

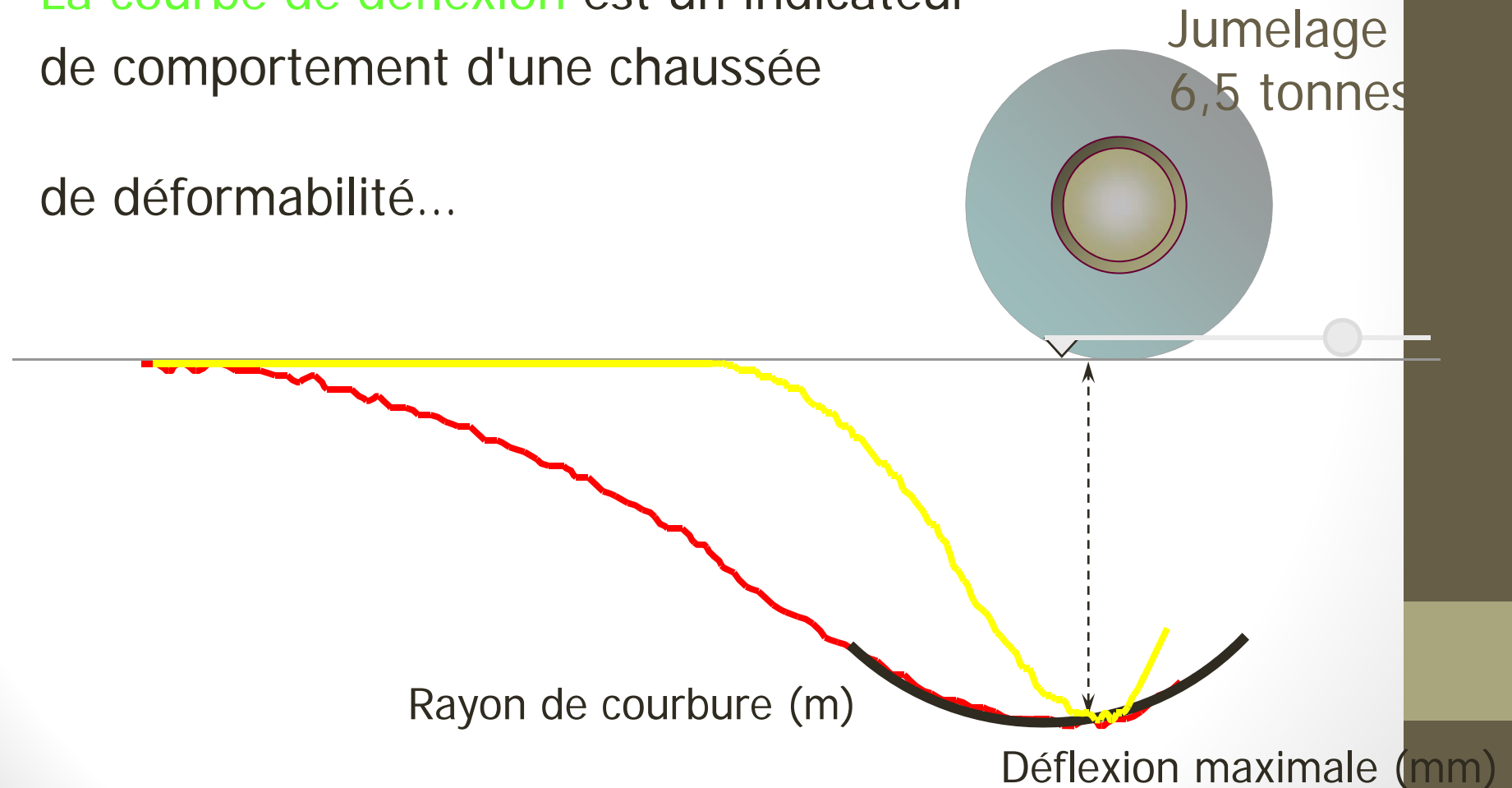
Les mesures de déflection au déflectomètre Benkelman modifié (à la poutre)

Plan

- Rappels
- Modes de mesure
- Interprétation
- Valeurs de références
- Incidence d'un écart de déflection sur la solution d'entretien avec ERASMUS

Principe de mesure de la déflexion

La courbe de déflexion est un indicateur de comportement d'une chaussée de déformabilité...



- Merci Bernard

Modes de mesure



- C'est un essai normalisé
- NF P98-200-1 de juil 1991 (définitions)
- NF P98-200-2 de nov 1992

Modes de mesure

norme française

NF P 98-200-2

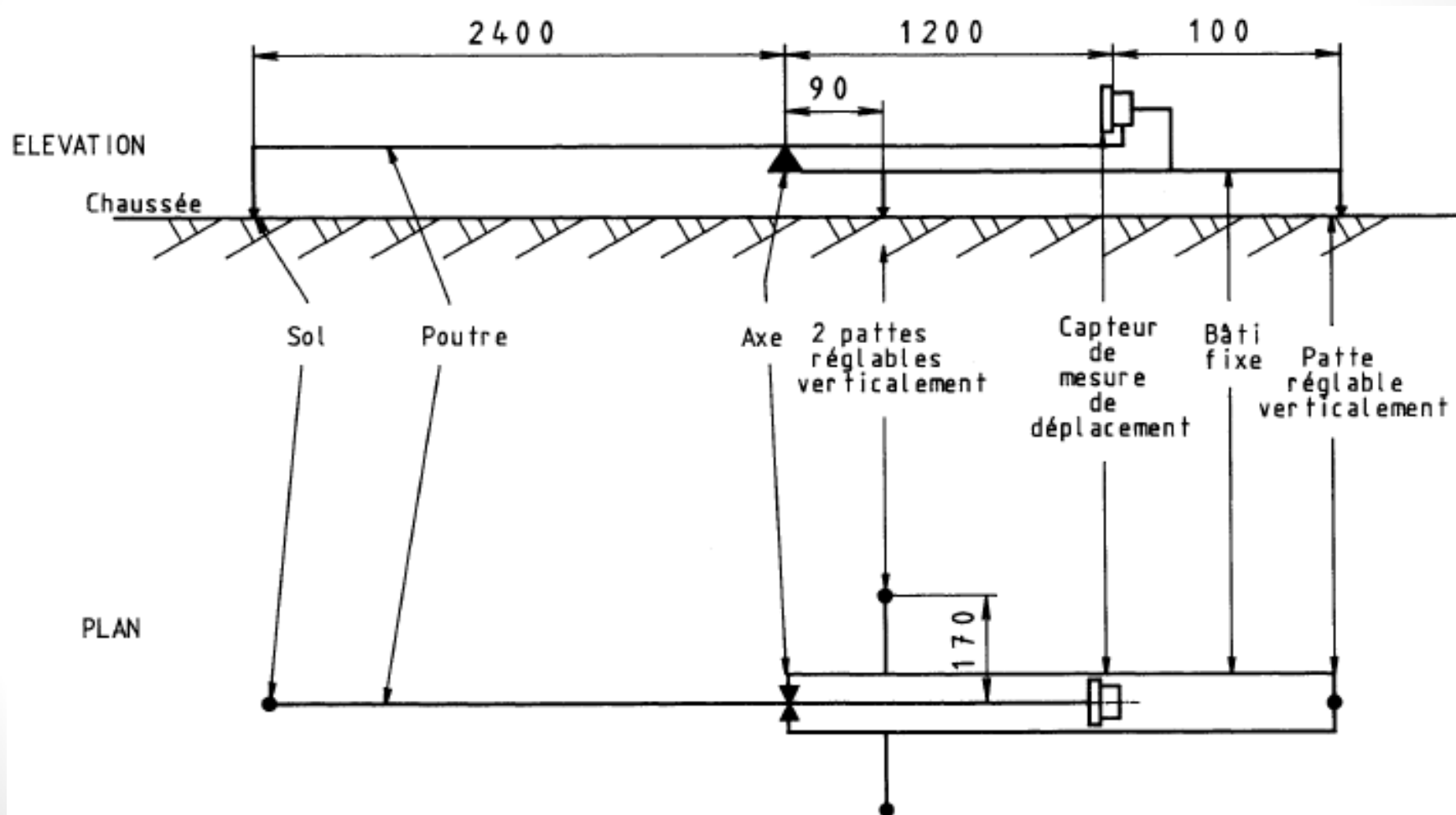
Novembre 1992

Essais relatifs aux chaussées

Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante

**Partie 2 : Détermination de la déflexion et du rayon de courbure
avec le déflectomètre Benkelman modifié**

Dimensions du déflectomètre





Mesure en
marche arrière

Axe de l'essieu
arrière ≥ 4 m

(Distance
pouvant être
ramenée à
2,20m en
fonction de la
déformabilité
de la structure)

Résultats P.V.

- Lieu de mesure
- Déflexion maximale dM
Éventuellement la déflexion rémanente dr, lorsque le camion en marche avant s'éloigne de plus de 4 m
La déflexion élastique de = $dM - dr$
- La charge de l'essieu arrière
Normalement 130 kN (à 2 % près)
- La température de surface de la chaussée (degré Celsius près)

Constat

- Difficultés de « trouver » :
 - un PL à 2 essieux chargé à 130 kN à l'arrière
 - Un chauffeur capable de faire une marche arrière de plus de 2 m qui n'écrase pas la poutre
- Solution
 - Acheter un camion spécifique
 - Faire les mesures en marche avant

Faire les mesures en marche avant

- Thème 20 d'une étude CEELRO
- réalisée par le LD de la Sarthe
Comparaison des déflexions mesures en marche « avant » et en marche « arrière »

Faire les mesures en marche avant **Thème 20**

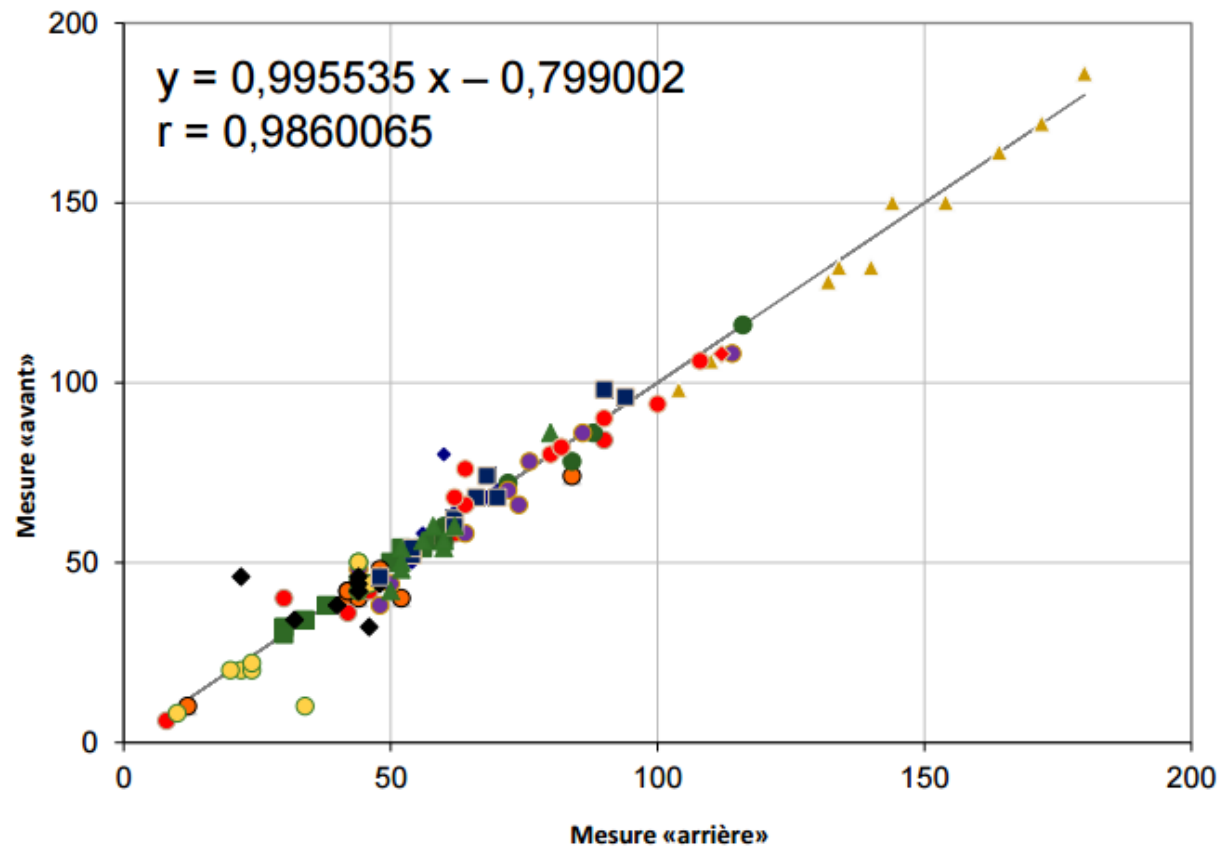
- Campagne de mesures : Réalisée du 15 au 17/11/2011 par le CG 72
- Mesures sur sections d'essai «gel/dégel» 12 planches de 10 mesures = 120 mesures
- Structures souples ou bitumineuses épaisses

Faire les mesures en marche avant **Thème 20**

- Protocole : Camion avec essieu 13t du CG 72
- Mesures réalisées par 1 seul opérateur
- Mesures « arrière » (norme) puis mesure « avant » après remise à zéro du comparateur

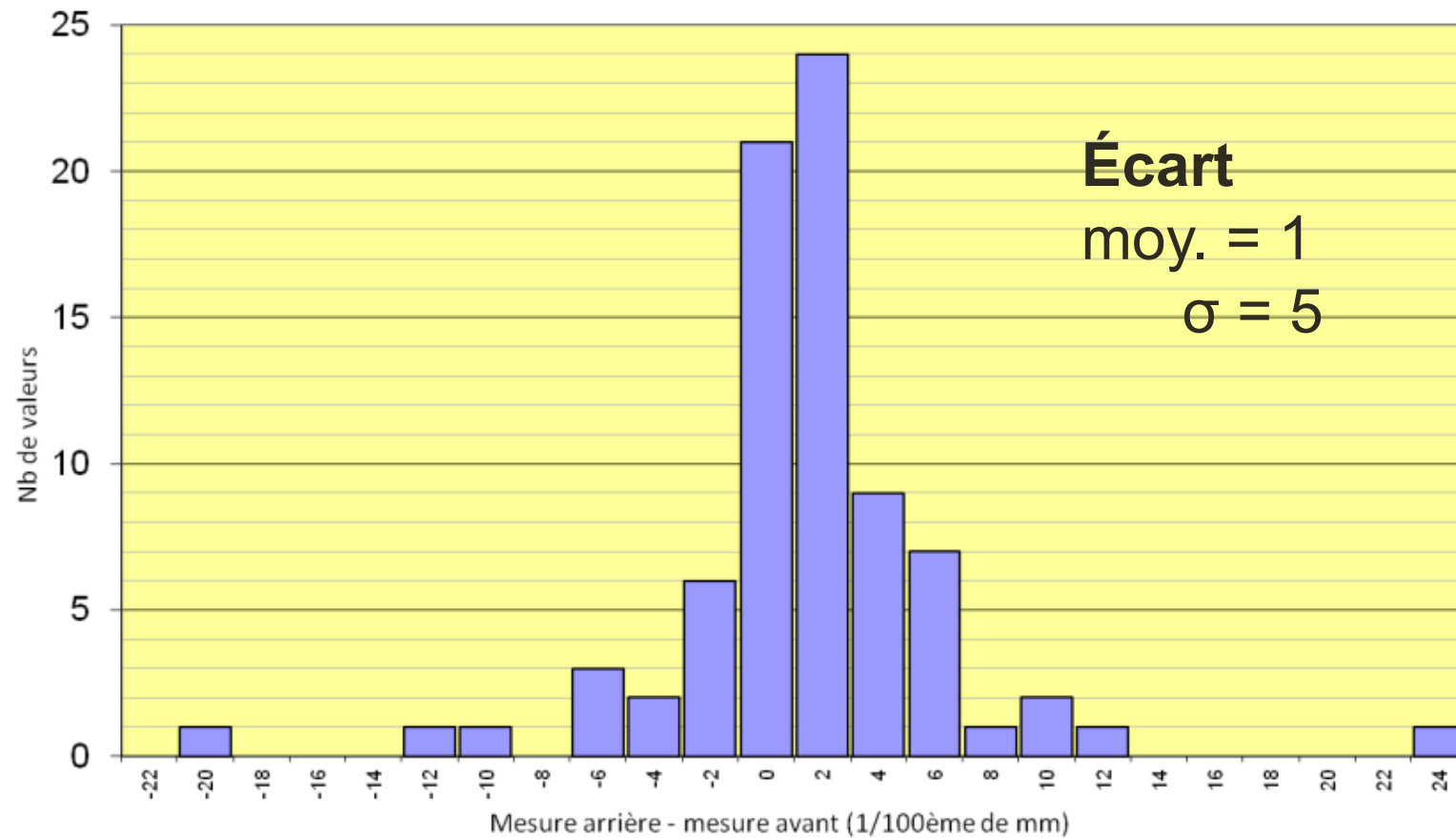
Faire les mesures en marche avant **Thème 20**

■ Résultat des mesures :



Faire les mesures en marche avant **Thème 20**

■ Résultat sur les écarts : Mes. AR - Mes. AV



Faire les mesures en marche avant **Thème 20**

- L'écart moyen est très faible
- Son amplitude est voisine de 10/100 mm
(Écarts négatifs liés à la remise à zéro ?)
- Absence de répétabilité (aucune information dans la norme !)

Faire les mesures en marche avant **Thème 20**

Conclusion

- La mesure *marche avant* nous fournit la déflexion « élastique » normalement inférieure à la déflexion max en *marche arrière*
- Eu égard à la facilité de mesure en *marche avant* celle-ci pourrait être retenue et faire l'objet d'une révision de la norme

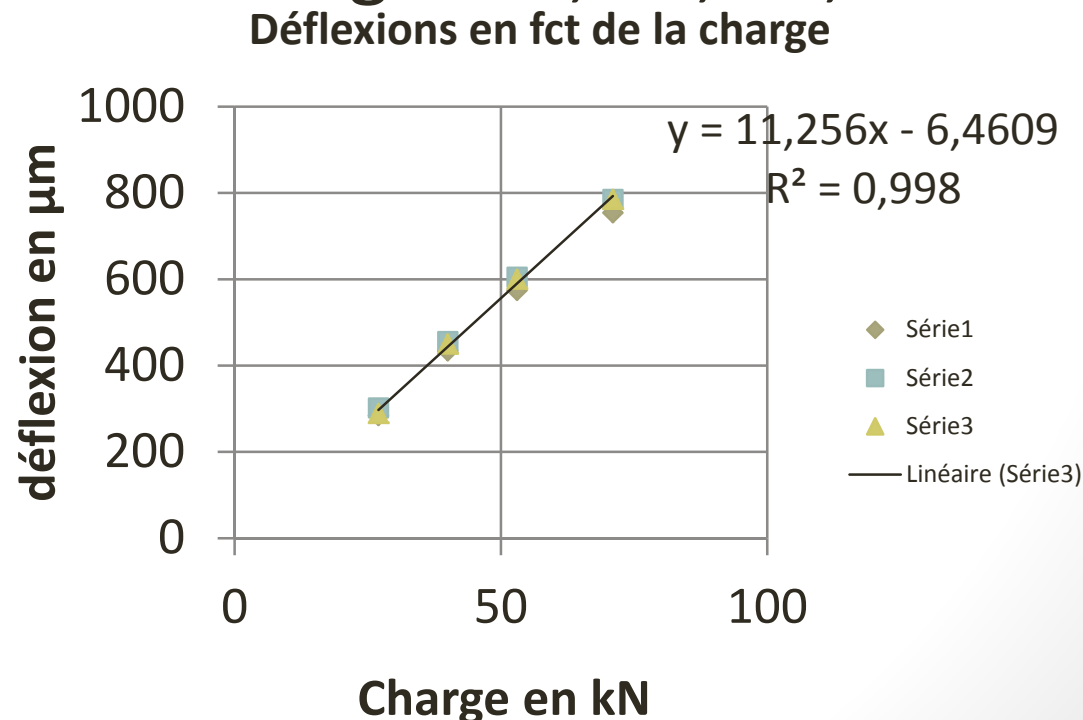
Importance de la charge de l'essieu arrière

- La charge de l'essieu arrière
 - Normalement 130 kN (à 2 % près)
⇒ Nécessité de le peser
- Etude des déflexions en fonction de la charge
 - Pour mémoire une action de recherche de 1973 montre une linéarité entre déflexion et charge

Importance de la charge de l'essieu arrière

- Les essais au FWD permettent de choisir la charge
- Exemple pour 4 charges 27, 40, 53, 71 kN

Dans l'axe de la charge le comportement est linéaire en fct de celle-ci



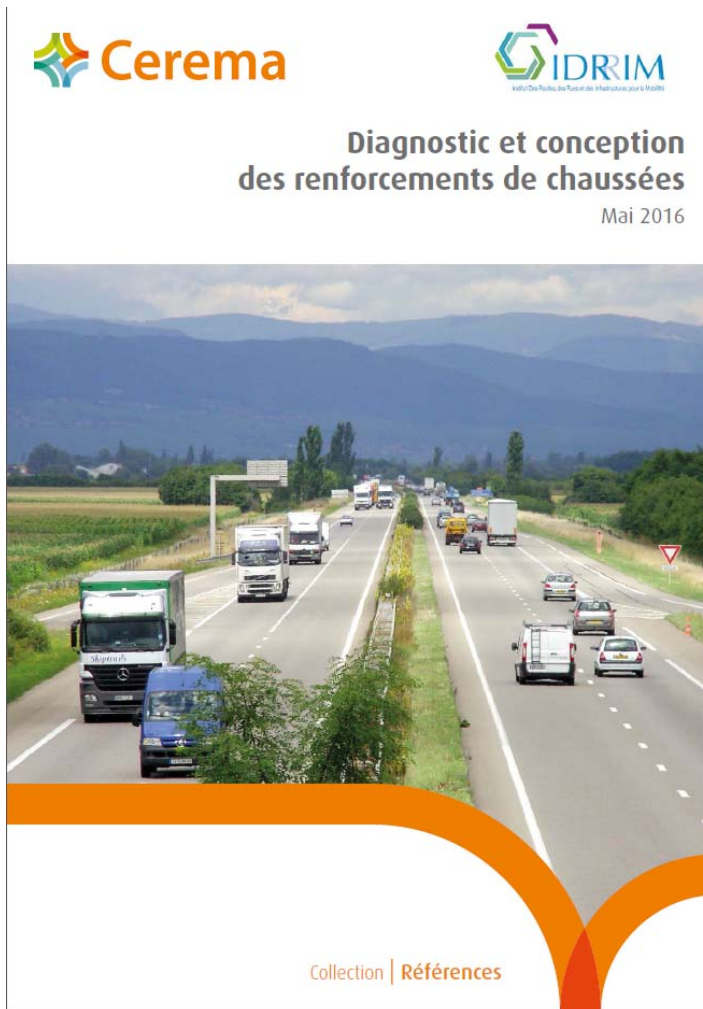
Importance de la charge de l'essieu arrière

Conclusion

Corriger linéairement les déflexions
mesurées ***dm*** en fonction de la charge
réelle sous l'essieu arrière

$$dc = dm \times \frac{130}{\text{Charge réelle en kN}}$$

Emplacement des mesures

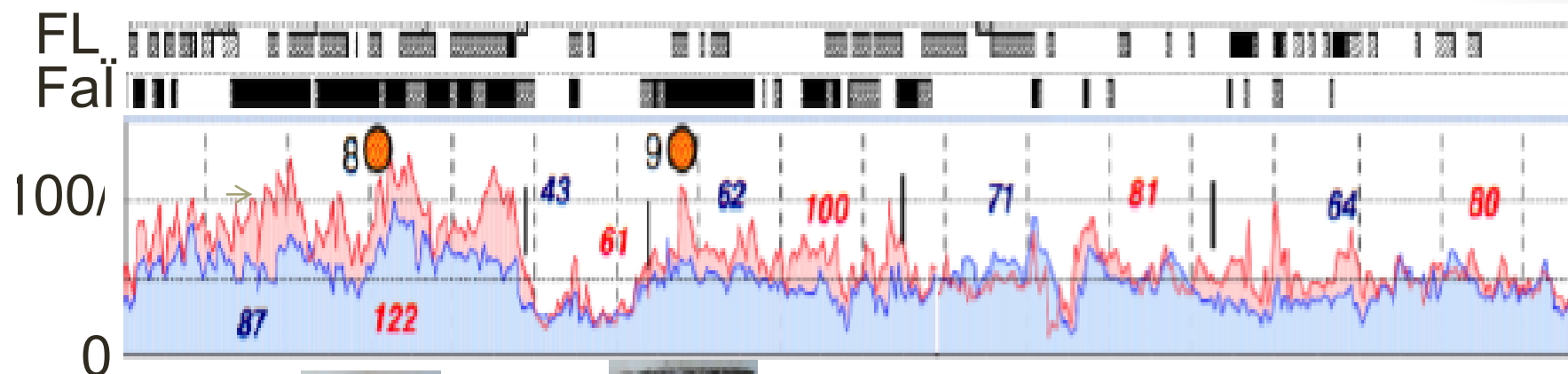


Page 41
§ 2.6.1 Mode
d'acquisition des
mesures

Emplacement des mesures

- **Nota :**
- dans le cas où la mesure de déflection est réalisée à la poutre Benkelmann, il est conseillé de procéder aux mesures
- Après découpage de l'itinéraire étudié en zones homogènes sur la base des autres données disponibles (structure, trafic, dégradations, drainage...), sur les seules sections témoins. Les points de mesures sont réalisés pour l'essentiel :
 - en rive, pour partie sur zone dégradée, pour partie sur zone saine : chaque zone doit faire l'objet d'au moins vingt points de mesure pour pouvoir déterminer, de façon fiable, une valeur moyenne et un écart-type significatif.

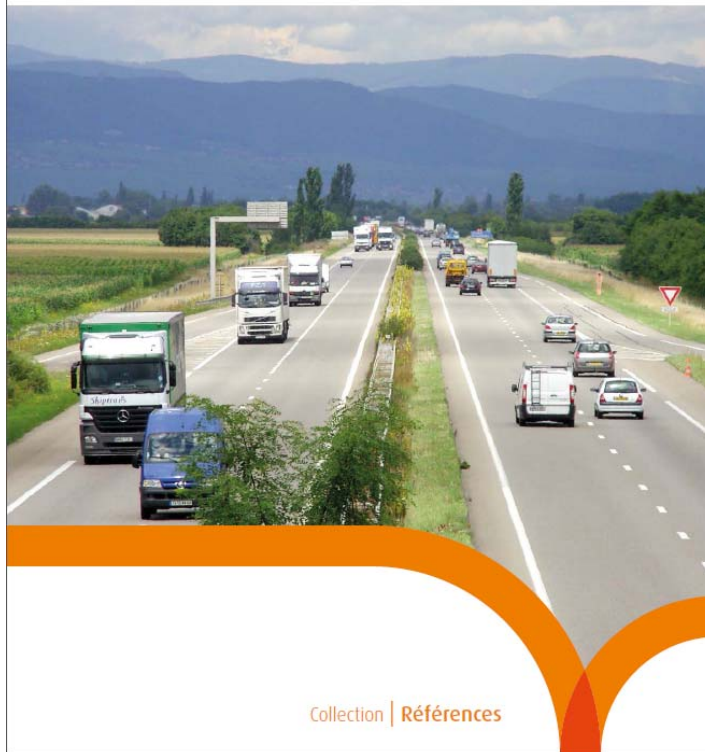
Relation : déflexion-fissuration



Valeur caractéristique de la déflexion



Diagnostic et conception
des renforcements de chaussées
Mai 2016



Collection | **Références**

Page 41
§ 2.6.2 Valeur
caractéristique

Valeur caractéristique de la déflexion

- **2.6.2 - Valeur caractéristique pour le paramètre « déflexion »**
- La déflexion étant un paramètre variable d'un point de mesure à un autre, le comportement d'une zone donnée homogène en déflexion est caractérisé par :
 - la moyenne des déflexions maximales (d_{moy}) ;
 - l'écart type des déflexions maximales (σ_d) ;
 - le seuil caractéristique à 97,5 % des déflexions maximales, appelé « déflexion caractéristique » (d_{car}).

Valeur caractéristique de la déflexion

- **Nota :**
- dans le cas de chaussées homogènes, la distribution des déflexions mesurées suit une courbe gaussienne, et la valeur caractéristique peut être évaluée à l'aide de la relation :
- $d_{car} = d_{moy} + 1,96 \sigma_d$. Dans le cas de chaussées présentant des fissures transversales (cas des chaussées semi-rigides et mixtes principalement), la distribution des mesures ne suit pas une loi gaussienne : la valeur caractéristique est alors déterminée à partir de la fonction de répartition comme étant la valeur associée au seuil de 97,5 % (la valeur ainsi obtenue est différente de celle issue du calcul $d_{moy} + 1,96 \sigma_d$, qui n'a pas de réalité physique pour les chaussées à couches MTLH).

Valeur caractéristique de la déflexion

- *Vérification de la distribution Gaussienne
des déflexions*

norme française

NF X 06-050

Décembre 1995

Indice de classement : **X 06-050**

ICS : 03.120.30

Application de la statistique

**Étude de la normalité
d'une distribution**

Valeur caractéristique de la déflexion

- ***Vérification de la distribution Gaussienne
des déflexions***

3 Méthode graphique

3.1 Principe de cette méthode

3.2 Utilisation des fréquences cumulées (graphique de Henry)

3.2.1 Mode opératoire pour de petits échantillons (par exemple, $n < 30$)

- **Méthode facilement applicable sous
tableur type Excel**

Valeur caractéristique de la déflexion

- *Vérification de la distribution
Gaussienne des déflexions*
- *Exemple*

n° mesure	déflexions en 1/100 mm
21	46
19	38
17	78
15	16
13	26
11	28
9	18
6	73
4	12
2	12

Vérification de la distribution Gaussienne des déflexions mises en tableur

	valeurs déflexions triées di		
	12		
	12		
	16		
	18		
	26		
	28		
	38		
	46		
	73		
	78		

Tri des
valeurs

Vérification de la distribution Gaussienne des déflexions mises en tableur

rang des valeurs	valeurs déflexions triées di		
1	12		
2	12		
3	16		
4	18		
5	26		
6	28		
7	38		
8	46		
9	73		
10	78		

Vérification de la distribution Gaussienne des déflexions mises en tableur

rang des valeurs	valeurs déflexions triées di	Fi	
1	12	0.061	
2	12	0.159	
3	16	0.256	
4	18	0.354	
5	26	0.451	
6	28	0.549	
7	38	0.646	
8	46	0.744	
9	73	0.841	
10	78	0.939	

Fi :
fréquences
cumulées
(rang des
valeurs)

Ici

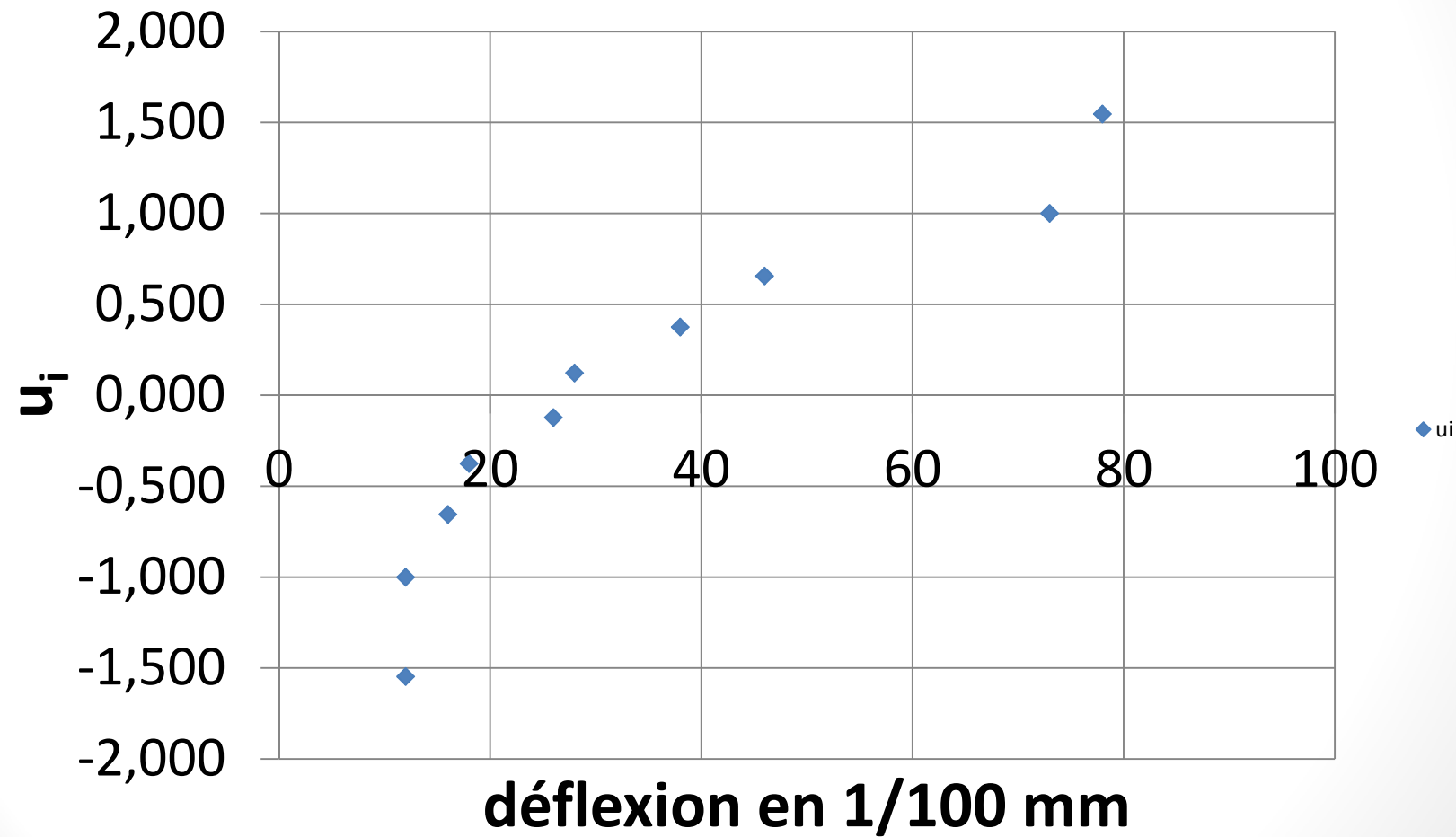
$$Fi = \frac{i - 3/8}{n + 0,25}$$

Vérification de la distribution Gaussienne des déflexions mises en tableur

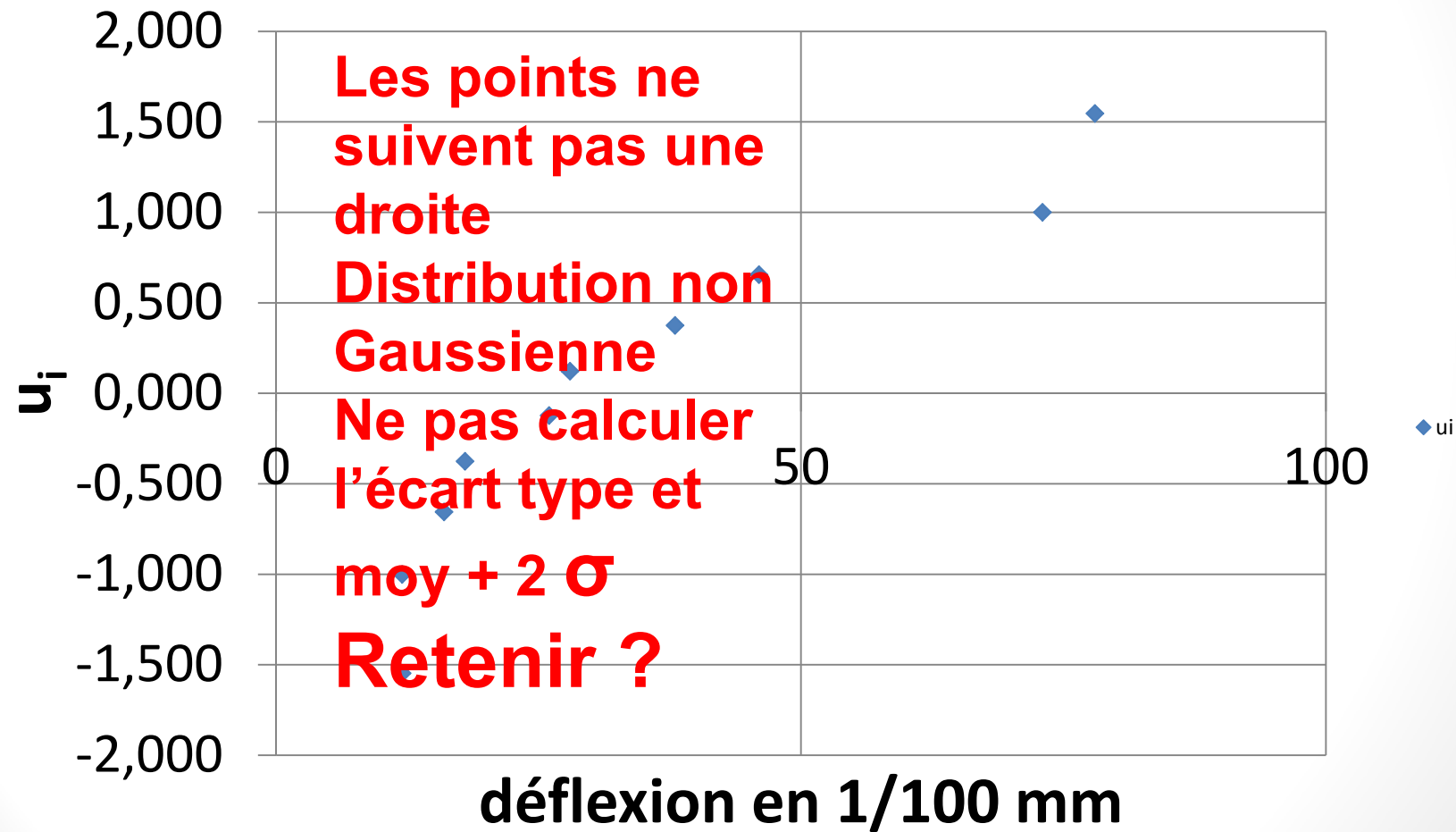
rang des valeurs	valeurs déflexions triées di	Fi	ui
1	12	0.061	-1.547
2	12	0.159	-1.000
3	16	0.256	-0.655
4	18	0.354	-0.375
5	26	0.451	-0.123
6	28	0.549	0.123
7	38	0.646	0.375
8	46	0.744	0.655
9	73	0.841	1.000
10	78	0.939	1.547

Pour chacune des fréquences F_i rechercher (dans une table de loi normale réduite) la valeur u_i
 Fonction excel
 =LOI.NORMALE
 .STANDARD.IN
 VERSE.N()

Droite de Henry



Droite de Henry



Incidence d'une déflexion moindre de 10/100 mm sur la solution d'entretien

- **Etude à l'aide d'ERASMUS**
- *Structure souple*
 - 5 BB / 20 GNT / sol B4
 - Trafic 150 PL/j/sens
 - Déflexions
 - 100 et 110 /100 mm
 - 200 et 210 /100 mm

*Conception
pour 20 ans
ES / GB3*

Etudes (Etude Erasmus) - BLI souple - Ic-setra-plus

Général

Nom Voie

Gestionnaire Département

pr pr

abs abs

Bibliothèque

Cli...



Cahier des charges

Trafic

Type de progression

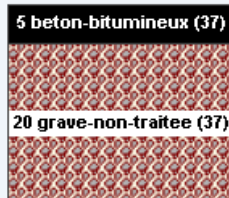
Taux d'accroissement à l'origine

Mesuré ?

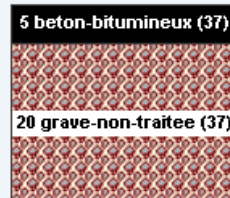
Conceptions Elargissements

Detail de l'étude

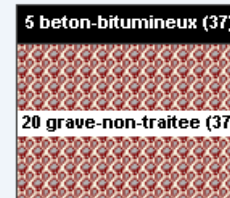
d100: 0+100 100mm/100



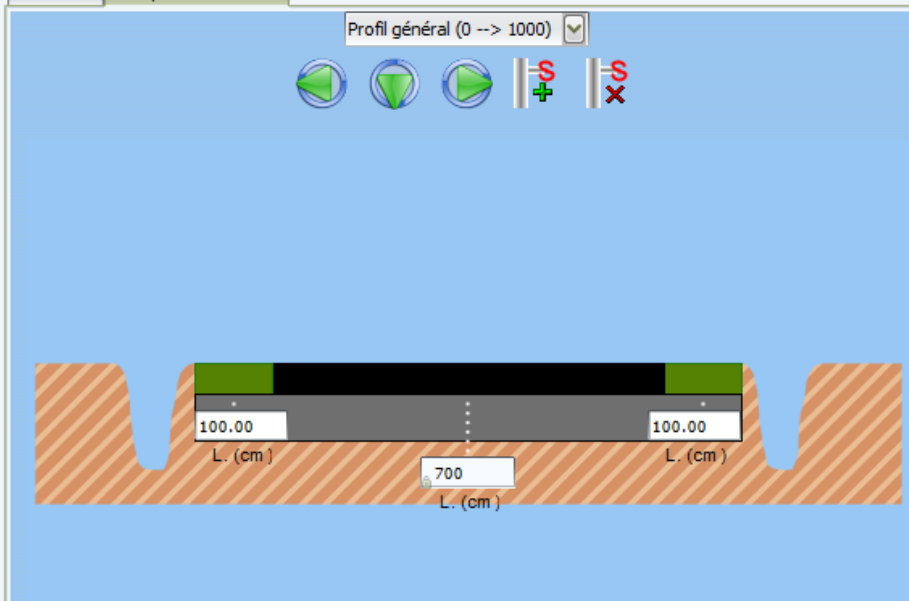
d110: 0+110 110mm/100



d200: 0+200 200mm/100



Courant Coupe transversale



Photos Documents Cartogr

Incidence d'une déflexion moindre de 10/100 mm sur la solution d'entretien

- **Résultats ERASMUS**
- *Structure souple*



Déflexion 1/100 mm	GB3 en cm
100	11
110	12
200	16
210	17

Incidence d'une déflexion moindre de 10/100 mm sur la solution d'entretien

- **Etude à l'aide d'ERASMUS**
- *Structure bitumineuse*
 - 5 BB / 15 GB / 20 GNT / sol B4
 - Trafic 1000 PL/j/sens
 - Déflexions
 - 100 et 110 /100 mm
 - 70 et 80 /100 mm

*Conception
pour 20 ans
BBTM / GB3*

Incidence d'une déflexion moindre de 10/100 mm sur la solution d'entretien

- **Résultats ERASMUS**
- *Structure bitumineuse*



Déflexion 1/100 mm	GB3 en cm
70	11
80	13
100	15
110	16

*Incidence d'une déflexion moindre
de 10/100 mm sur la solution
d'entretien*

*L'incidence pour les cas étudiés est de
l'ordre du cm de matériaux
bitumineux*

Conclusions

- Les mesures de déflexions à la poutre
 - En marche avant donnent des résultats légèrement inférieurs de 10/100mm
 - Une révision de la norme NF P 98-200-2 peut être envisageable
 - Une connaissance de la charge de l'essieu arrière est nécessaire

Conclusions

- Les mesures de déflexions à la poutre
 - Doivent être implantées après un découpage en fonction des structures présentes et des dégradations
 - La valeur caractéristique $d_{\text{moy}} + 1,96 \sigma$ ne s'applique que si la distribution des mesures suivent une loi normale (test de la droite de Henry)

Conclusions

- L'incidence de 10/100 mm de déflexion sur les solutions d'entretien des structures souples et bitumineuses est de l'ordre du centimètre de matériaux bitumineux pour les cas traités

**Merci à Nadège,
Fabrice, Pierre Yves
pour leur concours**

**Merci de votre
attention**