MÉTROLOGIE DES APPAREILS

PN - ANR MOVE

DVDC

DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

www.dvdc.fr

Emmanuel Delaval
Alain Hebting
21/09/2023

Exploitation
Réhabilitation
Maintenance

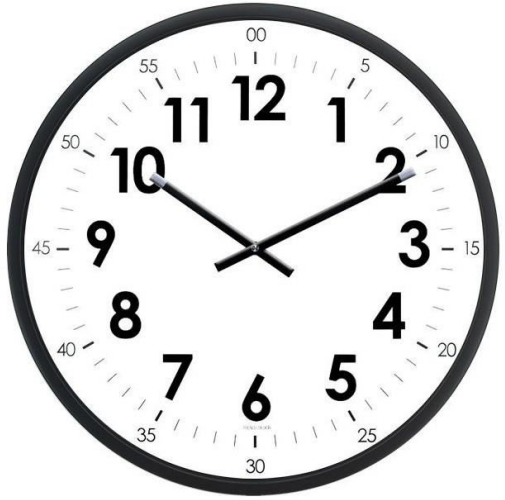
IREX
Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

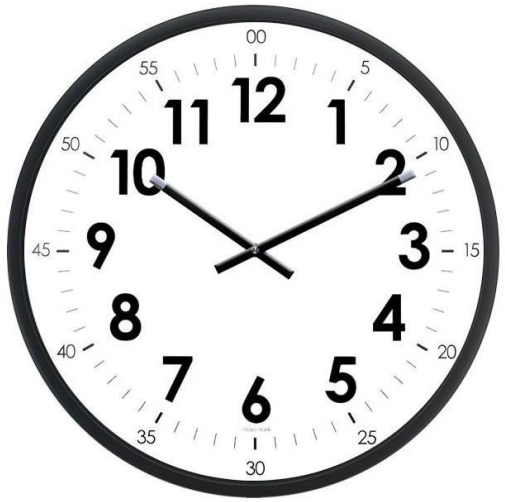
MESURER : UN ACTE DE TOUS LES JOURS

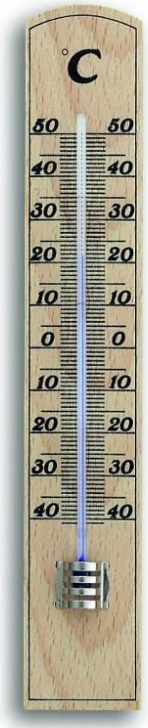
MESURER : UN ACTE DE TOUS LES JOURS

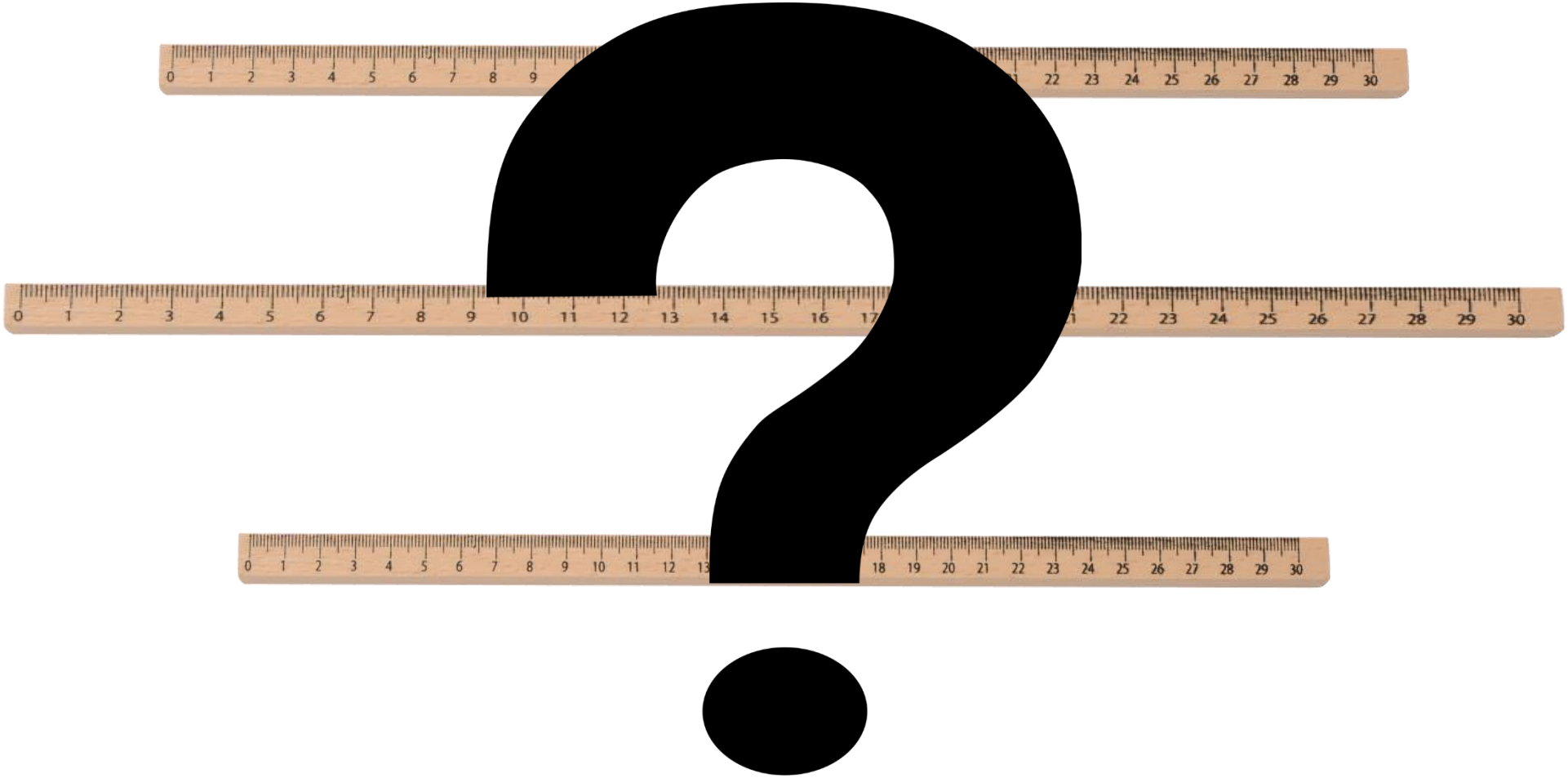
MESURER : UN ACTE DE TOUS LES JOURS



MESURER : UN ACTE DE TOUS LES JOURS







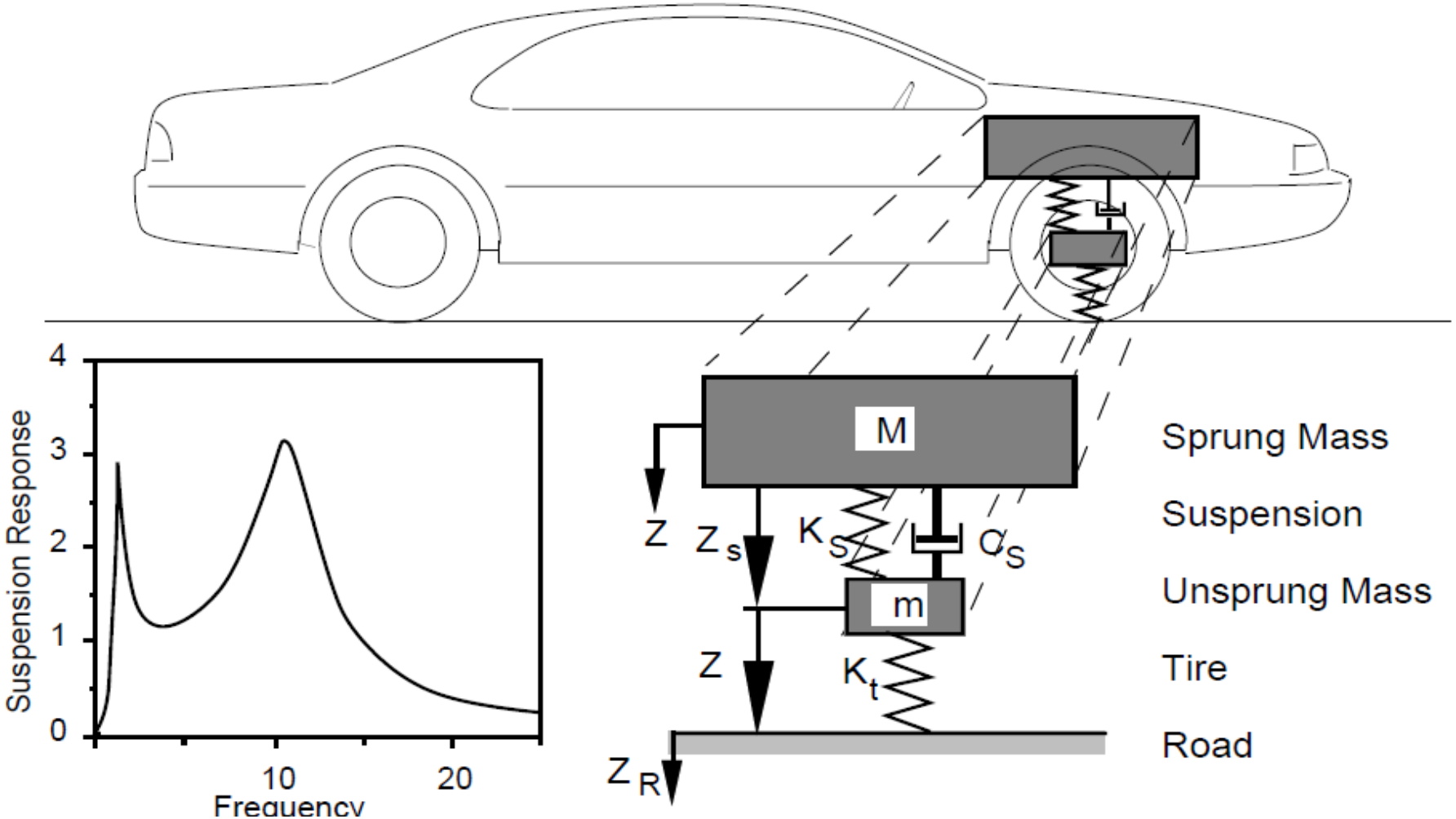
› METROLOGIE : Science du mesurage et des applications

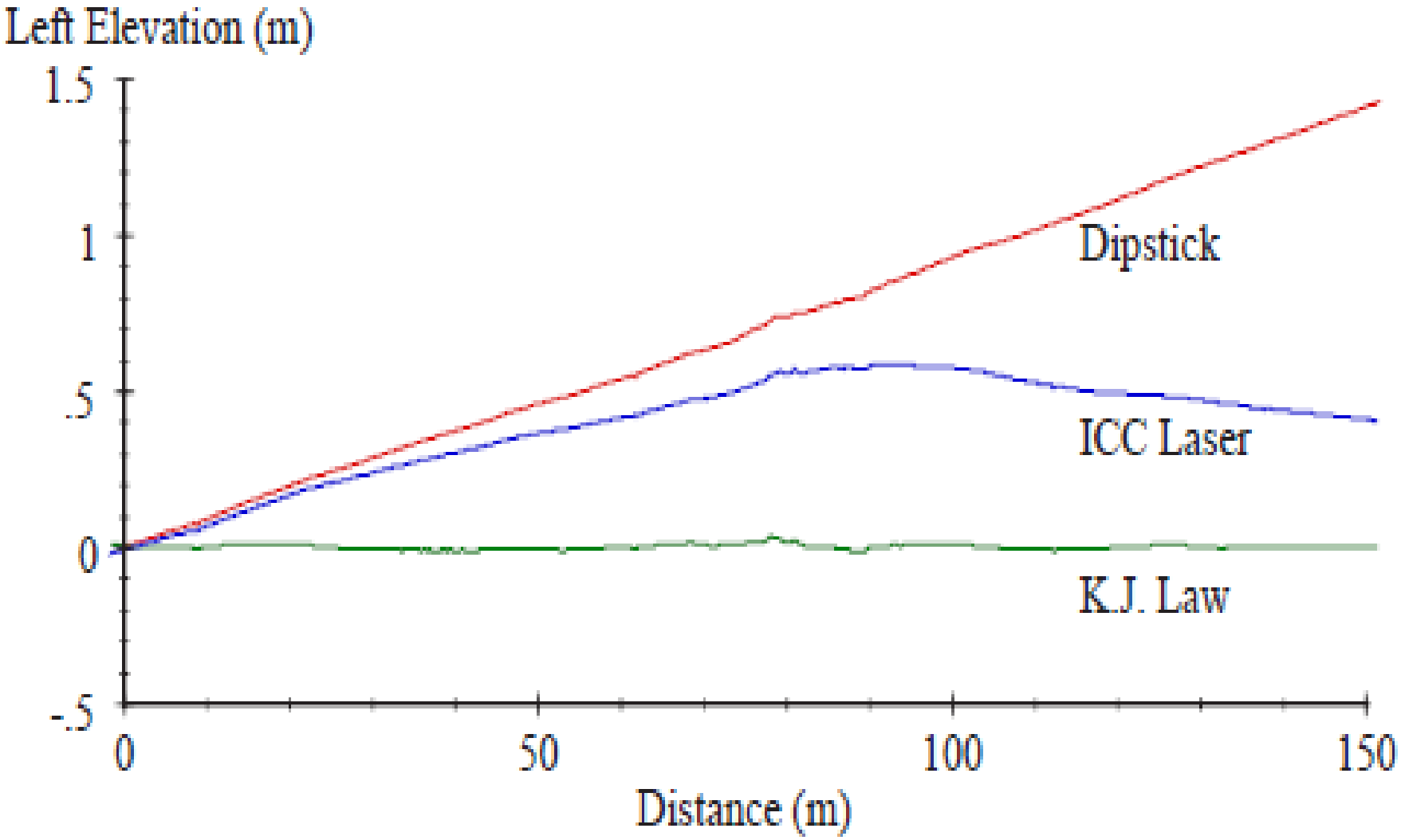
Réalité

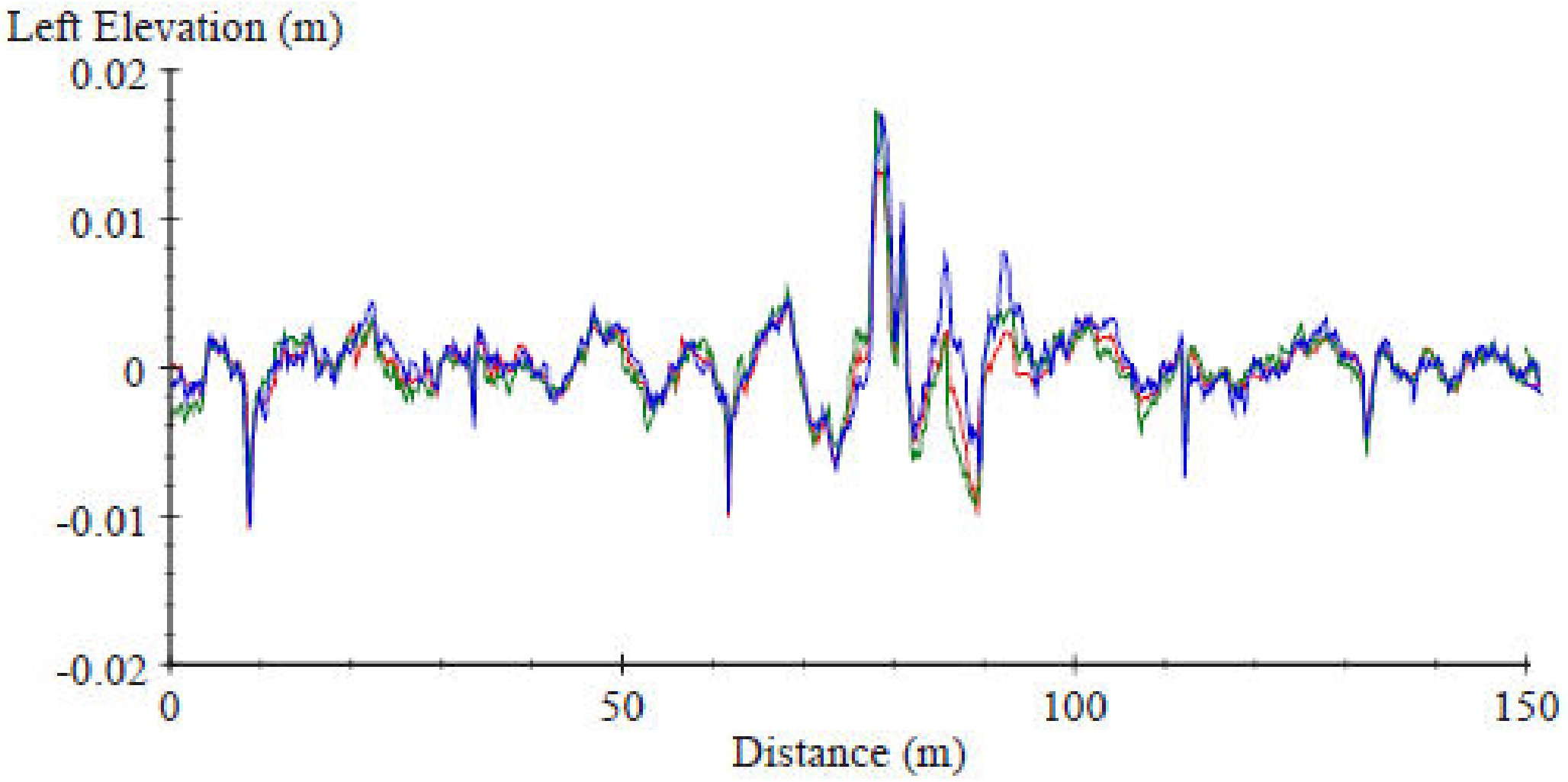
Valeur mesurée	A	B
A		
B		

S'ASSURER QUE L'APPAREIL EST ADAPTÉ À SON USAGE

FONCTION DE TRANSFERT

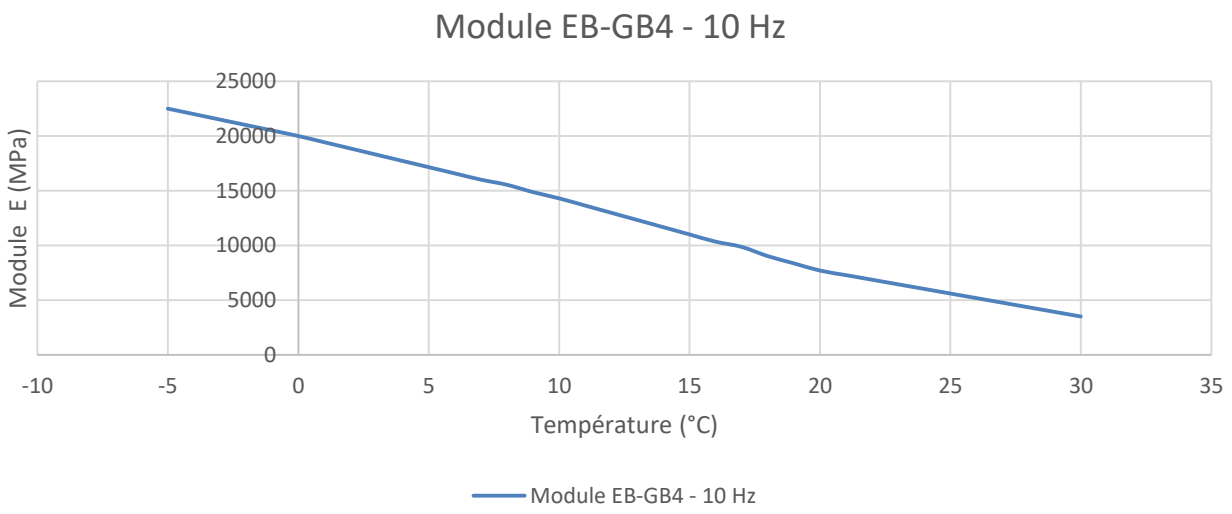



Left Elevation (m)
1.5
1
.5
0
-.5
0
50
100
150
Distance (m)
Dipstick
ICC Laser
K.J. Law

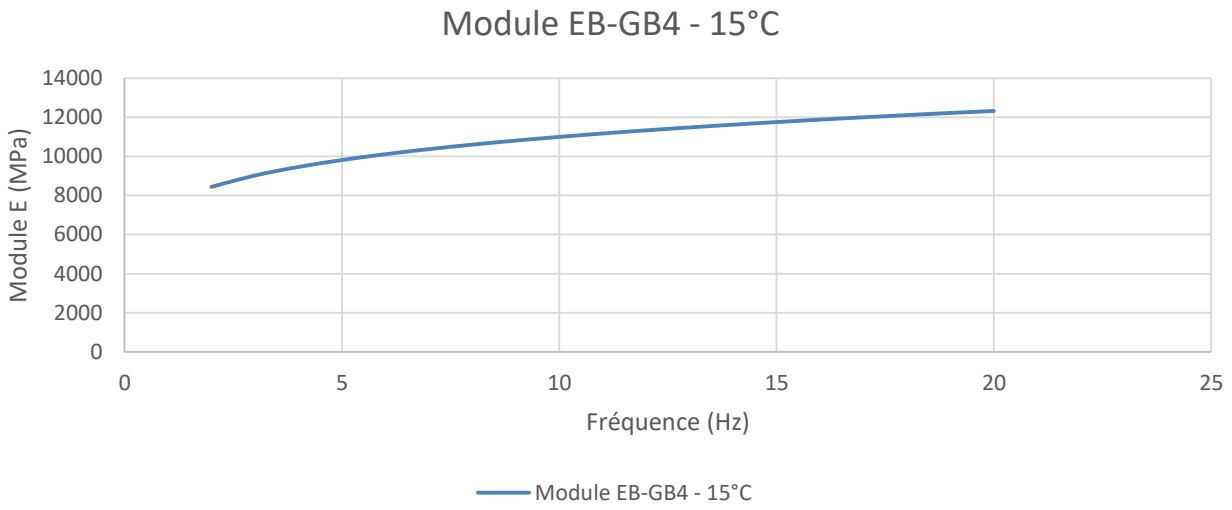

Left Elevation (m)
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
0
50
100
150
Distance (m)

Quelques exemples de facteurs d'influence

› Température

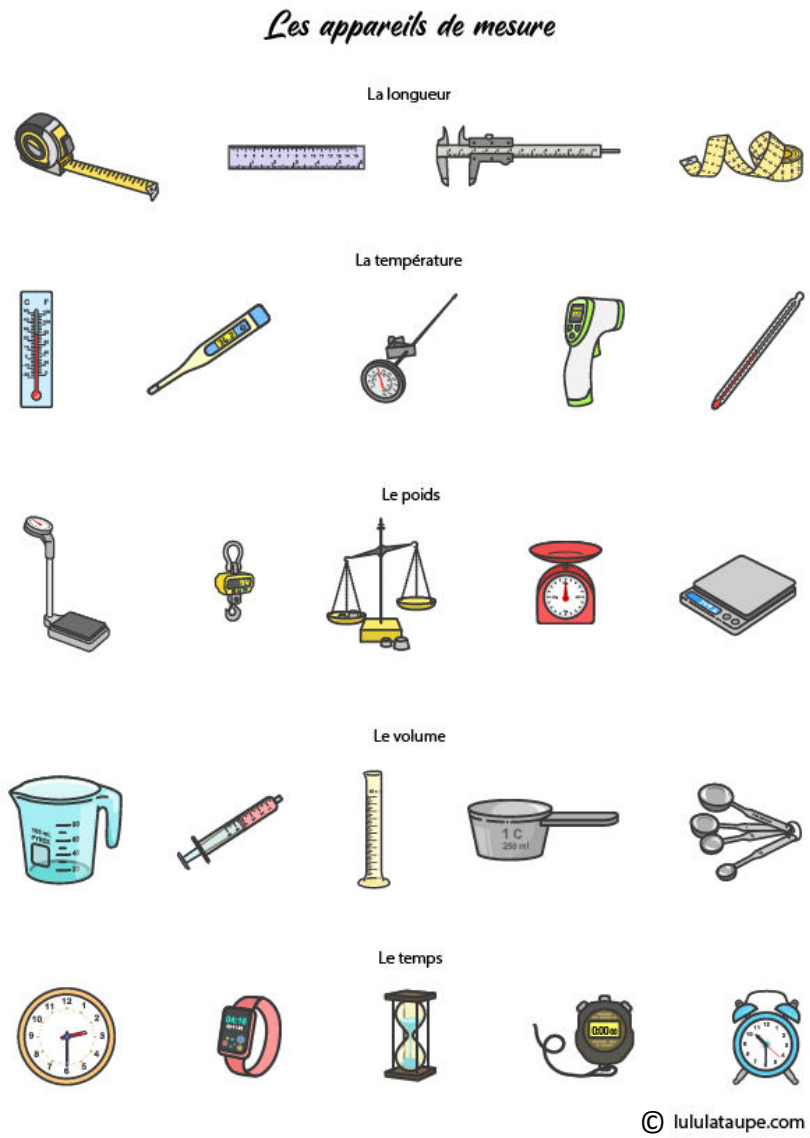


› Vitesse / Fréquence



› Géolocalisation

MERCI POUR VOTRE ATTENTION



emmanuel.delaval@cerema.fr

alain.hebting@cerema.fr

PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

MESURES DE DÉFLEXIONS

PN - ANR MOVE

DVDC

DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

www.dvdc.fr

Alain Hebting
alain.hebting@cerema.fr
21/09/2023

Essais croisés

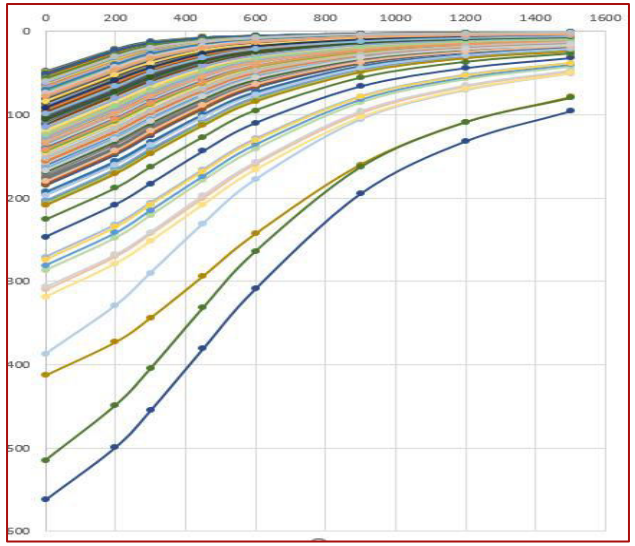
Exploitation
Réhabilitation
Maintenance

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

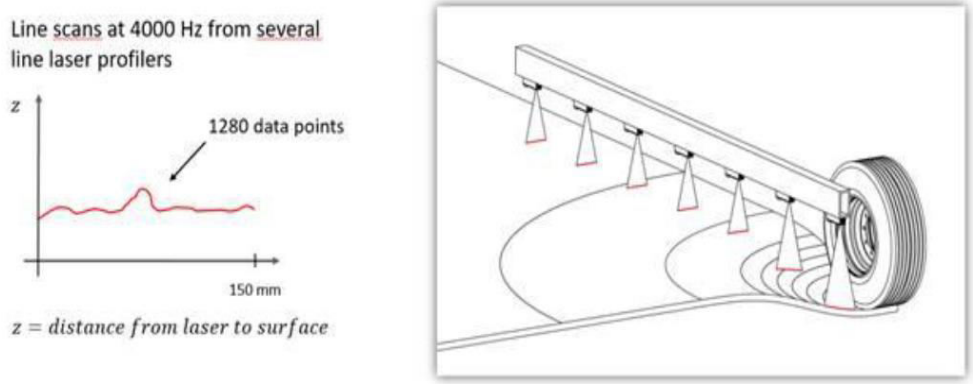
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

MATÉRIELS DE MESURE DE LA DÉFLEXION UTILISÉS

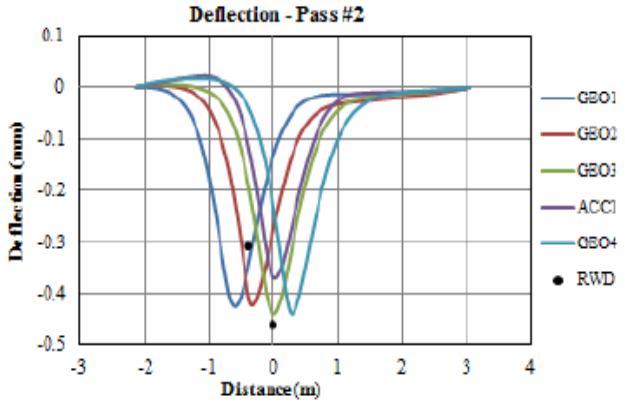


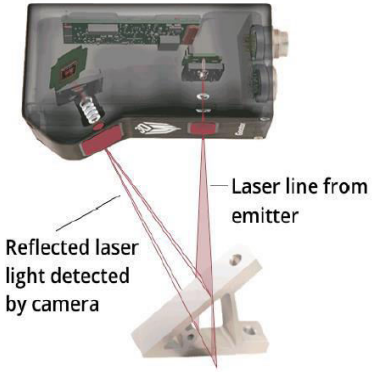
PRINCIPES DE MESURE DE LA DÉFLEXION UTILISÉS

Raptor

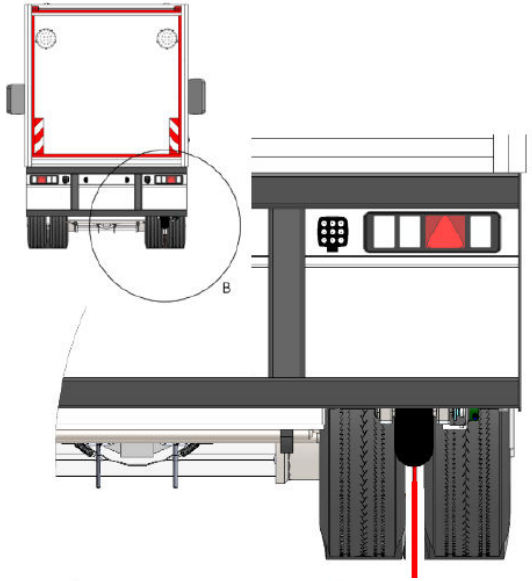


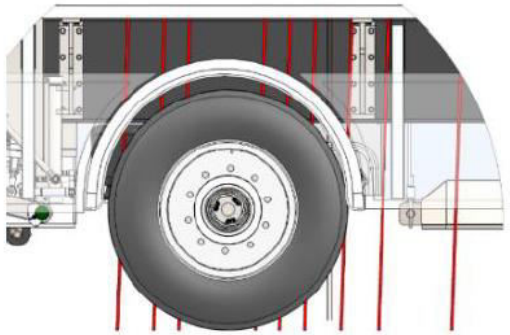
Raptor measuring setup. Laser line profilers scan a road surface deflected by a heavy wheel load.

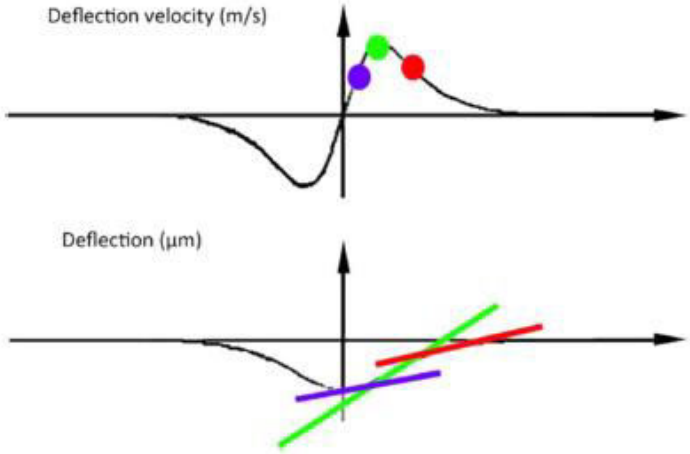


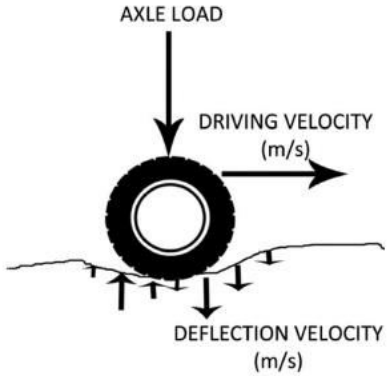


TSD

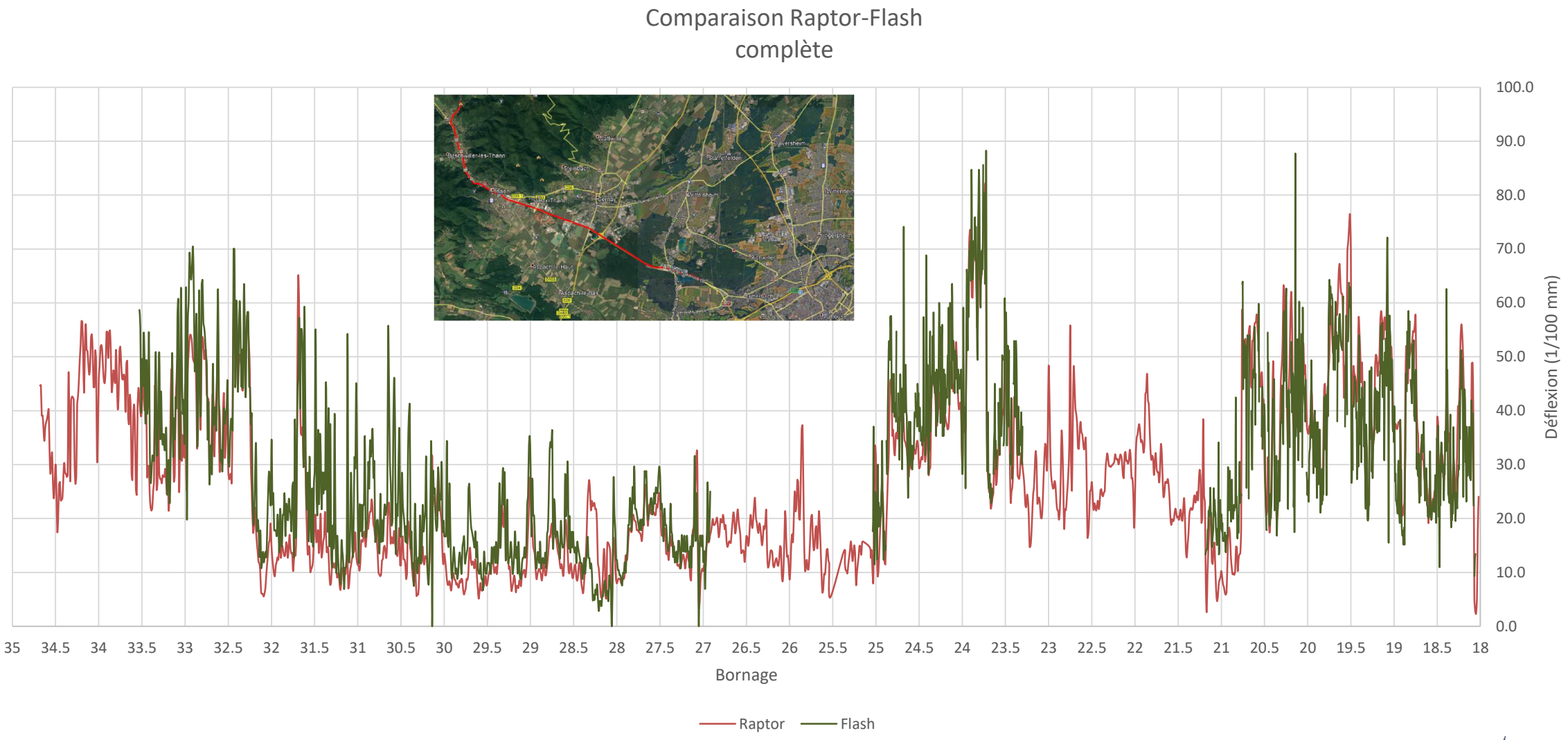






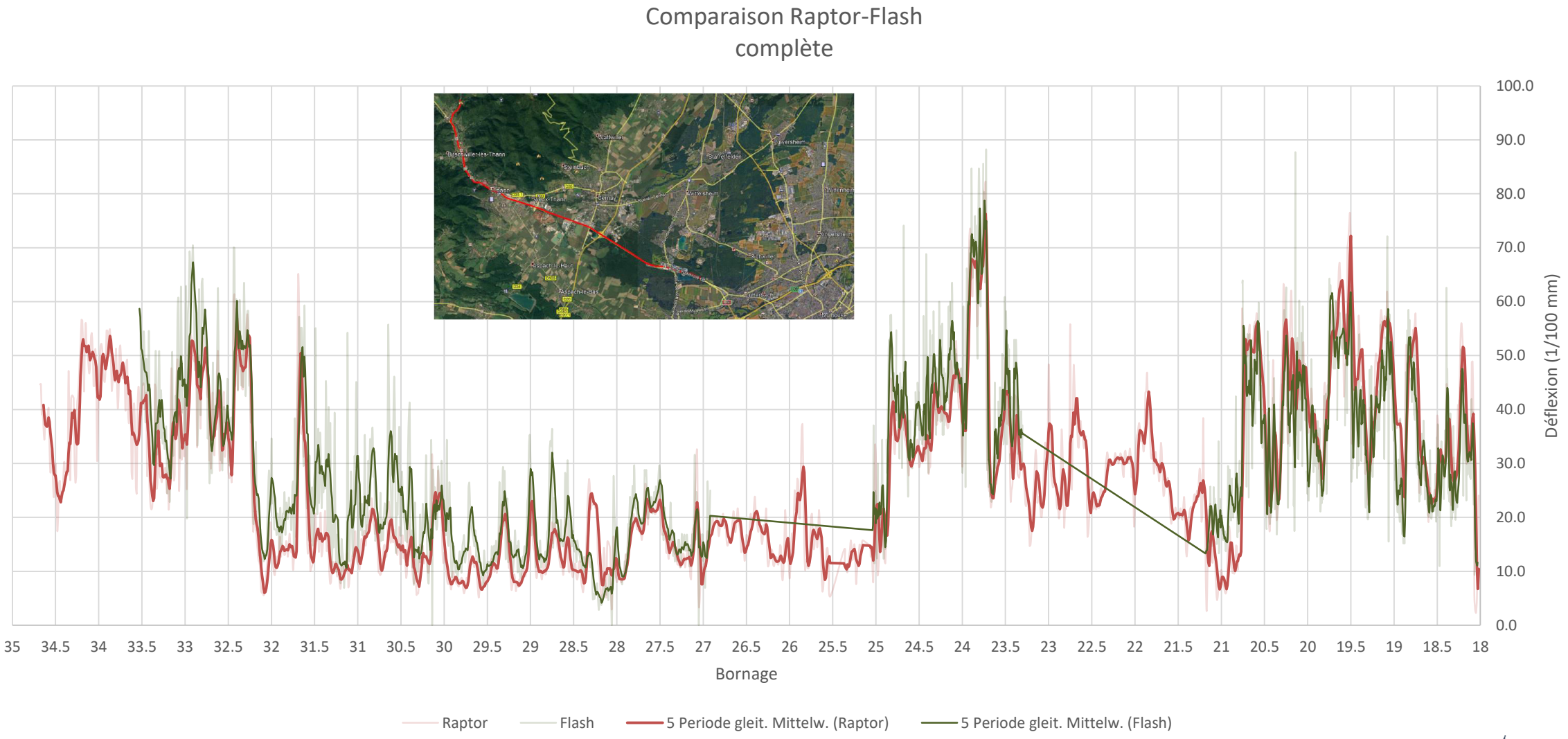


QUELQUES MESURES ANTÉRIEURES



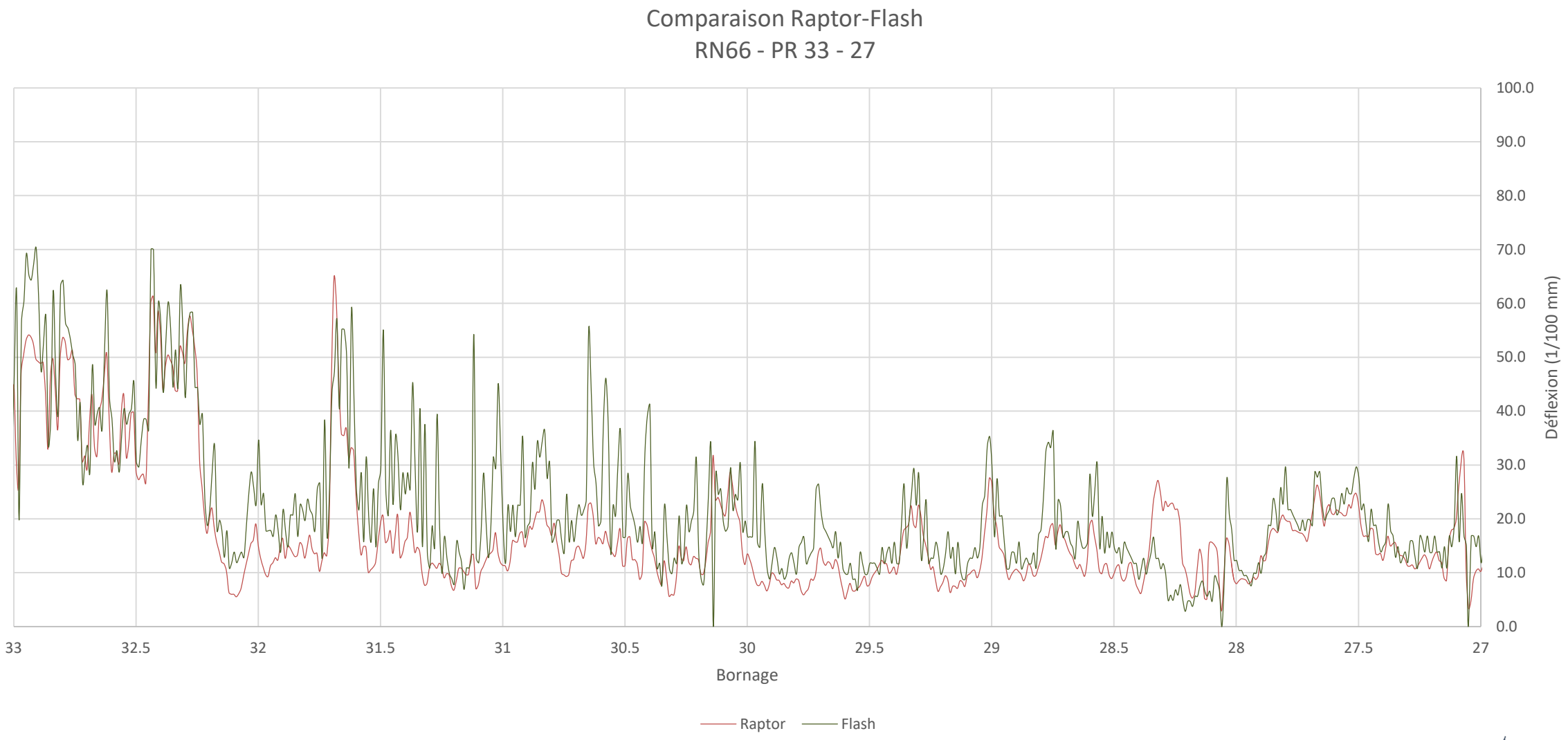
PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

QUELQUES MESURES ANTÉRIEURES



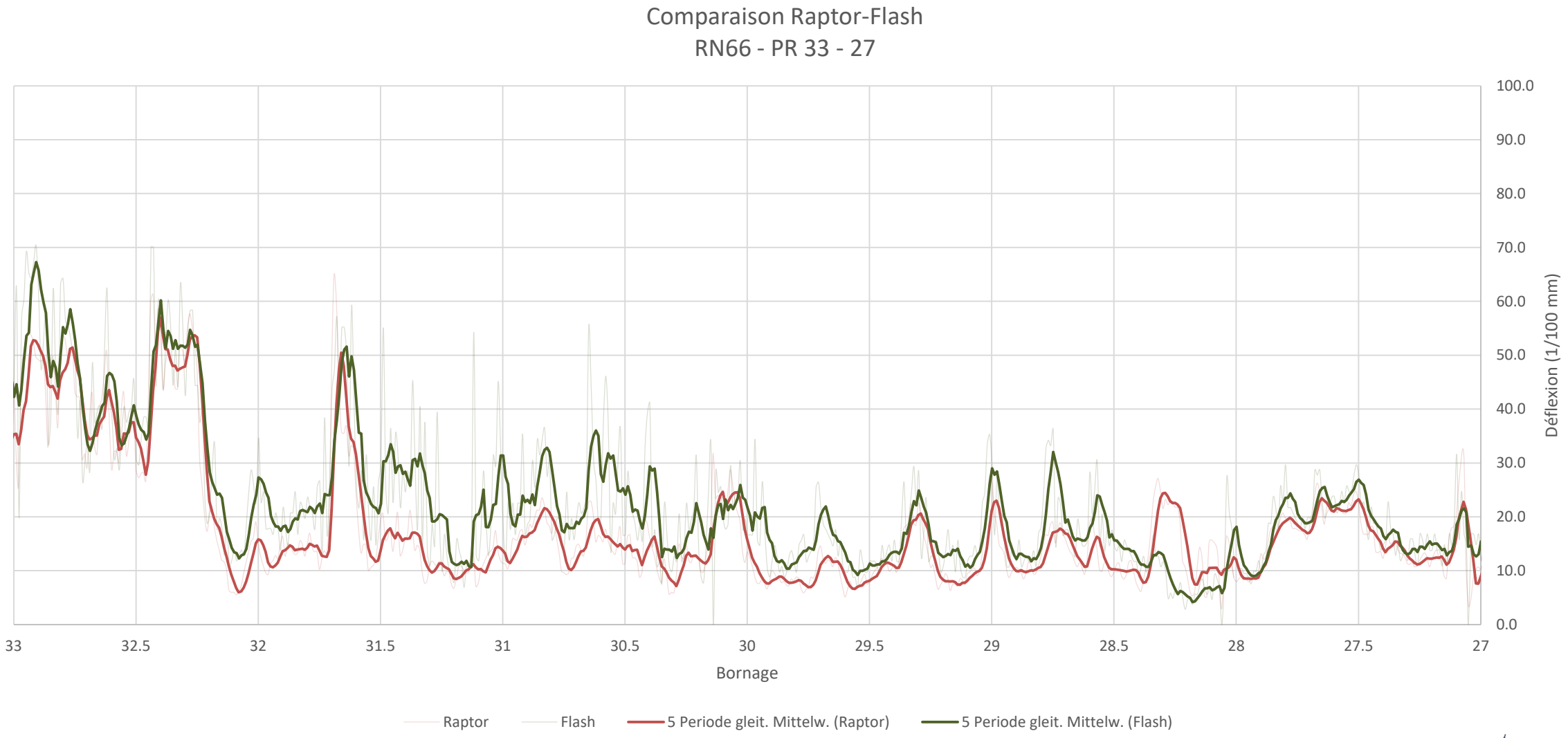
PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

QUELQUES MESURES ANTÉRIEURES



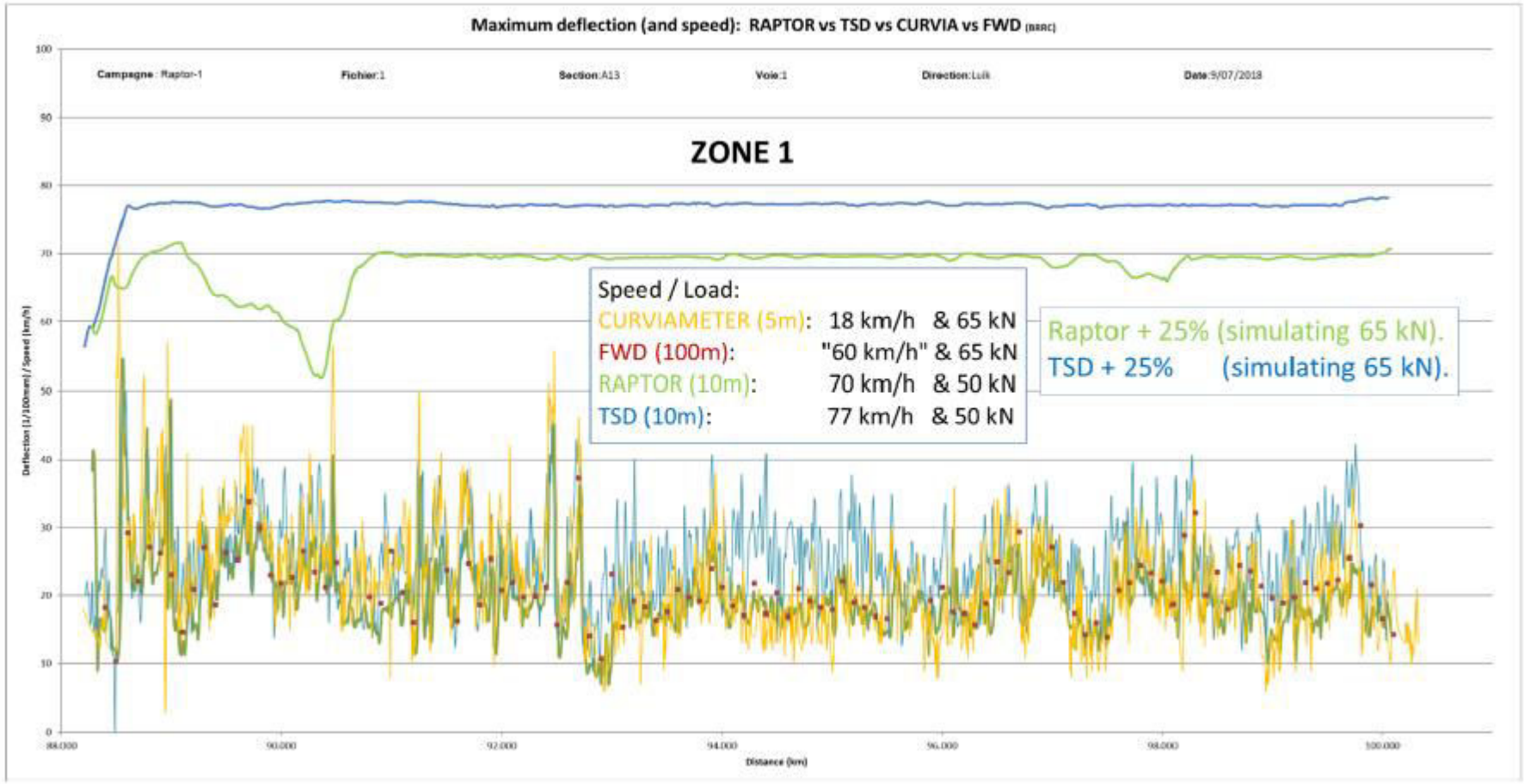
PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

QUELQUES MESURES ANTÉRIEURES



PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

QUELQUES MESURES ANTÉRIEURES



Source : Carl Van Geem, JTR 2019
BRRC, BaST, Dynatest

PROTOCOLE DES ESSAIS CROISÉS

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

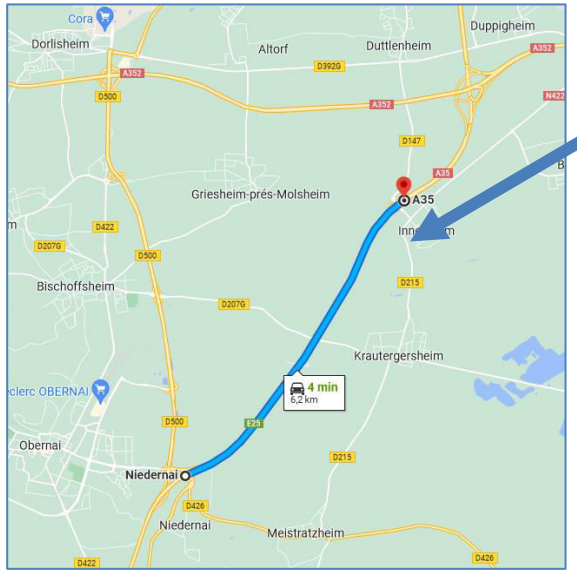
FWD

Aigle3D

CereMap3D

Radar3D

Section pour la répétabilité



Itinéraire complet (168 km)

A35 :
- Bitumineux et hydraulique

RN83 :
- Bitumineux et hydraulique

RD422 :
- Souple

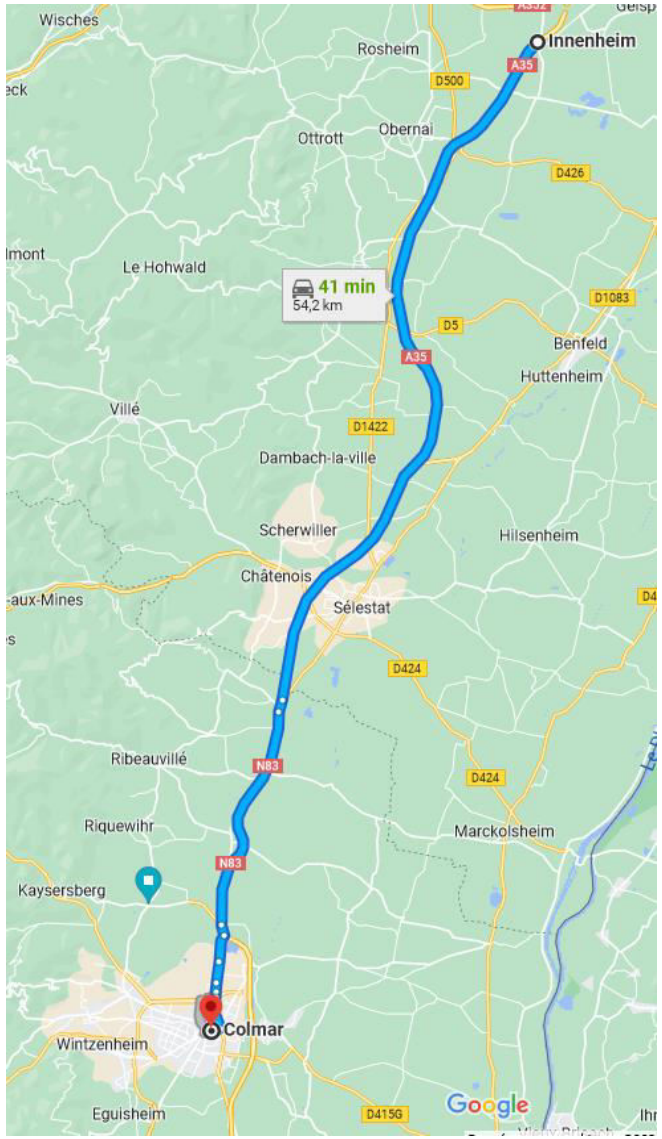
RD500 :
- Enrobé à module élevé

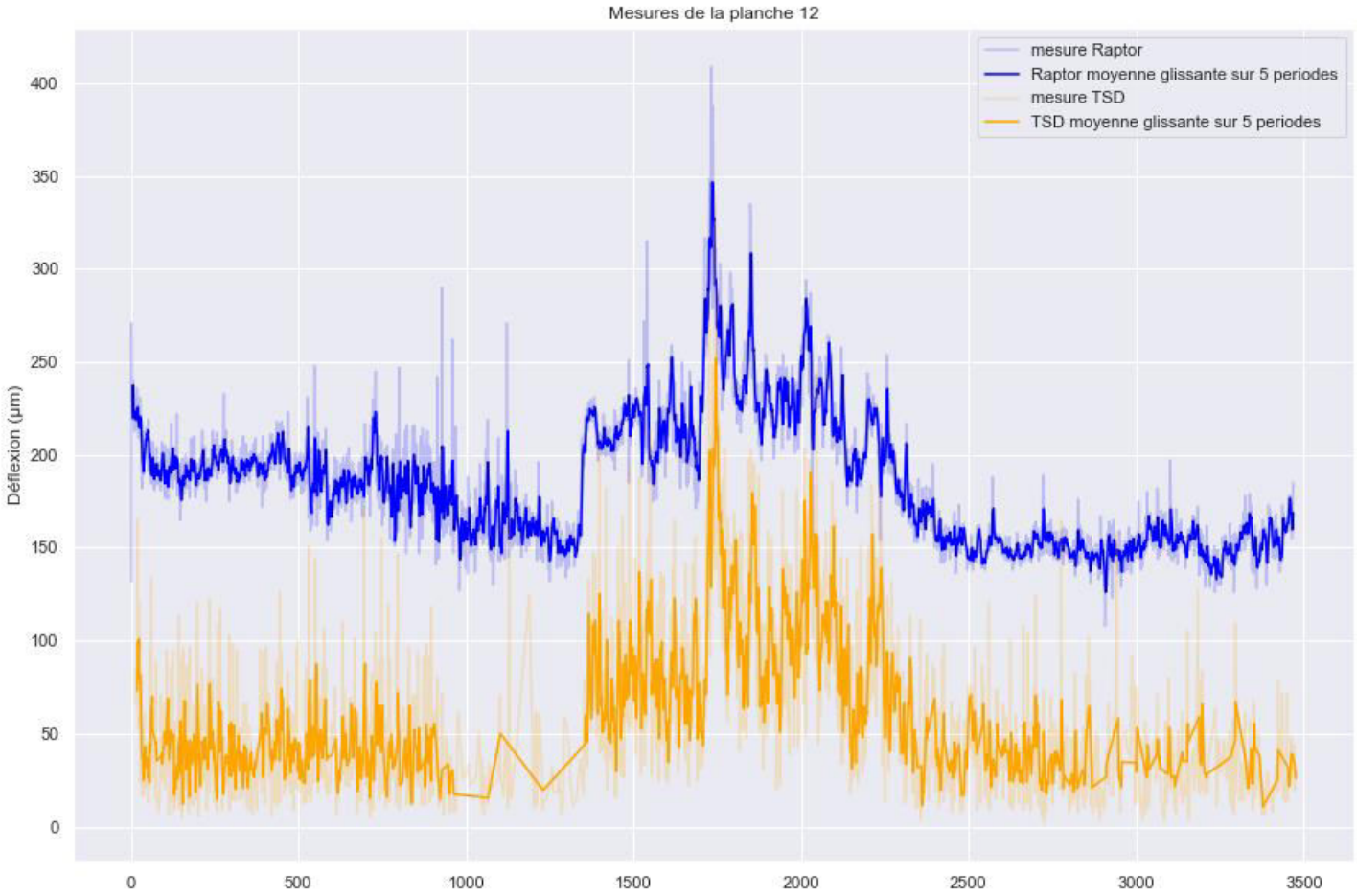
RD1422 :
- Renforcé par géogrille

RN4 :
- Route historique

A351 :
- Bitumineux neuf

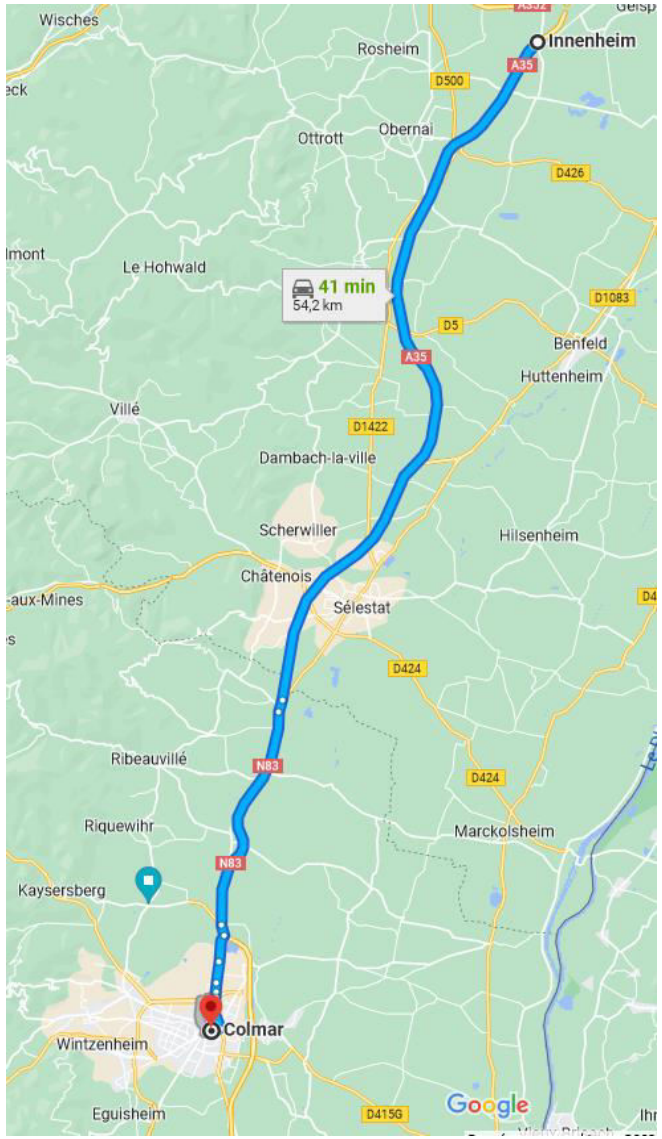
RÉSULTATS DÉFLEXION – SECTION 12A

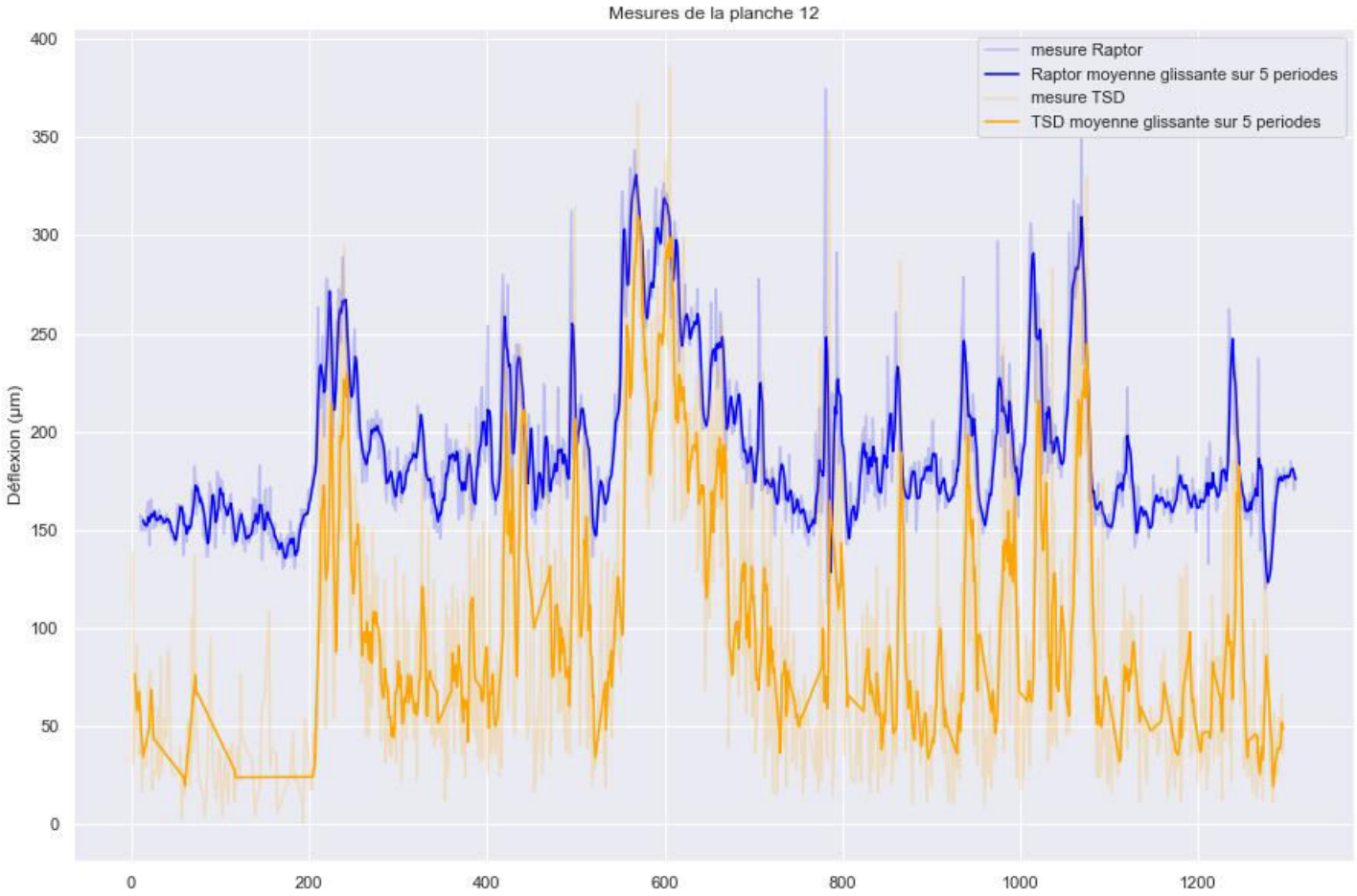




PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

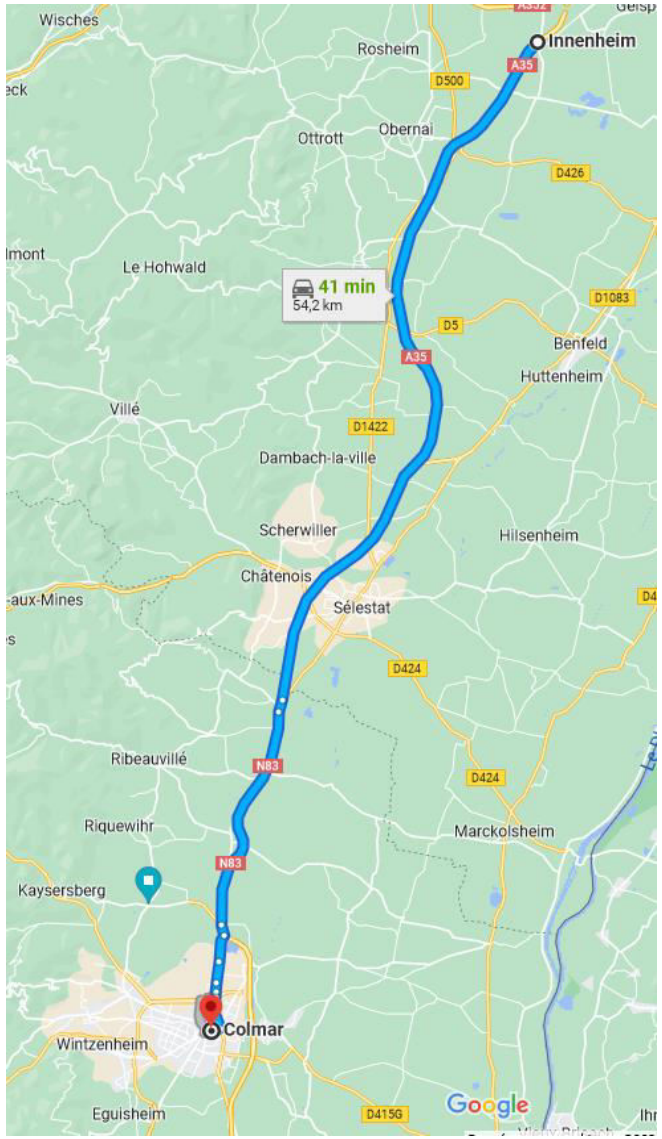
RÉSULTATS DÉFLEXION – SECTION 12B

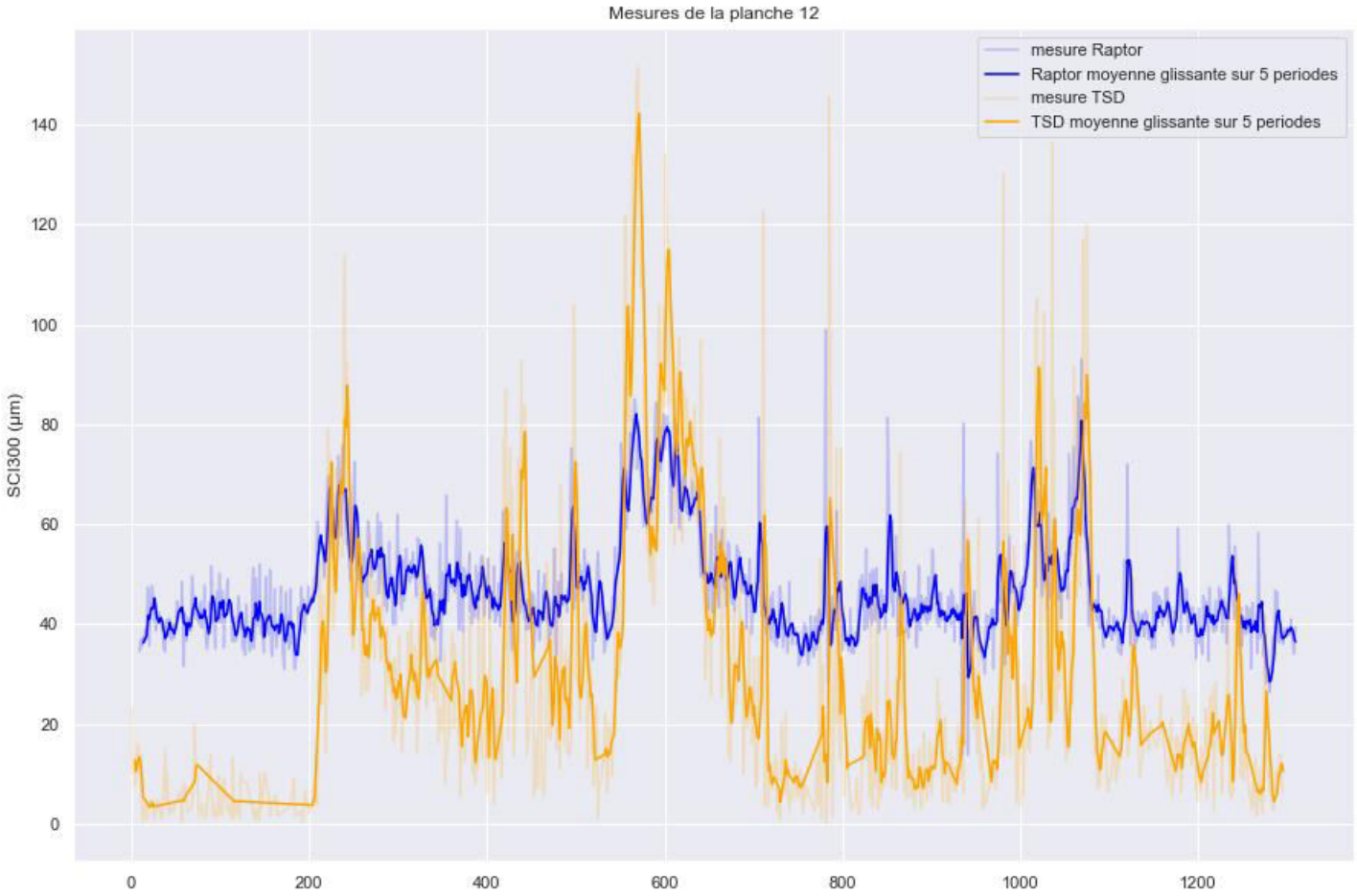




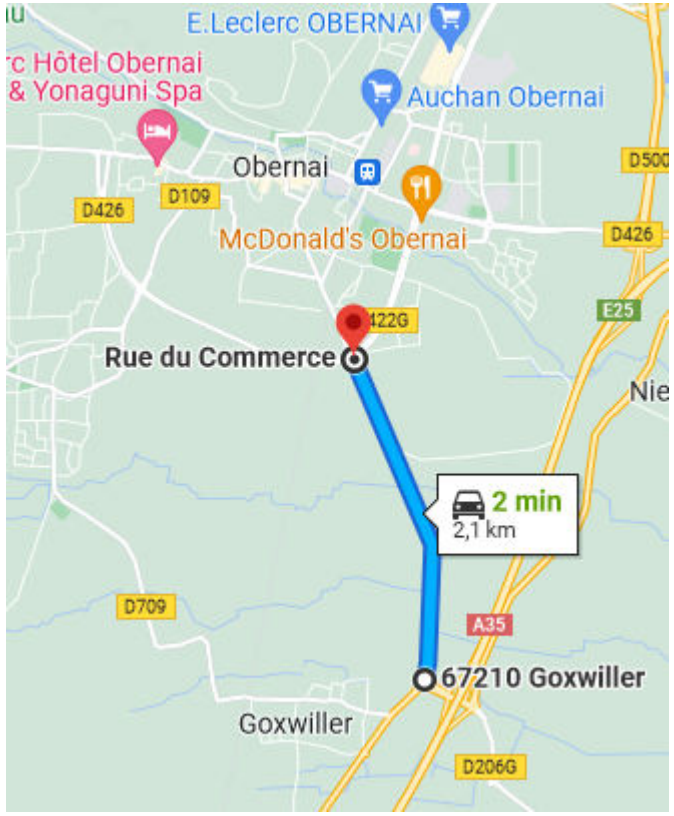
PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

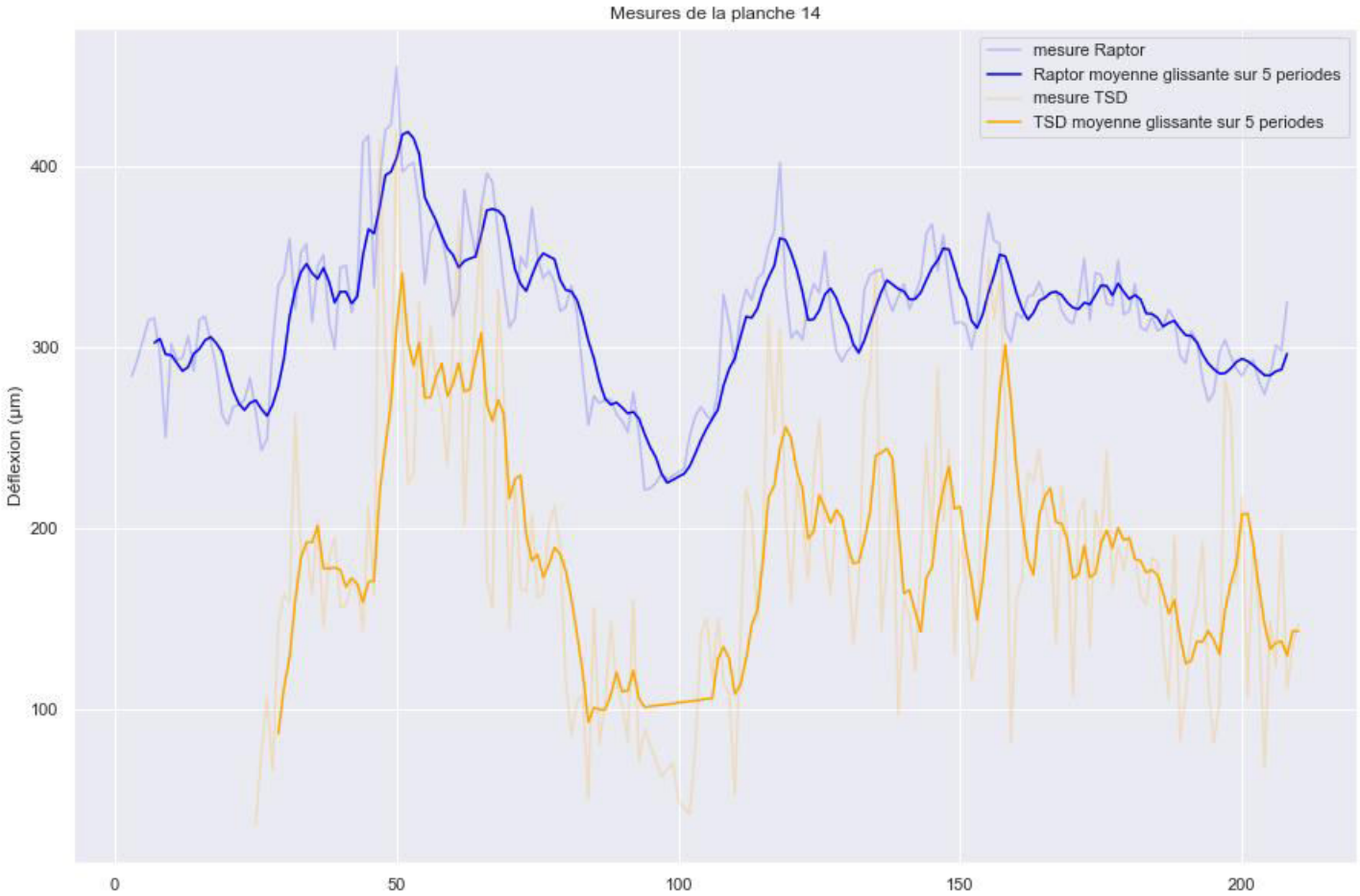
RÉSULTATS SCI300 – SECTION 12B



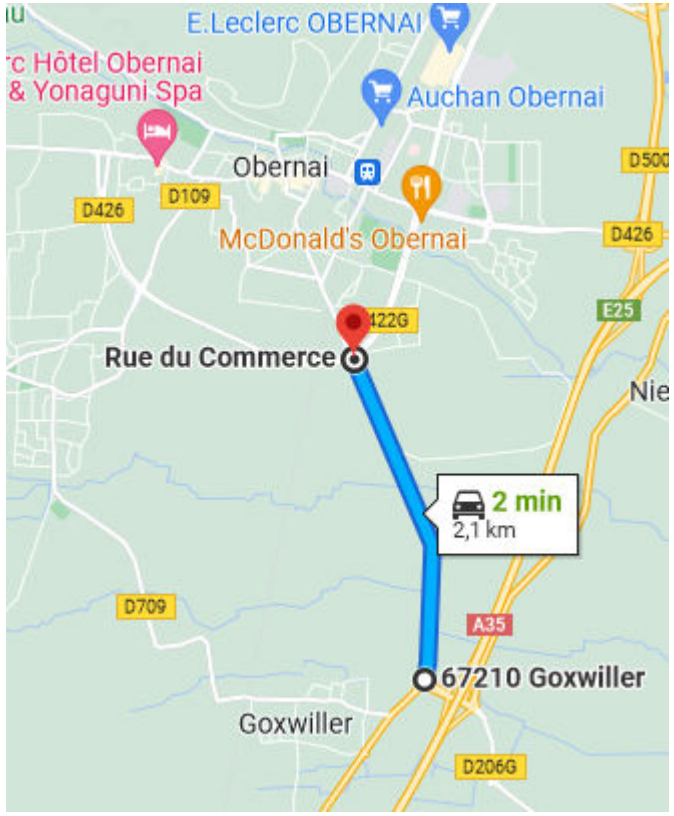


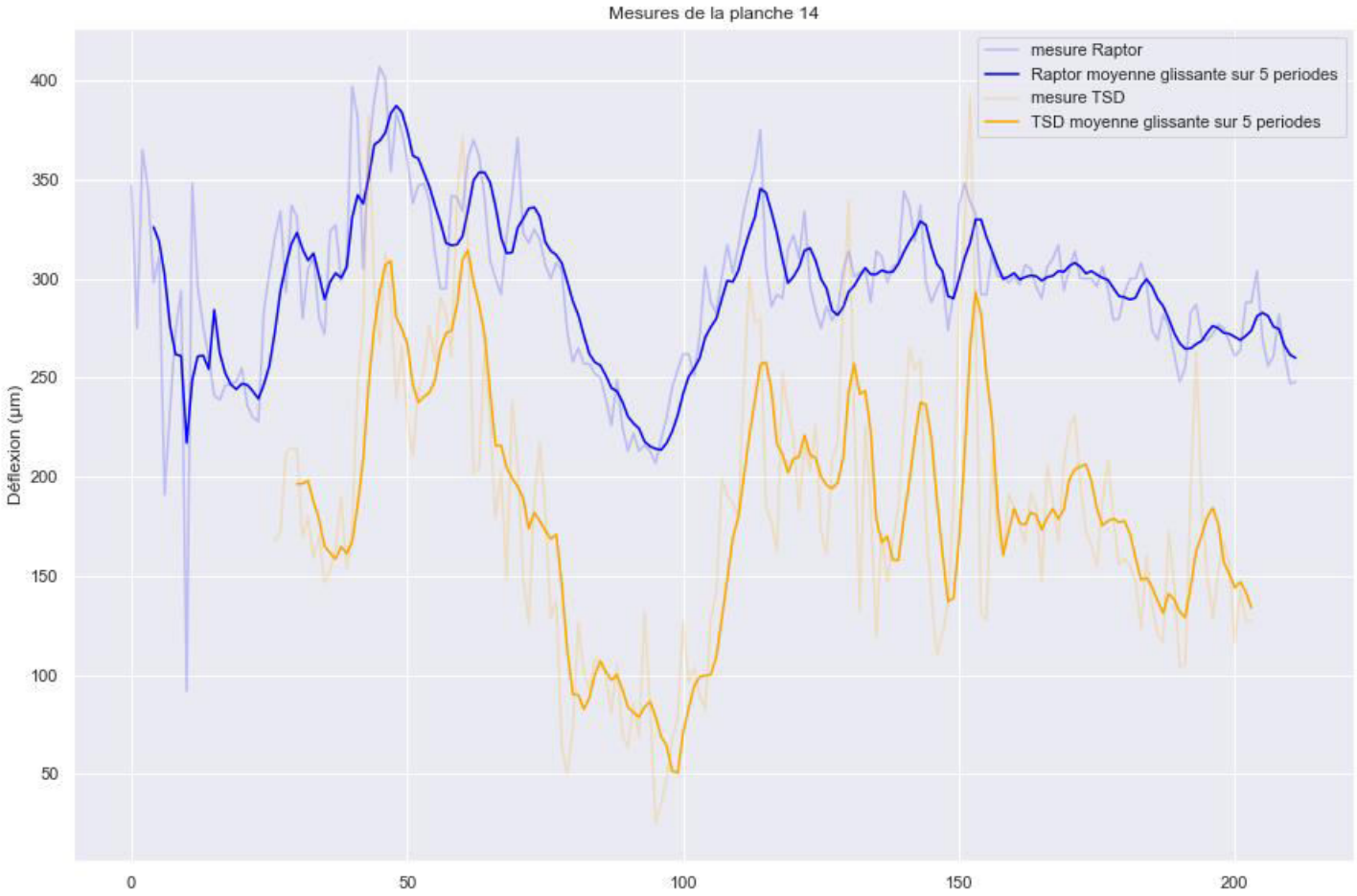
RÉSULTATS DÉFLEXION – SECTION 14A





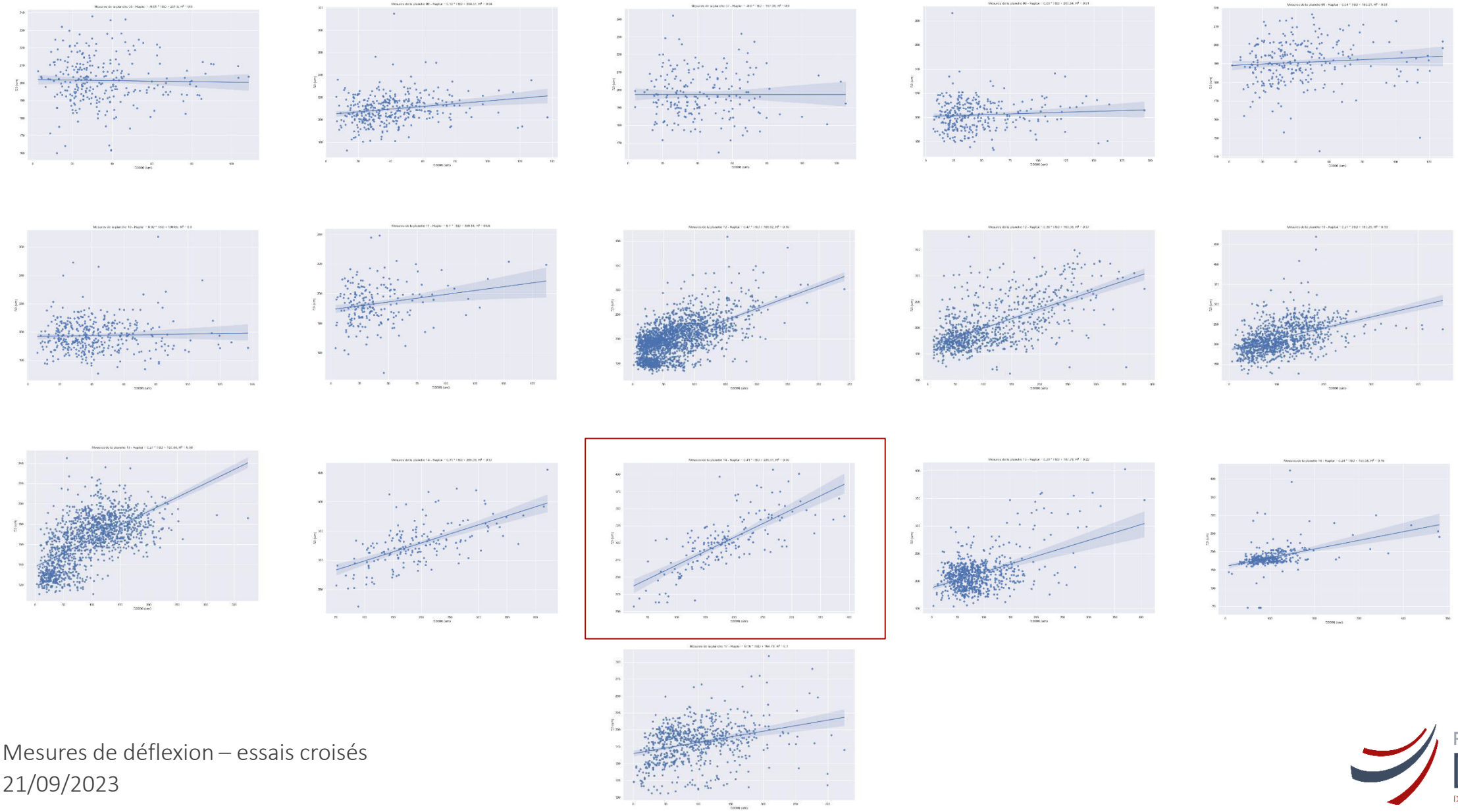
RÉSULTATS DÉFLEXION – SECTION 14B



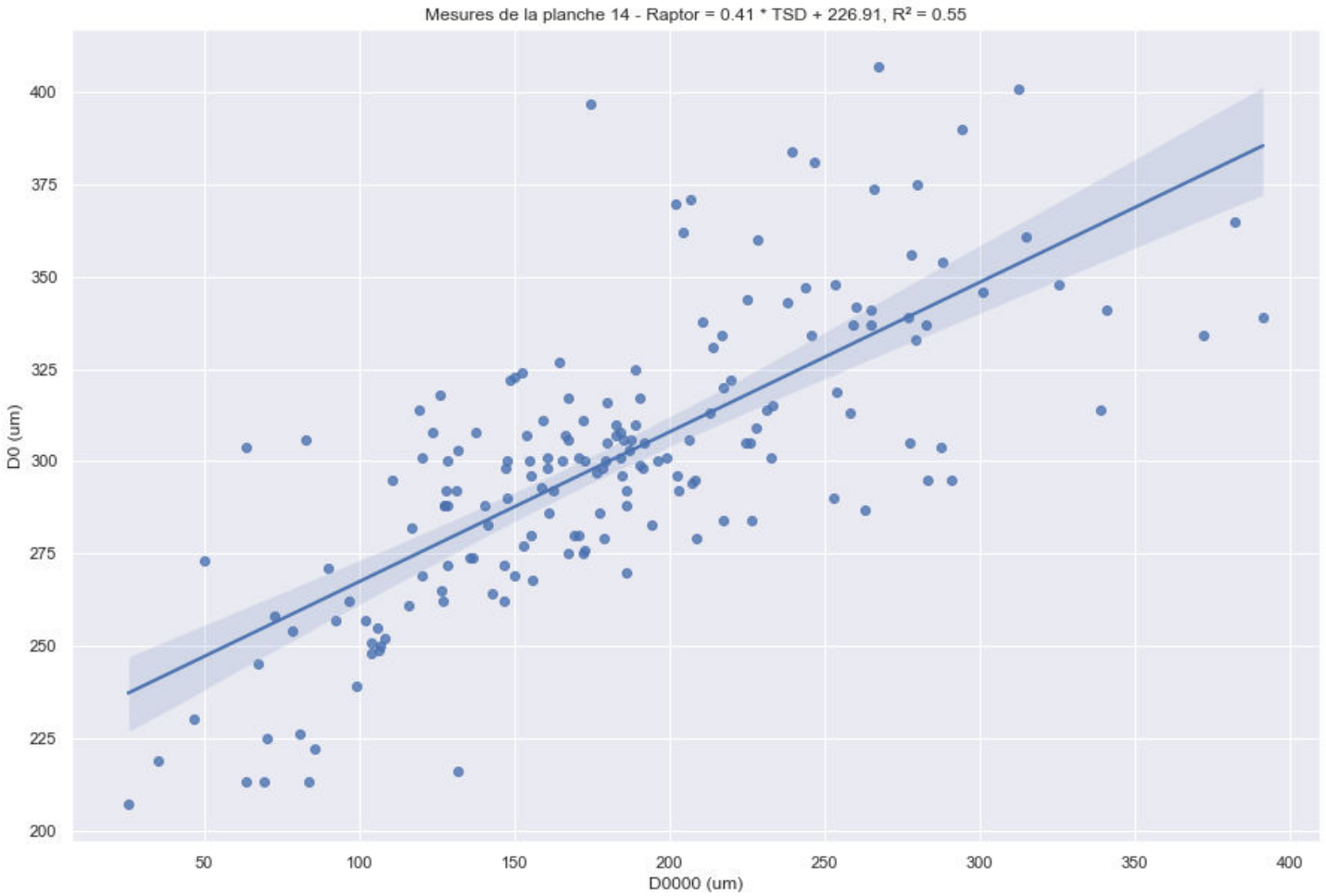


PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

CORRÉLATIONS – RAPTOR = F (TSD) – $R^2 \leq 0,55$

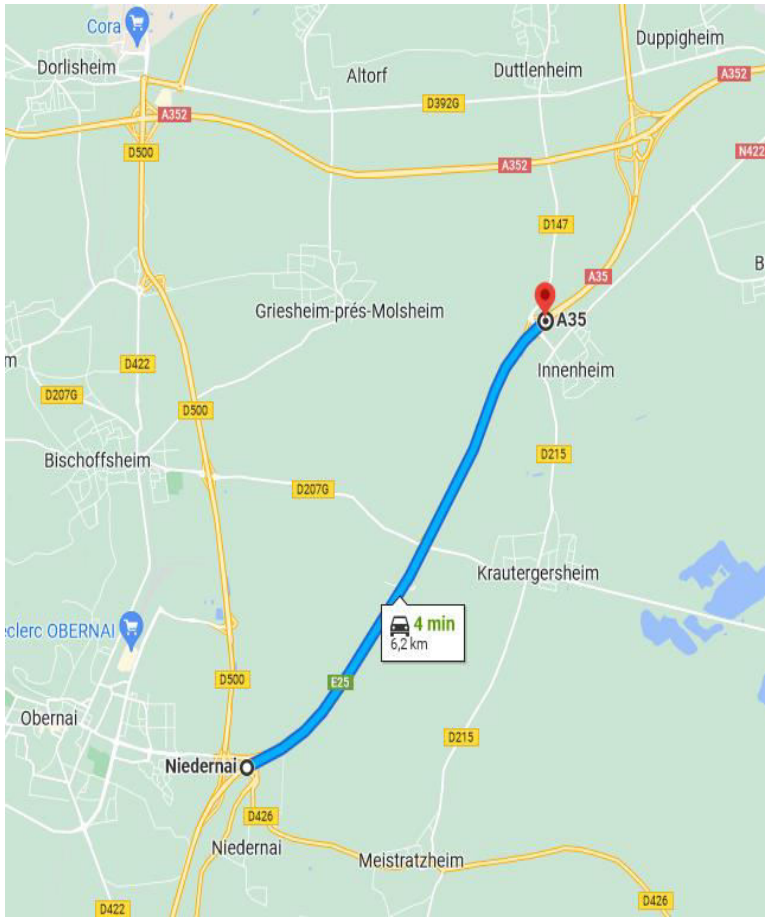


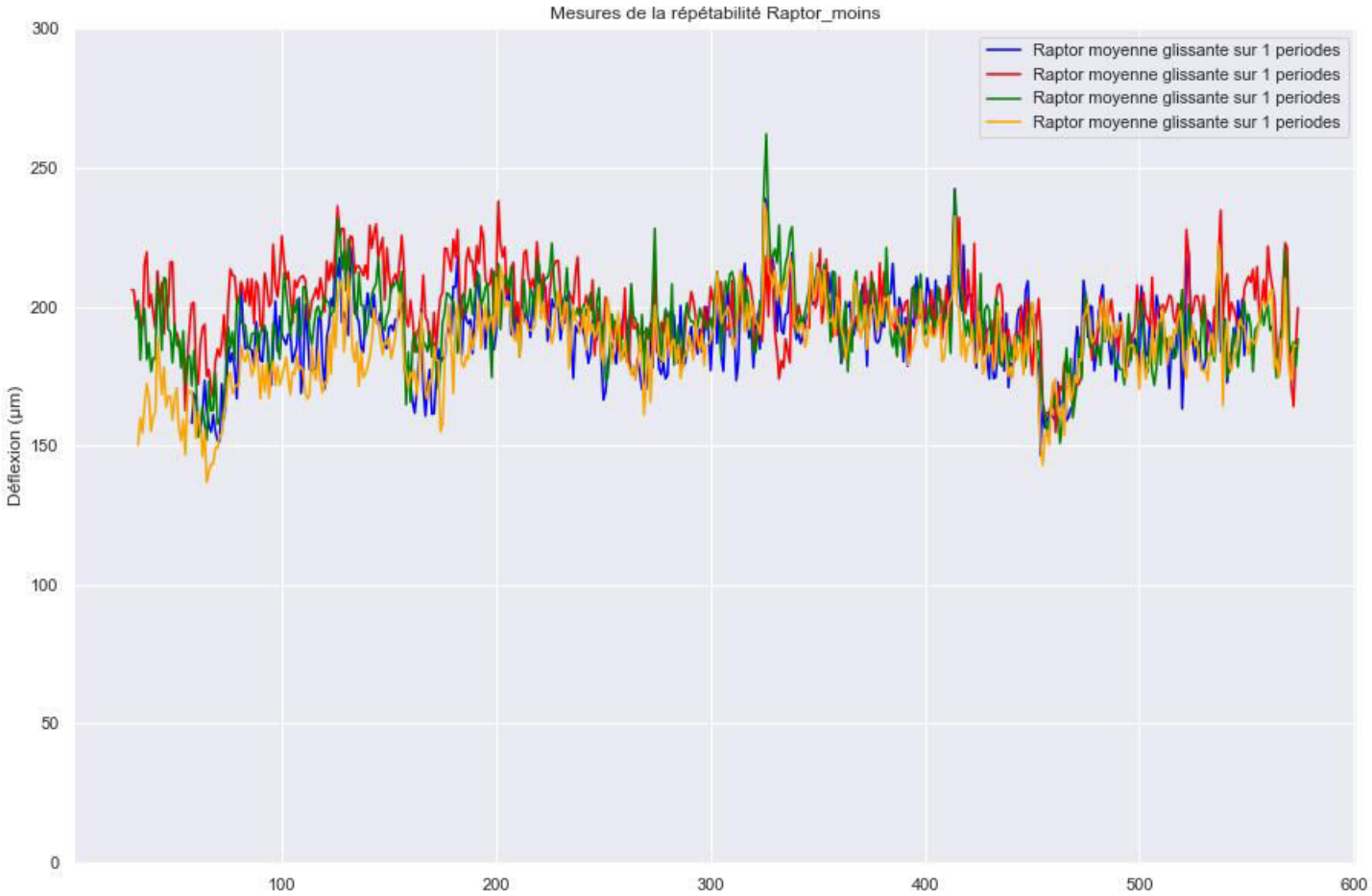
CORRÉLATIONS – RAPTOR = F (TSD) – $R^2 \leq 0,55$



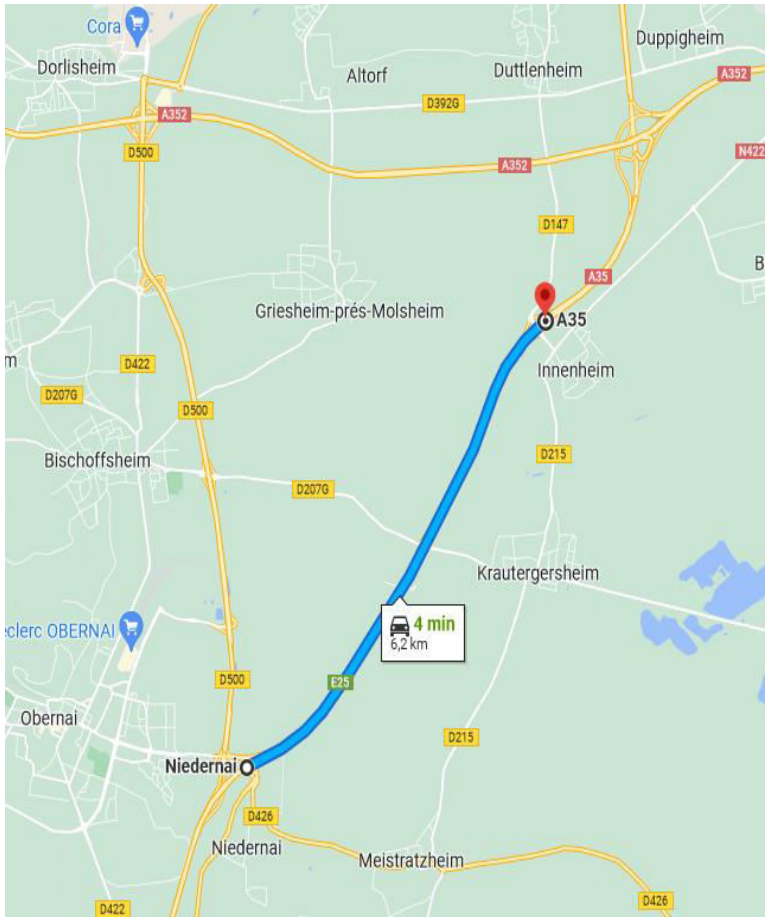
PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

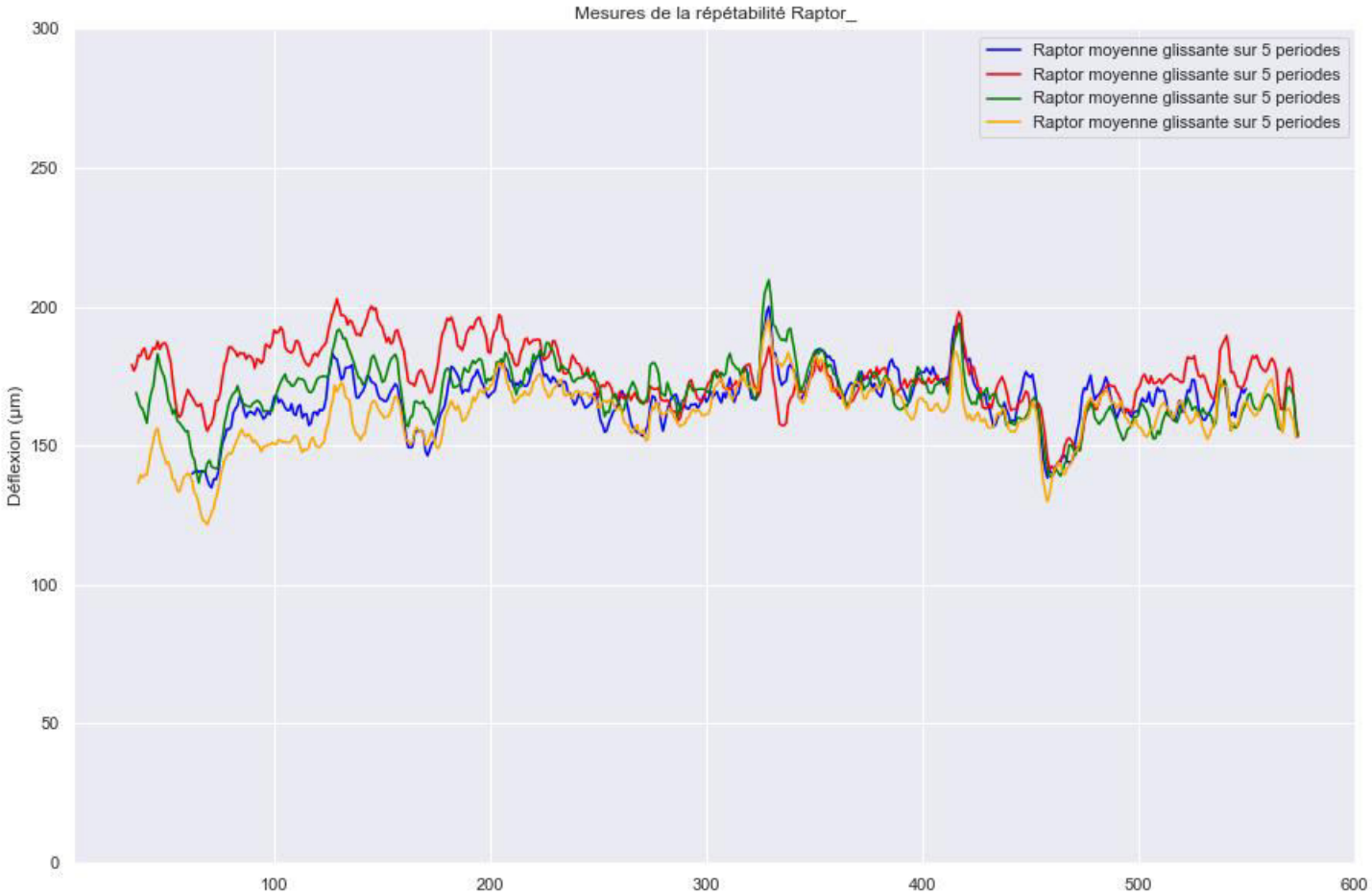
RÉSULTATS – RÉPÉTABILITÉ – SENS NÉGATIF



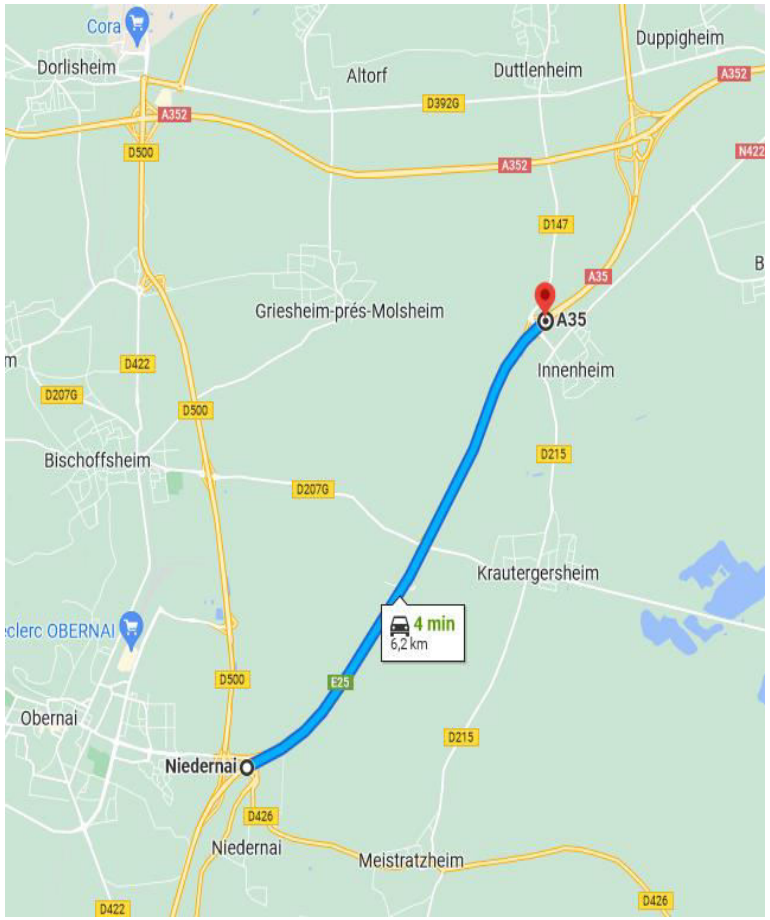


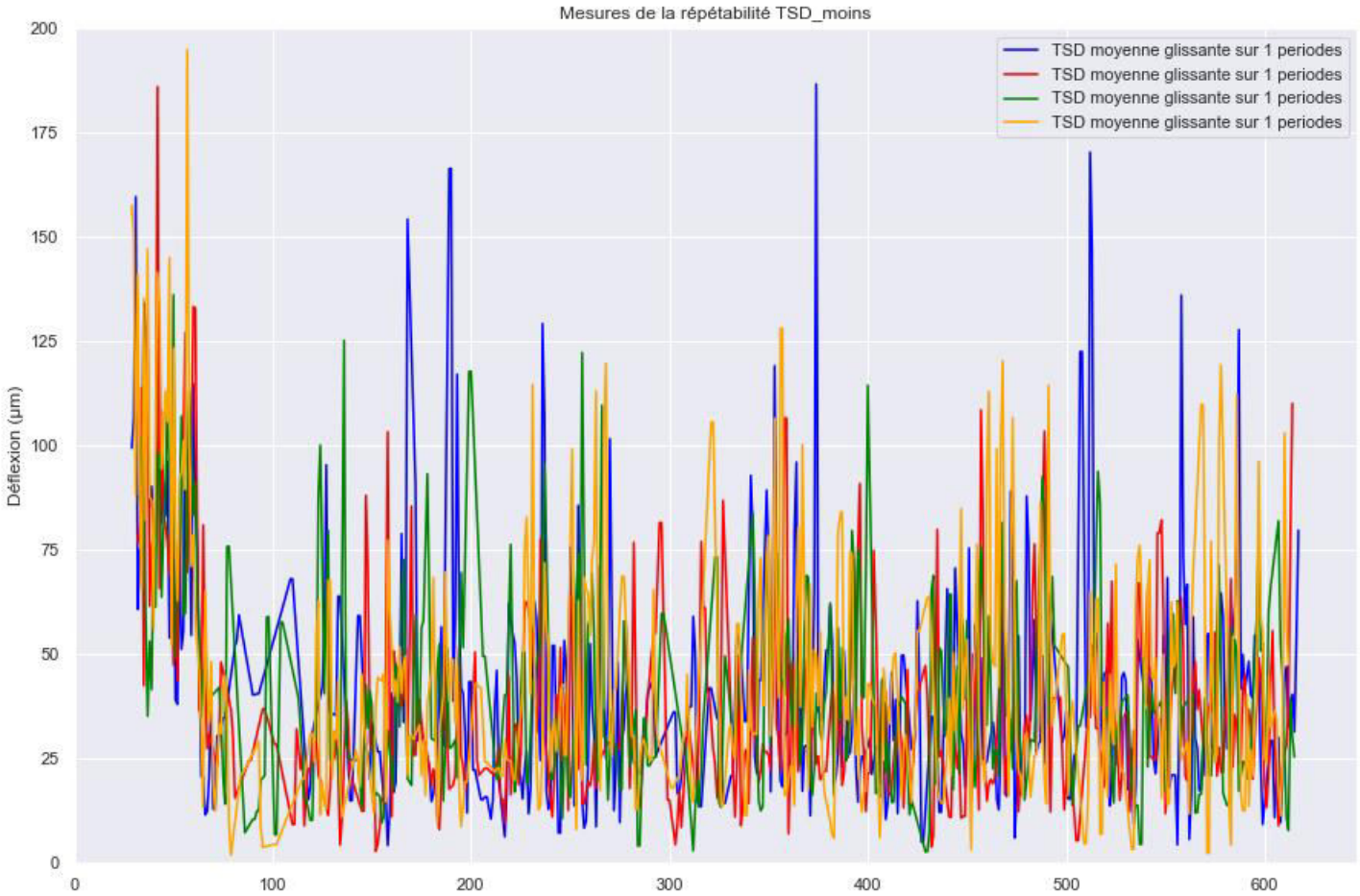
RÉSULTATS – RÉPÉTABILITÉ – SENS NÉGATIF



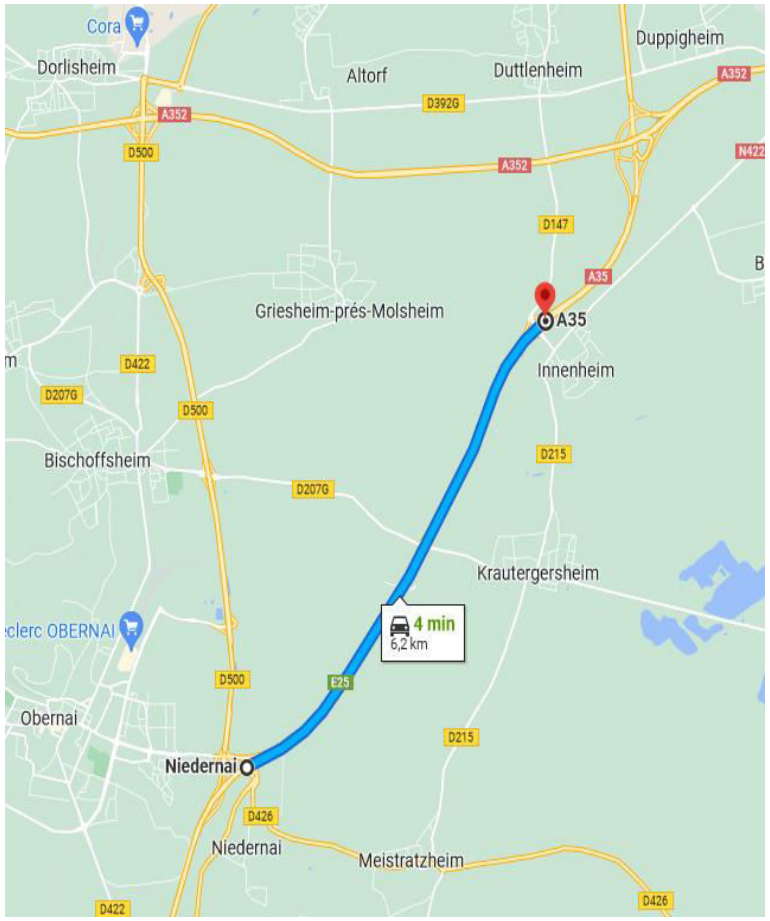


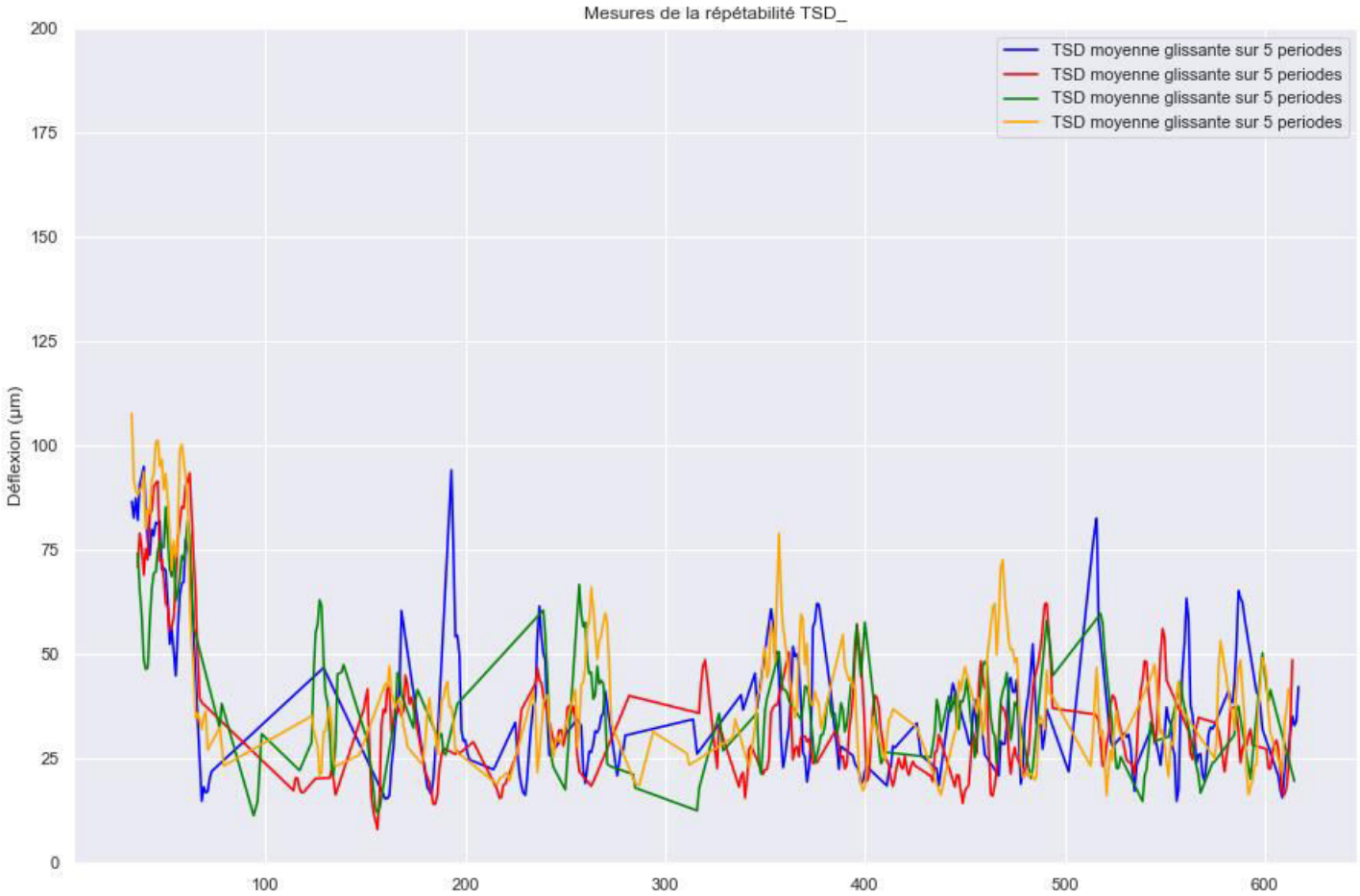
RÉSULTATS – RÉPÉTABILITÉ – SENS NÉGATIF





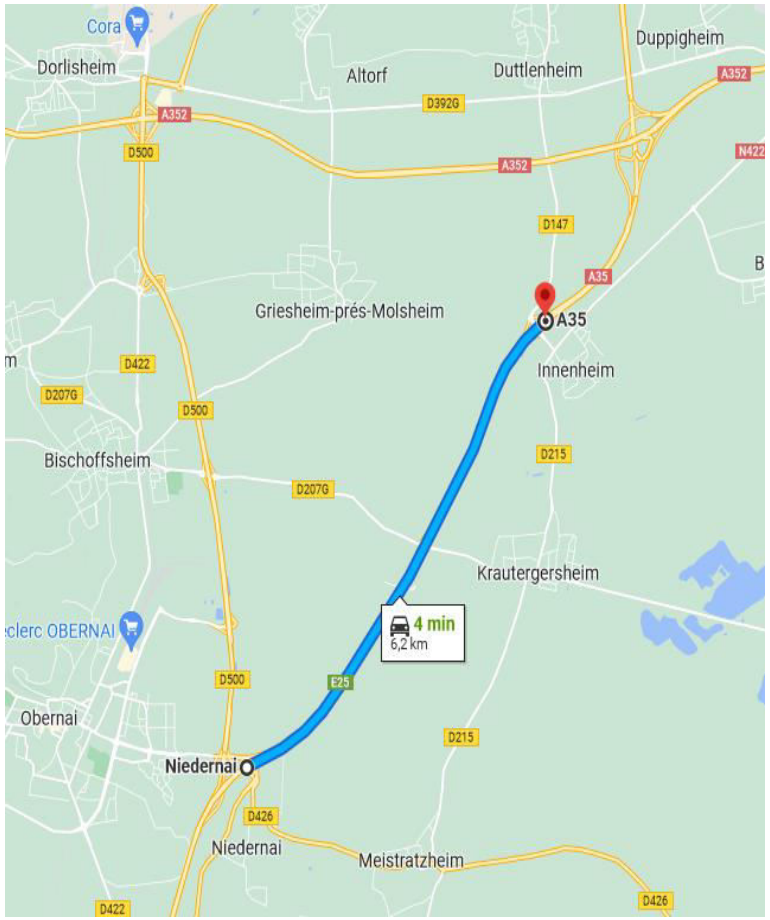
RÉSULTATS – RÉPÉTABILITÉ – SENS NÉGATIF

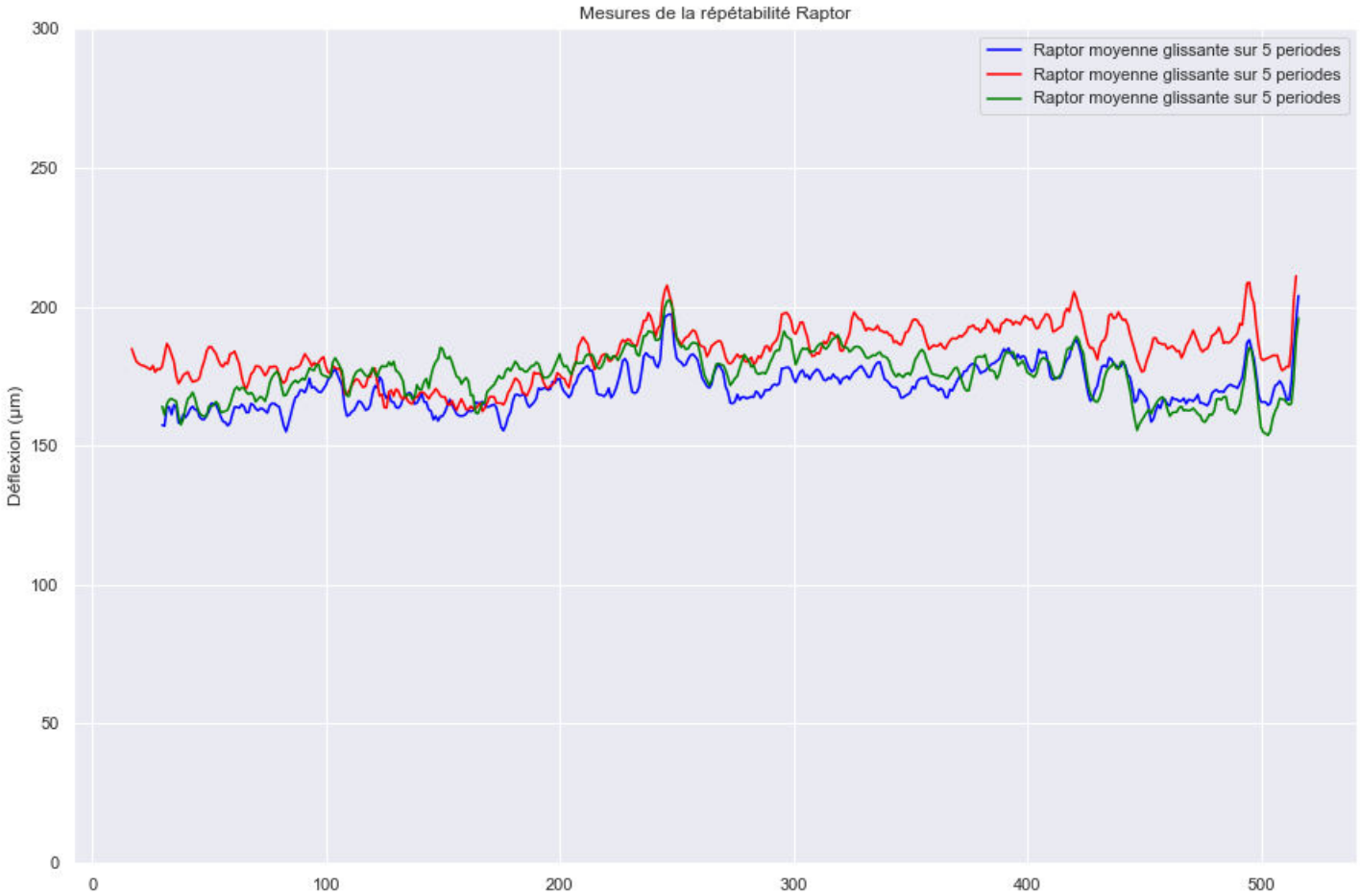




PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

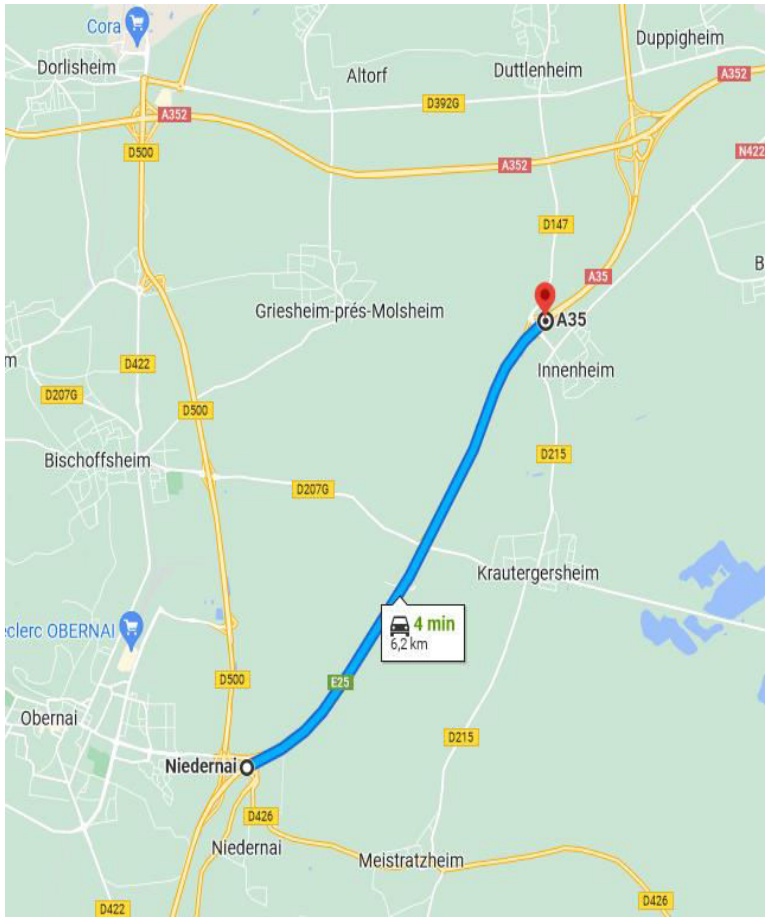
RÉSULTATS – RÉPÉTABILITÉ – SENS POSITIF





PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

RÉSULTATS – RÉPÉTABILITÉ – SENS POSITIF



CONCLUSIONS, À CE STADE

› Domaine d'utilisation

- Les deux appareils à grande vitesse ont été conçus pour permettre le suivi à l'échelle d'un réseau. Ils détectent bien tous deux des zones homogènes similaires sur l'ensemble du linéaire mesuré, ce qui les rend comparables à cette fin.
- En revanche, la valeur de la déflexion en elle-même, et donc de la déflexion caractéristique résultante pour une zone, semble dépendante du matériel et dans une certaine mesure 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.

› Limites de la comparaison

- Une des difficultés vient de la localisation géographique des mesures et du pas de restitution. Les notions de répétabilité / reproductibilité s'en trouvent impactées.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Alain Hebting
alain.hebting@cerema.fr
03 88 77 46 18 - 06 64 53 87 66

PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

Qualité des relevés à l'aide de LCMS

Essais croisés LCMS

PN - ANR MOVE

DVDC

DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

www.dvdc.fr

21/09/2023

Yannick Kempf – Cerema

Arnaud Feeser – Cerema

Exploitation
Réhabilitation
Maintenance

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Contexte et Objectifs

Capteurs LCMS

(Laser Crack Measurement System)

- Depuis 2014 en France
- 5 opérateurs
- Pas de référentiel d'exploitation partagé

Problématiques ASFA

- Quelle fiabilité des résultats ?
- Quelle reproductible des résultats en fonction :
  - Des véhicules utilisés
  - Des méthodes de traitement utilisés

Objectif des essais croisés :

Comparer les résultats de mesures LCMS effectuées dans les mêmes conditions

Campagne de Mesures

Sites de mesure

- 7 planches autoroutières de 10 km
- Voies lentes
- Réseau APRR

Conditions d'intervention

- Mesure en convoi
- Vitesse pratiquée 70 km/h
- Bonnes conditions météorologiques

Date d'intervention

- Mars 2021

N° de section	Type de revêtement	Etat de la section	Nombre de passage
1	BBSG	Moyen à mauvais	1
2	BBTM	Moyen à mauvais	1
3	BBTM	Bon	1
4	BBTM	Moyen	3
5	BBDr	Bon	1
6	BBDr	Moyen à mauvais	1
7	BBSG	Bon	1

› La phasage

Exploitation de base

- Fissuration
- Arrachement
- Orniérage
- Macrotexture
- Uni longitudinal

Exploitation suivant Méthodologie DVDC

- Analyse surfacique des dégradations
- Analyse des gravités
- Analyse des orientations
- Indicateurs au pas de 10 m

Exploitation suivant CDC ASFA

- Diversité de la restitution en fonction des opérateurs

MODALITÉS D'EXPLOITATION

Organisation

- Phase 1 :
  - Exploitation primaire par chaque opérateur
  - Mise en commun dans une base de données et exploitation statistique (Cerema)
- Phase 2 :
  - Post traitement suivant la méthodologie DVDC à partir des résultats de l'exploitation primaire de la phase 1
  - Exploitation statistique (Cerema)
- Phase 3 :
  - Post traitement suivant le CDC ASFA par chaque opérateur
  - Exploitation statistique (Cerema)

Contraintes d'exploitations primaires

- Même version de librairie d'exploitation (v4.50.7)
- Même configuration de l'exploitation (fournie par Technologies Nouvelles)
- Attention : librairies d'acquisition différentes

versions de librairie d'acquisition
2.6.0.0
2.8.5.0
4.1.4.0
4.1.5.0
4.8.10.0

Exploitation complémentaire particulière en phase 1 :

- Impact d'une librairie plus récente étudiée sur un opérateur seul

› Vérification des données

- Complétude, localisation, version de librairie, type d'exploitation

› Formatage et intégration

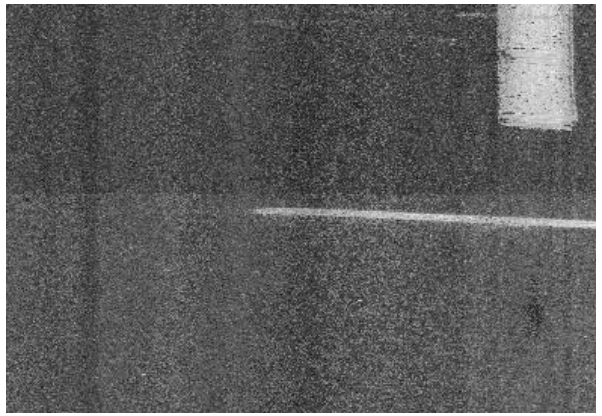
- Calage du point de départ (repère physique commun)
- Extraction et formatage des résultats de l'exploitation primaire (fichiers xml)
- Exploitation des profils en long suivant méthodologie Cerema (fichiers erd)
- Intégration structurée dans une base de données géographiques
- Anonymisation des données

→ Descripteurs élémentaires


```
- <CrackInformation>
    <DataFormat>1.4</DataFormat>
  + <Unit>
  - <CrackList>
    - <Crack>
        <CrackID>0</CrackID>
        <Length>3.55</Length>
        <WeightedDepth>2.37</WeightedDepth>
        <WeightedWidth>5.63</WeightedWidth>
      - <Node>
          <X>511.0</X>
          <Y>0.0</Y>
          <Width>8.2</Width>
          <Depth>0.9</Depth>
          <Type>0</Type>
        </Node>
      - <Node>
          <X>502.0</X>
          <Y>25.0</Y>
          <Width>6.3</Width>
          <Depth>7.6</Depth>
          <Type>0</Type>
        </Node>
      - <Node>
```


Automatisation de l'extraction et du formatage

- Longueur cumulée de mesure : 450 km
- Nombre de fichiers de mesures brutes : > 45 000
- Nombre de fichiers issues de l'exploitation de base : > 90 000 fichiers xml
- Temps de traitement : 1 h par planche / opérateur / passage



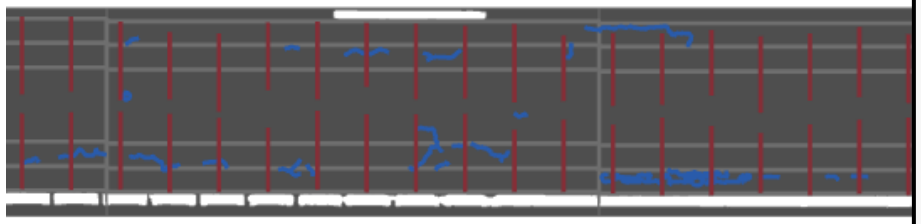
PHASE 1 : TRAITEMENT STATISTIQUE

Descripteurs élémentaires de caractérisation de l'état

- Arrachement
- Fissure
- Fissure Scellée (squelette)
- MTQ par bande
- MTQ par fichier fis
- Classification MTQ Faïençage
- Classification MTQ Fissures Multiples
- Classification MTQ Fissures Transversales
- Orniérage méthode ASTM
- Orniérage méthode française
- Hauteur d'eau
- MPD
- MTD
- Ressuage
- Nids de Poule
- Uni longitudinal (NBO et IRI par RoadInspect)
- Uni longitudinal en énergie (méthode Cerema)
- Uni longitudinal PO (méthode Cerema)
- Uni longitudinal MO (méthode Cerema)
- Uni longitudinal GO (méthode Cerema)

Descripteurs élémentaires de géométrie (mesure et voie)

- Périmètre des fichiers fis
- Bandes
- Marquage
- Lanemark (point)
- Lanemark (ligne)
- Devers
- Pente et courbure



V4_P4_1_Ornierage_fr_Ligne

objectid	9591
Vehicule	4
Planche	4
Passage	1
fis	844
s	4590860
t_gauche	155
t_droit	1656
t_jauge	980
cote	Left
type	7
validite	1
profondeur	4.93
largeur	1502.12
section	3700.61
pourcentage_deformation	0.0113
st_length(shape)	1501

PHASE 1 : TRAITEMENT STATISTIQUE

› Construction de grandeurs sur lesquelles faire l'exploitation statistique

- Choix des paramètres à exploiter
- Construction d'une méthodologie d'agrégation :

→ Descripteurs élémentaires vers descripteurs agrégés

› Recalage de la fin de planche

- Basé principalement sur la détection du marquage
- Correction homothétique (rapport unique par planche)
- Forçage sur une longueur théorique de 10 km

norme française

NF ISO 5725-2
Août 2020

Indice de classement : **X 06-041-2**

ICS : 03.120.30 ; 17.020

Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure — Partie 2 : Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée

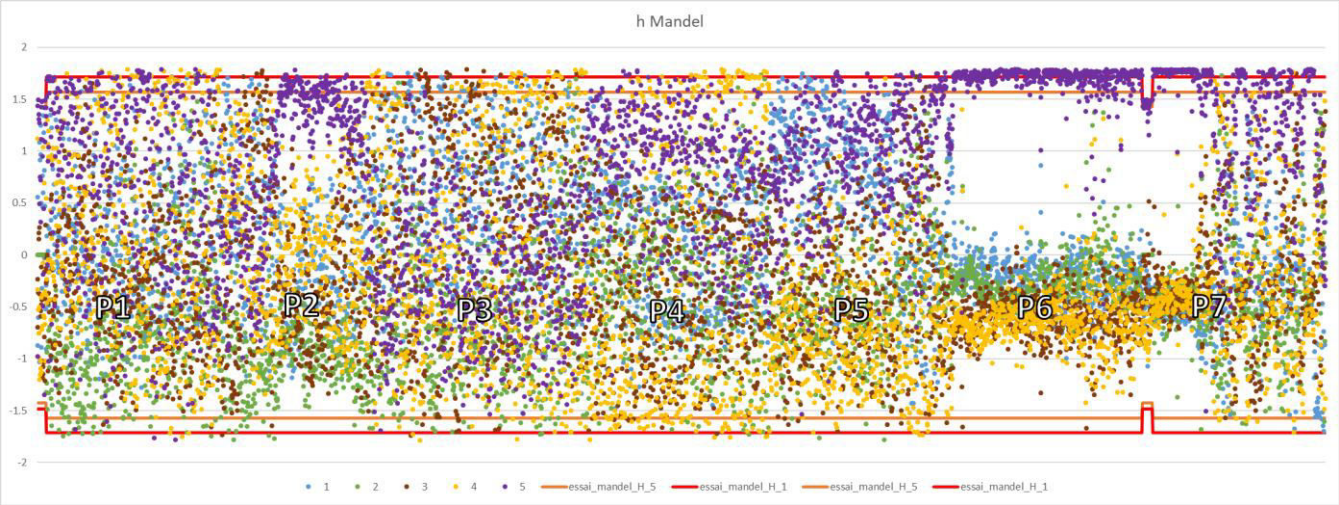
› Traitement informatique par descripteur agrégé

- Calcul du descripteur agrégé depuis le descripteur élémentaire correspondant
- Exploitation statistique brute sur le descripteur agrégé selon la norme ISO 5725-2
- Ventilation des résultats selon 3 niveaux (cellule, planche, global)
- Restitution par fichier texte (par descripteur agrégé, environ 10 Mo et 2 minutes)

Liste des descripteurs agrégés

- Arrachement (20 m)
- Arrachement court (5 m)
- Arrachement moyen (10 m)
- Fissure Totale
- Hauteur d'eau
- IRI centre court
- IRI centre long
- IRI droit court
- IRI droit long
- IRI gauche court
- IRI gauche long
- Largeur Lanemark
- Largeur Orniérage ASTM droit
- Largeur Orniérage ASTM gauche
- Largeur Orniérage FR droit
- Largeur Orniérage FR Gauche
- MPD axe
- MPD droit
- MPD gauche
- MTD axe
- MTD droit
- MTD gauche
- MTQ fatigue grave
- MTQ fatigue léger
- MTQ fatigue minime
- MTQ fatigue moyen
- MTQ fatigue pontée
- MTQ fissure BDR d&g moyen&grave
- MTQ fissure BDR droite grave
- MTQ fissure BDR droite léger
- MTQ fissure BDR droite minime
- MTQ fissure BDR droite moyen
- MTQ fissure BDR droite pontée
- MTQ fissure BDR gauche grave
- MTQ fissure BDR gauche léger
- MTQ fissure BDR gauche minime
- MTQ fissure BDR gauche moyen
- MTQ fissure BDR gauche pontée
- MTQ fissure hors BDR grave
- MTQ fissure hors BDR léger
- MTQ fissure hors BDR minime
- MTQ fissure hors BDR moyen
- MTQ fissure hors BDR pontée
- MTQ fissure total grave
- MTQ fissure total léger
- MTQ fissure total minime
- MTQ fissure total moyen
- MTQ fissure total pontée
- MTQ no fatigue grave
- MTQ no fatigue léger
- MTQ no fatigue minime
- MTQ no fatigue moyen
- MTQ no fatigue pontée
- MTQ transversale complète grave
- MTQ transversale complète léger
- MTQ transversale complète minime
- MTQ transversale complète moyen
- MTQ transversale complète pontée
- MTQ transversale incomplète grave
- MTQ transversale incomplète léger
- MTQ transversale incomplète minime
- MTQ transversale incomplète moyen
- MTQ transversale incomplète pontée
- NGO centre
- NGO droit
- NGO gauche
- Nids de poule
- NMO centre
- NMO droit
- NMO gauche
- NPO centre
- NPO droit
- NPO gauche
- Profondeur Orniérage ASTM droit
- Profondeur Orniérage ASTM gauche
- Profondeur Orniérage FR droit
- Profondeur Orniérage FR gauche
- QSPO
- Vitesse

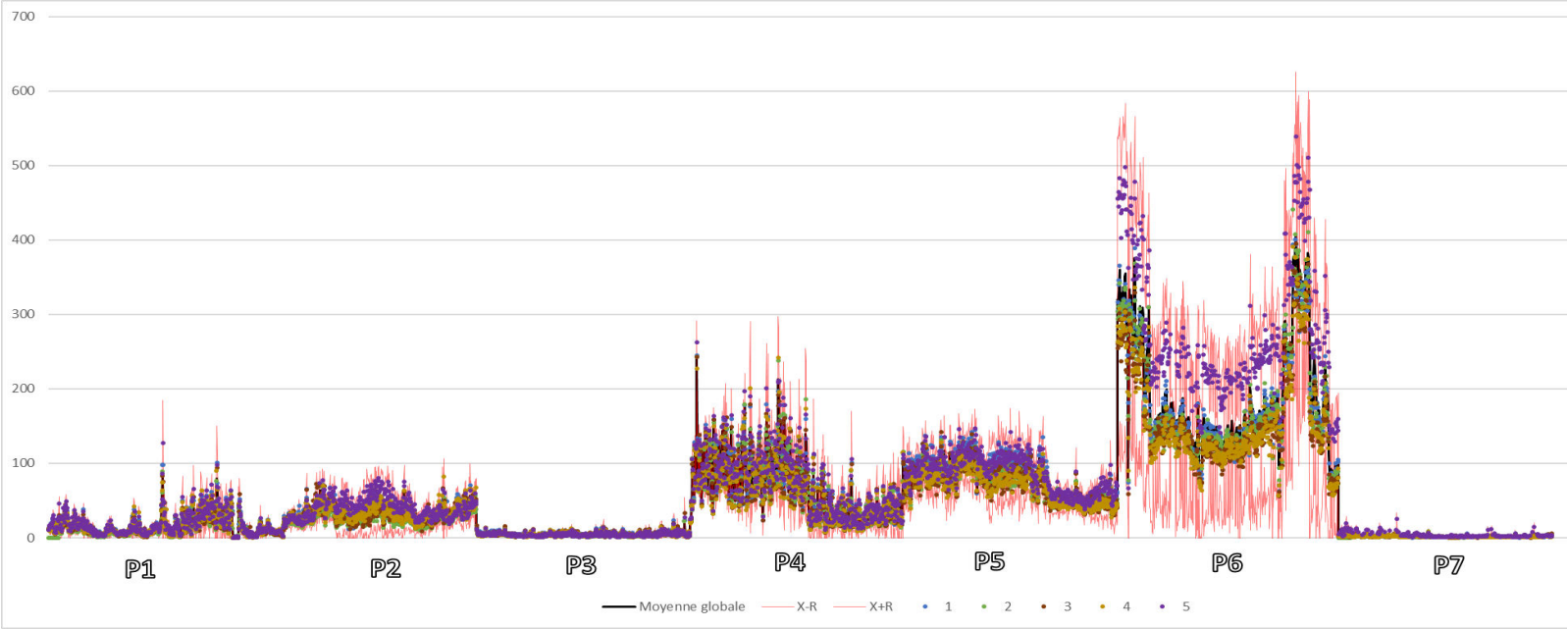
- Volume moyen d'arrachement de surface mesuré sur une maille de 250 mm
  - Unité : cm^3/m^2
  - Agrégation par pas de 20 mètres



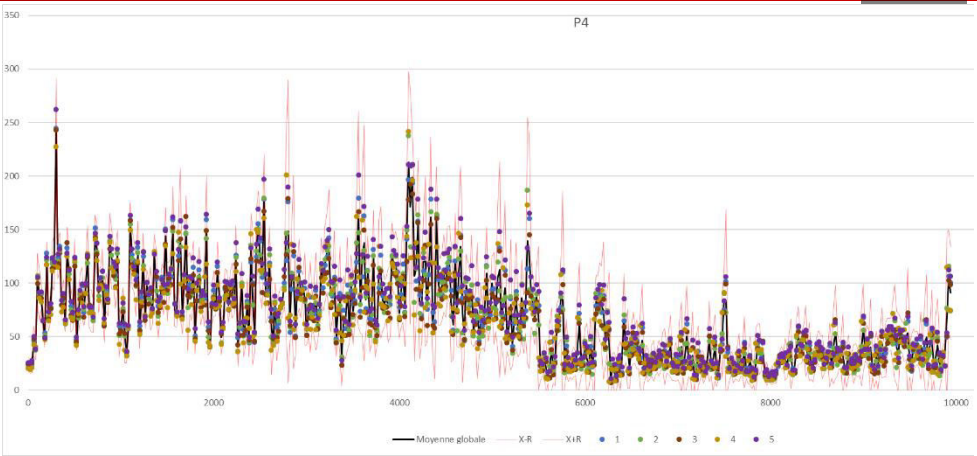
- Test de Mandel h
  - Approche visuelle des niveaux de justesse des participants (homogénéité/hétérogénéité)

› Vue globale

- Permet d'apprécier les niveaux de valeurs des différentes sections de mesures
- Donne une indication sur la représentativité générale



PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES



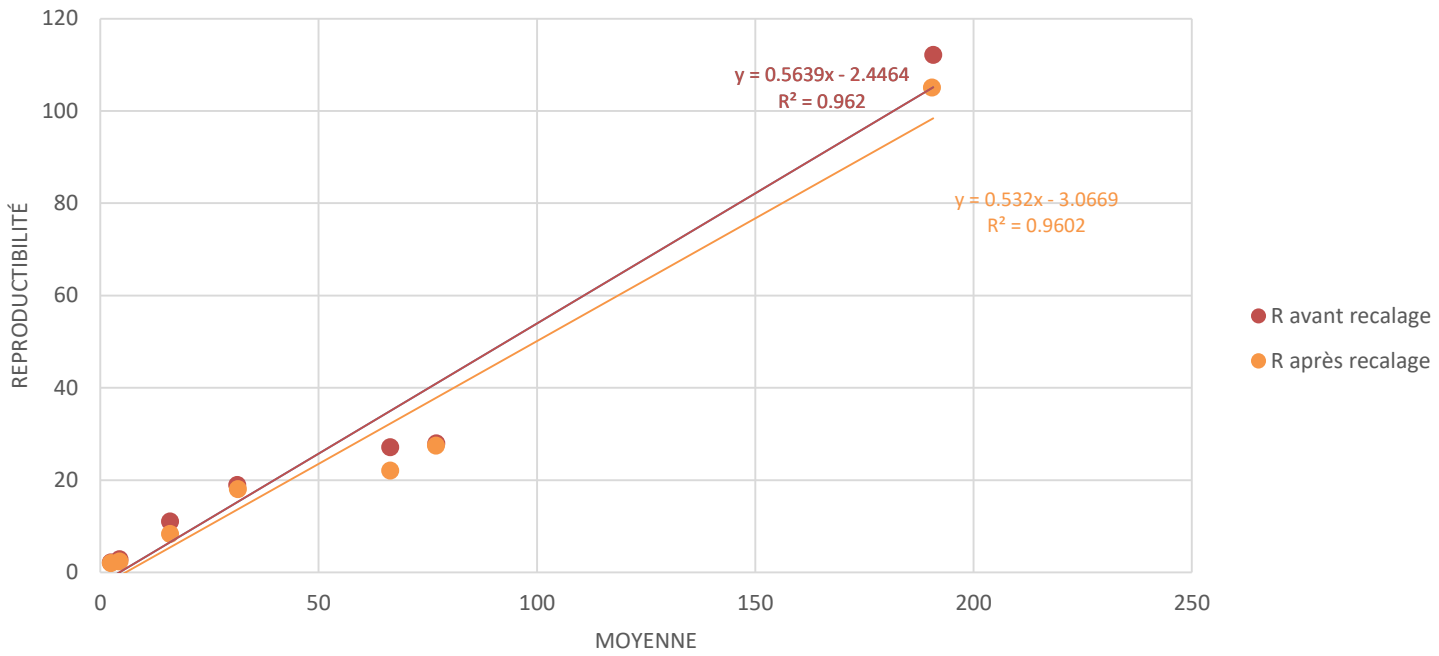
› Evaluation par section

- Permet de traiter statistiquement une section
- Calcul des moyennes et écart-types
- Visualisation des valeurs aberrantes et valeurs isolées obtenues
- Calcul des valeurs de répétabilité r et de Reproductibilité R
- Existence ou non d'un lien entre moyenne et reproductibilité/Reproductibilité

	moyenne	écart-type	nb val	nb val manquantes		nb valeurs écartées*		nb valeurs isolées		**Moyenne totale**	**répétabilité moy. r**
Opérateur 1	67 cm3/m²	40.3 cm3/m²	495	5	1 %	6	1.2 %	8	1.6 %	**66.4 cm3/m²**	**10.8 cm3/m²**
Opérateur 2	65.3 cm3/m²	41.1 cm3/m²	478	22	4.4 %	23	4.8 %	50	10.5 %		
Opérateur 3	63.6 cm3/m²	38.4 cm3/m²	497	3	0.6 %	1	0.2 %	2	0.4 %		
Opérateur 4	62.9 cm3/m²	37.9 cm3/m²	493	7	1.4 %	8	1.6 %	9	1.8 %		**16.3 %**
Opérateur 5	73.4 cm3/m²	42.6 cm3/m²	490	10	2 %	13	2.7 %	32	6.5 %	**Nombre de valeurs théoriques**	**Reproductibilité moyenne R**
										500	**22 cm3/m²**
											33.2 %
						* plusieurs invalidités statistiques possibles pour une même cellule					

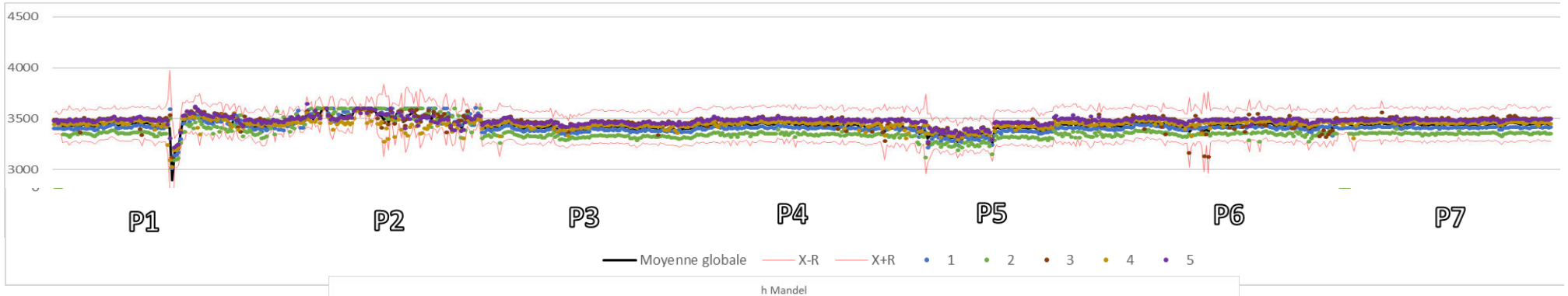
› Evaluation de l'ensemble des sections

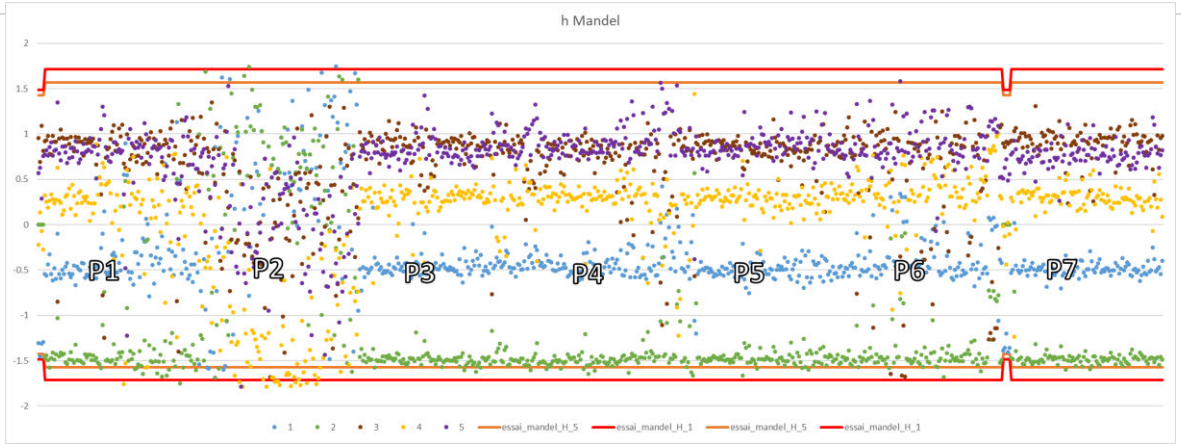
- Observation de l'existence ou non d'un lien entre R et moyenne



› Principaux constats :

- Résultats des opérateurs homogènes
- Points singuliers repérés
- Erreur systématique entre opérateurs
- Ecart moyen jusque 30 cm selon planches et opérateurs





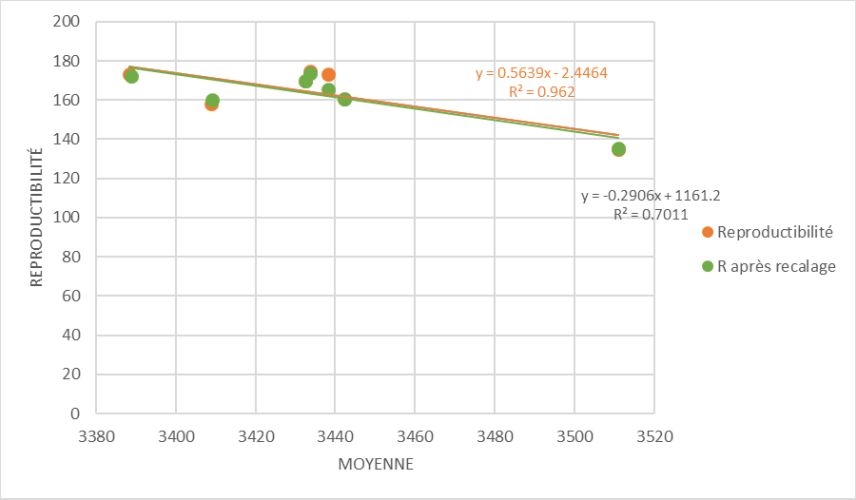
PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

› Pour les trois descripteurs testés, pas d'effet négatif du recalage :

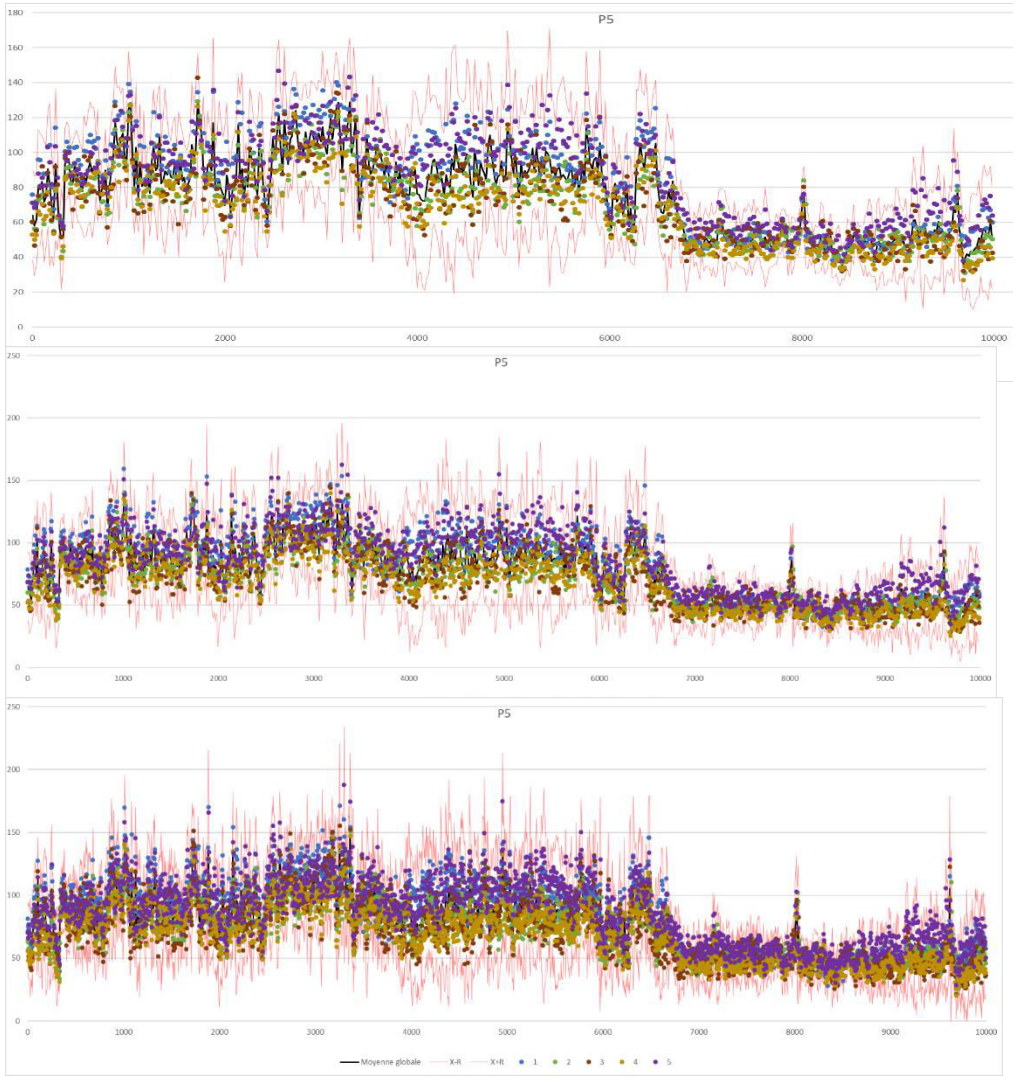
- Lanemark (100 mètres) → moyenne, répétabilité (r) et reproductibilité (R) proches
- Texture BdR droite - MPD (10 mètres) → moyenne, r et R identiques
- Arrachements (20 mètres) → moyennes proches, r et R légèrement améliorées

Non recalé					**Recalé**			
	moyenne	r	R			moyenne	r	R
Planche P1 (mm)	3438.3	-	166.8		Planche P1 (mm)	3438.3	-	165.7
Planche P2 (mm)	3511.0	-	135.1		Planche P2 (mm)	3511.0	-	135.2
Planche P3 (mm)	3408.9	-	158.4		Planche P3 (mm)	3409.0	-	160.2
Planche P4 (mm)	3433.6	34.2	174.5		Planche P4 (mm)	3433.7	32.9	173.6
Planche P5 (mm)	3388.4	-	173.0		Planche P5 (mm)	3388.7	-	172.5
Planche P6 (mm)	3432.5	-	169.6		Planche P6 (mm)	3432.5	-	169.9
Planche P7 (mm)	3442.3	-	160.6		Planche P7 (mm)	3442.4	-	160.6

Lanemark



- Moyennes identiques pour toutes les planches
- Plus le pas est important, plus la répétabilité (planche 4) et la reproductibilité s'améliorent
- Exemple sur la planche 5 :
  - Moyenne sur 10 000 mètres = 76.9 cm3/m²
  - Valeur mini = 69.1 cm3/m²
  - Valeur maxi = 86.9 cm3/m²
  - Reproductibilité de
    - 27.4 cm3/m² (20 m)
    - 29.4 cm3/m² (10 m)
    - 31.5 cm3/m² (5 m)



PN - ANR MOVE DVDC DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

› Bande de roulement gauche :

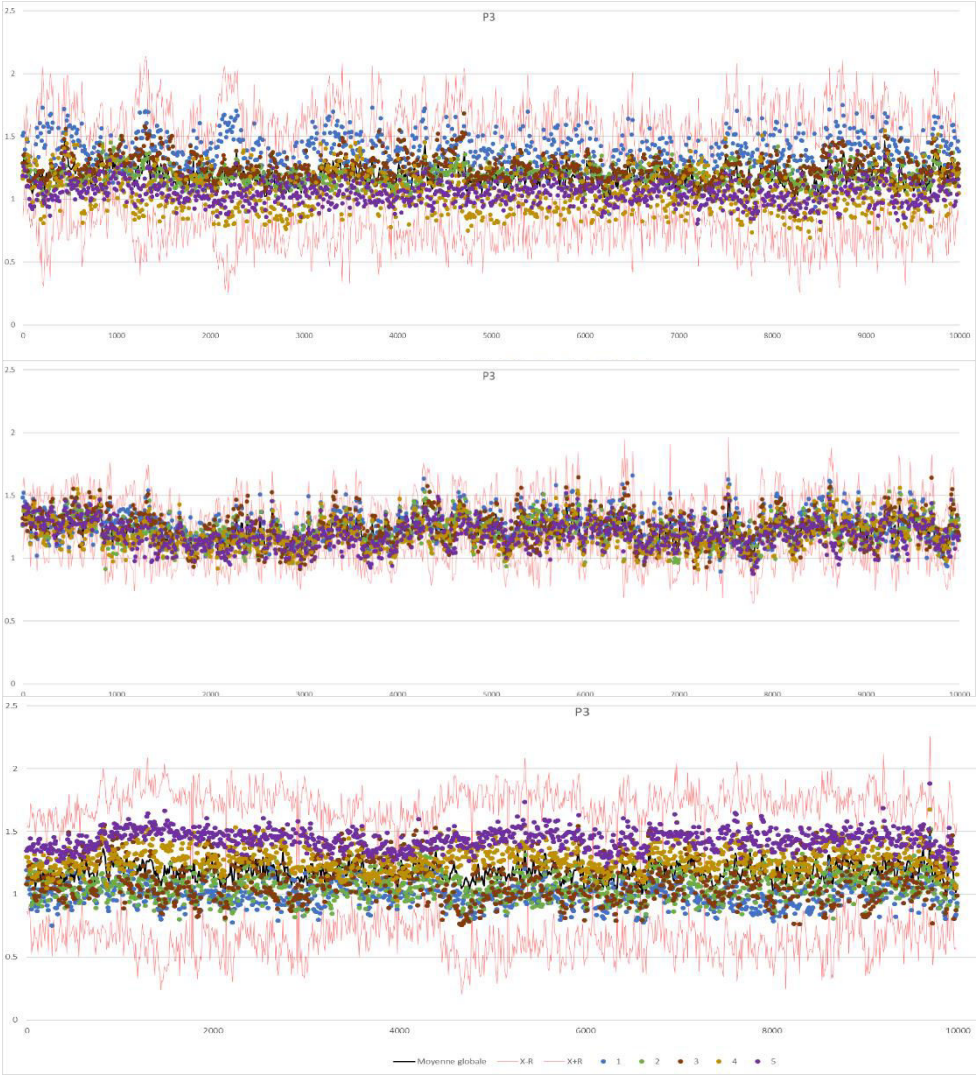
- Moyenne opérateur bleu = 1.4 mm (s = 0.1)
- Moyenne opérateur violet = 1.0 mm (s = 0.1)

› Axe :

- Moyenne opérateur bleu = 1.3 mm (s = 0.1)
- Moyenne opérateur violet = 1.2 mm (s = 0.1)

› Bande de roulement droite :

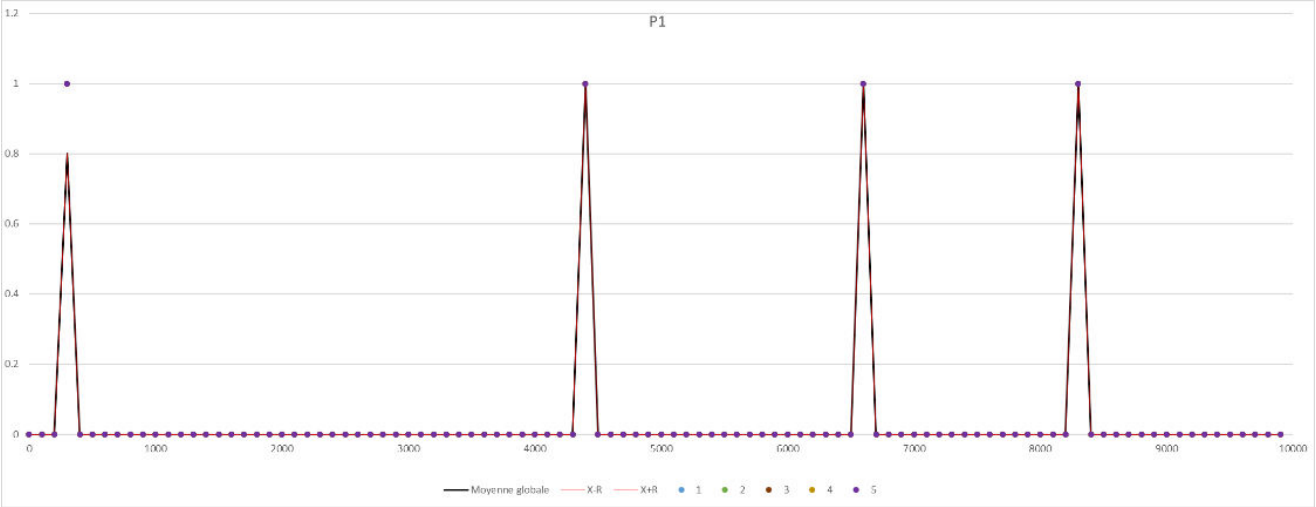
- Moyenne opérateur bleu = 1.0 mm (s = 0.1)
- Moyenne opérateur violet = 1.4 mm (s = 0.1)



- Globalement très peu de nids-de-poule rencontrés sur les 7 sections mesurées (représentativité statistique)

- Détection des nids-de-poule par l'ensemble des appareils

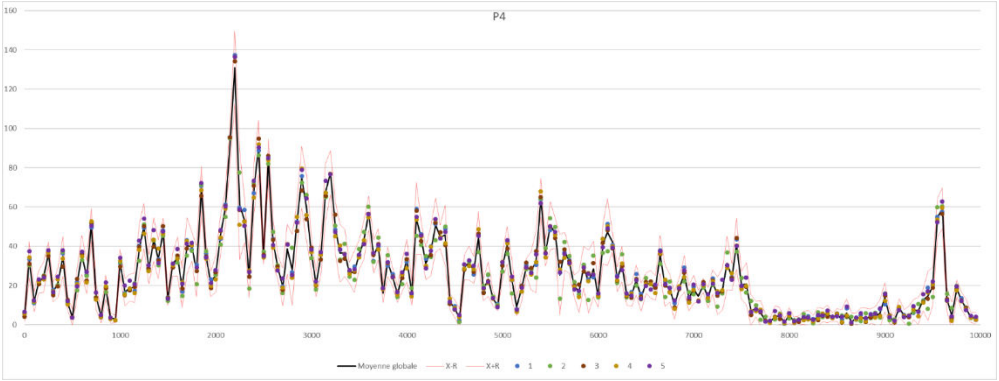
- Exemple pour P1



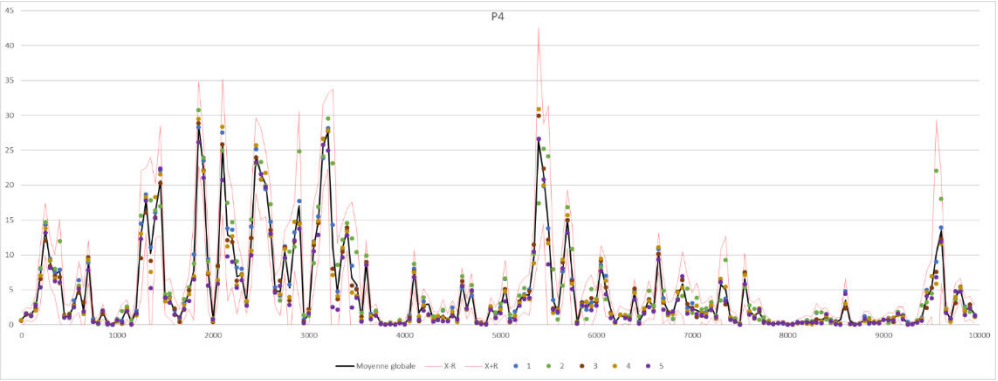
  - 4 nids-de poule sur 10 000 mètres

  - 3 nids de poule sur 4 repérés par l'ensemble des appareils de mesure

- Exemple pour P4
- Fissure totale :
  - Moyenne = 26.1 m (min = 24.9 - max = 26.7 m)
  - Répétabilité = 6.0 m (23 %)
  - Reproductibilité = 7.9 m (30 %)



- Fissure moyenne et grave MTQ :
  - Moyenne = 4.8 m (min = 4.2 - max = 5.7 m)
  - Répétabilité = 2.0 m (41.7 %)
  - Reproductibilité = 3.0 m (62.2 %)



CONCLUSIONS

- Les résultats obtenus sont globalement de bonne qualité
- La physionomie des courbes est proche pour l'ensemble des opérateurs même s'il est observé parfois quelques décalages verticaux (offset)
- Certains descripteurs agrégés (étape nécessaire) examinés mettent en évidence une fiabilité moindre que d'autres (jugé uniquement sur les valeurs de répétabilité et de reproductibilité)
- Les sections qui ont fait l'objet de mesures sont globalement en bon état ce qui peut limiter l'interprétation statistique pour certains descripteurs.

Reste à faire

- Les résultats de la Phase II ont été analysés statistiquement (non présentés aujourd'hui)
  - Indicateurs DVDC

- Les résultats de la Phase III seront traités dès réception de l'ensemble des résultats
  - Indicateurs ASFA

› Merci de Votre attention !

› Pour toutes questions :

- Exploitation statistique des données (Cerema)
  - Sébastien WASNER
  - Yannick KEMPF
  - Nicolas GRIGNARD
  - Damien LESBATS
  - Arnaud FEESER