L'exploitation
et la maintenance
des infrastructures

PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

IREX
Institut pour la recherche appliquée
et l'expérimentation en génie civil

Auscultation structurelle , Essais Croisés

Pascal TROTTIER – PAVEXPERT

Contributeurs : Benoit PICOUX - Laboratoire GC2D, Rémi TAUTOU - Université de Limoges , Alain HEBTING – CEREMA

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
Liberté
Égalité
Fraternité

Restitution publique des résultats
7 novembre 2023, ENTPE, Vaulx-en-Velin

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR

- Livrables sur les 4 tranches du projet:

- Tranche 1: Amélioration de l'interprétation des méthodes d'auscultation dans le cadre de l'établissement d'un diagnostic précis de la chaussée

  Auteurs : Benoit PICOUX - Laboratoire GC2D, Rémi TAUTOU - Université de Limoges

- Tranche 3: Mesures de Déflexions à grand rendement

  Auteur : Pascal TROTTIER – Pavexpert

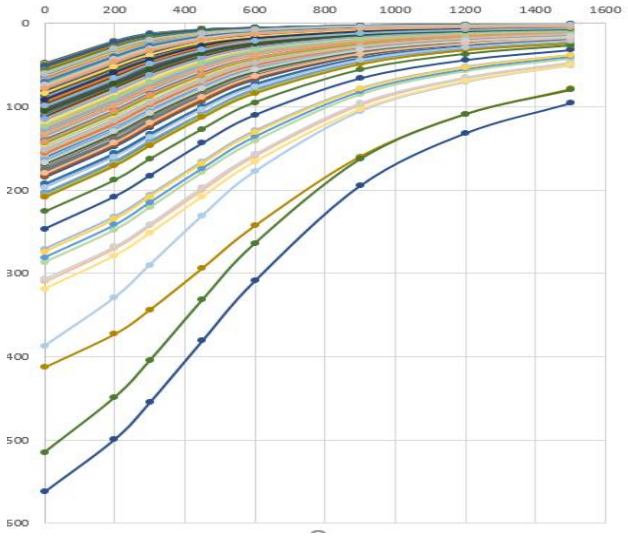
- Tranche 4: Essais croisés

  Auteurs : Alain HEBTING – Cerema, Pascal TROTTIER - Pavexpert

► Amélioration de l'interprétation des méthodes d'auscultation dans le cadre de l'établissement d'un diagnostic précis de la chaussée à partir de méthodes d'impact

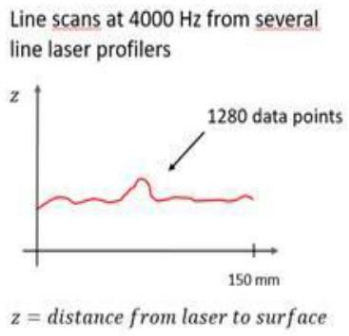
- Méthodologie existante en fonction des matériels (Dynaplaque , Déflectographe, FWD)
- Indicateurs structurels (SCI, rayon de courbure…)
- Etats des lieux des logiciels de calcul inverse
- Variables physiques et mécaniques
  - Température, Chargement, Teneur en eau, Epaisseur des couches, Interface, Viscoélasticité

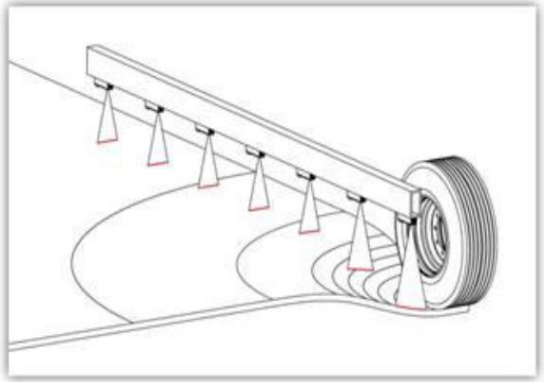
NOUVEAUX MATERIELS



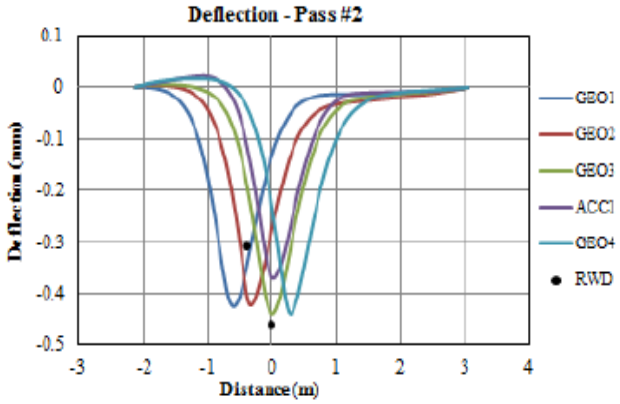
Principes de mesure de la déflexion utilisés

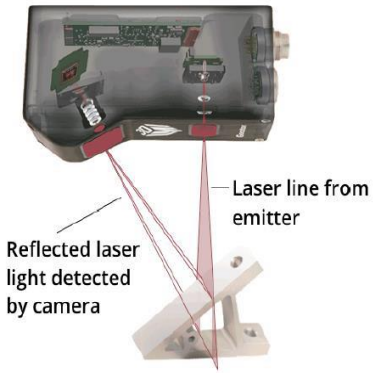
Raptor



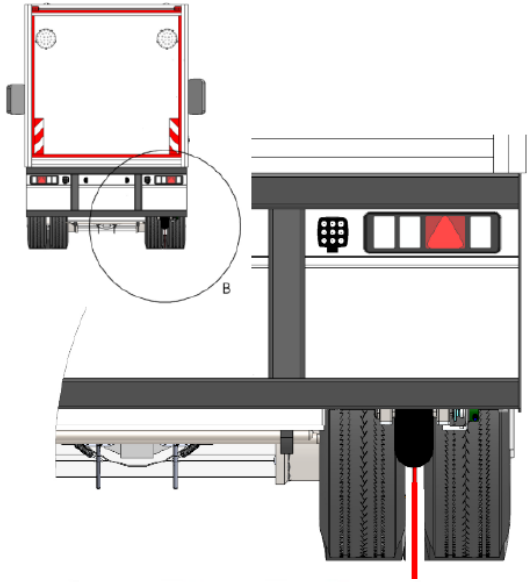


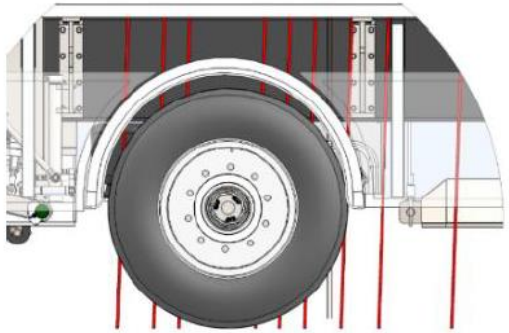
Raptor measuring setup. Laser line profilers scan a road surface deflected by a heavy wheel load.

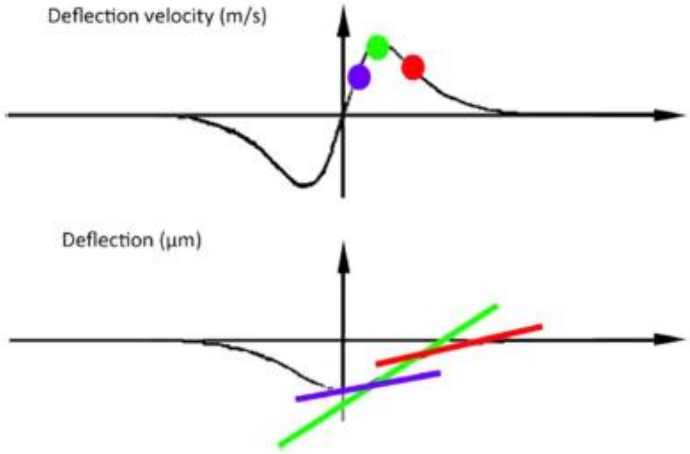


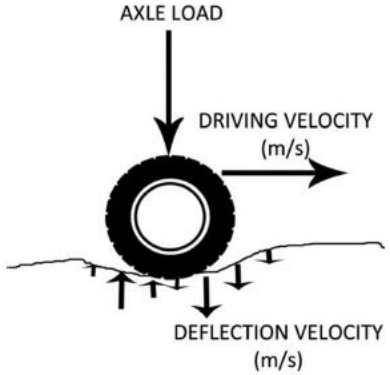


TSD

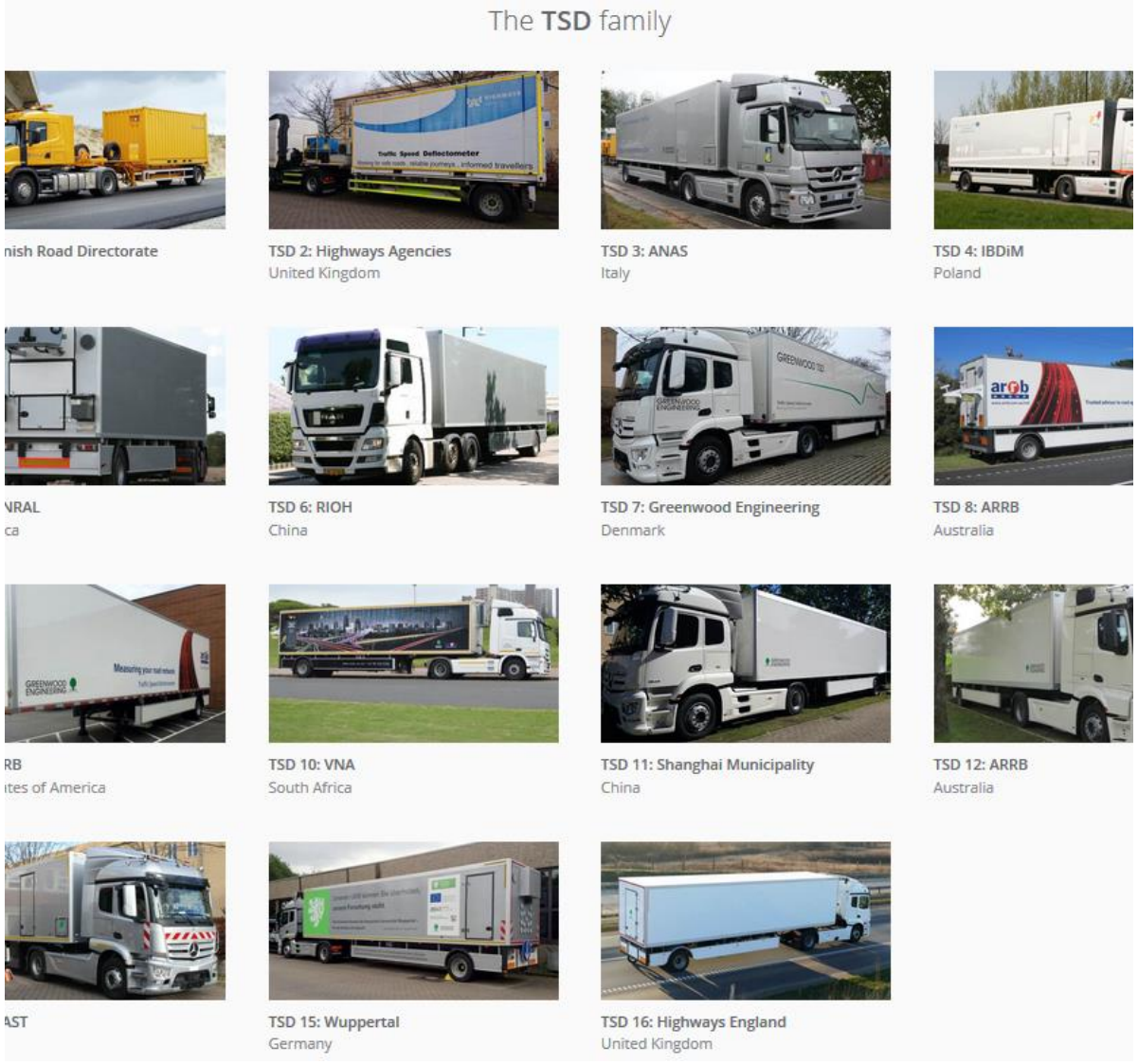






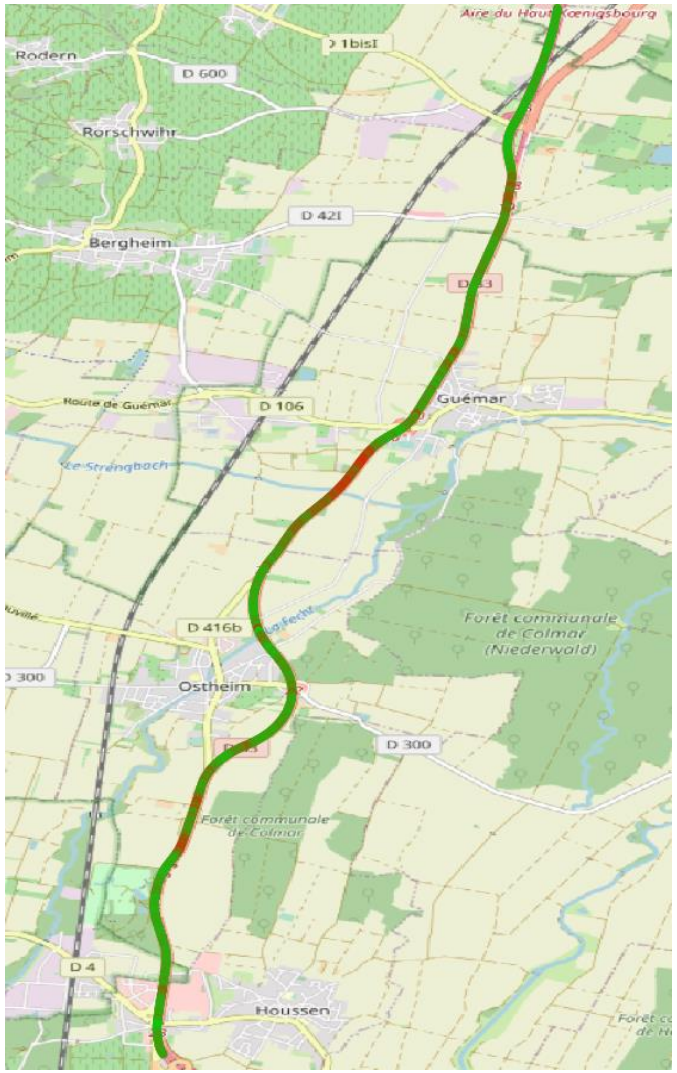


DES APPAREILS QUI EVOLUENT DANS LE TEMPS



Exemple: TSD 2 opéré par TRL en Angleterre	**Generation 1** - TSD 1 and TSD 2. Les deux sont toujours en opération - Construit sur un conteneur standard - Équipé de 4 lasers doppler localisé à l'avant sur l'essieu de chargement arrière.
Exemple: TSD 8 opéré par ARRB in Australia – équipé avec des lasers LCMS	**Generation 2** - TSD 3 - TSD 12. - Construit sur une remorque isolée - Equipé avec 7 lasers doppler localisés sur la ligne centrale entre les roues jumelées et à l'avant de l'essieu arrière.
Exemple: TSD 15 opéré par BASt en Allemagne– équipé avec un géoradar et un laser scanner Fraunhofer	**Generation 3** - TSD 14 – TSD 15 - Construit sur une remorque isolée. - 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
Exemple: TSD 16 opéré par TRL in UK – equipé avce des lasers doppler pour mesurer les déflexions sur les bandes de roulement droite et gauche.	**Generation 4** - TSD 7 + TSD 16 and newer. - Construit sur une remorque isolée. - 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.

QUELLES UTILISATIONS ?



- Mesure dans le flot du traffic, jusqu'à 80 km/h
  - Pas de gêne à l'usager
  - Pas de contrainte d'exploitation spécifique (mesure de jour, sans protection necessaire)
  - MAIS mesure par temps sec
- Gestion de réseau
  - Identification de zones faibles où concentrer les efforts de diagnostic précis
  - Priorisation de travaux
  - Suivi dans le temps
  - Estimation de la durée de vie résiduelle (moyennant l'utilisation d'un modèle)

► Indicateurs internationaux (calés sur le FWD)

Indice	Formule	Paramètres	Unité
Indice de Courbure de Surface (SCI)	$SCIr = D0 - Dr$	D0 = Déflexion à 0 pouces de la charge Dr = Déflexion à r pouces de la charge	mil
Indice de pente de déflexion (DSI)	$DSIr0\text{–}r = Dr0 - Dr$	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	-

Indice	Formule	Paramètres	Unité
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)	$BCI = D24 - D36$	Dr = Déflexion à r pouces de la charge	mil
Indice de dommages à la base (BDI)	$BDI = D12 - D24$	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

Evaluation de la contrainte de traction à la base de l'enrobé

$\varepsilon = a(DSI)b$ $\varepsilon = a'(SCI300)b'$ Rada (2016)

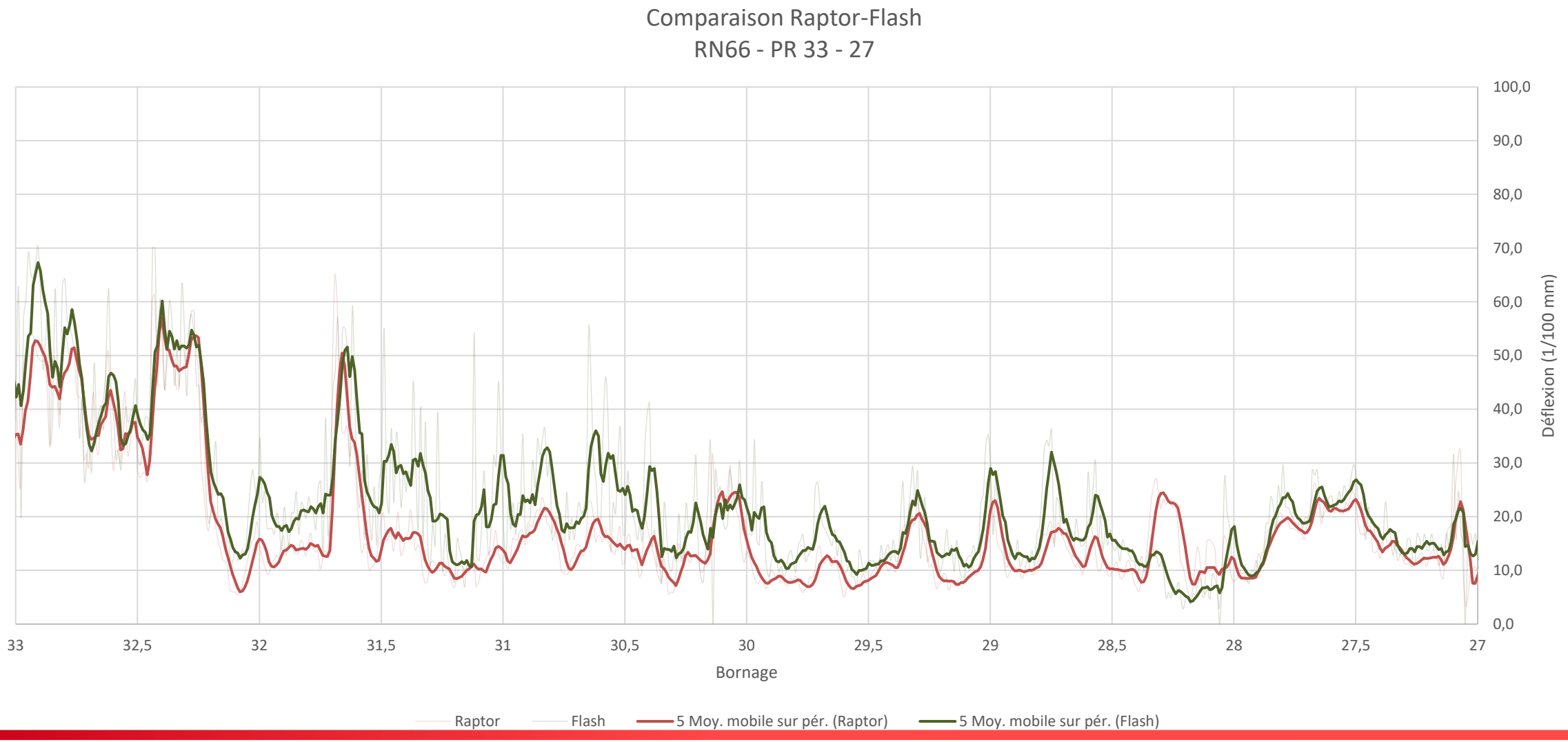
Avec comme paramètres

Pour Rappel (1pouce= 2,54 cm)

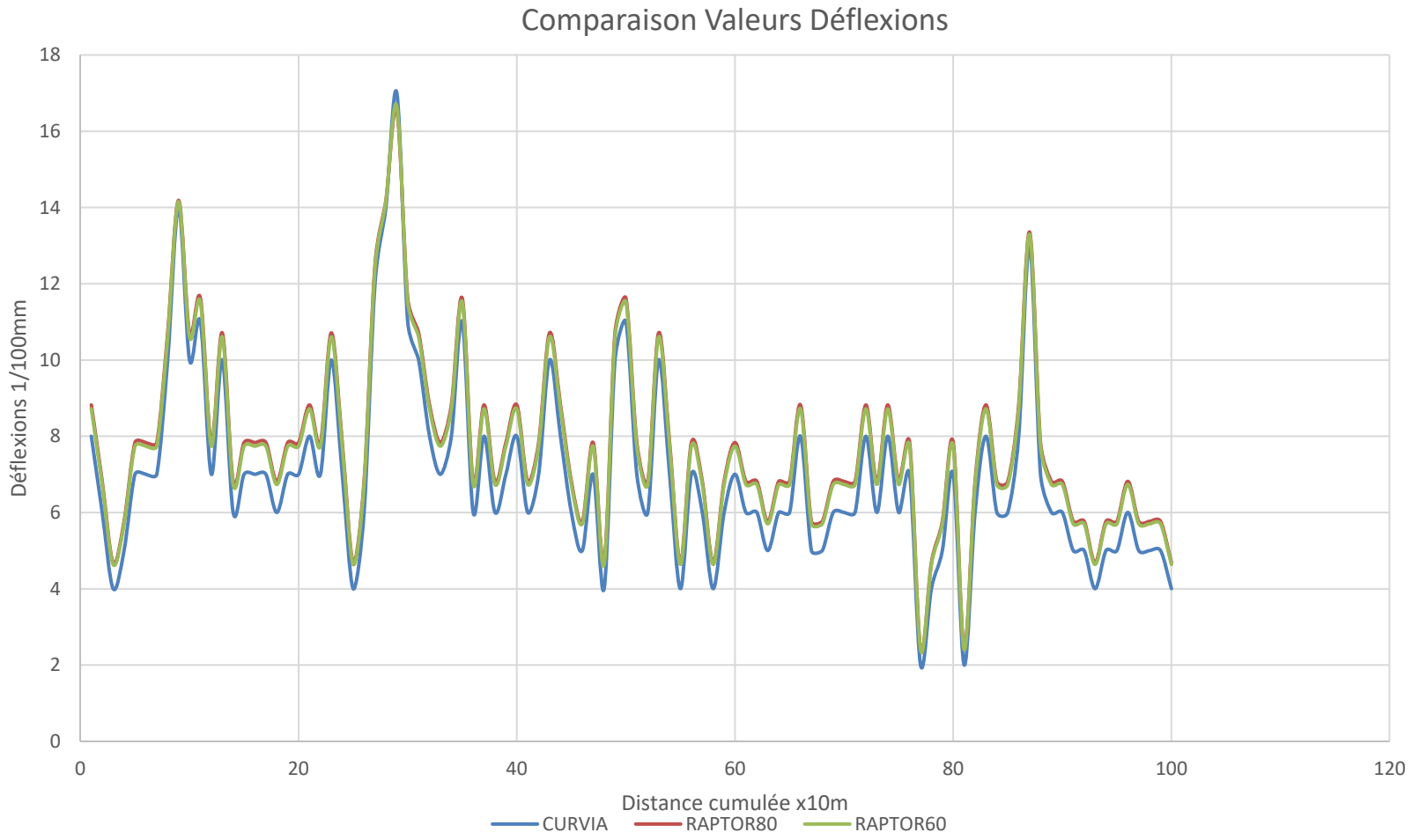
AC Layer Thickness	Parameter	
	a	b
3-4 inches	66.96	0.9351
4-5 inches	62.567	1.0174
5-6 inches	64.660	1.0379
6-7 inches	71.646	1.0005
7-8 inches	74.381	0.9757
8-9 inches	76.458	0.9427
9-10 inches	77.802	0.9107
10-11 inches	77.868	0.8674
11-12 inches	76.861	0.8395
12-13 inches	75.154	0.8149
13-14 inches	72.194	0.778
14-15 inches	70.196	0.7824
15-16 inches	66.402	0.7525
3-6 inches (Thin)	69.100	0.9348
6-9 inches (Medium)	75.100	0.9532
9-16 inches (Thick)	75.170	0.8579

AC Layer Thickness	Parameter	
	a'	b'
3-4 inches	52.438	0.9620
4-5 inches	50.814	1.0200
5-6 inches	53.725	1.0240
6-7 inches	59.704	0.9870
7-8 inches	62.539	0.9520
8-9 inches	64.595	0.9120
9-10 inches	65.645	0.8820
10-11 inches	65.656	0.8373
11-12 inches	64.639	0.8103
12-13 inches	63.058	0.7895
13-14 inches	60.592	0.7479
14-15 inches	58.494	0.7594
15-16 inches	55.386	0.7285
3-6 inches (Thin)	57.818	0.9270
6-9 inches (Medium)	63.202	0.9350
9-16 inches (Thick)	62.538	0.8412

ESSAIS COMPARATIFS

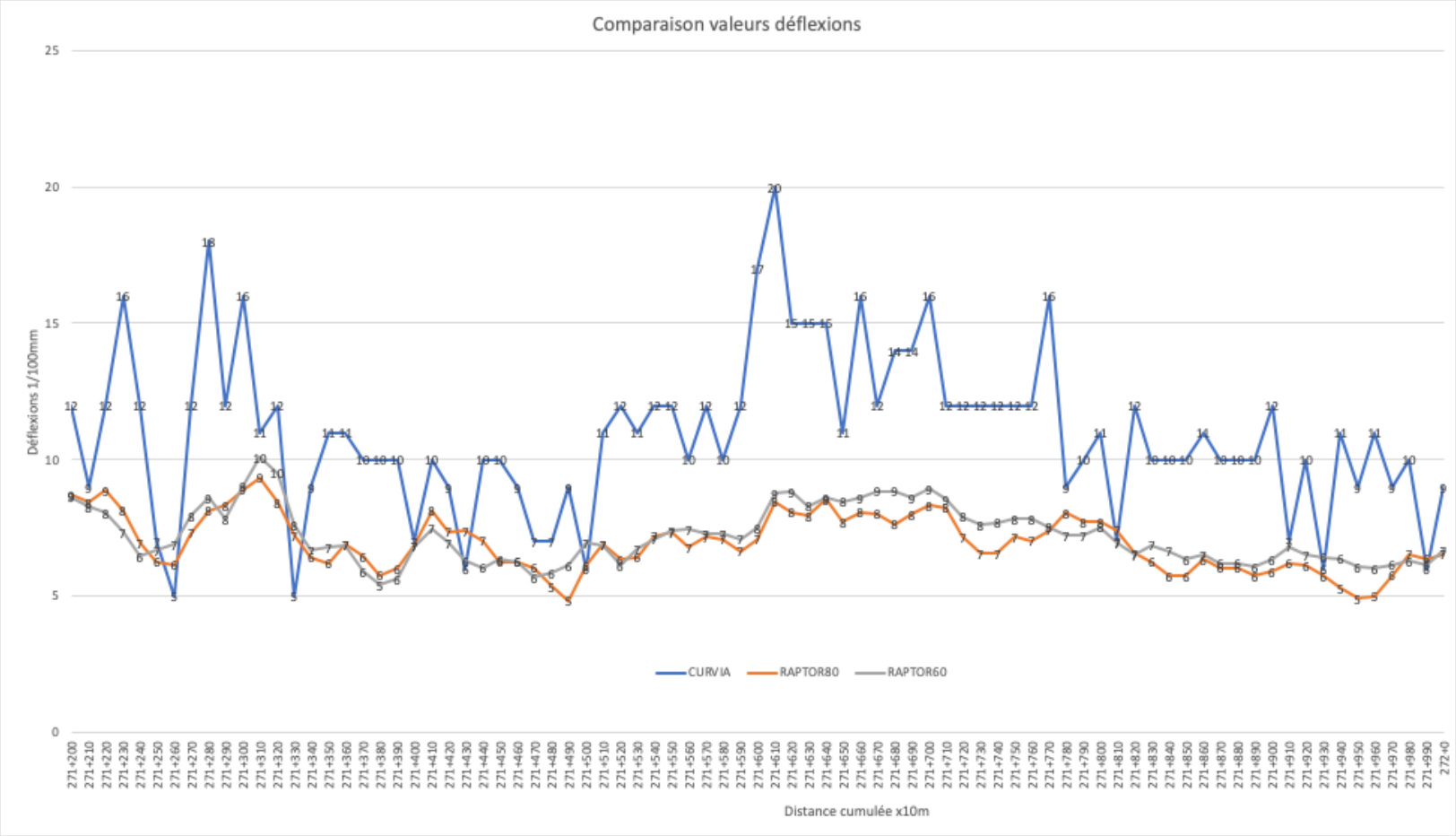


► Sens 1 – Structure bitumineuse épaisse



- Comparaison des valeurs sur 13 Kms- Sens 1
  - Moyenne des différences :
    - 0,747
  - Ecart type
    - 0,12
  - Erreur quadratique moyenne:
    - 0,60
- Si valeurs avec pondération + 0,75
  - Erreur quadratique moyenne:
    - 0,04
  - Moyenne des différences
    - 0,0025
  - Ecart type
    - 0,12

► Sens 2 - Structure bitumineuse épaisse



► Comparaison des valeurs sur 13 Kms- Sens 2

- Moyenne des différences Curviamètre/Raptor 80Km/h :
  - 1,56
- Ecart type
  - 2,29

- Moyenne des différences Curviamètre/Raptor 60Km/h :
  - 1,33
- Ecart type
  - 2,31

ESSAIS CROISES

Déflectographe Flash

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1er passage											
2ème passage											
3ème passage											
4ème passage											
5ème passage											
6ème passage											

TSDDs

FWD

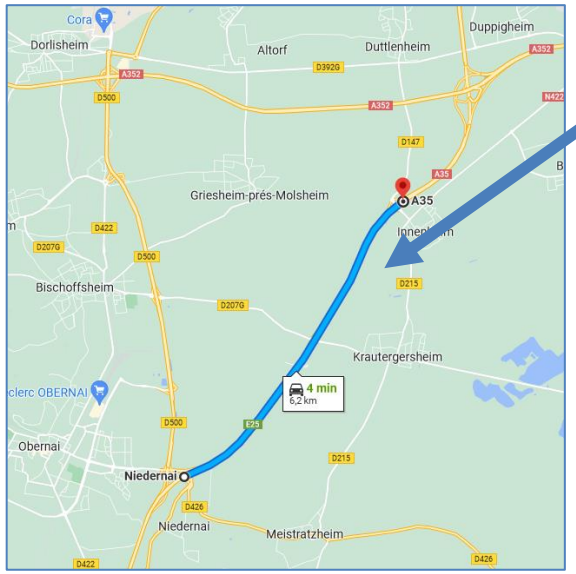
Aigle3D

CereMap3D

Radar3D

► Sections du projet DVDC

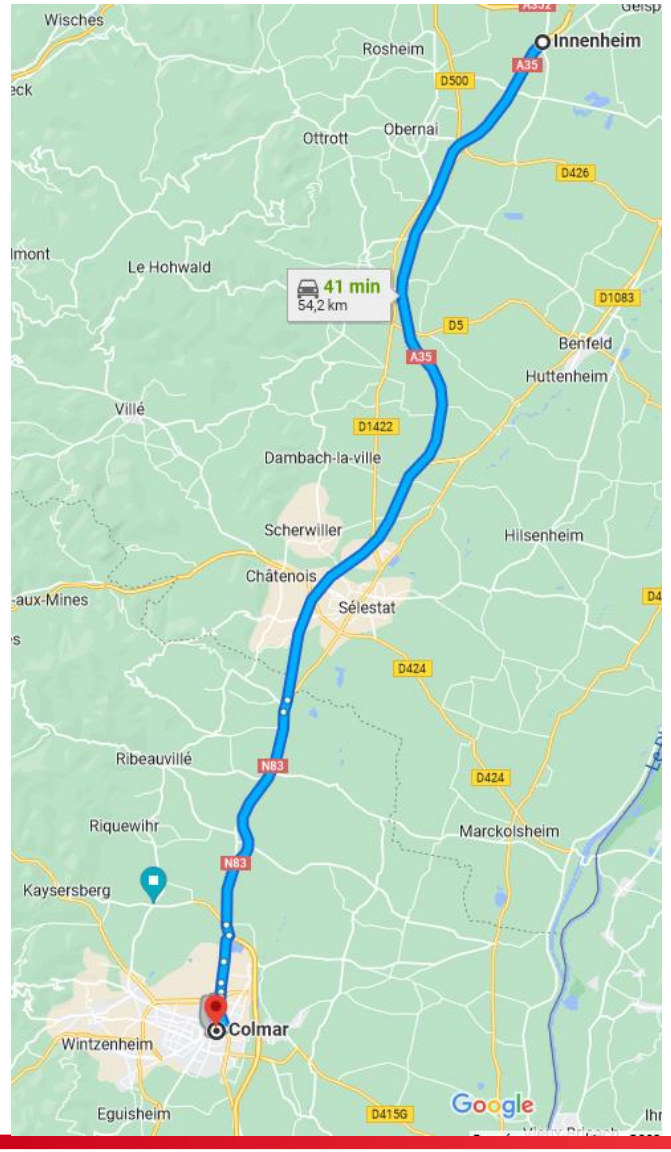
Section pour la répétabilité

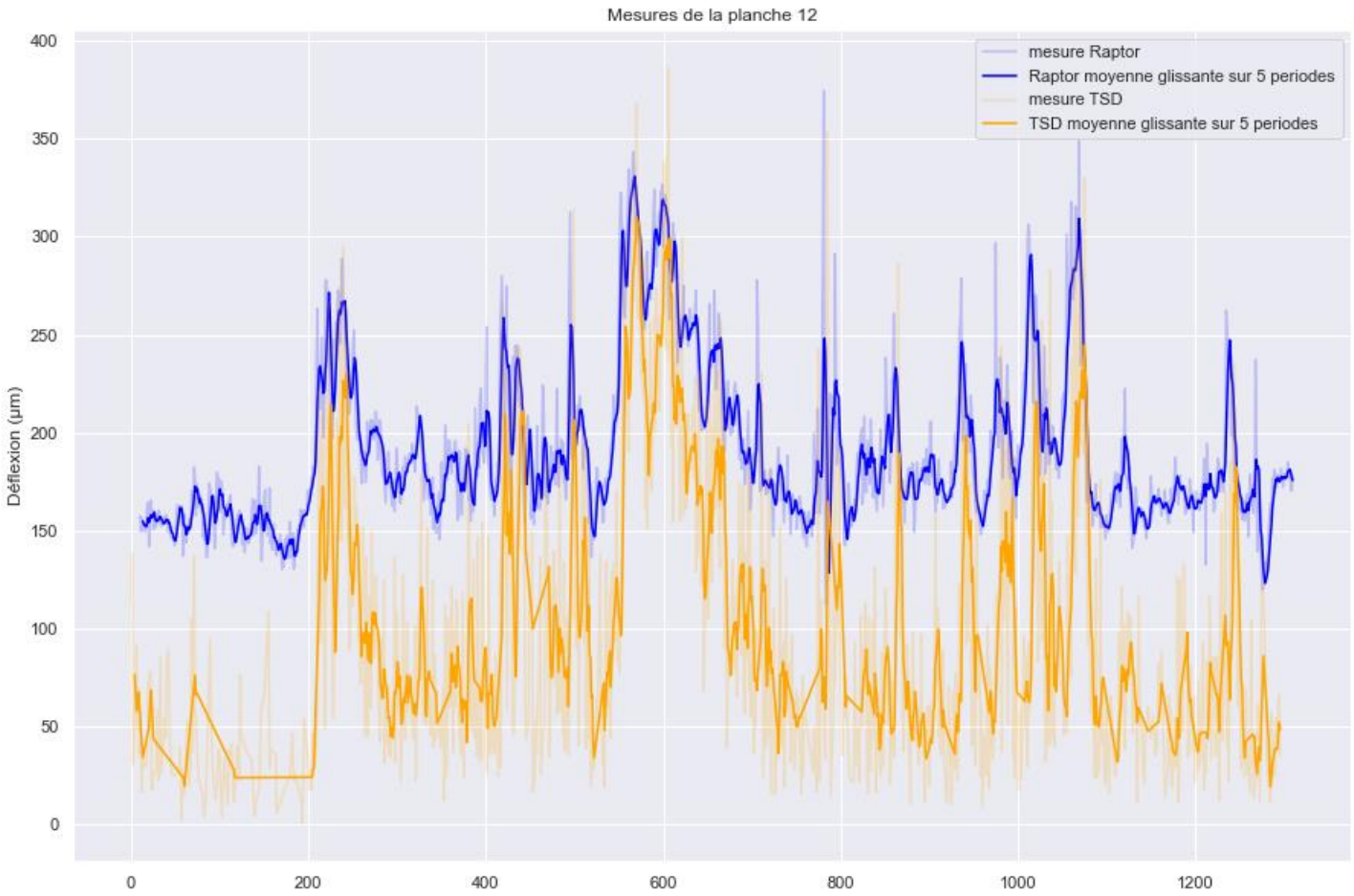


► Itinéraire complet (168 km)

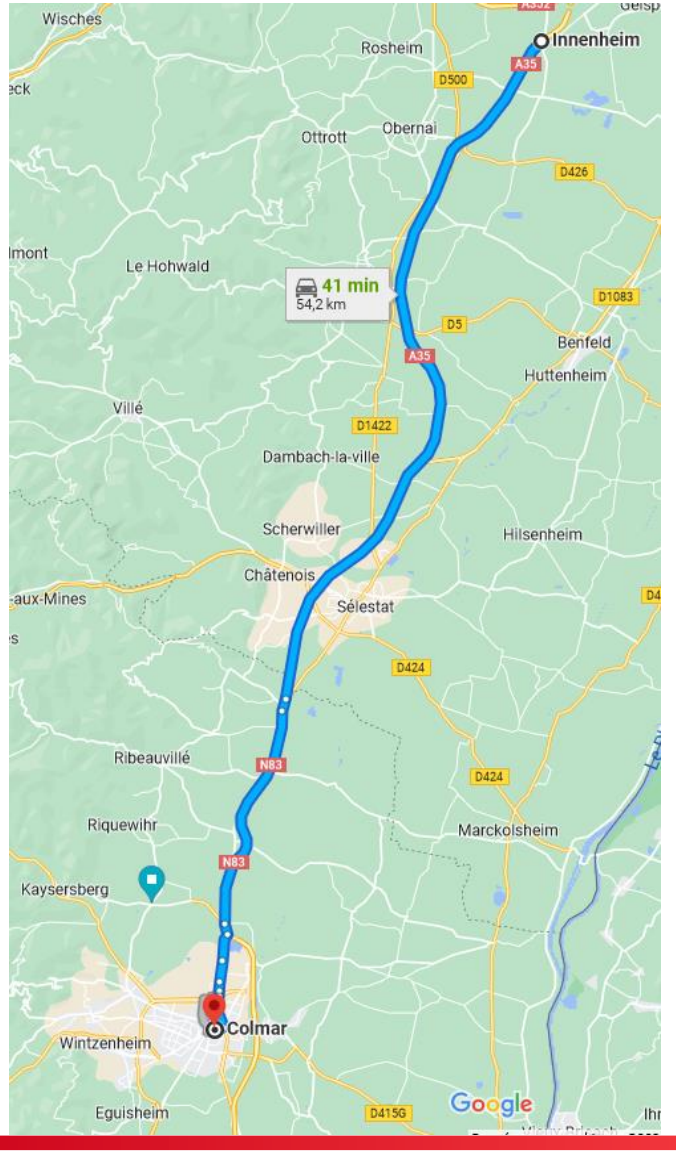
- ► **A35 :**
  - Bitumineux et hydraulique
- ► **RN83 :**
  - Bitumineux et hydraulique
- ► **RD422 :**
  - Souple
- ► **RD500 :**
  - Enrobé à module élevé
- ► **RD1422 :**
  - Renforcé par géogrille
- ► **RN4 :**
  - Route historique
- ► **A351 :**
  - Bitumineux neuf

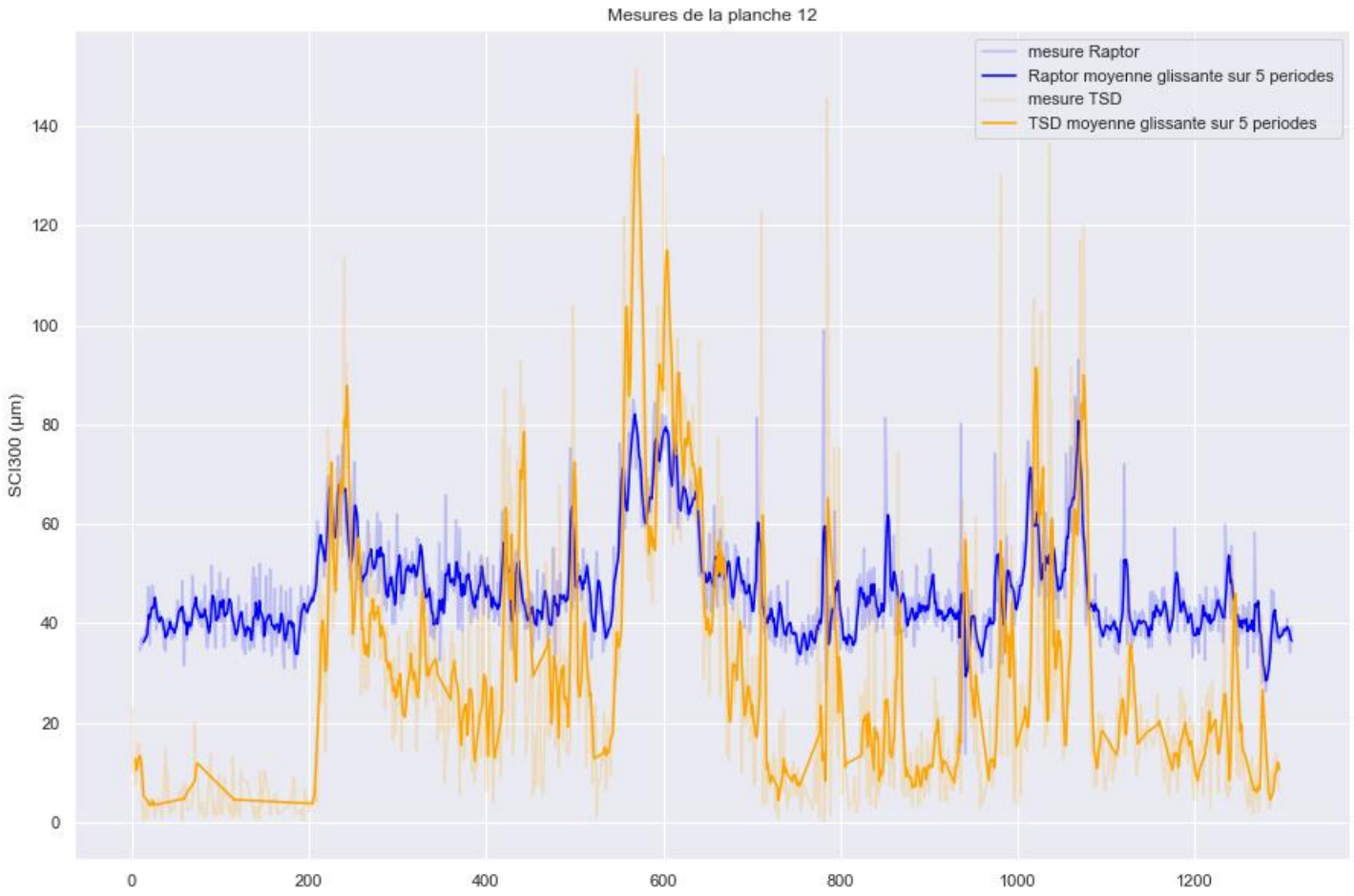
RÉSULTATS DÉFLEXIONS – SECTION 12



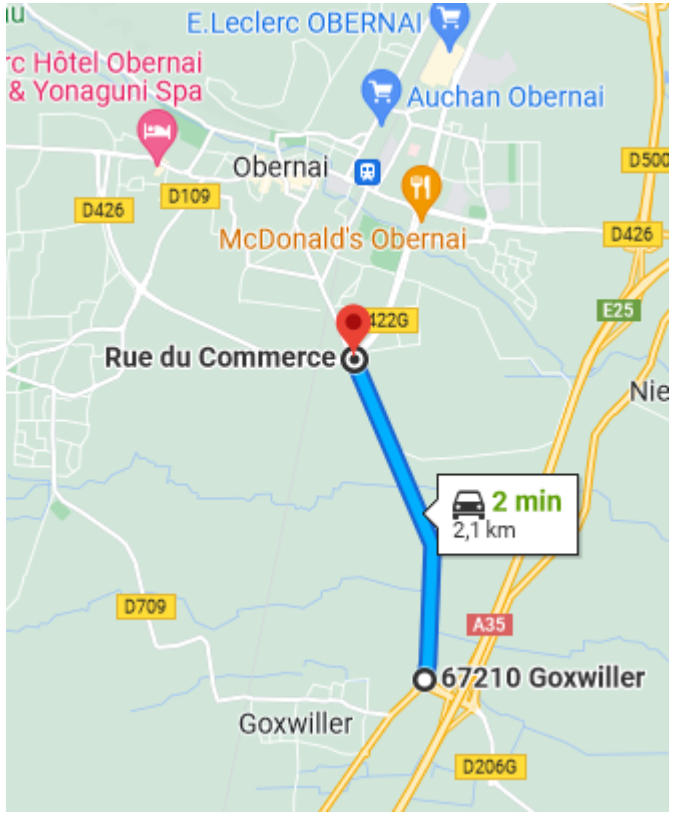


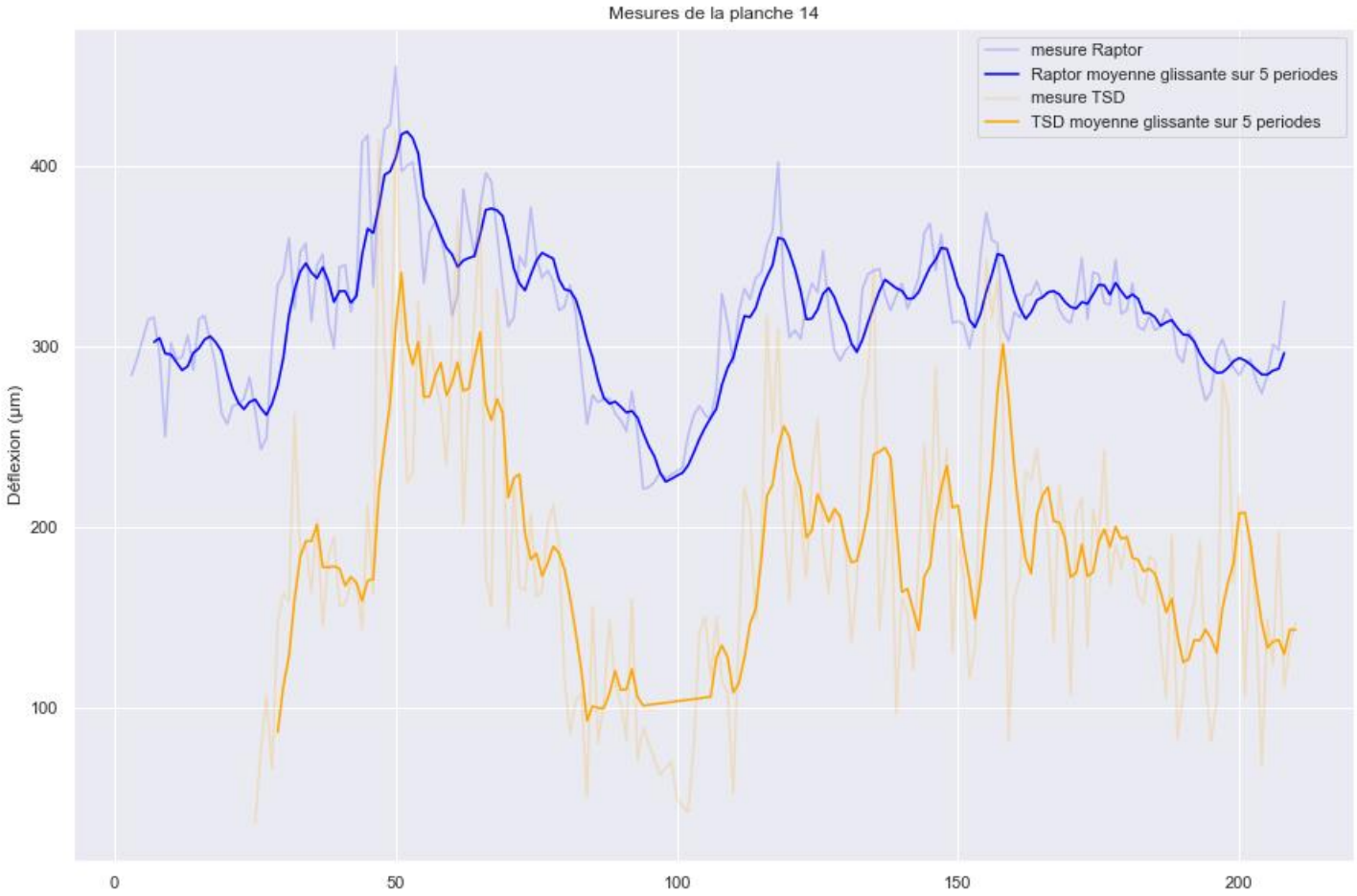
RÉSULTATS SCI300 – SECTION 12



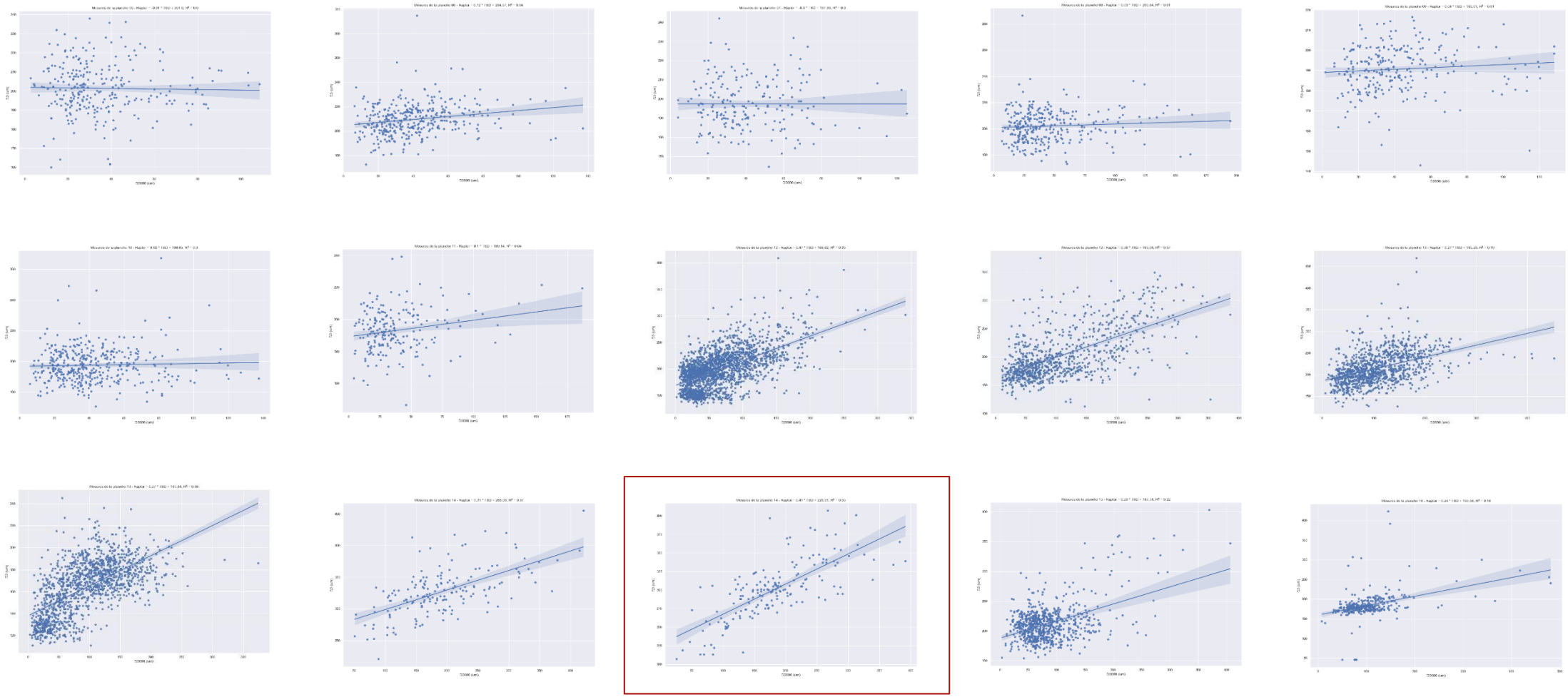


RÉSULTATS DÉFLEXION – SECTION 14



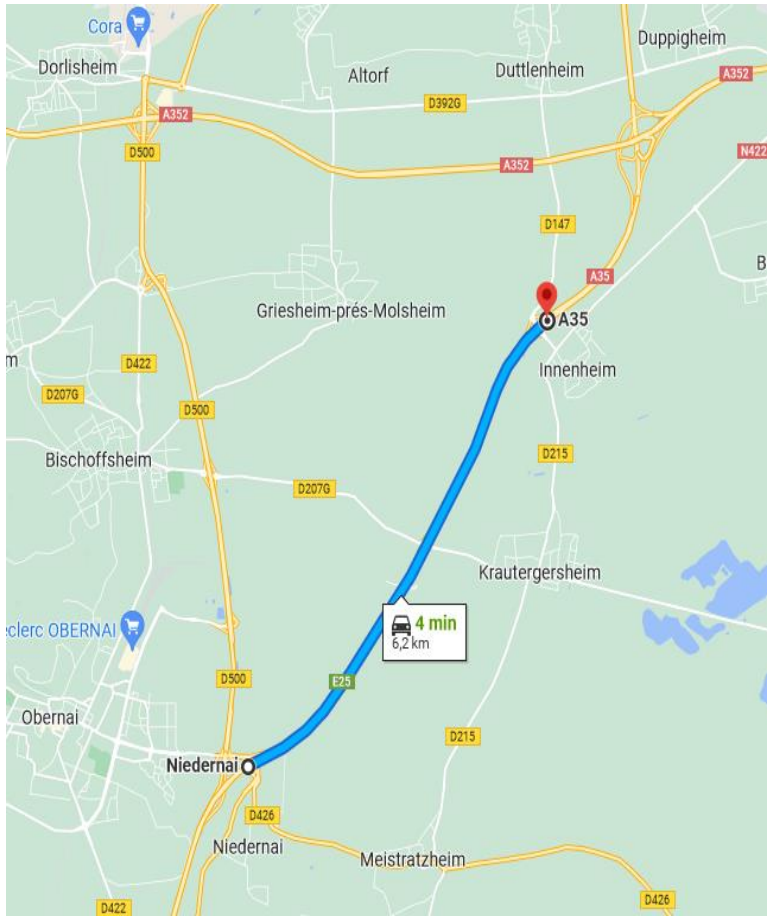


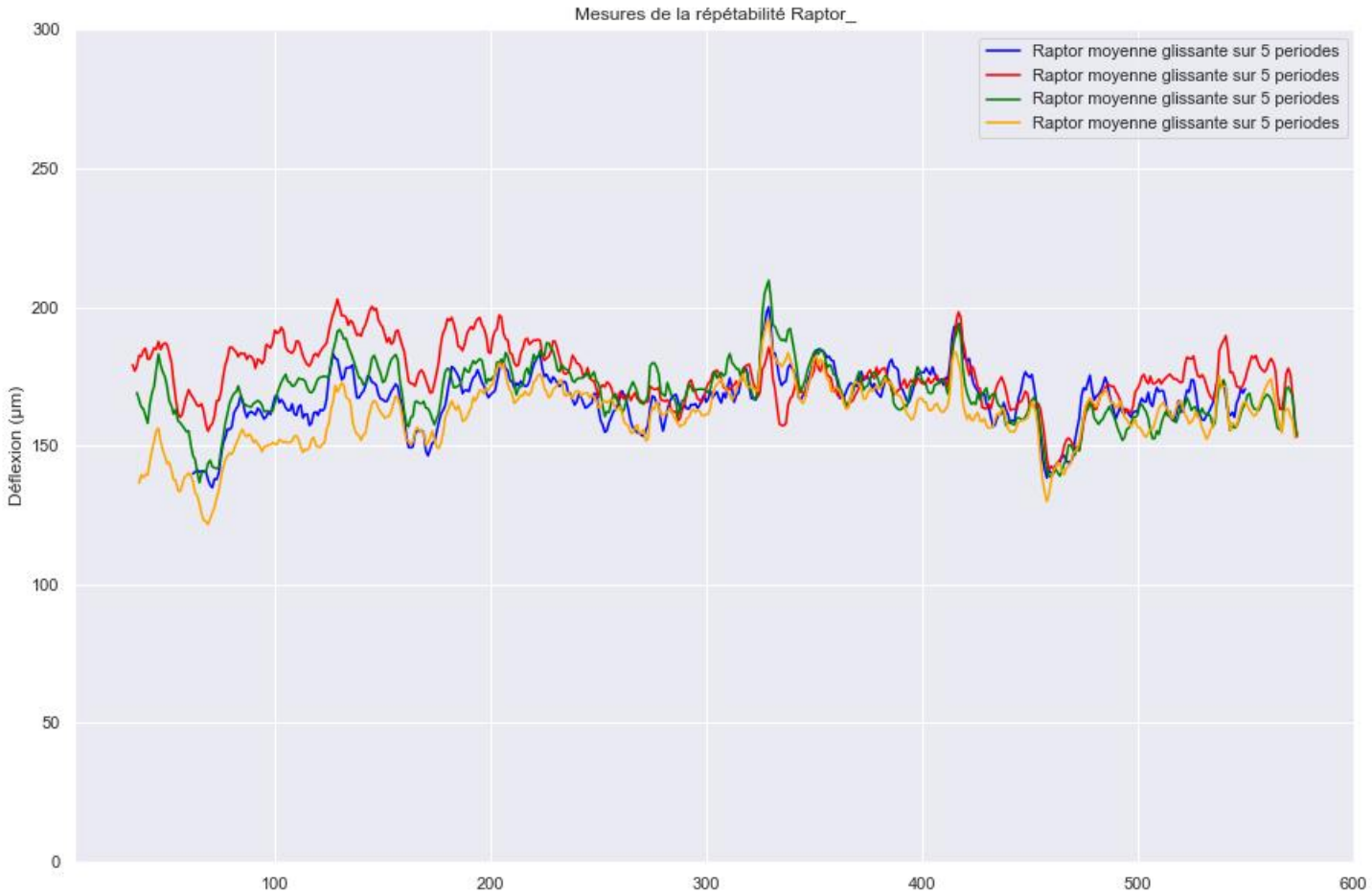
Corrélations – Raptor = F (TSD) – $R^2 \leq 0,55$



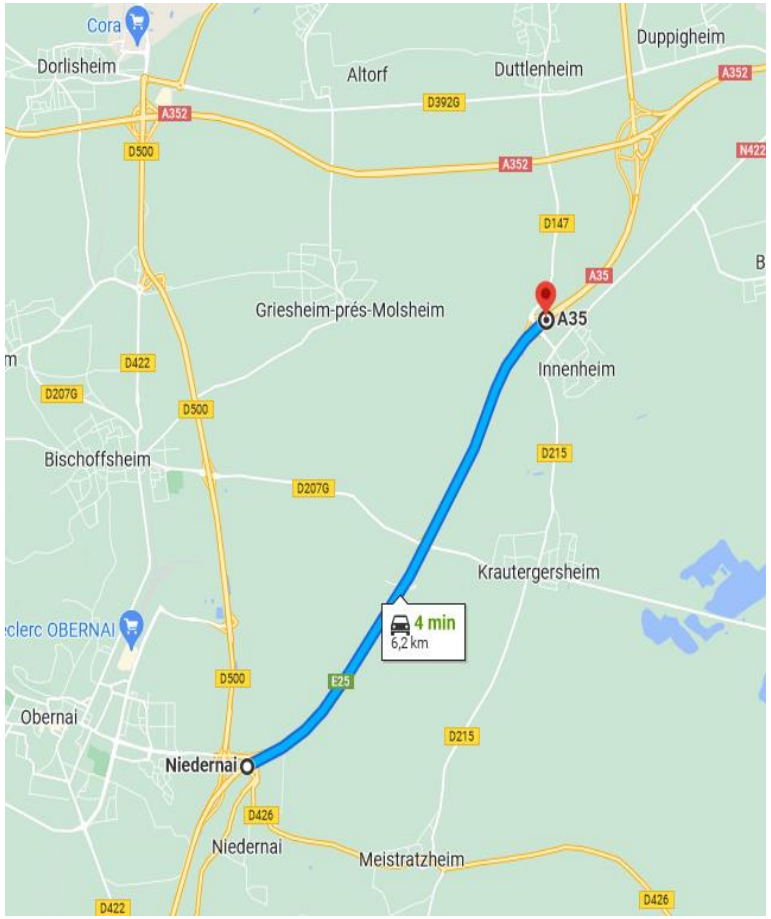
Corrélations – Raptor = F (TSD) – $R^2 \leq 0,55$

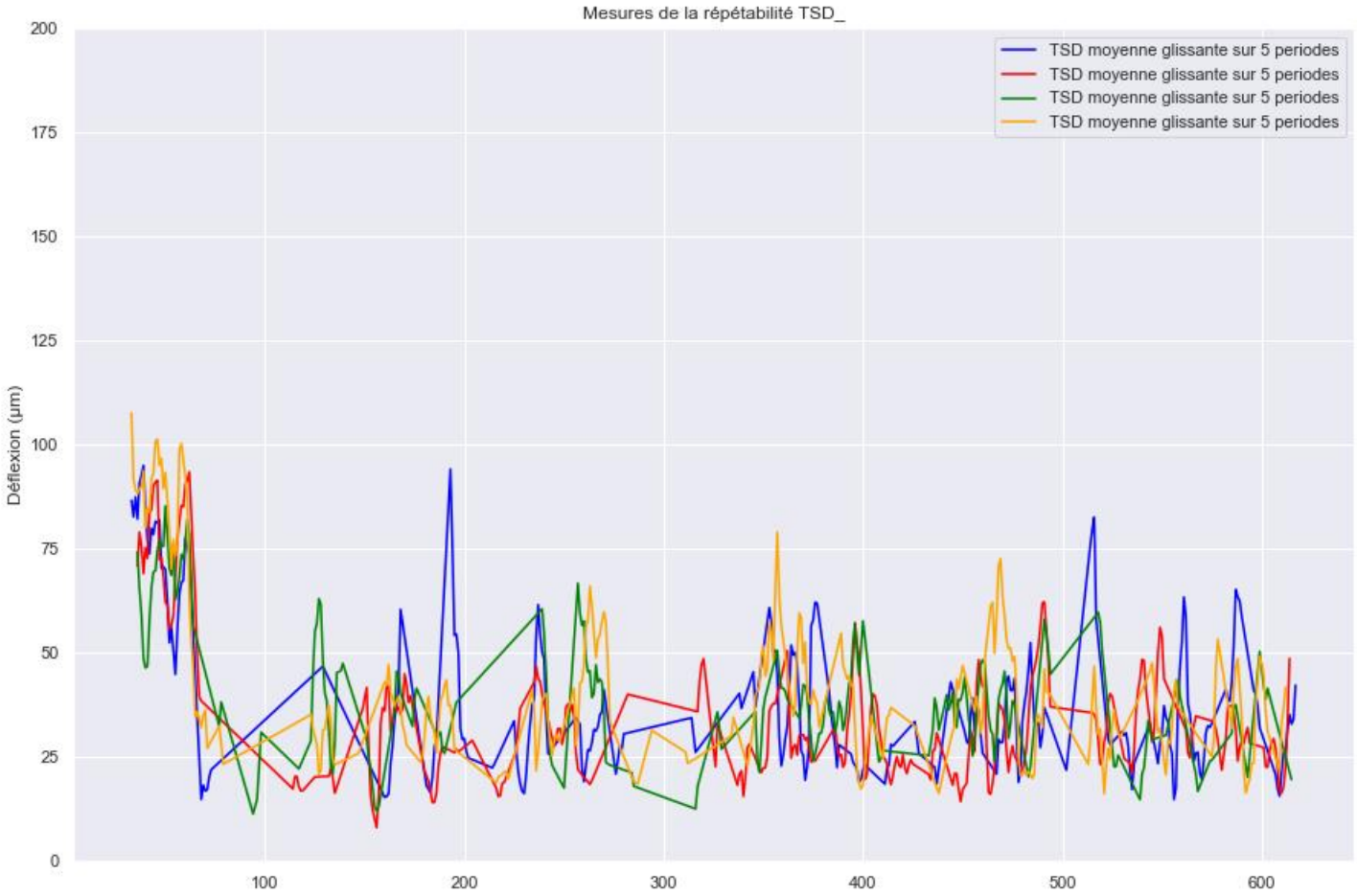
RÉSULTATS – RÉPÉTABILITÉ





RÉSULTATS – RÉPÉTABILITÉ





› Domaine d'utilisation

- Possibilité de comparaison entre les deux appareils :
  - Suivi à l'échelle d'un réseau.
  - Zones homogènes

- Vigilance sur la variable de géolocalisation pour les notions de répétabilité / reproductibilité

- Ecart sur la valeur de la déflexion en elle-même, et donc de la déflexion caractéristique en fonction de la structure en place.
  - En effet, plus la valeur de déflexion augmente, et donc plus la structure est souple, moins l'écart entre les appareils est notable ;
  - Les deux matériels ont été qualifiés par leur fabriquant respectif sur des chaussées plutôt souples et se servent d'un FWD comme référence ;
  - D'autres essais s'avèrent nécessaires pour évaluer cet effet.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Pascal TROTTIER
ptrottier@pavexpert.com
+33 7 86 72 38 80