Celles des smartphones étant fortement atténués en dessous de 5 m de longueurs d'onde.

Les essais menés sur le CD27 dans cette tranche 2 consisteront donc à montrer plus précisément cette tendance et son intérêt en suivi de réseaux toutes catégories confondues.

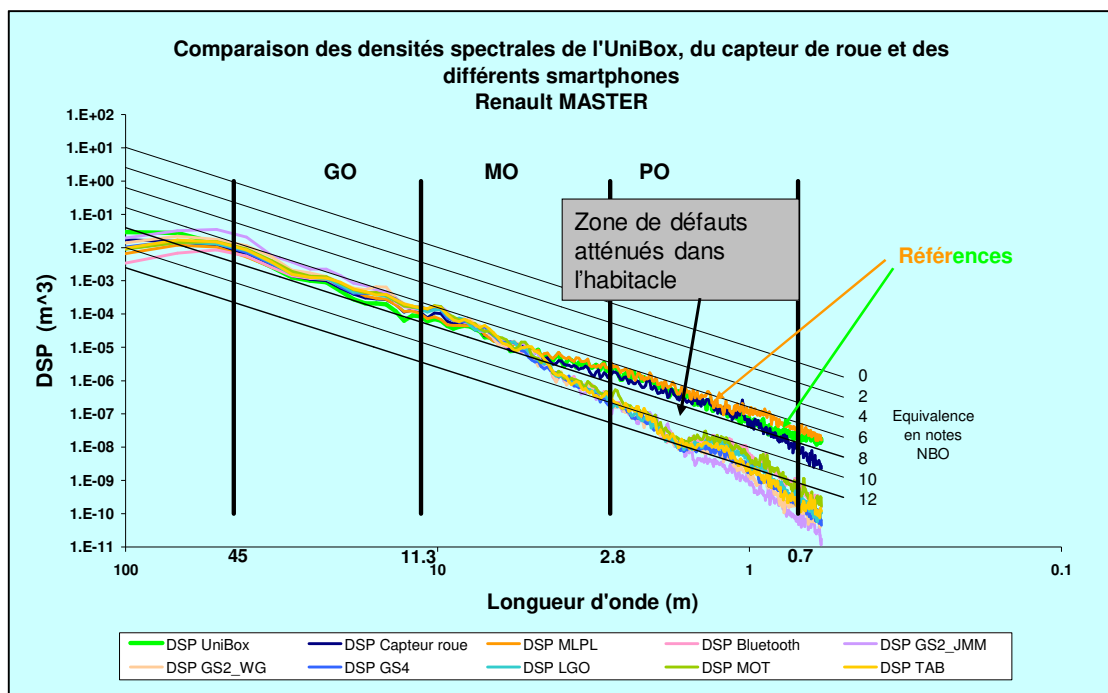


Figure 11 - Comparaison des densités spectrales issue de smartphone et d'appareils dédiés de référence

5 Expérimentation dans le département de l'Eure

5.1 Itinéraires retenus

Pour valider l'intérêt du capteur de roue (appelé plus loin « UniWheel ») dans le cadre d'une évaluation de réseau, il a été décidé de choisir les mêmes routes que celles sur lesquelles les appareils de relevés automatiques de dégradations (LCMS, PPS+, Aigle 3D) ont fait (ou vont faire) leur mesures, soit les routes suivantes représentant environ 130 km :

- ▶ RD 51 : PR 15 à 25 (sens plus) et PR 25 à 15 (sens moins)
- ▶ RD 140 : PR 0 à 44 (sens plus) et PR 25 à 0 (sens moins)
- ▶ RD 130 : PR 0 à 13 (sens plus) et PR 18 à 0 (sens moins)
- ▶ RD 833 : PR 81 à 82 (sens plus)

Quelques routes de desserte locales complètent aussi ces itinéraires (une quinzaine de km).

- ▶ RD 57 : PR 16 à 22 (sens plus)
- ▶ RD 71 : PR 5 à 10 (sens plus)
- ▶ RD 75 : PR 20 à 25 (sens plus)
- ▶ RD 181 : PR 5 à 3 (sens moins)

Sur ces 130 km, ne seront exploités que les zones « utiles », notamment celles dont la vitesse de mesure est supérieure à 15 m/s soit environ 50 km/h.

NB : le choix de ces itinéraires permet aussi d'anticiper une des tâches de la tranche 3 qui sera d'évaluer la mesure de profil en long délivrée par les appareils automatiques de dégradations.

5.2 Véhicules participants et appareils de mesures

Deux véhicules ont été équipés d'un capteur de roue (UniWheel) :

- ▶ Un à proximité de la roue arrière gauche d'un Renault Kangoo du CD27 (Photo 3)
- ▶ Un à proximité de la roue arrière droite d'un Renault Master de l'Ifsttar (Photo 4)



Photo 3 - UniWheel sous Kangoo du CD27



Photo 4 - UniWheel sous Master de l'fsttar

A des fins de comparaisons avec des appareils de référence, le véhicule Master de l'fsttar a réalisé simultanément des mesures de profil en long avec le MLPL (tri traces) et l'UniBox (bi-traces). Deux smartphones en mode Miranda dans l'habitacle du Master ont aussi réalisé simultanément des mesures (Photo 5).



Photo 5 - Véhicule instrumenté (appareils de référence MLPL et UniBox, smartphones, vidéo)

Enfin, pour visualiser le circuit, une caméra d'environnement filmait de façon synchronisée à la mesure UniBox. Cela permet en bureau d'afficher l'environnement de la mesure (Figure 12).



Figure 12 – Image d'environnement synchronisée aux mesures UniBox

NB : les mesures LaserProf réalisées par Rincet BTP sont disponibles mais pas facilement exploitables car nous ne disposons pas des mesures brutes, ni de l'outil d'exploitation permettant le calcul des indicateurs d'uni. De plus, la difficulté de recalcr des indicateurs déjà agrégés accentuerait l'incertitude des comparaisons.

5.3 Déroulement des essais

Les essais de sont déroulés fin mars 2019 :

- ▶ Le 20 mars pour les mesures UniWheel du Kangoo du CD27
- ▶ Les 27 et 28 mars pour les meures lfsttar avec le véhicule Master

Les conditions de mesures ont été optimales puisque les routes étaient sèches du matin au soir (pas d'altération de la mesure laser du MLPL et de l'UniBox). On notera que l'UniWheel n'est pas dépendant de la météo, ce qui est un atout considérable en auscultation de réseau.

Afin de rendre aisées les comparaisons entre appareils, chaque début et fin de mesures s'est fait avec le véhicule arrêté. Cependant certains outils (UniBox, UniWheel, Smartphone) disposant d'une exploitation automatisée (et donc sans soucis de recalage), cette légère contrainte (stopper le véhicule en début et fin de mesure) n'était pas obligatoire.

La vitesse de mesure était celle du trafic et les bourgs ont été traversés sans interrompre les mesures.

5.4 Exploitation des mesures

L'exploitation, basée sur des mesures comparatives des différents outils, porte donc sur :

- ▶ Le MLPL (trace gauche et droite)
- ▶ L'UniBox (trace gauche et droite)
- ▶ Un Smartphone
- ▶ Deux UniWheel (gauche sur Kangoo et droite sur Master)

Le MLPL et l'UniBox utilisé en évaluation de réseau sont considérés comme deux appareils de référence au regard des mesures Smartphone et UniWheel. Pour apporter de la rigueur aux comparaisons, il est préférable de ne retenir qu'un outil de référence, en l'occurrence l'UniBox qui est celui que l'on peut exploiter de façon identique aux mesures smartphone et UniWheel, c'est-à-dire en déroulant le processus complet d'exploitation automatique et d'alimentation de la base CD27 (spécifique essais croisés) proposé par le concept Miranda. Cela permet de faciliter l'exploitation et surtout de s'affranchir des erreurs de recalage de distance entre les différents profils avant le calcul des indicateurs. En effet une simple requête de la base ainsi alimentée permet des comparaisons sûres et aisées et qui plus est en y formulant des contraintes comme celle portant sur la vitesse de mesure par exemple.

La Figure 13 suivante illustre les différentes tables de la base ainsi alimentée. On y trouve pour chaque sens de mesure les indicateurs (NBO et IRI) de chaque outil.

	route	pto_debut	abs_debut	pto_fin	abs_fin	cote	note_d	energie_d	note_g	energie_g	vitesse	date	heure	sens	veh_type	veh_mar	veh_mod	immatric.	pseudo
1	D0051	PR14U	965	PR14U	985	U	7	3.639	9.5	1.209	7.79	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
2	D0051	PR14U	965	PR15U	11.5	U	7	4.075	9	1.703	10.58	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
3	D0051	PR15U	11.5	PR15U	31.5	U	7	3.49	6	8.128	11.72	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
4	D0051	PR15U	31.5	PR15U	51.5	U	7.5	3.213	7	3.856	12.84	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
5	D0051	PR15U	51.5	PR15U	71.5	U	5	8.666	7.5	3.176	13.78	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
6	D0051	PR15U	71.5	PR15U	91.5	U	9	1.411	8.5	1.911	14.51	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
7	D0051	PR15U	91.5	PR15U	111.5	U	7	4.181	7	3.658	14.94	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
8	D0051	PR15U	111.5	PR15U	131.5	U	6	6.567	3.5	19.933	15.29	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
9	D0051	PR15U	131.5	PR15U	151.5	U	7	3.491	6.5	4.324	15.62	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
10	D0051	PR15U	151.5	PR15U	171.5	U	8.5	1.979	4.5	12.339	15.91	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
11	D0051	PR15U	171.5	PR15U	191.5	U	7	4.132	8.5	2.343	16.15	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
12	D0051	PR15U	191.5	PR15U	211.5	U	8.5	2.078	9.5	1.152	16.42	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
13	D0051	PR15U	211.5	PR15U	231.5	U	7.5	3.265	8	2.454	16.79	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
14	D0051	PR15U	231.5	PR15U	251.5	U	10	0.476	9	1.587	17.03	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
15	D0051	PR15U	251.5	PR15U	271.5	U	10	0.89	10	0.772	17.13	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
16	D0051	PR15U	271.5	PR15U	291.5	U	7	3.587	7.5	3.028	17.27	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
17	D0051	PR15U	291.5	PR15U	311.5	U	8.5	1.925	10	1.1	17.68	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
18	D0051	PR15U	311.5	PR15U	331.5	U	10	0.825	8.5	1.805	18.08	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
19	D0051	PR15U	331.5	PR15U	351.5	U	5	9.847	5	10.174	18.5	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
20	D0051	PR15U	351.5	PR15U	371.5	U	7	3.609	8.5	1.955	18.9	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
21	D0051	PR15U	371.5	PR15U	391.5	U	9	1.426	8.5	2.023	19.24	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
22	D0051	PR15U	391.5	PR15U	411.5	U	9.5	1.175	9.5	1.243	19.54	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
23	D0051	PR15U	411.5	PR15U	431.5	U	8.5	1.867	10	1.037	19.81	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
24	D0051	PR15U	431.5	PR15U	451.5	U	6	5.798	10	0.309	19.98	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
25	D0051	PR15U	451.5	PR15U	471.5	U	7	3.817	10	0.972	20.25	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
26	D0051	PR15U	471.5	PR15U	491.5	U	10	0.368	10	0.47	20.52	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
27	D0051	PR15U	491.5	PR15U	511.5	U	10	0.538	10	0.748	20.85	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
28	D0051	PR15U	511.5	PR15U	531.5	U	10	0.764	10	0.409	20.75	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
29	D0051	PR15U	531.5	PR15U	551.5	U	10	0.574	10	0.319	20.99	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
30	D0051	PR15U	551.5	PR15U	571.5	U	10	0.477	10	0.367	21.12	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
31	D0051	PR15U	571.5	PR15U	591.5	U	4.5	11.819	6.5	4.842	21.4	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm
32	D0051	PR15U	591.5	PR15U	611.5	U	10	0.392	10	0.678	21.64	2019-03-28	14.34	+1	VL	Renault	master	CP107AV	jmm

Figure 13 - Base de données et ses différentes tables

Une requête telle qu'illustrée sur la Figure 14 suivante permet d'exporter les valeurs d'un indicateur donné par chaque outil, en ne retenant que les zones où la vitesse est supérieure à 15 m/s soit environ 50 km/h (ce qui permet ne pas prendre en compte les zones urbaines ou de ralentissement).

Requête

Type de requête

Données à afficher

Donnée	Emplac.	Age
<input type="text" value="uniibox_bi_mo_plus:note_d"/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>
<input checked="" type="checkbox"/> uniwheel_mo_plus_master:note	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>
<input checked="" type="checkbox"/> tablemo_gn9_plus:note	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>
<input type="checkbox"/> categorie	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>
<input type="checkbox"/> categorie	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>
<input type="checkbox"/> categorie	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>

Toutes les routes
 Les routes

Par zone GPS

Contraintes

Vérifier

Donnée	Emplac.	Age	Condition	Valeur
<input checked="" type="checkbox"/> uniibox_bi_mo_plus:vitesse	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	<input <="" td="" type="text" value=">="/> <td><input type="text" value="15"/></td>	<input type="text" value="15"/>
<input checked="" type="checkbox"/> uniwheel_mo_plus_master:sens	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	<input <="" td="" type="text" value="="/> <td><input type="text" value="+1"/></td>	<input type="text" value="+1"/>
<input checked="" type="checkbox"/> tablemo_gn9_plus:sens	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	<input <="" td="" type="text" value="="/> <td><input type="text" value="+1"/></td>	<input type="text" value="+1"/>
<input type="checkbox"/> categorie:valeur	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	<input <="" td="" type="text" value="="/> <td><input type="text" value=""/></td>	<input type="text" value=""/>
<input type="checkbox"/> categorie:valeur	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	<input <="" td="" type="text" value="="/> <td><input type="text" value=""/></td>	<input type="text" value=""/>
<input type="checkbox"/> categorie:valeur	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	<input <="" td="" type="text" value="="/> <td><input type="text" value=""/></td>	<input type="text" value=""/>
<input type="checkbox"/> categorie:valeur	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value="0"/>	<input <="" td="" type="text" value="="/> <td><input type="text" value=""/></td>	<input type="text" value=""/>

Fusionner les tronçons voisins identiques

Figure 14 - Requête de comparaison

Les figures suivantes (Figure 15, Figure 16, Figure 17), comparant MLPL et UniBox pour les indicateurs NBO, apportent la justification de pouvoir ne considérer qu'une seule référence. En effet pour les trois notes par bandes d'ondes PO, MO et GO, les deux outils donnent des résultats très proches sur 18 km de routes comportant un uni variable. Cela suffit à ne retenir que l'UniBox dans la suite des exploitations, d'autant que cela fiabilise nettement l'exploitation comparative.



Figure 15 - Comparaison MLPL (en rouge) et UniBox (en vert) sur les notes PO

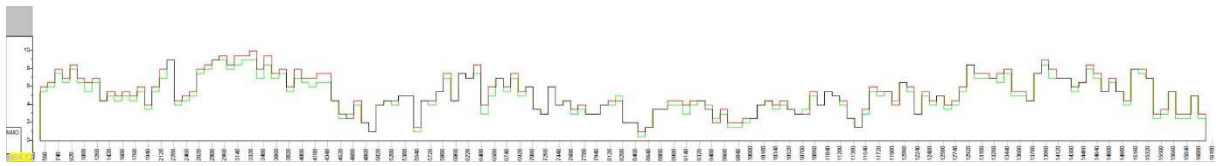


Figure 16 - Comparaison MLPL (en rouge) et UniBox (en vert) sur les notes MO

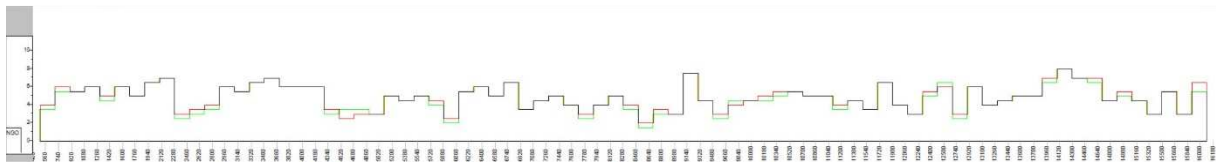


Figure 17 - Comparaison MLPL (en rouge) et UniBox (en vert) sur les notes GO

Dans les sous-paragraphes suivants relatifs aux indicateurs NPO, NMO, NGO et IRI, les comparaisons sont illustrées par :

- ▶ Une superposition de schémas itinéraire de l'indicateur délivré par chaque outil
- ▶ Un graphique XY (et sa régression) entre UniBox et UniWheel
- ▶ Un graphique XY (et sa régression) entre UniBox et Smartphone
- ▶ Un histogramme des écarts entre Unibox et UniWheel d'une part et entre UniBox et Smartphone d'autre part

Un tableau de synthèse final récapitule ces comparaisons.

5.4.1 Indicateur NMO (note moyennes ondes)

L'indicateur NMO, au pas de 100 m, est l'indicateur qui est prépondérant dans l'évaluation de réseau en terme d'uni, notamment sur le réseau de desserte locale dont les déformations principales constatées se situent très souvent dans ce niveau de longueur d'onde (entre 3 et 12 m).

Les quatre figures suivantes (Figure 18, Figure 19, Figure 20, Figure 21) montrent que :

- ▶ L'UniWheel donne des notes très proches de celles de l'UniBox : écarts inférieurs ou égaux à 1 point dans 97 % des cas. L'UniWheel a tendance à très légèrement sur-noter (un ½ point).
- ▶ Le Smartphone donne des notes proches de celles de l'UniBox mais avec parfois des écarts pouvant aller jusqu'à 3 points : écart inférieur ou égal à 1 point dans 70 % des cas, inférieur ou égal à 2 points dans 91 % des cas.

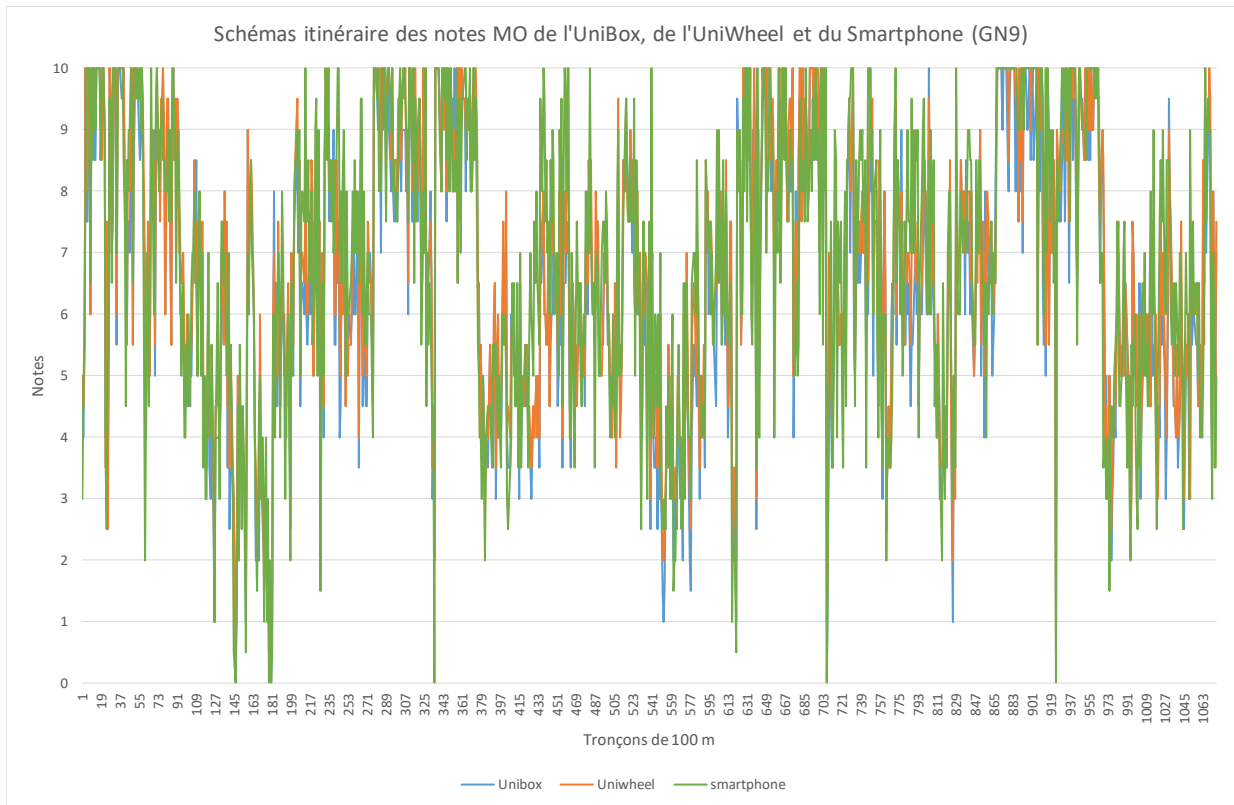


Figure 18 - Schémas itinéraire des notes MO

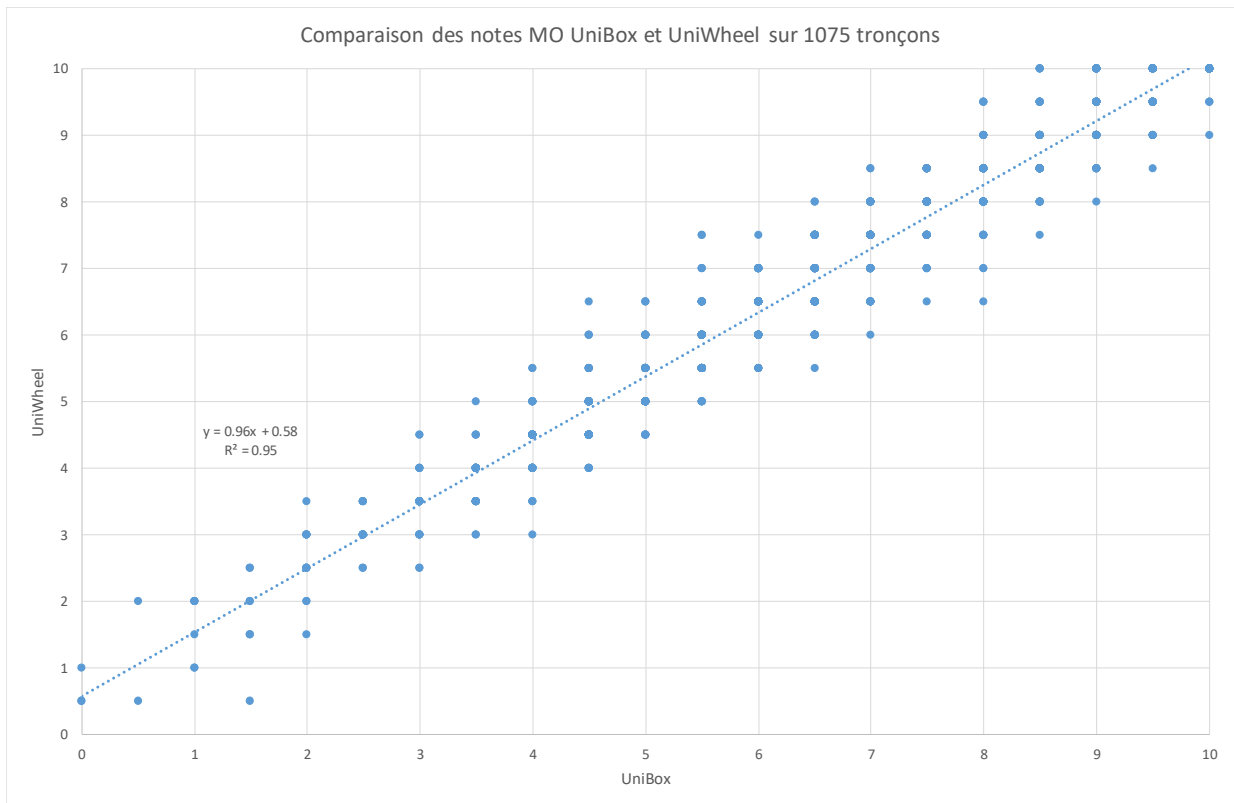


Figure 19 - comparaison UniBox / UniWheel en MO

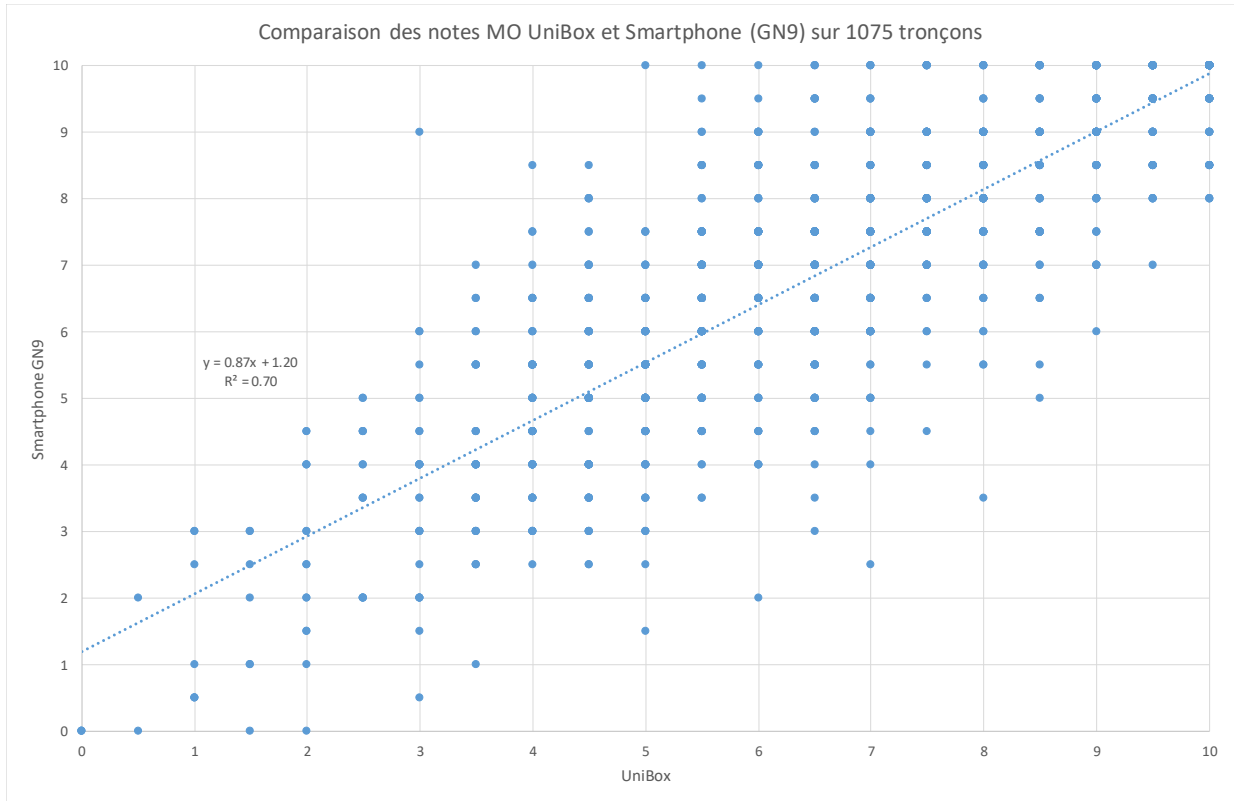


Figure 20 - Comparaison UniBox / Smartphone en MO

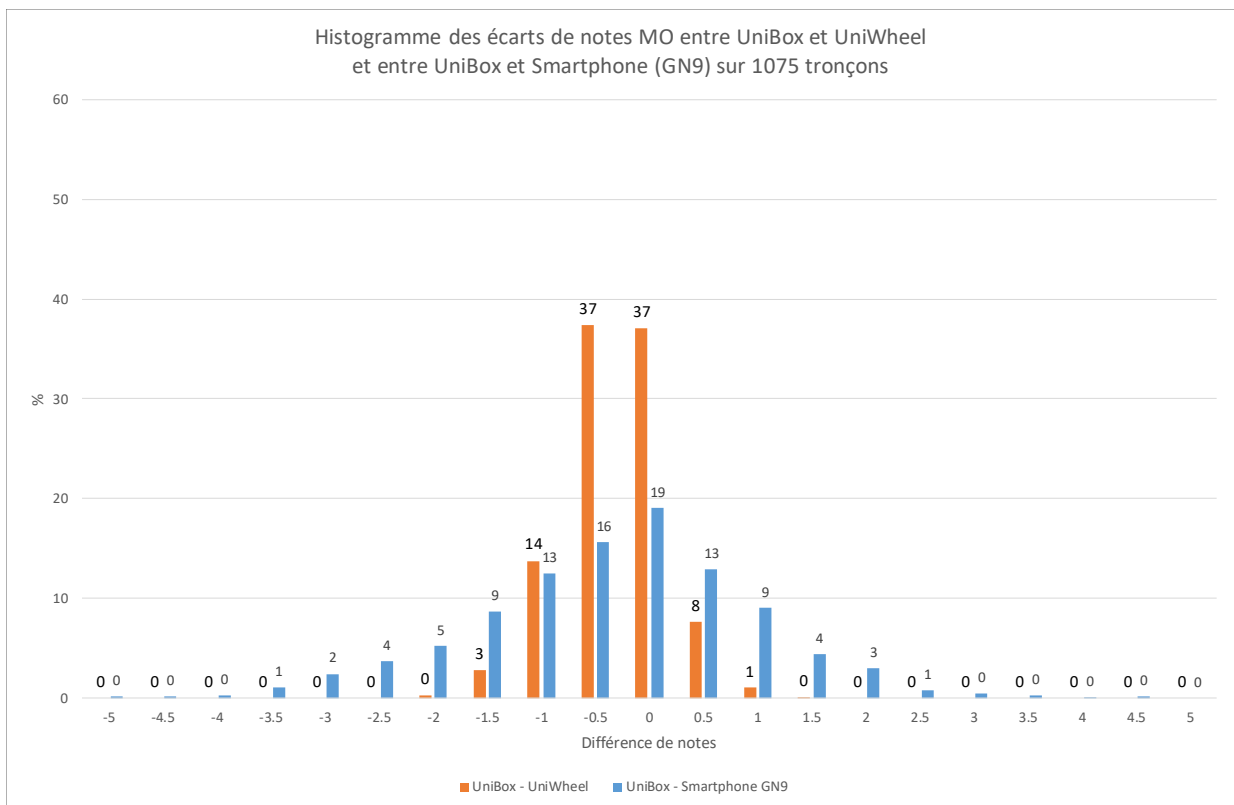


Figure 21 - Histogramme des écarts de notes MO

5.4.2 Indicateur NGO (note grandes ondes)

L'indicateur NGO (12 à 45 m de longueur d'onde), au pas de 200 m, n'est pas très utilisé en évaluation ou entretien de réseau car il évolue très peu dans le temps sauf éventuellement dans les zones marécageuses ou dans des zones de tassement à l'approche d'ouvrage d'art par exemple. Il est cependant intéressant de connaître la faculté des outils à les mesurer.

Les quatre figures suivantes (Figure 22, Figure 23, Figure 24, Figure 25) montrent que :

- ▶ L'UniWheel donne des notes très proches de celles de l'UniBox : écarts inférieurs ou égaux à 0.5 point dans 95 % des cas.
- ▶ Le Smartphone donne des notes proches de celles de l'UniBox mais avec une tendance à donner des notes légèrement plus faibles, qui peut s'expliquer par le fait que dans l'habitacle du Master (pas très bien amorti) les défauts en grandes ondes sont plus amplifiés que la réalité terrain : écart plutôt positif inférieurs ou égal à 1 point dans 75 % des cas, inférieur ou égal à 2 points dans 95 % des cas.

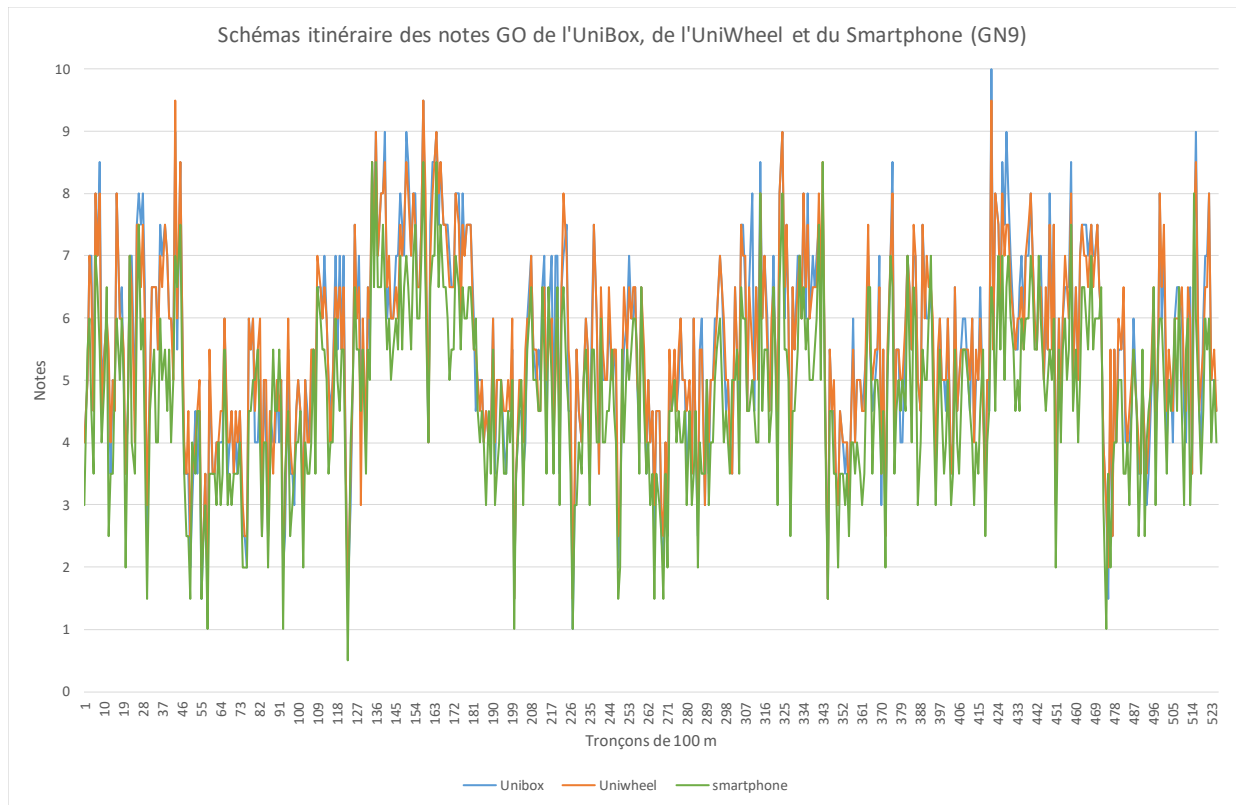


Figure 22 - Schémas itinéraire des notes GO

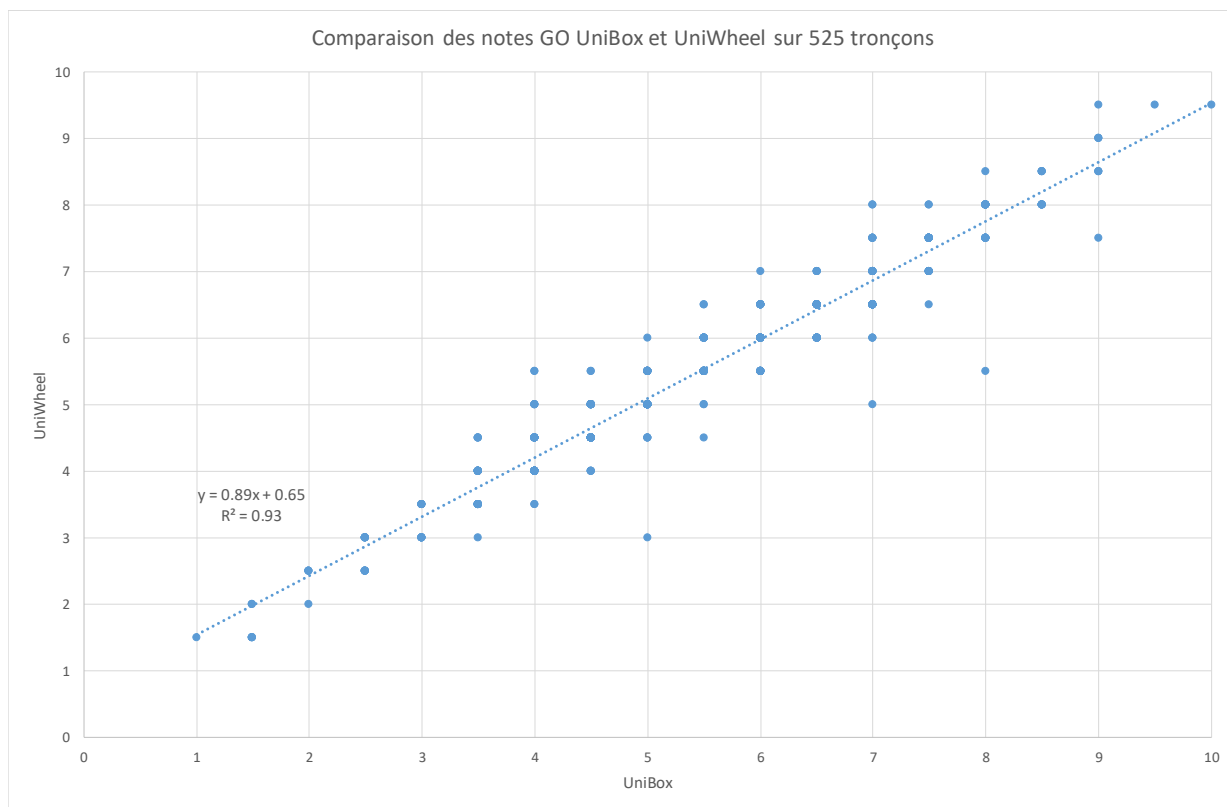


Figure 23 - Comparaison UniBox / UniWheel en GO

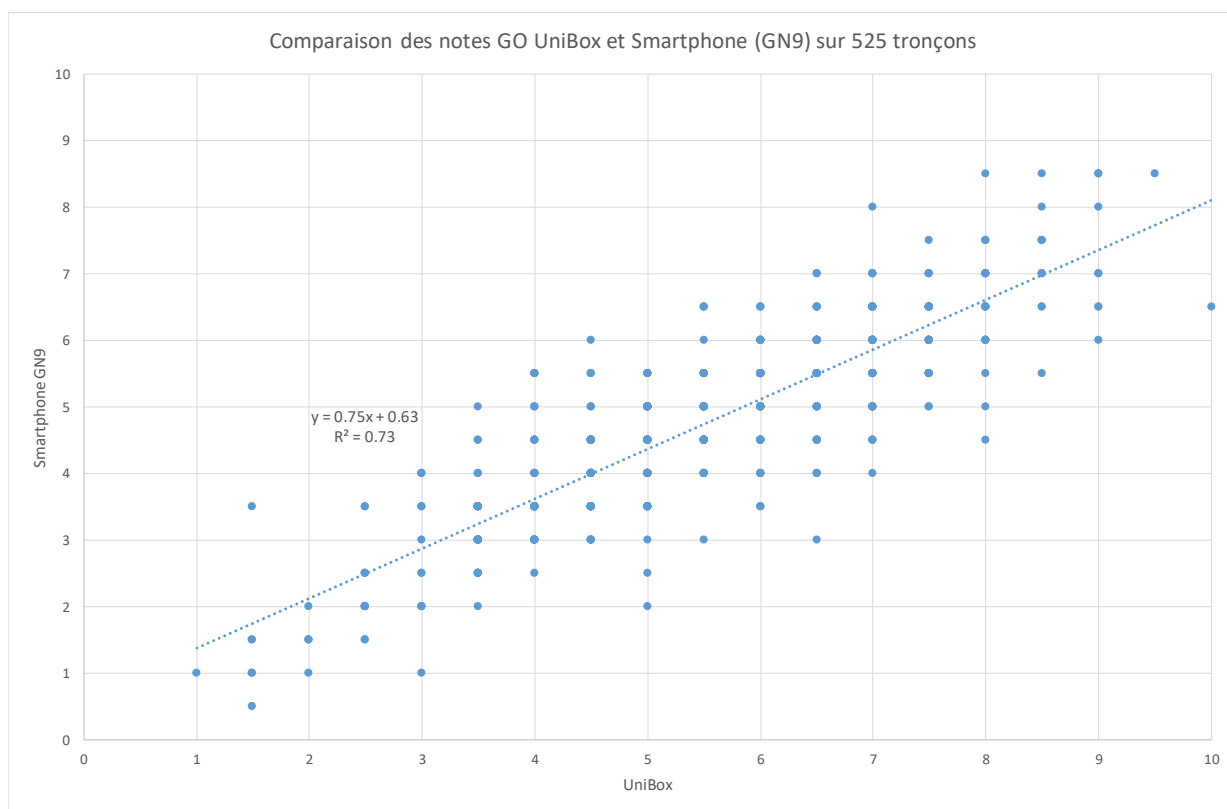


Figure 24 - Comparaison UniBox / Smartphone en GO

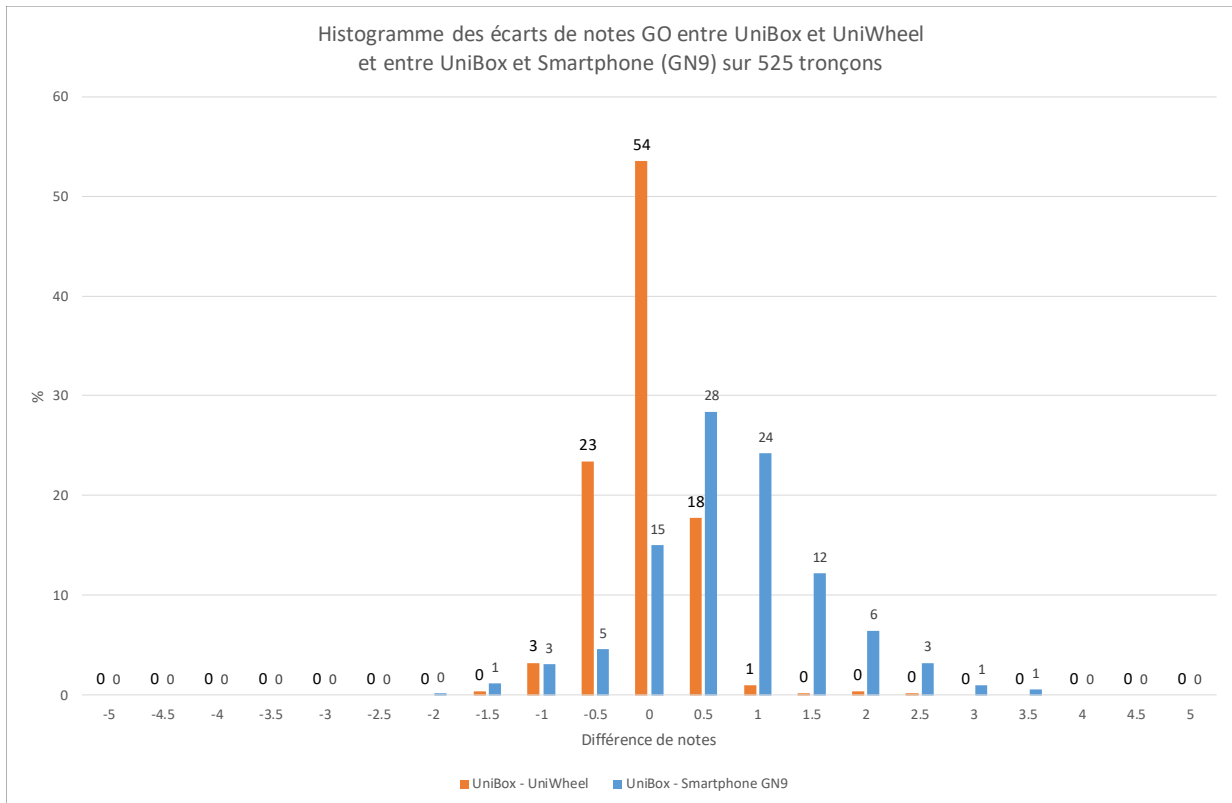


Figure 25 - Histogramme des écarts de notes GO

5.4.3 Indicateur NPO (note petites ondes)

L'indicateur NPO (0.7 à 3 m de longueur d'onde), au pas de 20 m, est un indicateur qui peut être prépondérant dans l'évaluation de réseau, notamment sur le réseau principal qui lorsqu'il se dégrade impacte aussi les notes PO par le fait de l'apparition de fissuration dans les bandes de roulement, de faïençage, de flaches, ou de fissures transversales dégradées.

Les quatre figures suivantes (Figure 26, Figure 27, Figure 28, Figure 29) montrent que :

- ▶ L'UniWheel donne des notes quasi systématiquement meilleures (de 1 à 3 points) que l'UniBox notamment lorsque les notes UniBox sont entre 8 et 10. Cela s'explique en partie par le fait que les petits défauts ponctuels impactant le profil UniBox (et donc les PO) sont atténués par le pneu du véhicule et donc lissés dans le profil UniWheel. Malgré ces écarts dans les bonnes notes, les deux appareils sont assez bien corrélés, ce qui permet, en évaluation de réseau, d'être suffisamment discriminant dans les PO sans être très juste. Ecarts inférieurs ou égaux à 2 points dans 85 % des cas
- ▶ Le Smartphone donne, comme attendu dans l'habitacle, des notes très mal corrélées à de celles de l'UniBox en délivrant quasiment partout des notes PO à 10. Seuls les très gros défauts PO peuvent parfois être perçus convenablement par le smartphone dans l'habitacle

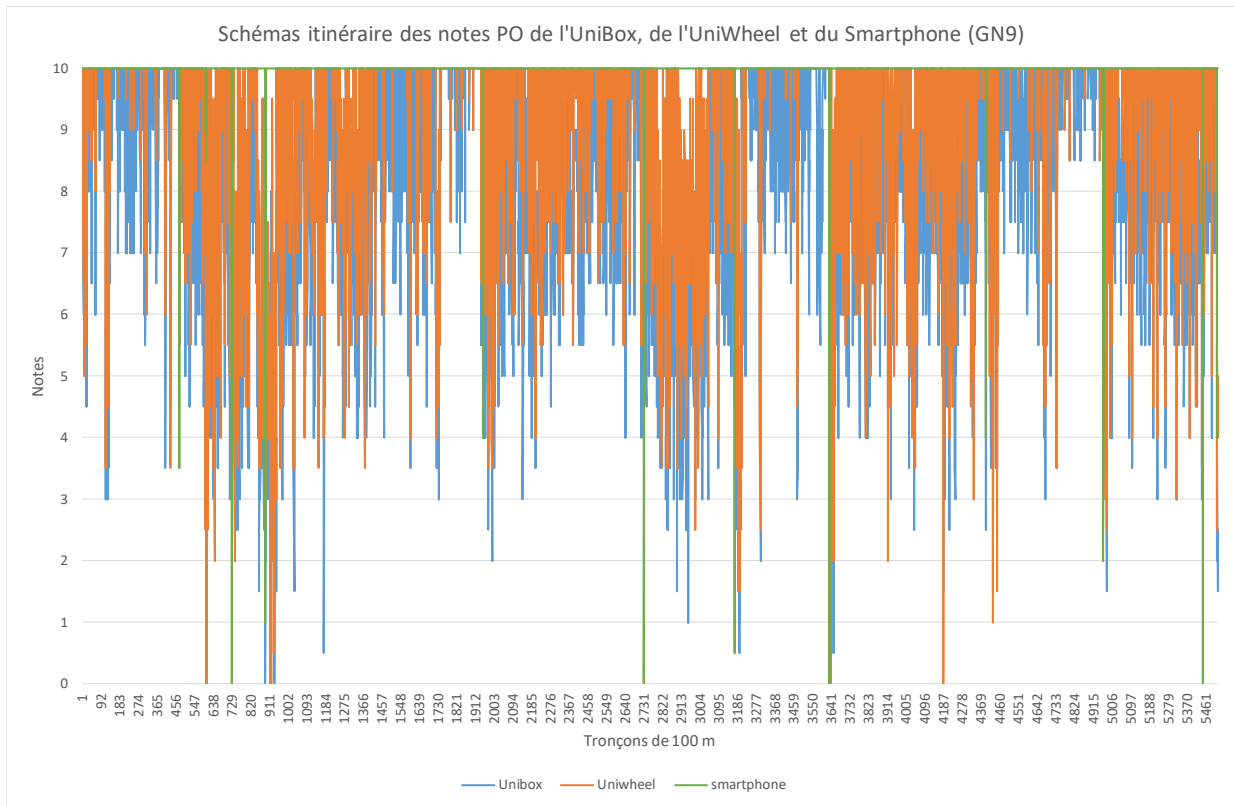


Figure 26 - Schémas itinéraire des notes PO

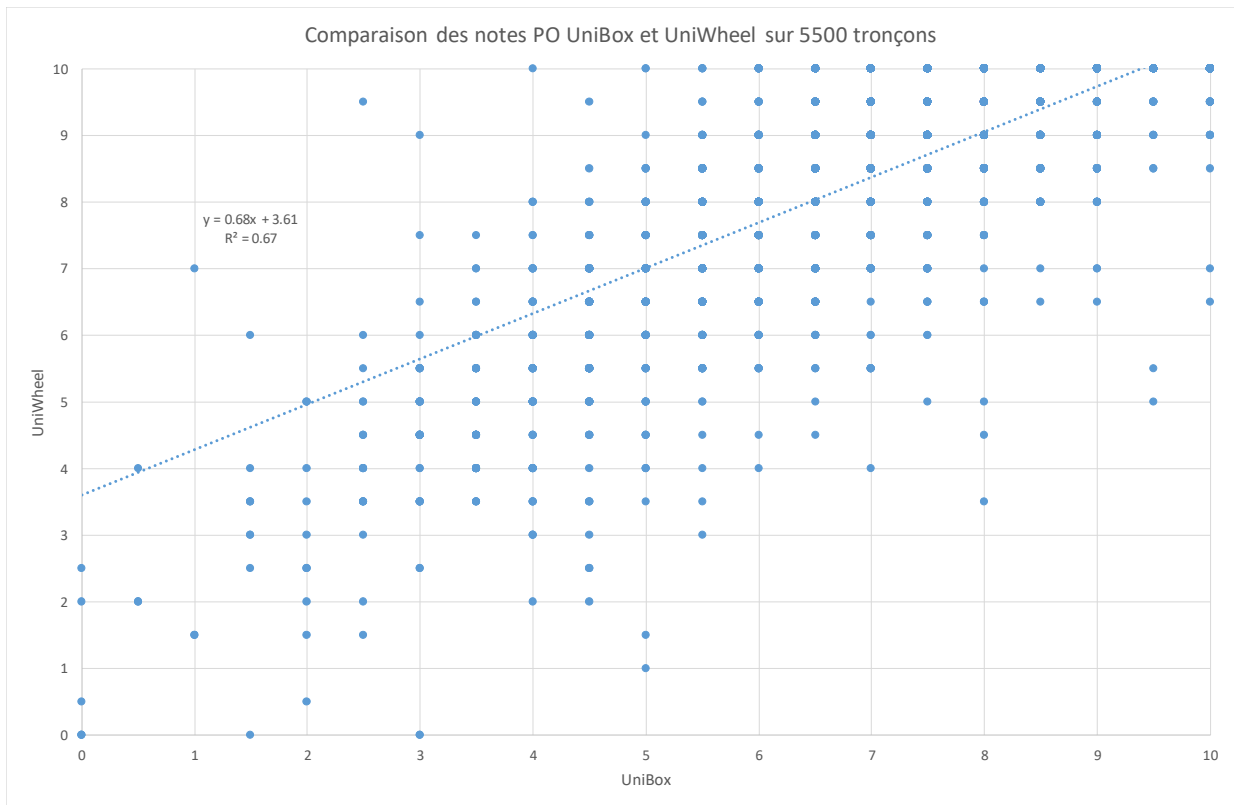


Figure 27 - Comparaison UniBox / UniWheel en PO

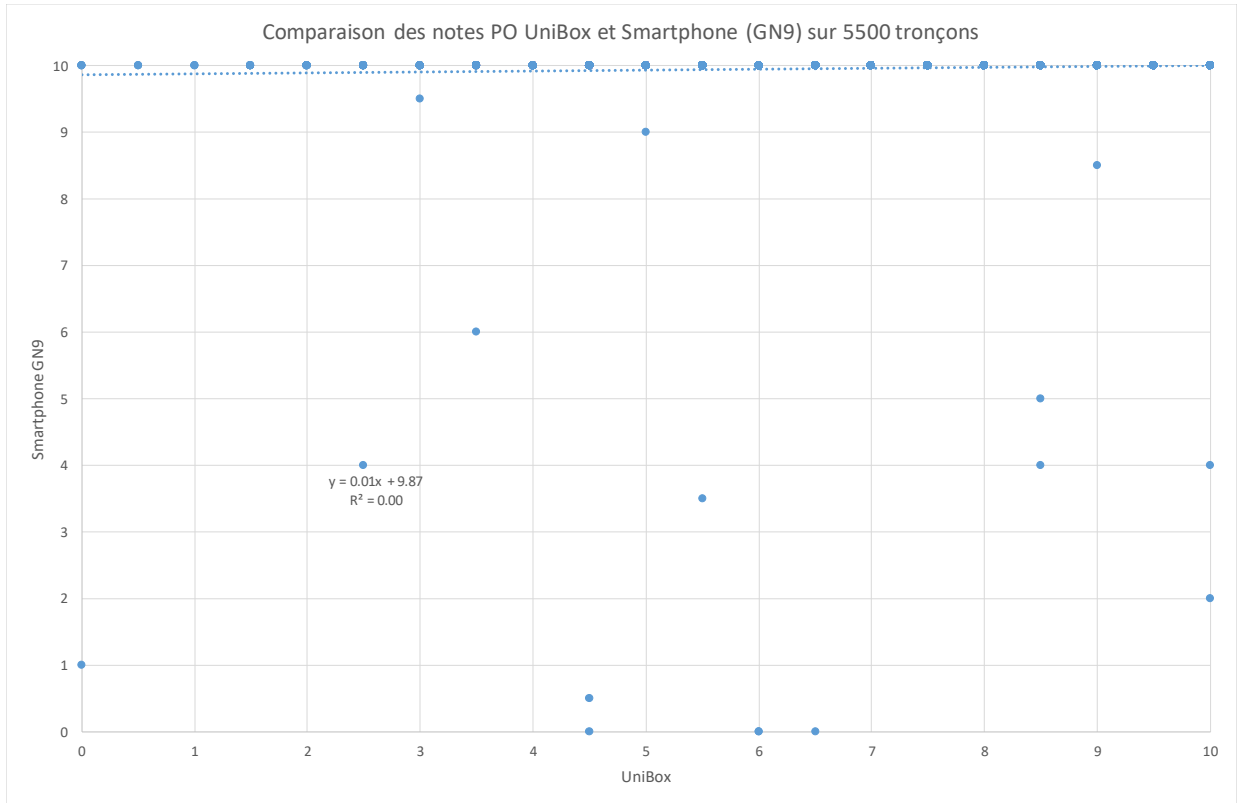


Figure 28 - Comparaison UniBox / Smartphone en PO

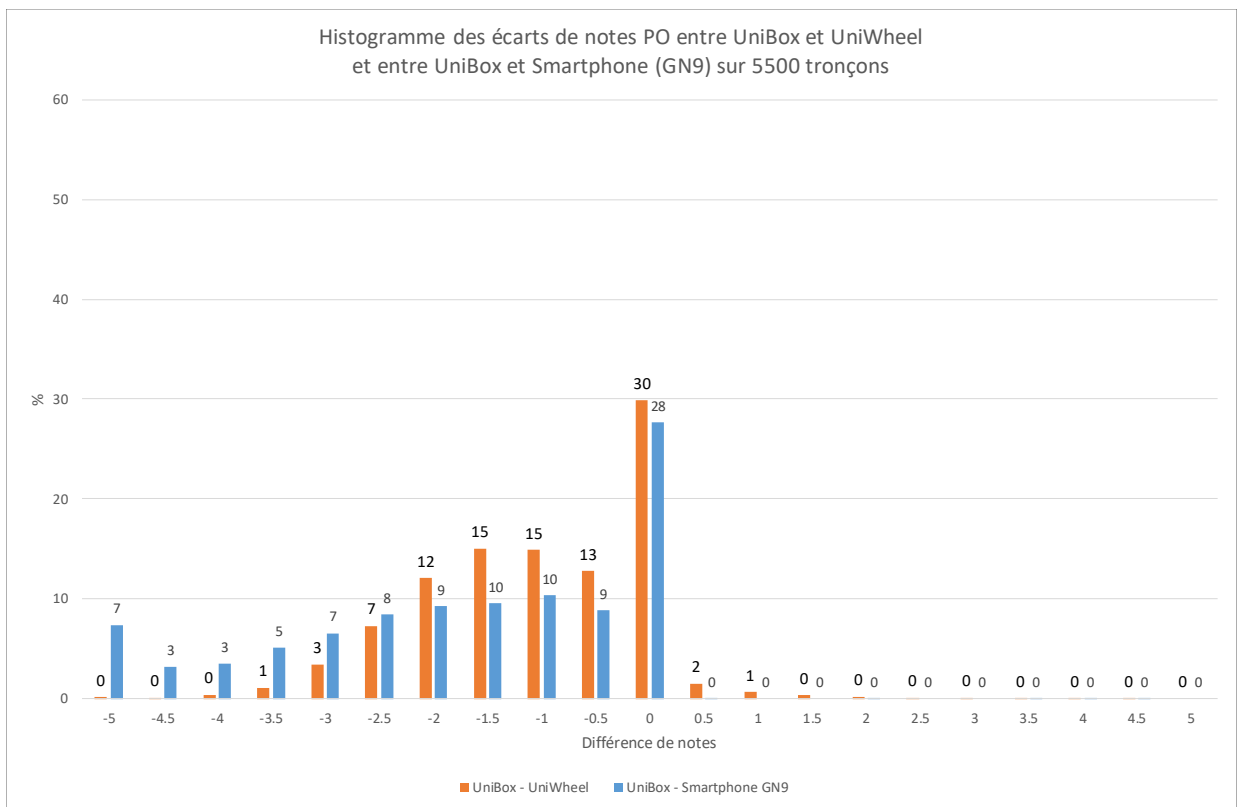


Figure 29 - Histogramme des écarts de notes PO

5.4.4 Indicateur IRI (international roughness index)

L'indicateur IRI, au pas de 100 m,, très utilisé à l'étranger pour l'évaluation de réseau, mérite d'être étudié dans cette comparaison. De plus cet indicateur, de par sa bande passante comprise entre 1 et 30 m de longueurs d'onde, couvre à lui seul tout ou partie des bandes d'ondes des indicateurs français NBO : il couvre entièrement les MO, une bonne partie des GO, et une bonne partie des PO. Il est inversement proportionnel aux notes NBO.

Les quatre figures suivantes (Figure 30, Figure 31, Figure 32, Figure 33) montrent que :

- ▶ L'UniWheel donne des valeurs d'IRI extrêmement bien corrélées à celles délivrées par l'UniBox. La majorité des écarts (80 %) sont de +0.25 à +0.5 points et 95 % inférieurs à 0.75 points, ce qui permet de dire que l'UniWheel délivre quasi systématiquement un IRI légèrement meilleur (quelques dixièmes) que l'UniBox, ce qui confirme les constatations faites en NBO.
- ▶ Le Smartphone donne des valeurs d'IRI assez bien corrélées à celles délivrées par l'UniBox mais avec des écarts pouvant aller jusqu'à 1.5 points : écarts inférieurs ou égaux à 1 point dans 90 % des cas

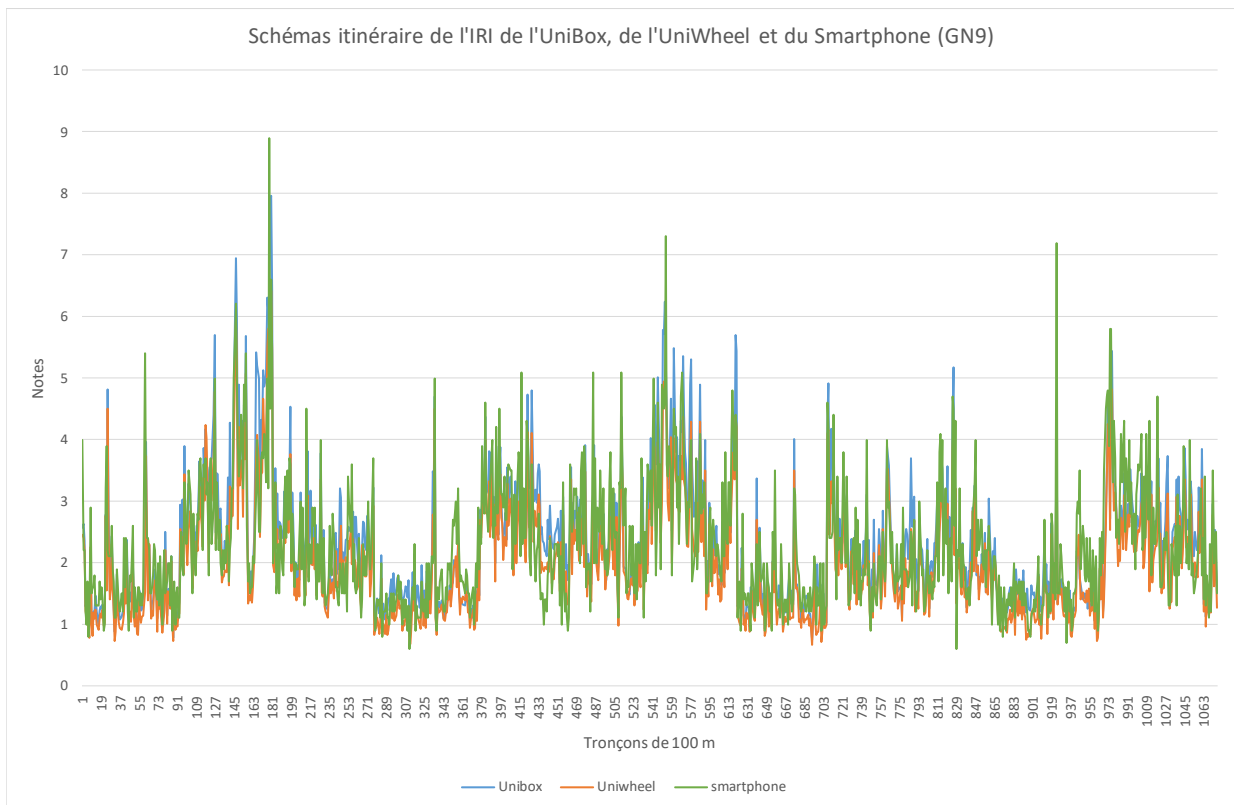


Figure 30 - Schémas itinéraire des valeurs d'IRI

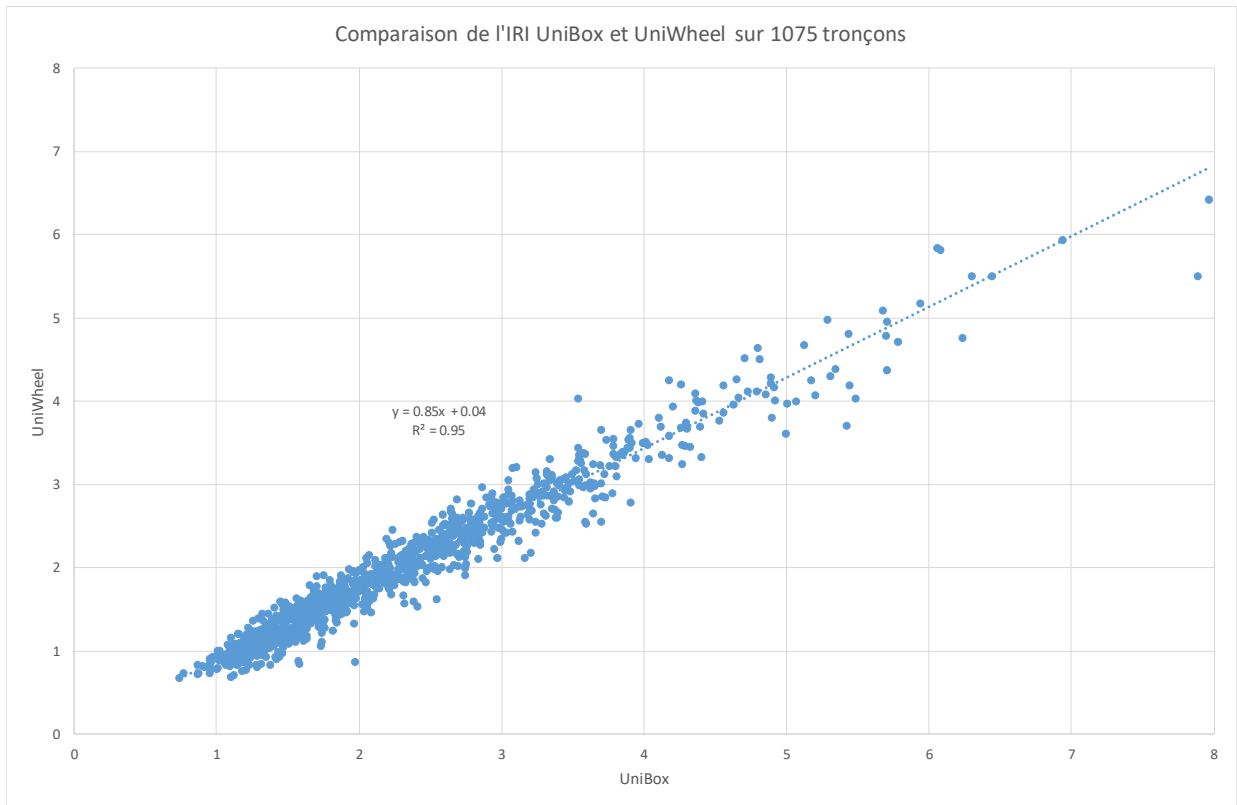


Figure 31 - Comparaison UniBox / UniWheel en IRI

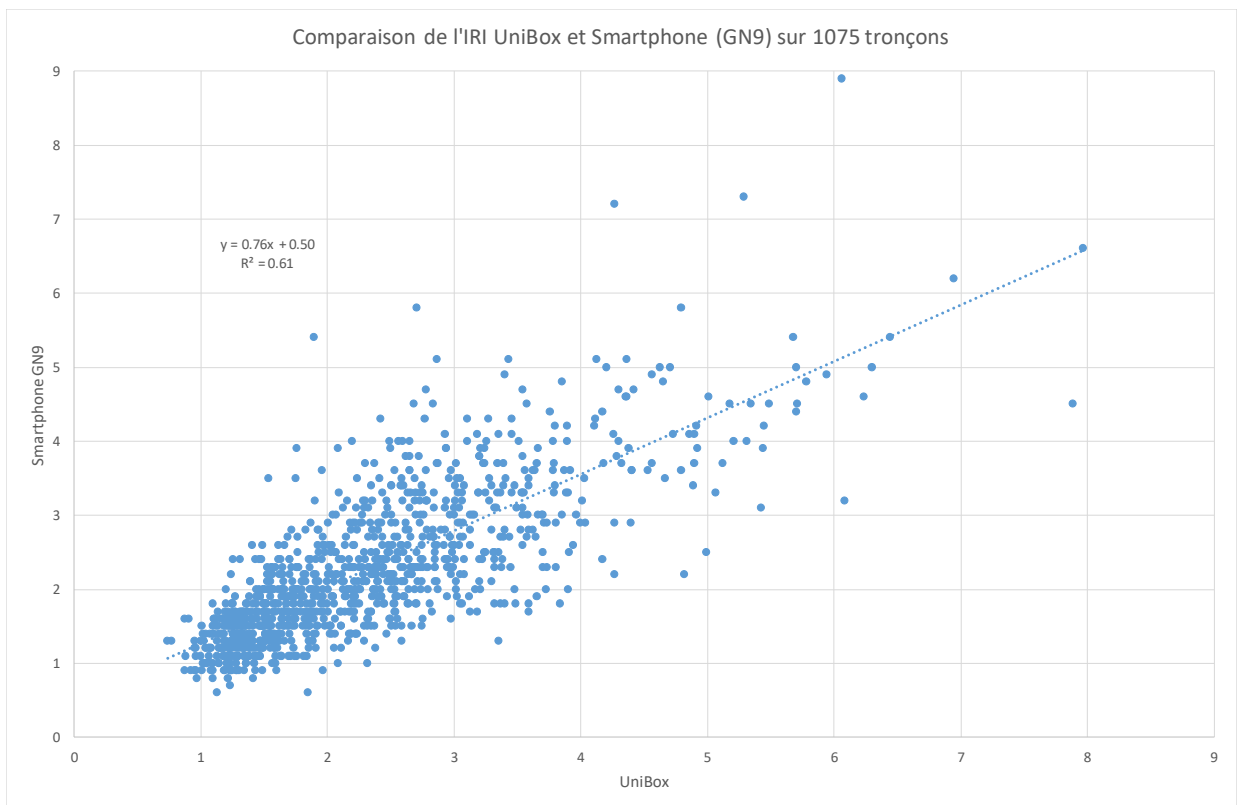


Figure 32 - Comparaison UniBox / Smartphone en IRI

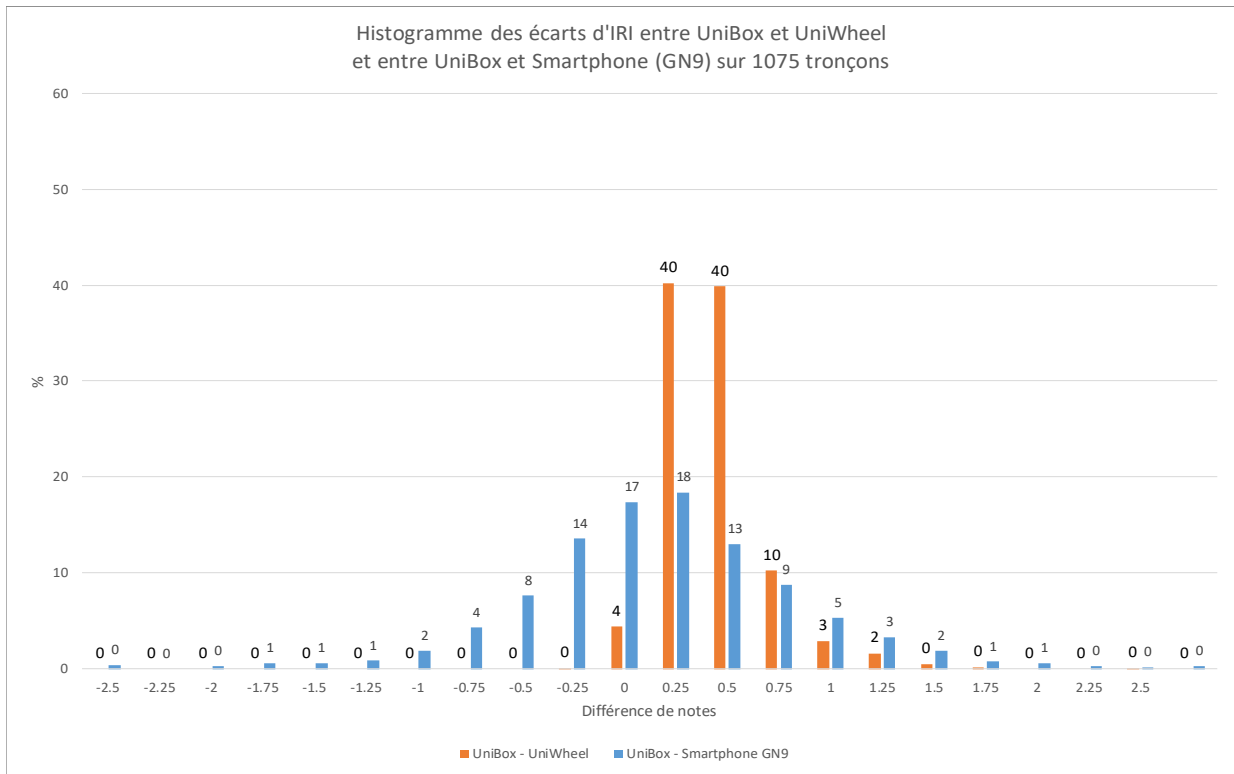


Figure 33 - Histogramme des écarts de valeurs d'IRI

5.4.5 Comparaison des deux UniWheel

Disposant d'une deuxième UniWheel montée sur le véhicule Kangoo du CD27, il est intéressant de comparer les mesures de cette UniWheel à celle du Master. Cependant, leur position transversale sur le véhicule doit être prise en compte. En effet sur le Kangoo elle est montée près de la roue gauche alors que sur le Master elle est près de la roue droite. On ne peut donc pas parler de reproductibilité, puisque les deux UniWheel mesurent des traces différentes et distantes de plus d'un mètre comme illustré sur la figure suivante (Figure 34).

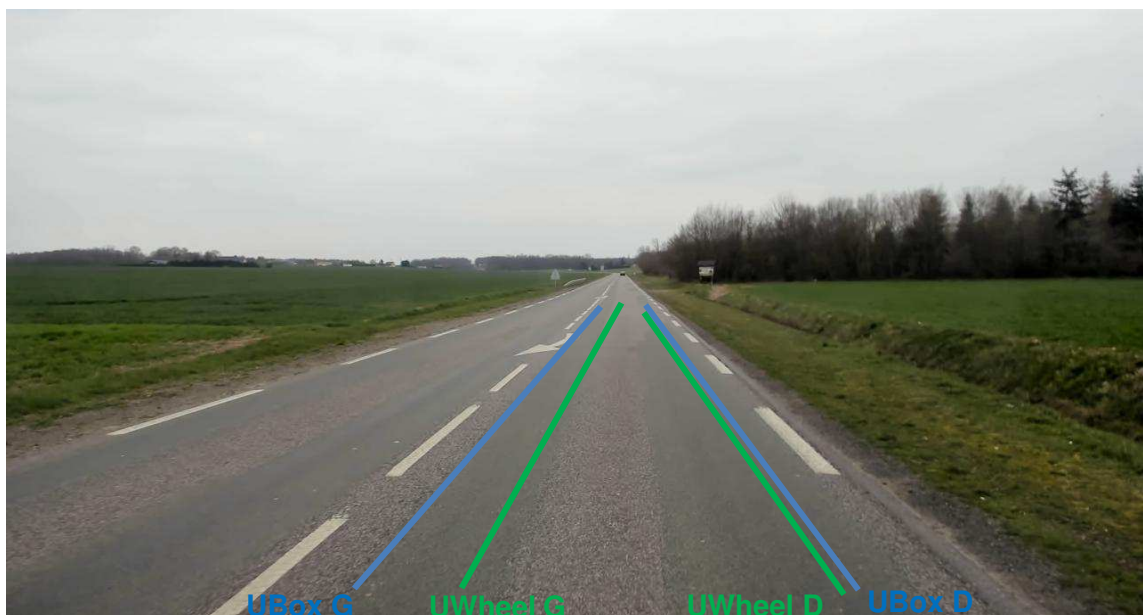


Figure 34 : Positionnement des capteurs UniBox et UniWheel sur la voie

Cela a pour conséquence sur le Kangoo de mesurer plus vers l'axe de la voie et donc plus près de la trace gauche de l'UniBox. A défaut de reproductibilité, il est cependant intéressant de vérifier si l'écart de notes entre les deux UniWheel se rapproche globalement de l'écart de notes entre les deux traces de l'UniBox.

L'exercice ne porte pas sur tous les indicateurs, mais uniquement sur les notes MO (les tendances sont les mêmes pour les autres indicateurs. L'analyse porte sur un linéaire plus court puisque le Kangoo du CD27 a fait moins de relevés (44 km utiles au lieu de 110)

Les figures suivantes (Figure 36, Figure 36) illustrent ces écarts entre trace (gauche et droite) et montrent que :

- ▶ Les notes de rives (droite) sont globalement plus faibles que les notes d'axe (gauche). C'est généralement le cas sur réseau secondaire puisque les rives se déforment plus rapidement.
- ▶ Les écarts de notes, entre deux UniWheel montées sur deux types de véhicules différents (en terme de gabarit, amortissement, vitesse) et mesurant chacune une partie de la voie différente, sont quasiment les mêmes que les écarts de notes entre l'UniBox gauche et droite

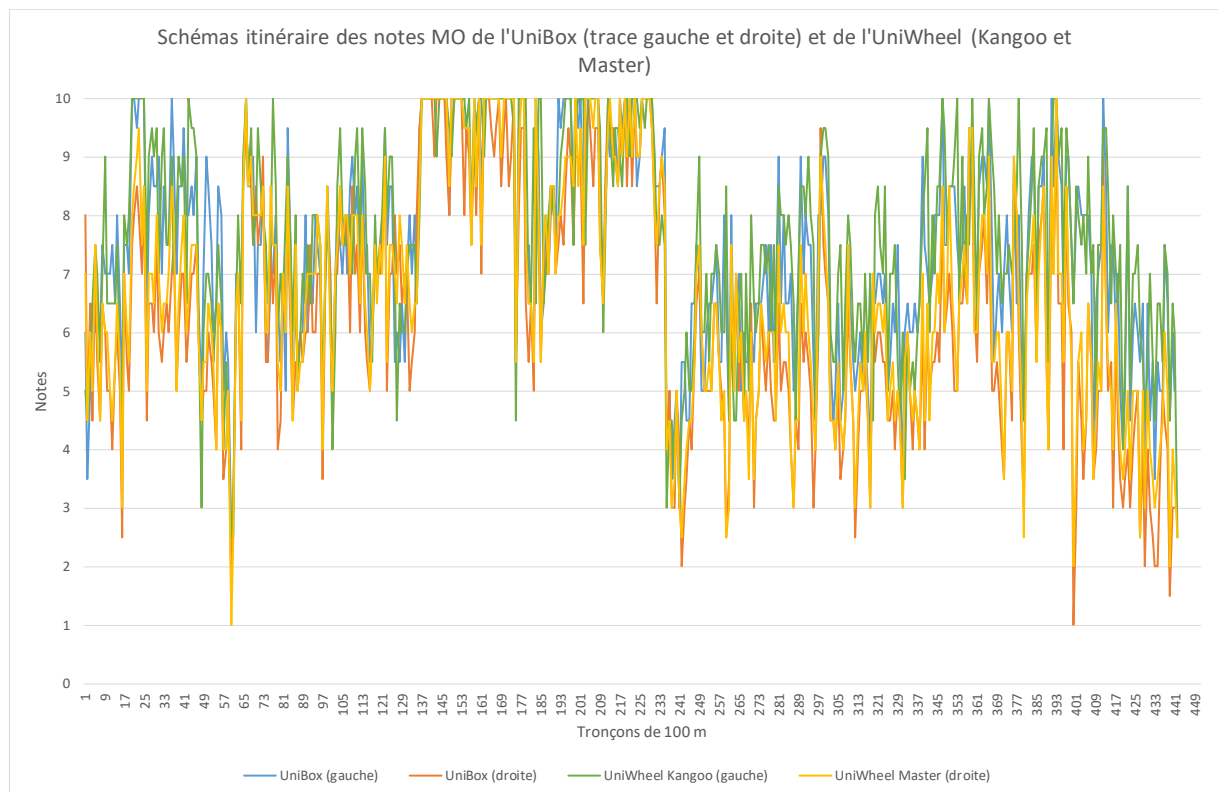


Figure 35 - Schémas itinéraire des notes MO incluant la deuxième UniWheel du CD27

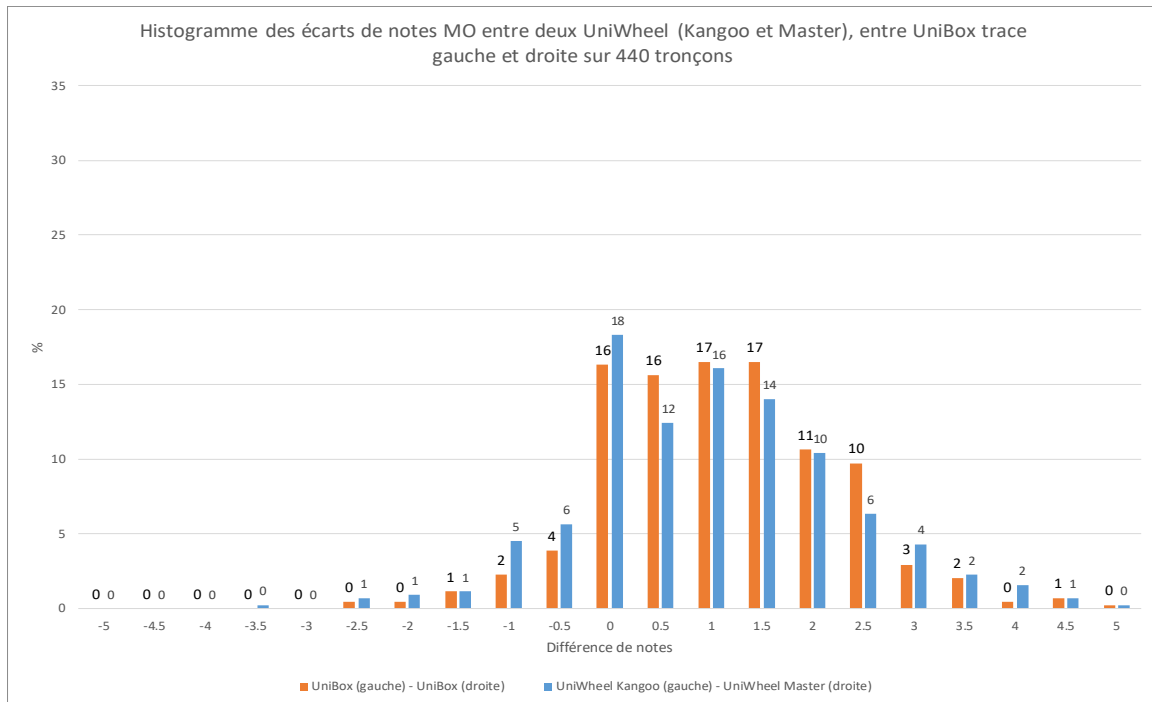


Figure 36 - Histogramme des écarts de notes MO incluant la 2^{ème} UniWheel du CD27

5.4.6 Comparaison UniWheel gauche (Kangoo) et UniBox gauche (Master)

Même si l'UniBox gauche du Master et l'UniWheel du Kangoo (à gauche) ne mesurent pas dans les mêmes traces (l'UniBox mesurant plus vers l'axe de la chaussée : 50 cm environ entre les deux capteurs), il est intéressant de constater une similitude dans les résultats puisque les écarts centrés sur 0 sont inférieurs ou égaux à 1 point dans 80% des cas, et inférieurs ou égaux à 2 points dans 95% des cas (Figure 37).

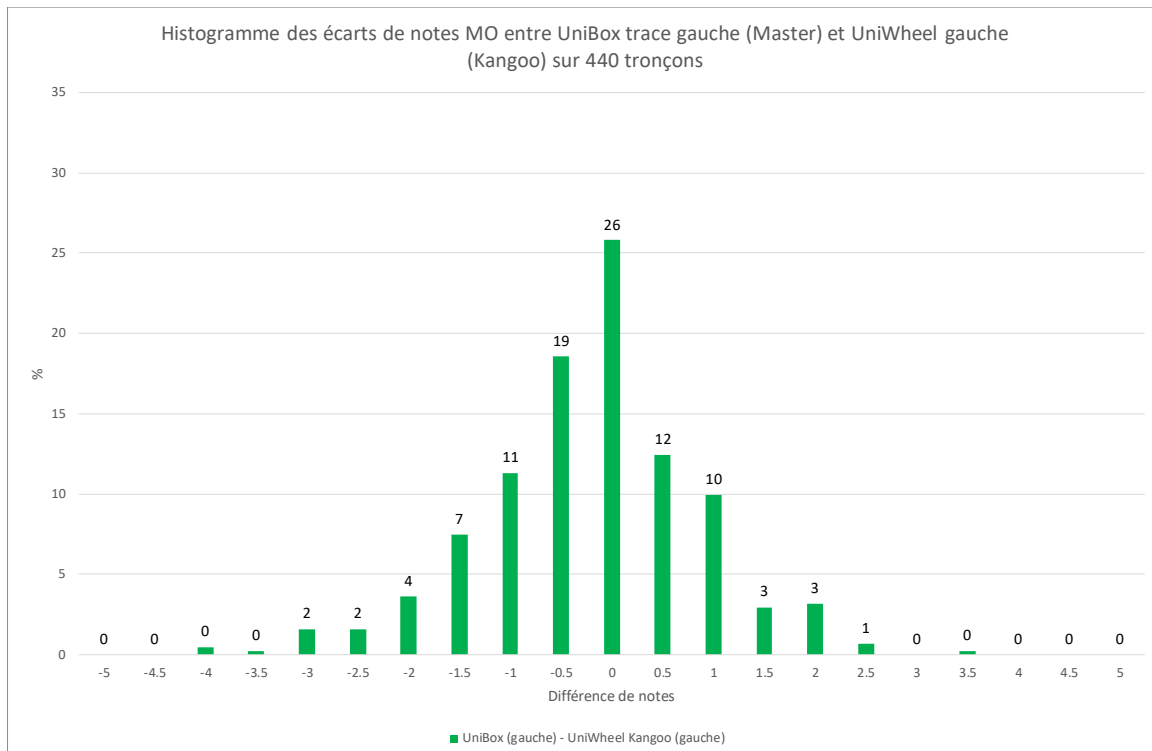


Figure 37 : Histogramme des écarts de notes MO entre UniBox et UniWheel avec écart de trace

5.4.7 Synthèse des résultats

La synthèse des résultats en Tableau 1 consiste à résumer les pourcentages d'écarts de notes NBO et d'IRI pour chaque comparaison effectuée dans les paragraphes précédents. Elle montre que :

- ▶ L'UniWheel apporte plus de précision qu'un smartphone (dans l'habitacle) pour les indicateurs où le smartphone est déjà correctement discriminant (MO, IRI, GO). Pour ces indicateurs l'UniWheel est très proche de la référence
- ▶ L'UniWheel permet d'approcher les notes PO mesurées par la référence de façon satisfaisante et discriminante pour de l'évaluation de réseau, mais du fait de l'effet lissant de la roue du véhicule, les notes PO un peu meilleures
- ▶ Les écarts de notes éventuels entre les bords gauche et droit d'une voie sont aussi bien vus par l'UniWheel que par l'UniBox
- ▶ La valeur ajoutée de l'UniWheel, vis-à-vis d'un smartphone dans l'habitacle, est démontrée

	PO	MO	GO	IRI
Ecart (UBox – UWheel) (Véhicule Master)	85% <= 2 pts Surestimation de l'UniWheel pour les bonnes notes	97% <= 1 pt Surestimation très légère de l'UniWheel	95% <= 0.5 pt Surestimation très légère de l'UniWheel	80% <= 0.5 95% <= 0.75 Sous-estimation légère de l'UniWheel
Ecart (UBox - Smartph.) (Véhicule Master)	Aucune corrélation, sauf très gros défaut	70 % <= 1 pt 91 % <= 2 pts	75% <= 1 pt 95% <= 2 pts	90% <= 1pt
Ecart (UBoxG - UBoxD) (Véhicule Master)	Même constatation qu'en MO	Notes plus faibles en rive (droite) de quelques points	Même constatation qu'en MO	Même constatation qu'en MO
Ecart (UWheel Gauche (Master) – UWheel Droite (Kangoo))	Même constatation qu'en MO	Notes plus faibles en rive (droite) de quelques points avec Idem différence UniBox G et D	Même constatation qu'en MO	Même constatation qu'en MO
Ecart (UBox gauche (Master) - UWheel gauche (Kangoo))		80% <= 1 pt 95% <= 2 pts		

Tableau 1 - Synthèse des résultats de l'expérimentation

6 Bilan et perspectives de l'expérimentation

6.1 Bilan

L'expérimentation menée en tranche2 s'est focalisée sur les performances du capteur accélérométrique de roue (appelé UniWheel), vis à vis d'appareils de référence de mesure d'Uni (MLPL, UniBox), et vis-à-vis d'un smartphone mesurant les accélérations verticales dans l'habitacle. Elle a montré, dans un contexte d'évaluation de réseau, que :

- ▶ L'UniWheel permet de délivrer tous les indicateurs d'uni usuels (NBO et IRI) avec des niveaux de précisions très proches de ceux des appareils de référence quelle que soit la catégorie de réseau (principal ou desserte locale)
- ▶ Seuls les petits défauts dans les petites ondes (notes PO > 8) peuvent être atténués par l'UniWheel du fait du pouvoir lissant de la roue du véhicule
- ▶ L'UniWheel s'affranchit totalement de la météo et notamment de surfaces humides ou mouillées, contrairement aux dispositifs optiques
- ▶ L'outil d'exploitation automatisée associé à l'UniWheel (même traitements que les mesures smartphones) apporte un gain de temps et surtout de la fiabilité dans la comparaison des outils
- ▶ La procédure d'acquisition de l'UniWheel, ici sous Windows et en filaire par liaison série, a été satisfaisante pour une expérimentation, mais mérite d'être optimisée en passant par une liaison sans fil de type Wifi gérée par l'application Android Miranda sur smartphone comme elle le fait pour l'acquisition de ses capteurs internes.
- ▶ L'UniWheel pourrait aussi, après qualification, être une nouvelle sous fonction montée sur un véhicule multifonction d'évaluation de réseau, notamment secondaire
- ▶ Vis-à-vis-à-vis des appareils de référence qui ont quelques contraintes de mesures (surface sèche) et d'exploitation (exploitation manuelle), l'UniWheel apporte plus de la souplesse d'utilisation et d'exploitation nécessaire en évaluation de réseau, d'autant plus si le gestionnaire souhaite travailler en régie avec cet outil

6.2 Perspectives

Même si la tranche 3 (2019-2020) ne prévoit pas de nouvelle action spécifique sur l'outil Miranda, il serait dommage que le CD27 ne continue pas à réaliser des mesures au gré des trajets réguliers effectués par le véhicule Kangoo équipé de l'UniWheel.

Prochainement, l'Ifsttar devrait disposer d'une version Miranda dialoguant en Wifi avec l'UniWheel, facilitant donc encore plus la mesure et le transfert des données. Fort de cette évolution, il sera intéressant de faire des mesures sur les mêmes itinéraires et comparer les résultats. L'Ifsttar pourra, si besoin, refaire le circuit avec son véhicule.