

## Projet National de recherche et développement

### RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE

# Mesure de Déflexions à grand rendement

#### Auteur(s) / Organisme(s) :

TROTTIER Pascal – PAVEXPERT

Bruno JOLY – Technologies Nouvelles

Julie MIGNOL – Nextroad

Jean-Marc MARTIN – UGE

Damien PILET – GINGER CEBTP

Romain DEGRANGE – DIAGWAY

Emmanuel LOISON – COLAS

Alain HEBTING – Cerema

Stéphane THERET – CD27

#### Thème de rattachement :

Thème 2.2

DVDC/R/033

LC/19/DVDC/89-89-90-91-92-93-95-96-97-106-117

Juin 2022

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

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

Président : Dominique JAUMARD

Directeurs : Christine LEROY et Simon POUGET

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>1</b>	<b>Résumé</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Description des nouveaux matériels</b>	<b>4</b>
3.1	Détails techniques du déflectomètre à grande vitesse (TSD):	4
3.2	Détails techniques du RAPTOR	7
<b>4</b>	<b>Retour d'expérience</b>	<b>8</b>
4.1	Expérience mondiale	8
4.1.1	Expérience aux États-Unis	8
4.1.2	Expérience en Europe	9
4.1.3	Expérience en France	12
4.2	Indicateurs structurels	16
<b>5</b>	<b>Différentes Conclusion</b>	<b>18</b>
5.1.1	Générales	18
5.1.2	Mesures	18
5.1.3	Répétabilité	18
5.1.4	Reproductibilité	19
<b>6</b>	<b>Références</b>	<b>19</b>

# 1 Résumé

---

## Résumé

De nouveaux appareils de relevé de déflexions à grand rendement ayant vu le jour ces dix dernières années, il semblait utile au sein du projet DVDC d'analyser l'utilisation de ce type de matériel. Un tour d'horizon a été effectué afin de d'avoir un avis et de capitaliser sur les expériences d'autres pays malgré nos différences de référentiel. Tout cela, pour entrevoir une utilisation selon un référentiel Français avec l'utilisation d'indicateurs transposables au modèle Français.

Fort de cette analyse, une campagne d'essais croisés est prévue dans le cadre de la tranche 4 pour effectuer une comparaison avec des équipements standards et un environnement maîtrisé afin d'apporter un maximum de pertinence à ces essais. Un groupe de travail a été constitué pour pourvoir organiser cette étude.

## Abstract

As new high-performance deflection measurement systems have emerged over the past ten years, it seemed useful within the DVDC project to analyze the use of this type of equipment. An overview was carried out in order to have an opinion and to capitalize on the experiences of other countries despite our differences in benchmarks. All this, to foresee a use according to a French benchmark with the use of indicators transposable to the French model.

Based on this analysis, a cross-test campaign is planned as part of tranche 4 to perform a comparison with standard equipment and a controlled environment in order to bring maximum relevance to these tests. A working group was set up to organize this study.

## 2 Introduction

Au cours des 50 dernières années, de nombreux équipements ont été mis au point pour mesurer les déflexions des surfaces de revêtement ; ceux-ci vont des dispositifs en roulement à vitesse lente, aux charges dynamiques. Parmi ces équipements figurent la poutre Benkelman, le dynaflect, le déflectographe Lacroix (ainsi que d'autres déflectographes de conception similaire), le curviamètre et le déflectomètre à masse tombante (FWD). Tous ces appareils prennent des mesures, soit en étant placés de manière statique sur la chaussée, soit en se déplaçant à vitesse lente.

Le déflectomètre à grande vitesse (TSD) est le premier appareil de mesure de la déflexion en production régulière, qui effectue des mesures à une vitesse comparable à celle des autres usagers de la route. Puisque que la réponse de la chaussée à une charge dynamique réelle est mesurée, il est probable que les mesures TSD soient plus proches de la réalité que, par exemple, les mesures FWD.

Suite à la mise au point du premier prototype au début des années 1990, la société Greenwood Engineering A/S, basée au Danemark, a produit plus de dix déflectomètres de travail à grande vitesse qui sont à présent utilisés dans les pays suivants : Danemark, Royaume Uni, Italie, Pologne, Afrique du Sud , Australie Chine, États-Unis et Allemagne.

Le dispositif permet d'effectuer des mesures rapides de la déflexion des chaussées à travers d'importants réseaux routiers. Au Danemark, le déflectomètre à grande vitesse analyse par balayage le réseau routier de l'état tous les ans depuis 2005, dont les grands axes routiers tous les deux ans et les autoroutes tous les trois ans.

Au cours de ses cinq premières années de fonctionnement, le premier déflectomètre à grande vitesse australien a examiné plus de 200 000 km de chaussées en Australie et en Nouvelle Zélande.

Depuis, La société Dynatest a également développé un appareil utilisant la même typologie de mesure, le nom commercial de cet outil étant le RAPTOR. Cet appareil a été acquis, depuis 2019 par la société Ramboll, provenant de Suède.

## 3 Description des nouveaux matériels

### 3.1 Détails techniques du déflectomètre à grande vitesse (TSD):

Le déflectomètre à grande vitesse (TSD) se compose d'un engin de traction et d'une semi-remorque de 10 tonnes à essieu simple, munie de roues jumelées, comme le montre la Figure .... La charge par essieu de 10 tonnes correspond à la charge imposée. Le Défectomètre à grande vitesse (TSD) fonctionne à des vitesses pouvant aller jusqu'à 80km/h, ce qui est la limite de vitesse légale classique dans une partie des pays européens pour les camions. Cependant, sur les chaussées lisses, le déflectomètre à grande vitesse (TSD) fournit des résultats fiables à une vitesse maximale de 90 km/h et à une vitesse de fonctionnement minimale de 30 km/h.

Le déflectomètre à grande vitesse (TSD) ne mesure pas directement la déflexion de la chaussée. Cette technologie s'appuie sur un nombre variable de lasers Doppler (4 à 11 actuellement) pour les mesures le long de l'axe longitudinal entre les roues jumelées arrière, avec des lasers situés devant et derrière l'essieu en charge.

Le faisceau laser émis est réfléchi par la chaussée de la route et le capteur mesure la vitesse de déformation verticale de la chaussée chargée le long de la direction du faisceau laser.

Comme le capteur n'est pas placé exactement perpendiculairement à la chaussée, le faisceau laser tombe à l'angle d'env. 2°. Outre la vitesse de déformation de la chaussée requise  $V_v$ , le laser Doppler enregistre la vitesse du véhicule  $V_h$ . Un angle relativement faible permet l'entrée de la vitesse du véhicule dans le calcul.

Une pente de déflexion (tangente) [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ] est calculée ainsi, grâce au rapport  $V_v/V_h$

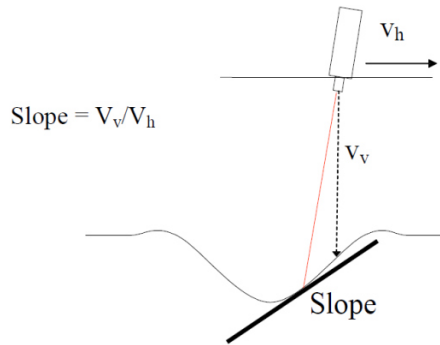


Figure 1 : Calcul de la pente du bassin de déflexion

La configuration standard peut être livrée avec des solutions personnalisées pour des données structurales et fonctionnelles supplémentaires.

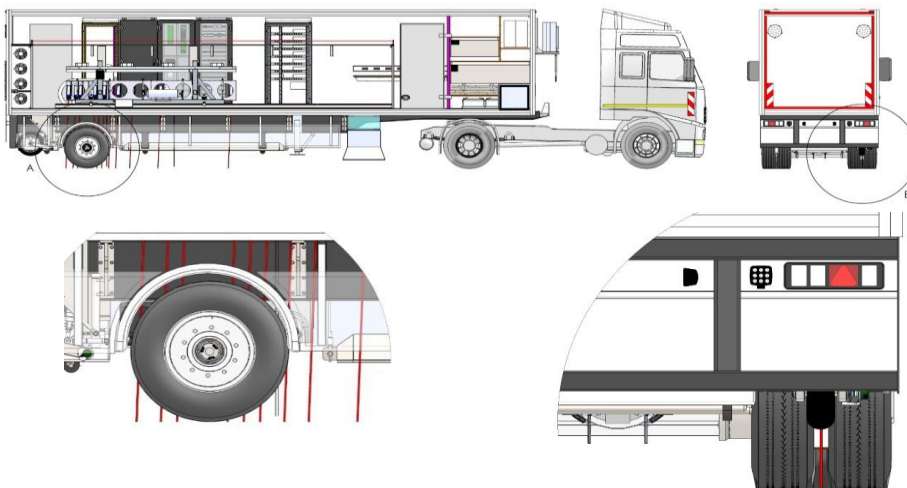
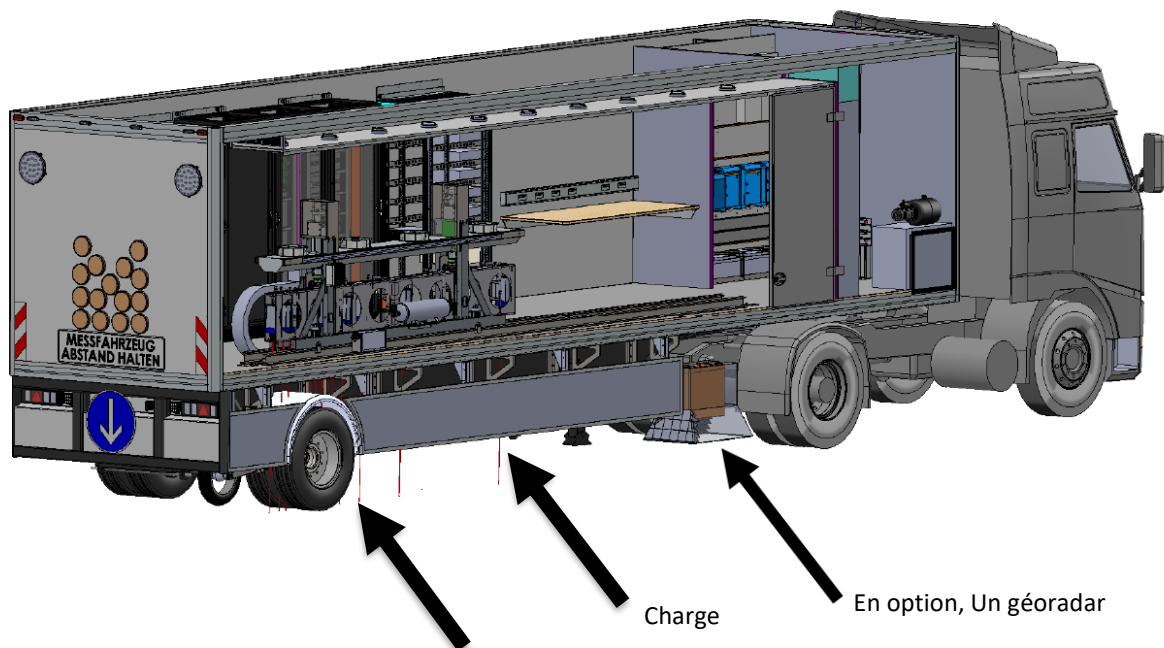




Figure 2 : Visualisation du Déflectomètre à grande vitesse (Source : Greenwood)



Mesures avec des lasers Doppler en ligne centrale - avant et arrière de la roue de charge

## Évolution de la conception du TSD

<p><b>Exemple:</b> TSD 2 opéré par TRL en Angleterre</p> 	<p><b>Generation 1</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TSD 1 and TSD 2. Les deux sont toujours en opération</li> <li>- Construit sur un conteneur standard</li> <li>- Équipé de 4 lasers doppler localisé à l'avant sur l'essieu de chargement arrière.</li> </ul>
<p><b>Exemple:</b> TSD 8 opéré par ARRB in Australia – équipé avec des lasers LCMS</p> 	<p><b>Generation 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TSD 3 - TSD 12.</li> <li>- Construit sur une remorque isolée</li> <li>- Equipé avec 7 lasers doppler localisés sur la ligne centrale entre les roues jumelées et à l'avant de l'essieu arrière.</li> </ul>
<p><b>Exemple:</b> TSD 15 opéré par la BASt en Allemagne – équipé avec un géoradar et un laser scanner Fraunhofer</p> 	<p><b>Generation 3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TSD 14 – TSD 15</li> <li>- Construit sur une remorque isolée.</li> <li>- Équipé avec 10-11 lasers doppler localisés sur la ligne centrale entre les roues jumelées. 7-8 lasers sont localisés à l'avant de l'essieu arrière et 3 sont localisés derrière l'essieu</li> </ul>
<p><b>Exemple:</b> TSD 16 opéré par TRL en Angleterre – équipé avec des lasers doppler pour mesurer les déflexions sur les bandes de roulement droite et gauche.</p> 	<p><b>Generation 4</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TSD 7 + TSD 16 and newer.</li> <li>- Construit sur une remorque isolée.</li> <li>- Équipé avec 10-11 lasers doppler de haute fréquence localisés sur la ligne centrale entre les roues jumelées. 7-8 lasers sont localisés à l'avant de l'essieu arrière et 3 sont localisés derrière l'essieu.</li> </ul>



## 3.2 Détails techniques du RAPTOR

En 2018, un projet a abouti au développement d'un RWD appelé Raptor (Rapid Pavement Tester) pour les mesures de capacité portante en continu. Le Raptor se compose d'une semi-remorque conçue sur mesure remorquée par un camion ordinaire, qui est plus facilement maniable même dans les zones urbaines. La semi-remorque mesure 9,50 m de long (13 m de longueur totale y compris le camion), 2,50 m de large, 3,15-3,35 m de haut, a une charge par essieu réglable jusqu'à 10 tonnes.

L'équipement utilise un certain nombre de profileurs laser à lignes équidistantes (12 dans la version actuelle) disposés sur un faisceau de carbone de 5,40 m de long (capteurs positionnés jusqu'à 3,60 m devant et 1,50 m derrière la roue porteuse). La figure 3 ci-dessous montre un rendu du RAPTOR.



Les profileurs laser individuels projettent une ligne (environ 150 mm de large, en fonction de la distance entre le capteur et la chaussée) sur la surface. Une seule mesure contient plus de 1000 mesures de distance dans la direction transversale et chaque laser à une fréquence d'échantillonnage de plusieurs milliers de hertz.

Les profileurs de lignes calculent la distance par « triangulation laser ». L'émetteur laser du capteur, sa caméra et la cible forment un triangle. Le profileur de ligne utilise la distance connue entre l'émetteur laser et la caméra, et deux angles connus pour calculer la distance entre le capteur et la cible (la surface de la chaussée).

La mesure de distance à partir d'un profileur de ligne se compose de quatre contributions : la hauteur ( $h$ ) du faisceau à un plan de référence, l'angle ( $\theta$ ) du faisceau avec le plan de référence, l'état de surface ( $r_j$ ) de la chaussée par rapport au plan de référence à la position  $j$ , et la flèche ( $d_i$ ) de la chaussée due à la charge. Voir la figure ci-dessous.

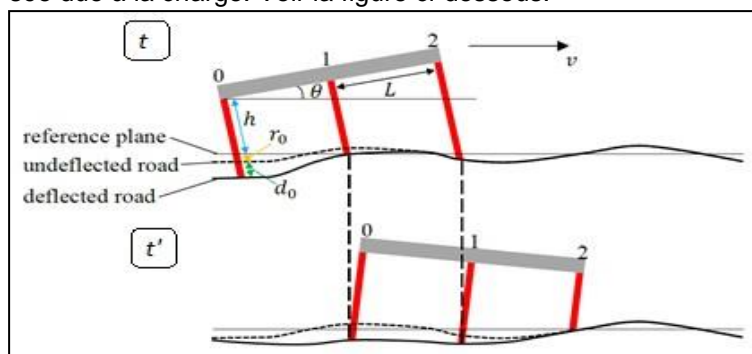


Figure 3 : Schéma de principe du système de mesure RAPTOR

D'un point de vue métrologiques, les éléments ci-dessus sont calibrés à partir d'une poutre de référence et cela avant chaque campagne de mesure et lorsque l'opérateur souhaite le réaliser entre deux séries de mesure. Également, nous avons fait référence à la charge à l'essieu et il est important que noter que comme pour le FWD, celle-ci est mesurée en dynamique pour avoir la charge réelle à chaque point de mesure.

## 4 Retour d'expérience

### 4.1 Expérience mondiale

#### 4.1.1 Expérience aux États-Unis

Depuis maintenant plusieurs années, le TSD est régulièrement utilisé pour les campagnes de mesures sur les réseaux de différents états. Nous nous attacherons sur ce rapport aux comparaisons qui ont pu être faites et les conclusions sur l'utilisation de ce type de matériel à grande échelle.

Exemple de campagne réalisées :

Participants	Mois et Année de mesure	Nombre de miles testés 1 mile = Environ 1,60 Km
Caltrans	Juin 2014 et Aout 2015	980
Georgia DOT	Mai 2014 et Juillet 2015	646
Idaho Transportation Département	Septembre 2015	1,040
Illinois DOT	Juin 2014 et Septembre 2015	400
Nevada DOT	Juin 2014 et Aout 2015	352
New York DOT	Novembre 2013 and Juillet 2014	595
Pennsylvania DOT	Juillet 2014 et Juin 2015	567
South Carolina DOT	Mai 2014 et Juillet 2015	726
Virginia DOT	Juin 2015	622
<b>Total</b>		<b>5,928</b>



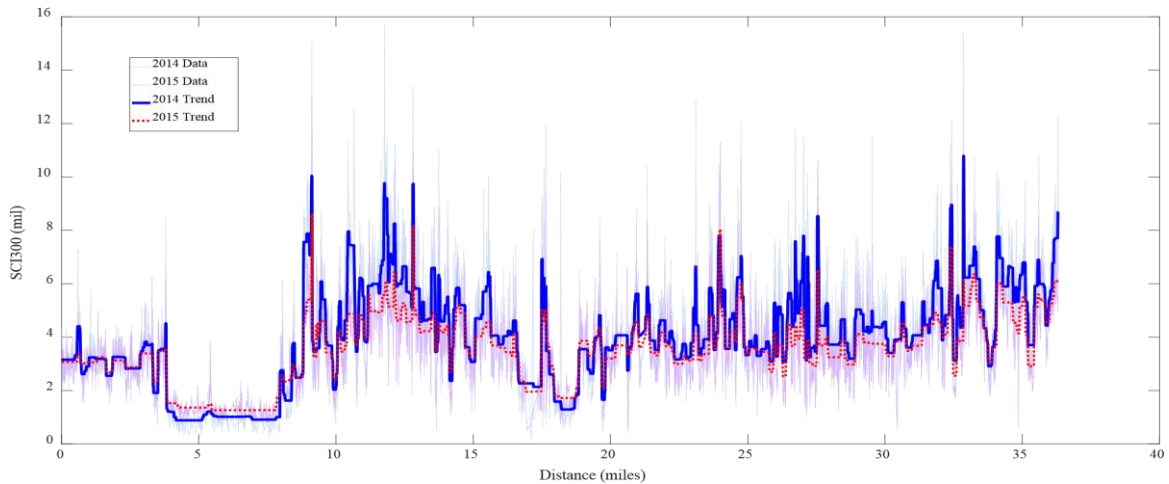


Figure 4 : Extrait de la répétabilité à long terme des essais (Etat de Pennsylvanie – Route 144)

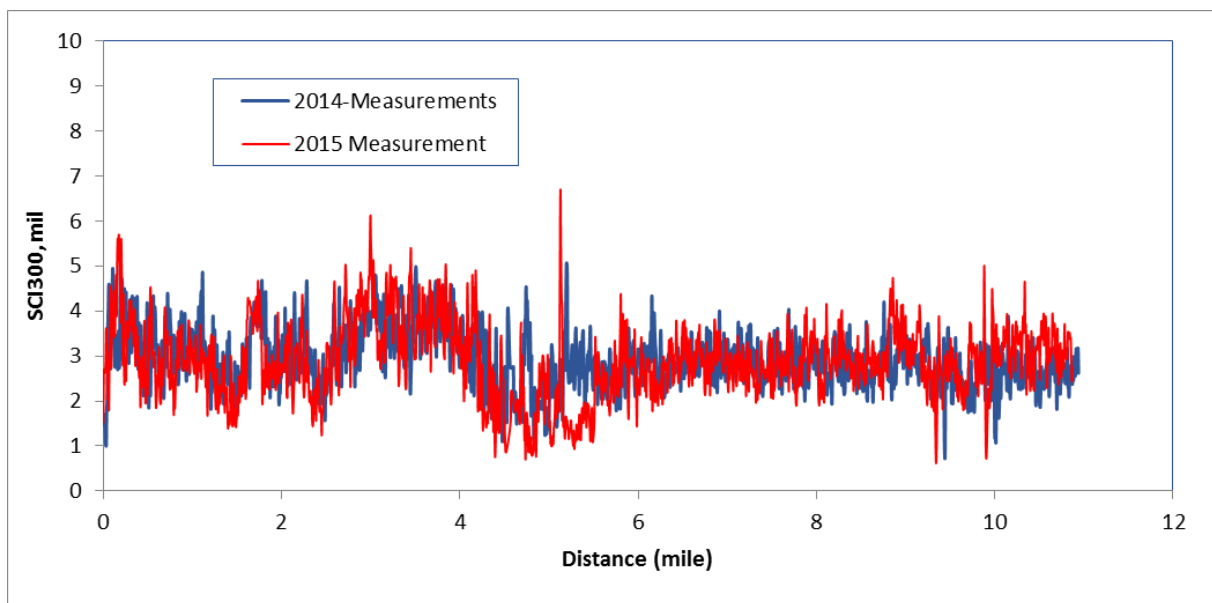


Figure 5 : Extrait de la répétabilité à long terme des essais (Etat d'Illinois)

#### 4.1.2 Expérience en Europe

A ce jour, comme précisé en introduction, cinq pays européens sont équipés du TSD et un pays le Raptor. Les pays concernés sont le Danemark (DRD, GE A/S), L'Italie (ANAS), la Pologne (IBDIM), l'Allemagne (BAST, Université de Wuppertal), l'Angleterre (TRL, Highways England).

Concernant le Raptor, il s'agit de la Suède.

Pour chacun de ses clients, l'utilisation principale consiste en un suivi de réseau et du contrôle de chantier.

Exemple de campagne réalisées :

**Exemple de l'Angleterre avec l'utilisation de leur TSD:**

<b>Campagne de 2005 à 2010</b>	
<b>Type de mesure</b>	<b>Nombre Approximatif de Km parcourus</b>
Continent Européen	350
Sections test TRL	1 300
Routes locales	10 400
Réseau routier Ecosais	800
Réseau Routier et Autorou-tier Anglais	8 200
<b>Total</b>	<b>21 050</b>

Figure 6 : Campagnes réalisées avec le TSD en Angleterre

<b>Site</b>	<b>Longueur Totale</b>	<b>Capteurs</b>	<b>Ecart type de Répétabilité (mm/m)</b>		
			<b>Longueur moyenne</b>		
			<b>10 m</b>	<b>100 m</b>	<b>160.9 m</b>
Piste TRL	291 m	P100	0.071	0.046	0.040
		P300	0.053	0.038	0.034
Site A An-gleterre	1,080 m	P100	0.037	0.012	0.010
		P300	0.037	0.013	0.011
Site B An-gleterre	3,871 m	P100	0.054	0.025	0.023
		P300	0.071	0.052	0.051

Figure 7: Répétabilité du TSD sur cinq passages

**Exemple en Belgique** (ref : Présentation JTR 2019 Carl Van Geem CRR Belgique) :

Un essai comparatif a été réalisé en 2018, avec l'utilisation de 4 appareils différents, le FWD, Le Curviamètre, le TSD et le RAPTOR.

Sur cette étude, plusieurs objectifs ont été définis mais globalement, un intérêt d'utilisation à une échelle réseau.

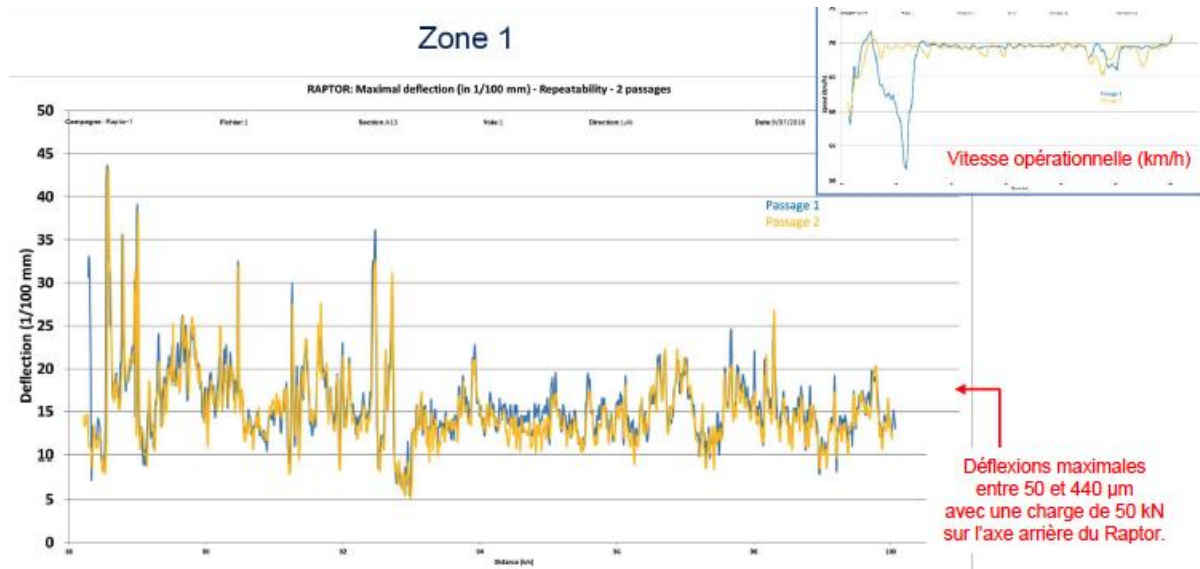


Figure 8 : Répétabilité des essais au Raptor suite à 3 passages

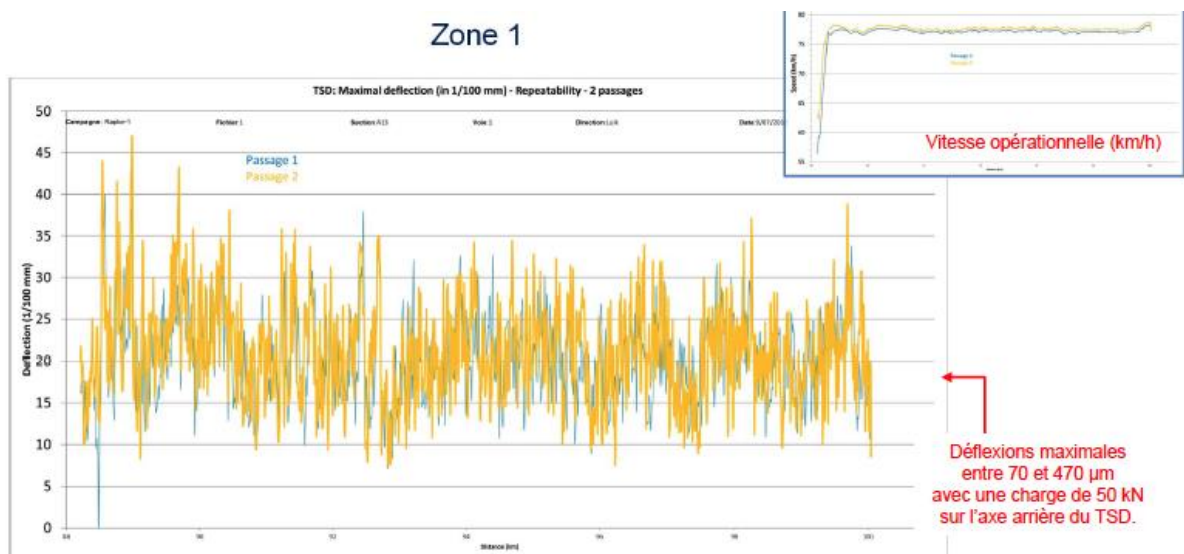


Figure 9: Répétabilité des essais avec l'appareil TSD suite à 3 passages.

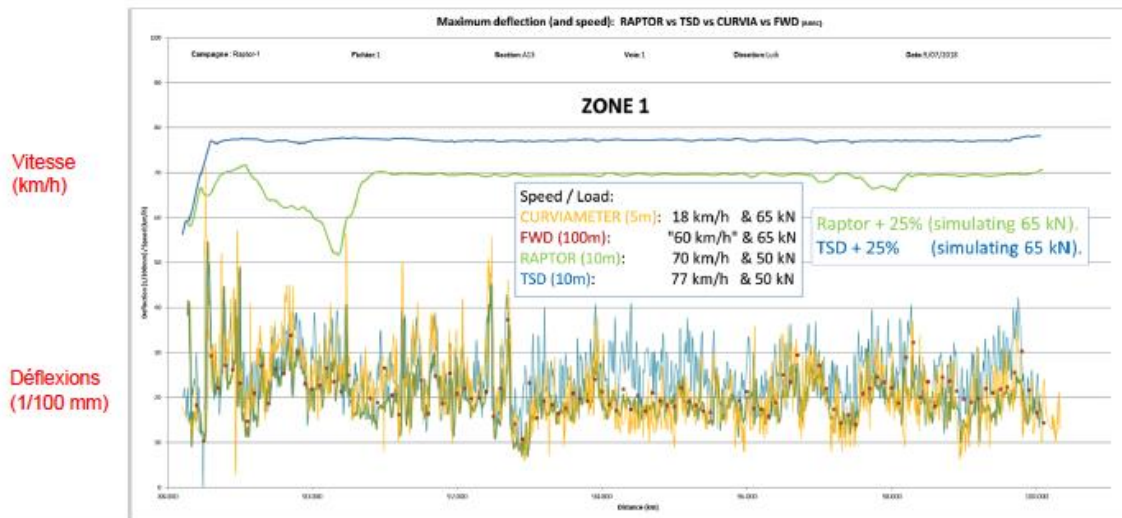


Figure 10 : Comparisons des déflexions maximales des 4 différents appareils utilisés (Curviamètre, FWD, Raptor, TSD)

### 4.1.3 Expérience en France

Des campagnes d'essais avec le Raptor ont été réalisées en Alsace et sur le réseau de l'A28 exploité par la société ALiS à des fins de comparaison. Un aperçu du comparatif des résultats Raptor vs déflectographe Flash pour la section de route nationale en Alsace est fournie ci-dessous. Sur l'Autoroute A28 il s'agit d'une comparaison avec une campagne de mesures au Curviamètre. Concernant l'A28, il s'agit d'éléments qui nous ont été fournis dans le cadre de l'étude afin de réaliser un comparatif de valeurs.

Résultats comparatifs provenant du CEREMA de Strasbourg :

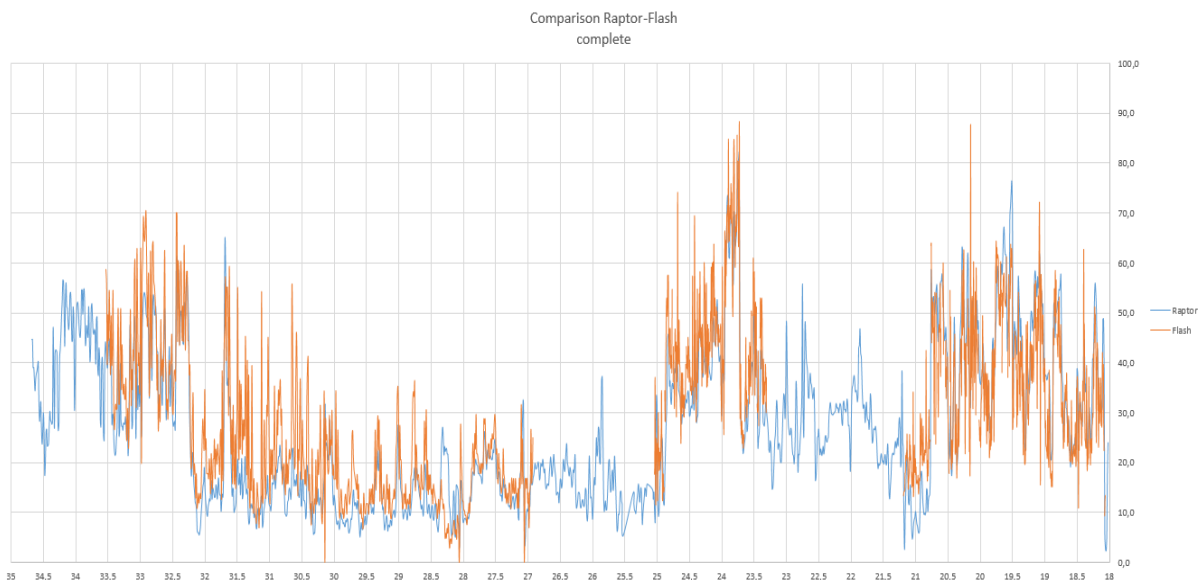


Figure 11: Comparaison des valeurs Défectographe - Raptor

Section A28 :

- Mesure au Curviamètre dans le sens 1 du PK 248+0 au PK 284+535
- Mesure au Curviamètre dans le sens 2 du PK 284+535 au PK 248+0
- Mesure avec le Raptor (52KN) sens 1 du PK 271+320 au PK 284+630 (80Km/h)
- Mesure avec le Raptor (52KN) sens 2 du PK 284 +420 au PK 271+200 (80Km/h)

- Mesure avec le Raptor (52KN) sens 1 du PK 271+290 au PK 284+610 (60Km/h)
- Mesure avec le Raptor (52KN) sens 2 du PK 284 +410 au PK 271+200 (60Km/h)

Pour l'analyse de ces résultats, la comparaison a été faite avec une déflexion dans les deux cas qui a été ramenée à une température de 15°C.

**A28- Sens 1**

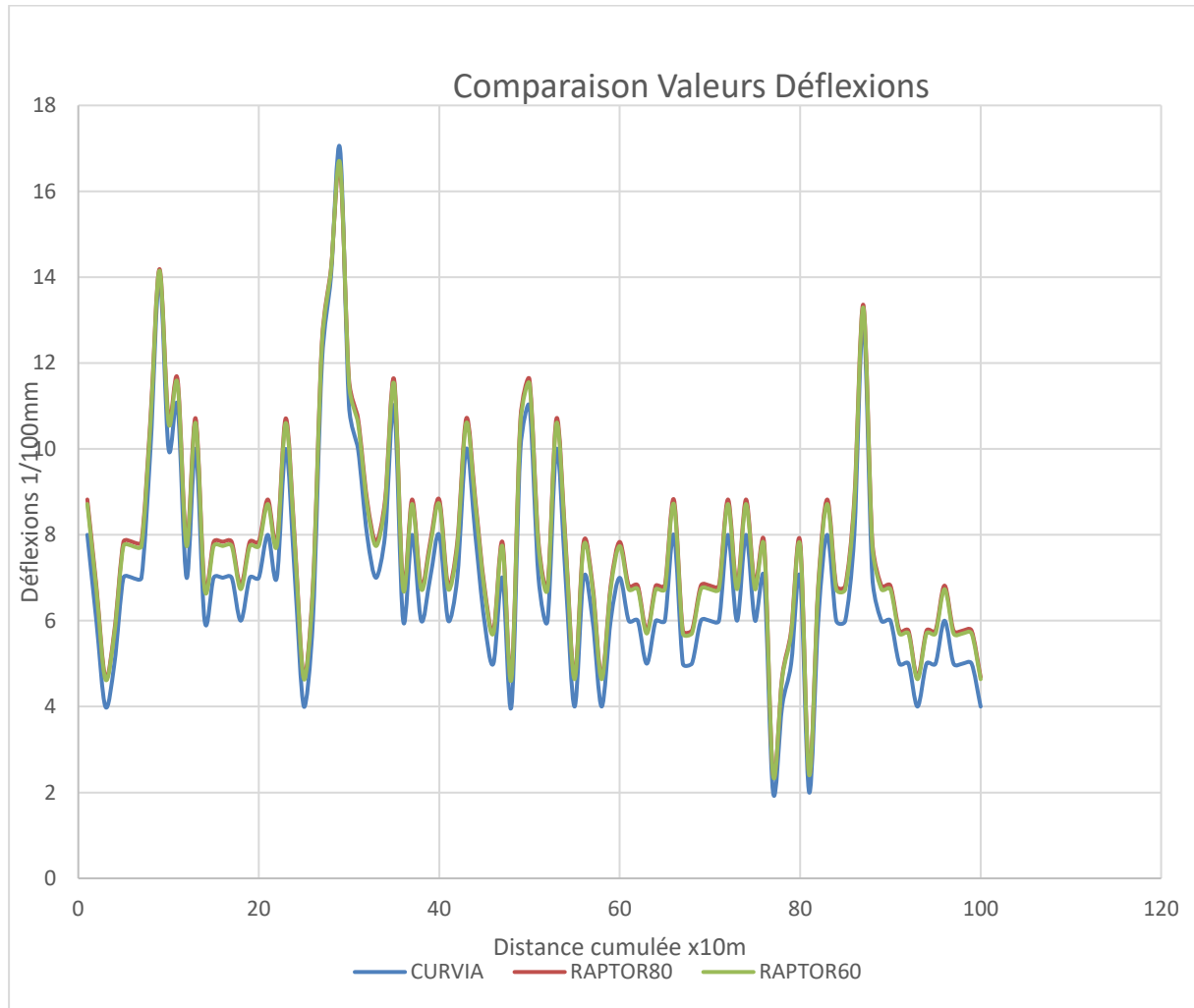


Figure 12: Comparaison valeurs Déflexions Curviamètre – Raptor 1000m

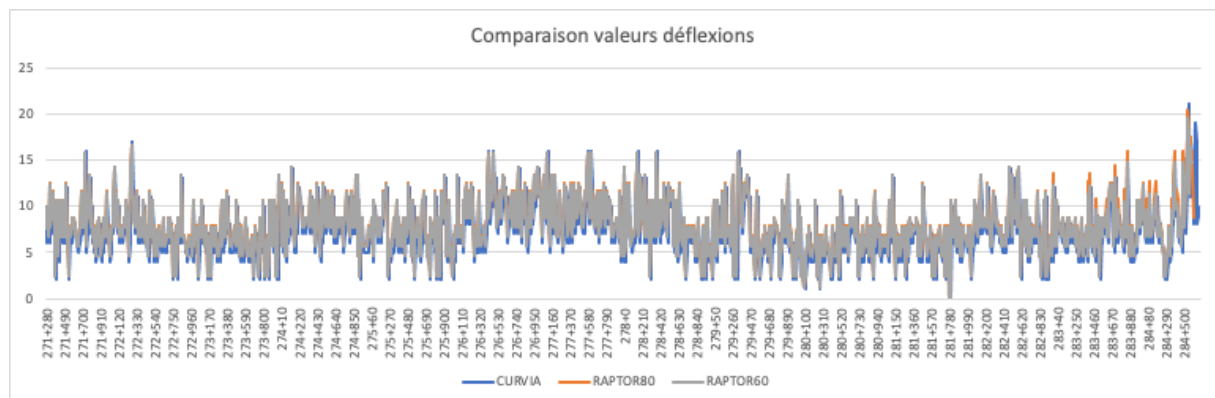


Figure 13 : Ensemble du linéaire comparatif – Sens 1

Dans le cas de la comparaison des valeurs du km 271+320 jusqu'au km 284+630.

Voici ci-dessous quelques valeurs statistiques (1/100 ème de mm) :

- Moyenne des différences :
  - **0,747**
- Ecart type
  - **0,12**
- Erreur quadratique moyenne:
  - **0,60**

Les valeurs suivent la même tendance. Nous avons donc pondéré de 0,75 les valeurs du Raptor :

Si une pondération + 0,75 est affecté aux valeurs du Raptor (1/100 ème de mm):

- Erreur quadratique moyenne:
  - **0,04**
- Moyenne des différences
  - **0,0025**
- Ecart type
  - **0,12**

**A28- Sens 2**

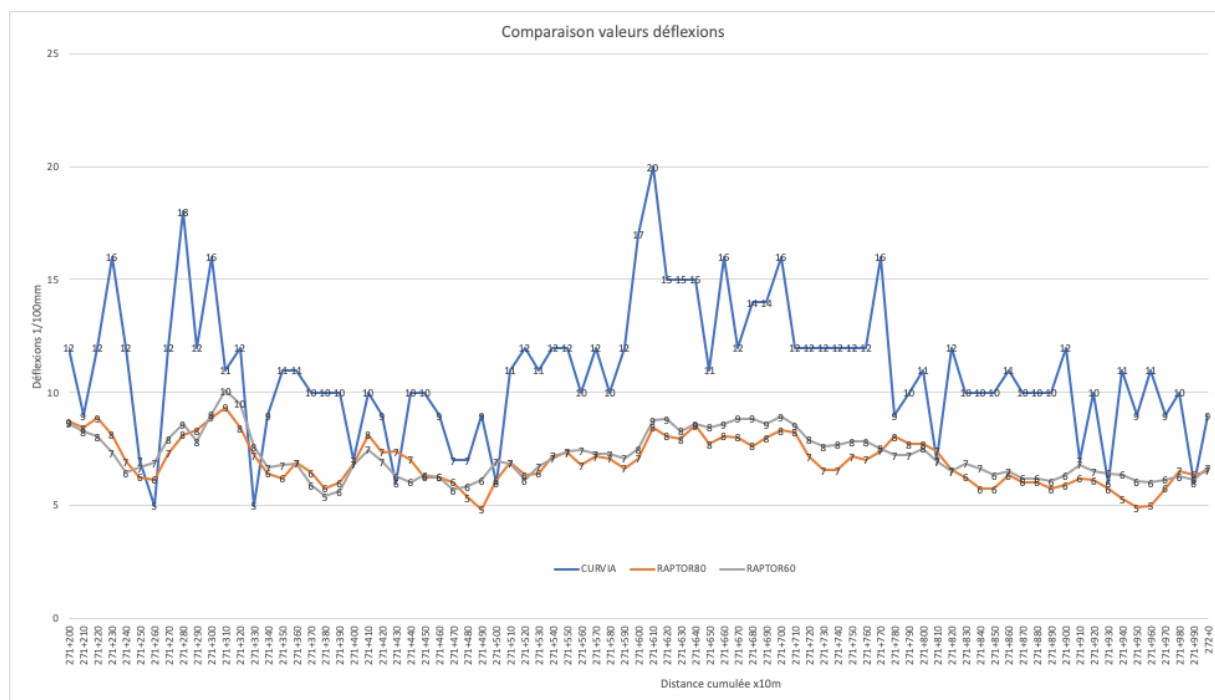


Figure 14 : Comparaison valeurs Déflexions Curviamètre- Raptor – PK271+200 au PK 272+000



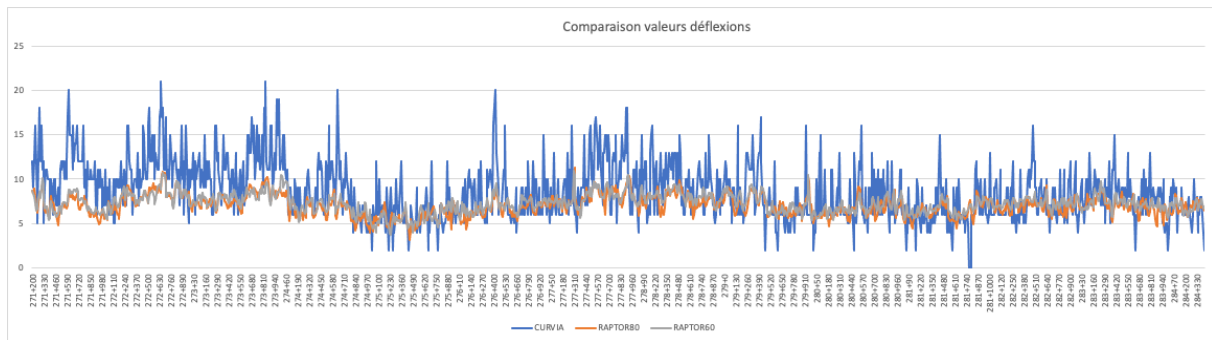


Figure 15 : Ensemble du linéaire comparatif – Sens 2

Dans le cas de la comparaison des valeurs du km 271+320 jusqu'au km 284+420.

Voici ci-dessous quelques valeurs statistiques (1/100 ème de mm):

- Moyenne des différences Curviamètre/Raptor 80Km/h:  
**1,56**
- Ecart type  
**2,29**
- Moyenne des différences Curviamètre/Raptor 60Km/h :  
**1,33**
- Ecart Ttype  
**2,31**

Globalement, dans les deux cas les résultats suivent la même tendance sauf pour la section dans le Sens 2 de l'autoroute A28. Ne disposant pas des conditions de mesures et des structures de chaussée, une analyse plus précise n'a pu être réalisée.

## 4.2 Indicateurs structurels

À la suite des différents essais réalisés, des indicateurs structurels ont pu être établis. Ces indicateurs étant à l'échelle de réseaux routiers, permettent d'avoir des informations sur l'évolution des conditions structurelles de la chaussée et restent des indicateurs de suivi.

Un des indices est notamment le SCI (Surface Curvature Index). Il s'agit d'une méthodologie pour convertir les déflexions d'une chaussée au niveau du réseau, en un indice basé sur le nombre structurel effectif de la chaussée, communément appelé aux États-Unis le SN (Structural Number).

Vous trouverez ci-dessous une liste d'indicateurs qui peuvent être donnés à partir de résultats de déflexions :

Indice	Formule	Paramètres	Unité
Indice de Courbure de Surface (SCI)	$SCI_r = D_0 - D_r$	D0 = Déflexion à 0 pouces de la charge Dr = Déflexion à r pouces de la charge	mil
Indice de pente de déflexion (DSI)	$DSI_{r_0-r} = D_{r_0} - D_r$	Dr0 = Déflexion à r0 pouces de la charge Dr = Déflexion à r pouces de la charge	mil
Pente Tangente (TS)	$TS_r = \frac{dD}{dr}$	dD = Différence des déflexions dr = Différence en distance	mil/pouces
Rayon de courbure (R1)	$R1_r = \frac{r^2}{[2D_0(1 - D_r/D_0)]}$	r = Distance de la charge D0 = Déflexion sous la charge Dr = Déflexion à une distance r de la charge	pouces
Rayon de courbure (R2)	$R2_r = \frac{r^2}{[2D_0(D_0/D_r - 1)]}$	r = C6 D0 = Déflexion sous la charge Dr = Déflexion à une distance r de la charge	pouces
Zone du bassin de déflexions (A)	$A = 6[1 + 2\left(\frac{D_{12}}{D_0}\right) + 2\left(\frac{D_{24}}{D_0}\right) + \frac{D_{36}}{D_0}]$	Dr = Déflexion à r pouces de la charge	-
Shape Factor F1	$F_1 = \frac{D_0 - D_{24}}{D_{12}}$	Dr = Déflexion à r pouces de la charge	-
Facteur de forme F2	$F_2 = \frac{D_{12} - D_{36}}{D_{24}}$	Dr = Déflexion à r pouces de la charge	-
Indicateur de courbure de base (BCI)	$BCI = D_{24} - D_{36}$	Dr = Déflexion à r pouces de la charge	mil
Indice de dommages à la base (BDI)	$BDI = D_{12} - D_{24}$	Dr = Déflexion à r pouces de la charge	mil
Pente des déflexions (SD)	$SD_r = \frac{\tan^{-1}(D_0 - D_r)}{r}$	Dr = Déflexion à r pouces de la charge	-
Profil de zone sous chaussée (AUPP)	$AUPP = \frac{5D_0 - 2D_{12} - 2D_{24} - D_{36}}{2}$	Dr = Déflexion à r pouces de la charge r = Distance de la charge	mil

Également, la contrainte de traction à la base de l'enrobé peut être évaluée à partir des indicateurs SCI30 et DSI selon l'équation ci-dessous développée par le professeur Gonzalo R. Rada

$$\varepsilon = a(\text{DSI})b$$

$$\varepsilon = a'(\text{SCI300})b'$$

Avec comme paramètres :

Pour Rappel (1pouce= 2,54 cm)

Épaisseurs des couches bitumineuses	Paramètres	
	<i>a</i>	<i>b</i>
3-4 pouces	66.96	0.9351
4-5 pouces	62.567	1.0174
5-6 pouces	64.660	1.0379
6-7 pouces	71.646	1.0005
7-8 pouces	74.381	0.9757
8-9 pouces	76.458	0.9427
9-10 pouces	77.802	0.9107
10-11 pouces	77.868	0.8674
11-12 pouces	76.861	0.8395
12-13 pouces	75.154	0.8149
13-14 pouces	72.194	0.778
14-15 pouces	70.196	0.7824
15-16 pouces	66.402	0.7525
3-6 pouces (Mince)	69.100	0.9348
6-9 pouces (Moyen)	75.100	0.9532
9-16 pouces (Épais)	75.170	0.8579

Épaisseurs des couches bitumineuses	Paramètres	
	<i>a'</i>	<i>b'</i>
3-4 pouces	52.438	0.9620
4-5 pouces	50.814	1.0200
5-6 pouces	53.725	1.0240
6-7 pouces	59.704	0.9870
7-8 pouces	62.539	0.9520
8-9 pouces	64.595	0.9120
9-10 pouces	65.645	0.8820
10-11 pouces	65.656	0.8373
11-12 pouces	64.639	0.8103
12-13 pouces	63.058	0.7895
13-14 pouces	60.592	0.7479
14-15 pouces	58.494	0.7594
15-16 pouces	55.386	0.7285
3-6 pouces (Mince)	57.818	0.9270
6-9 pouces (Moyen)	63.202	0.9350
9-16 pouces (Épais)	62.538	0.8412

## 5 Différentes Conclusion

### 5.1.1 Générales

Sur la base des informations recueillies et de la comparaison des essais réalisés par des appareils de mesures de déflexions à grand rendement avec d'autres appareils, il convient de dire que ces appareils ont su démontrer l'applicabilité sur des réseaux routiers. L'utilisation étant d'ailleurs plus pertinente sur l'échelle d'un réseau routier plutôt qu'un projet. De par les années, ces appareils sont utilisés de manière récurrente pour le suivi des réseaux routiers dans certains pays comme les États Unis, l'Australie....

L'avantage premier est le diagnostic à une vitesse similaire à la vitesse réelle du trafic routier, évitant ainsi des mesures de protection et de sécurité pour le véhicule de mesure, facteur très important pour la sécurité routière.

L'étendue des informations provenant des mesures de TSD est suffisamment grande. Il comprend toutes les autres données d'entrée importantes utilisées pour l'évaluation standard de la capacité portante des chaussées.

### 5.1.2 Mesures

Du point de vue des mesures, il est important de noter qu'il y a une différence sur le nombre de mesures en comparaison à d'autres appareils de référence comme le curviamètre par exemple. En effet, le TSD et le RAPTOR réalise des mesures tous les 10 m contrairement au curviamètre qui réalise des essais tous les 5m.

Également, on se rend compte que la charge appliquée pour la mesure n'est pas la même selon les appareils et différentes par rapport à la charge standard. 40kN soit 4 tonnes par demi-essieu) pour le Raptor, 50KN (5 tonnes par demi-essieu) pour le TSD contrairement au 6,5 tonnes par demi-essieu de chargement standard.

Ces différences amènent un questionnement quant à la limite des outils sur différents types de structure. En particulier la réponse de ce type d'appareils sur le réseau routier français à fort trafic, réputé plus rigide que les réseaux routiers sur lesquels il est utilisé usuellement en production (Australie, Pologne, Angleterre). Il n'y a pas d'études approfondies sur ce sujet, ce qui fait partie des points traités dans le projet de la tranche 4.

Il y a différents autres facteurs d'influence qui sont à prendre en compte dans les conditions de mesures comme cités dessous.

### 5.1.3 Répétabilité

Les résultats des tests ont montré une bonne répétabilité du TSD et du Raptor, car il a été constaté que les mesures répétées suivaient des tendances similaires.

Cependant, il pourrait encore y avoir des améliorations dans la répétabilité du TSD et du Raptor, en particulier en termes de correction de température des mesures du TSD et de la procédure d'étalonnage des dispositifs selon les sections.

Les mesures TSD se sont également avérées comparables aux mesures FWD dans la mesure où les mesures des deux appareils suivaient des tendances similaires.

La comparaison des mesures du TSD avec des données sur l'état de surface d'un PMS, Pavement Management System (Système de Gestion des Chaussées) a révélé, que le TSD a fourni des informations précieuses sur l'état structurel des sections de chaussée testées, qui ne peuvent pas être dérivées de l'état de surface de la chaussée déjà disponible dans le cadre du PMS, Pavement Management System (Système de Gestion des Chaussées) d'une agence.

### 5.1.4 Reproductibilité

Les résultats des tests ont montré une bonne répétabilité à long terme TSD, il n'y a pas eu de campagne de reproductibilité encore réalisée et publiée concernant le RAPTOR du fait de son jeune âge. Il conviendra de noter que pour les essais avec un recalage en température a été réalisé pour effectuer la comparaison à long terme sur les différentes campagnes. Il conviendra d'approfondir les recherches sur ce point, notamment avec la variation des points cités dans le point ci-dessus.

## 6 Références

- Practical Models For Interpreting Traffic Speed Deflectometer Data - Setare Ghahri Saremi University of Texas at El Paso- 2018
- US Experience on Using TSD-based Structural Indices for Network-Level Pavement Management – EuroFWD - Gerardo W Flintsch, Virginia Tech, USA
- Demonstration of Network Level Pavement Structural Evaluation with Traffic Speed Deflectometer: Final Report - Virginia Tech Transportation Institute , Engineering & Software Consultants, Inc.
- Assessment of Continuous Pavement Deflection Measuring Technologies (2013) - Gerardo Flintsch, Brian Ferne, Brian Diefenderfer, Samer Katicha, James Bryce, Simon Nell, and Trenton Clark
- Raptor Presentation – Jack Larsen 2019
- Continuous measurements of road bearing capacity at 80 km : Karsten Jensen 2020
- Mesurer la déflexion des routes à la vitesse du trafic : une étude comparative – Présentation JTR 2019 Carl Van Geem CRR Belgique