

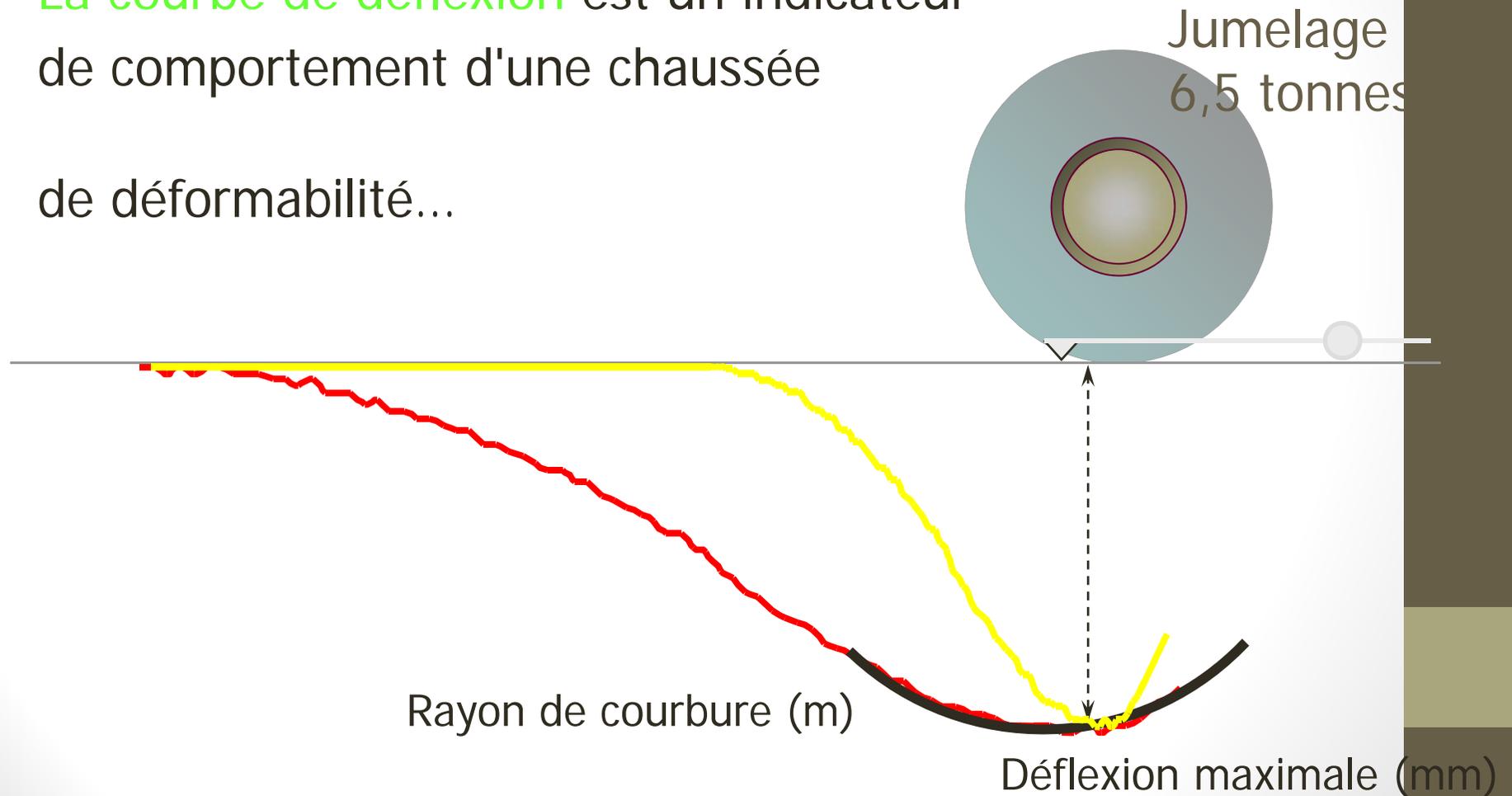
# Les mesures de déflexion au déflectomètre Benkelman modifié (à la poutre)

# *Plan*

- Rappels
- Modes de mesure
- Interprétation
- Valeurs de références
- Incidence d'un écart de déflexion 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

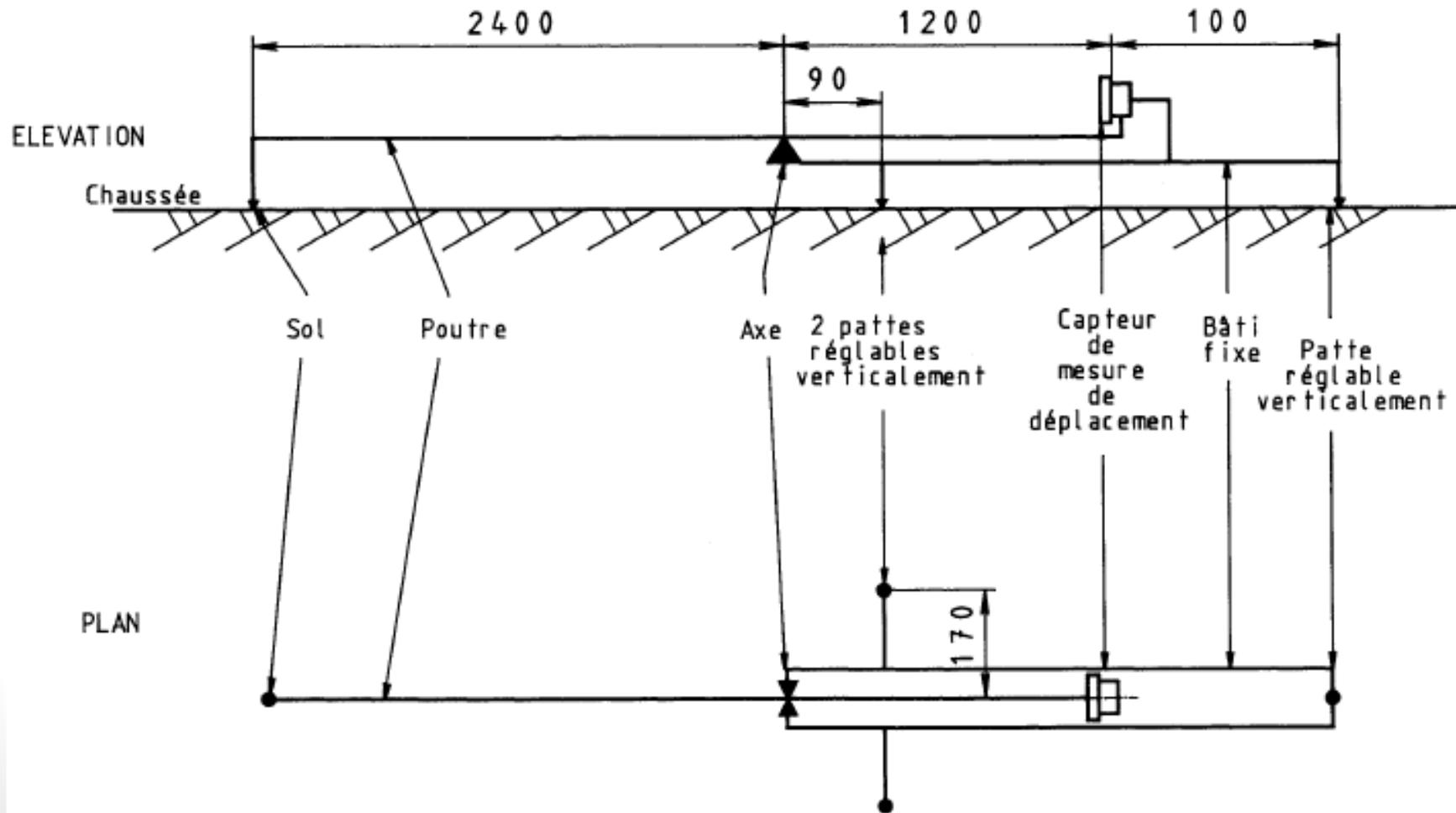
---

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  $\geq 4$  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  $d_r$ , lorsque le camion en marche avant s'éloigne de plus de 4 m  
La déflexion élastique  $d_e = dM - d_r$
- 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**

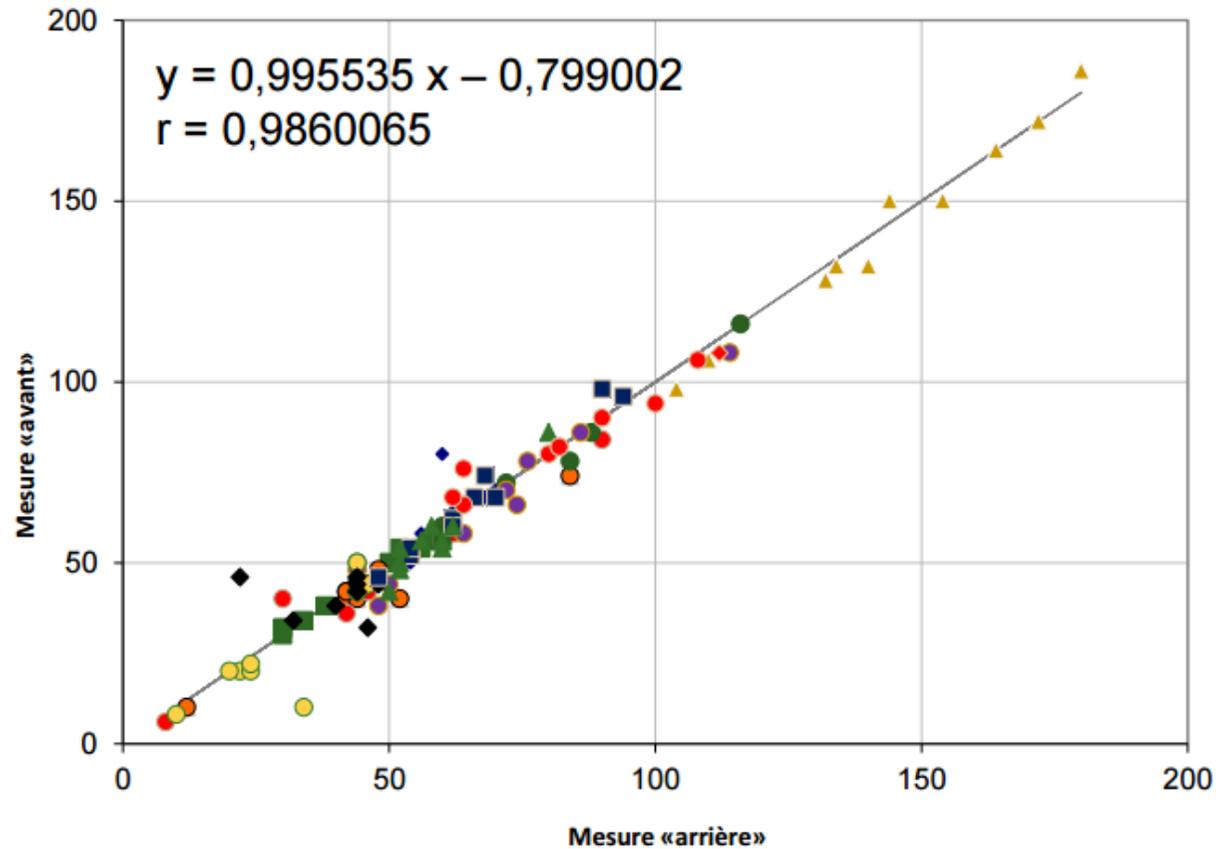
- Campagne de mesures : Réalisée du 15 au 17/11/2011 par le CG 72
- Mesures sur sections d'essai «gel/dégel» 12 planches de 10 mesures = 120 mesures
- Structures souples ou bitumineuses épaisses

# *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

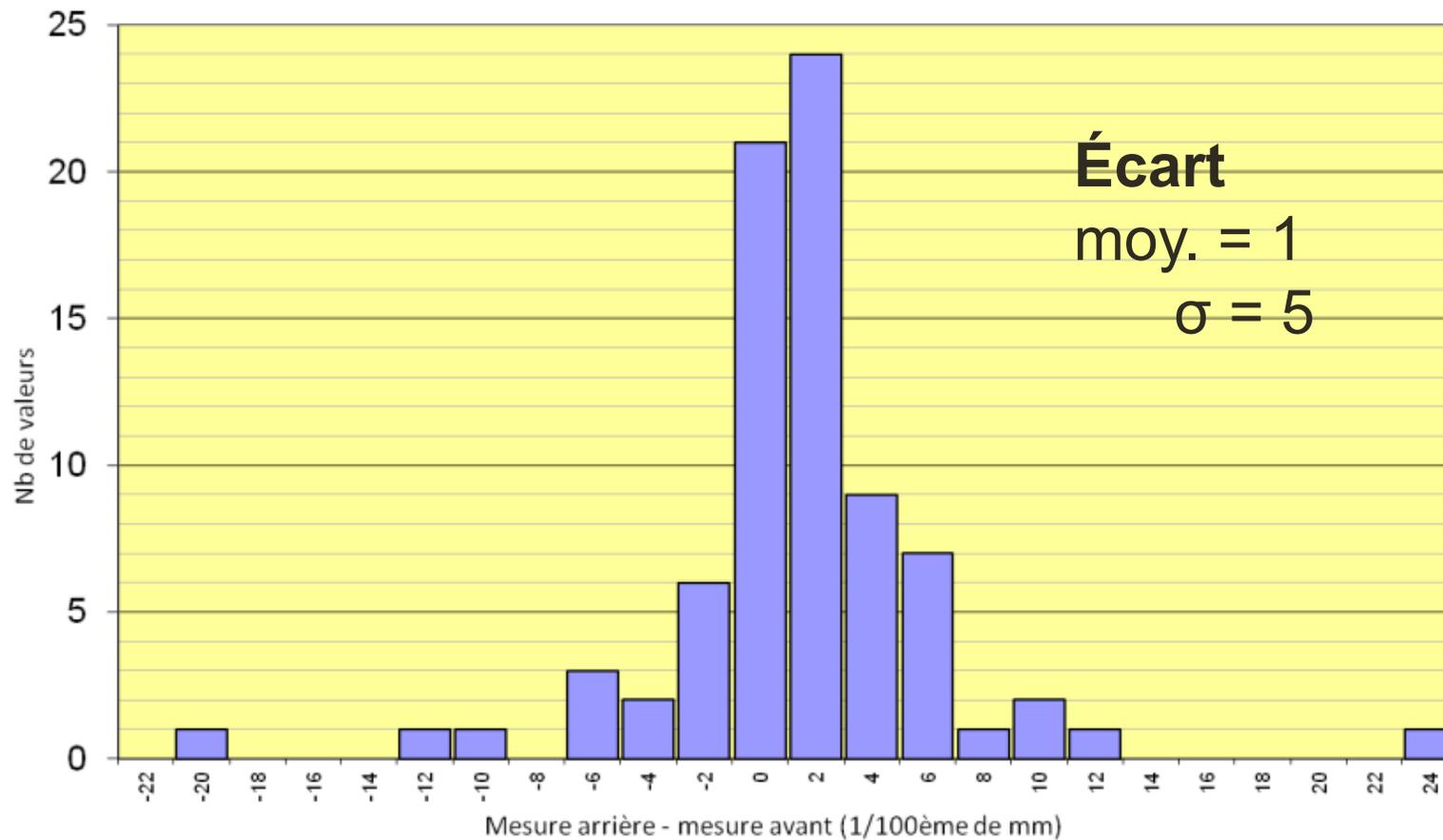
# Faire les mesures en marche avant **Thème 20**

## ■ 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

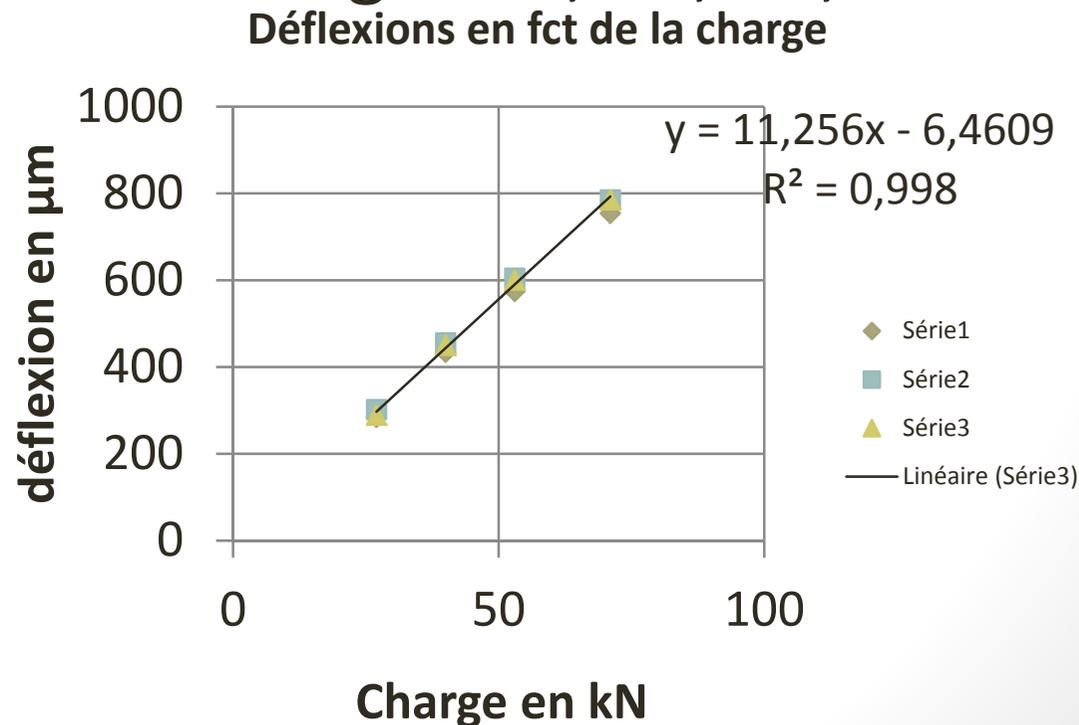
# *Importance de la charge de l'essieu arrière*

- 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

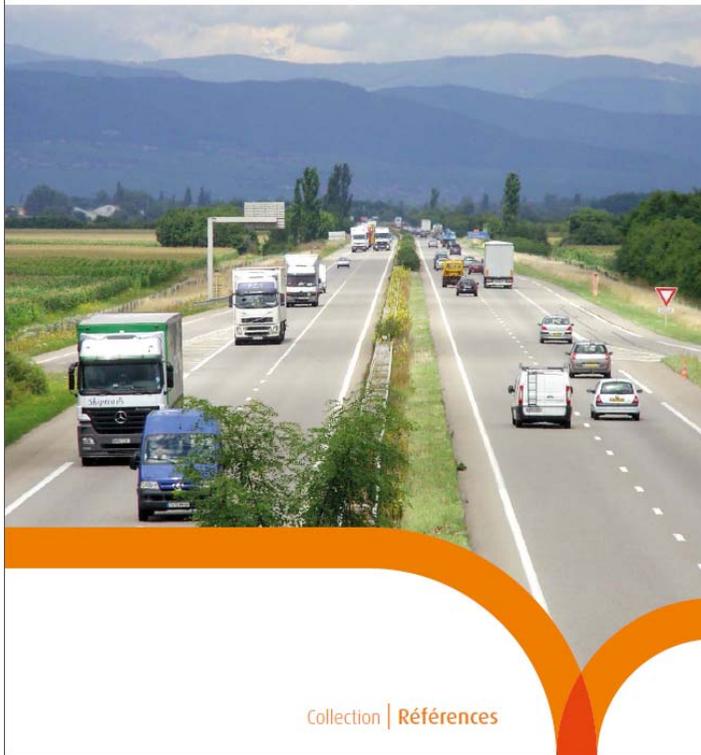
$$dc = dm \times \frac{130}{\text{Charge réelle en kN}}$$

# *Emplacement des mesures*



**Diagnostic et conception  
des renforcements de chaussées**

Mai 2016

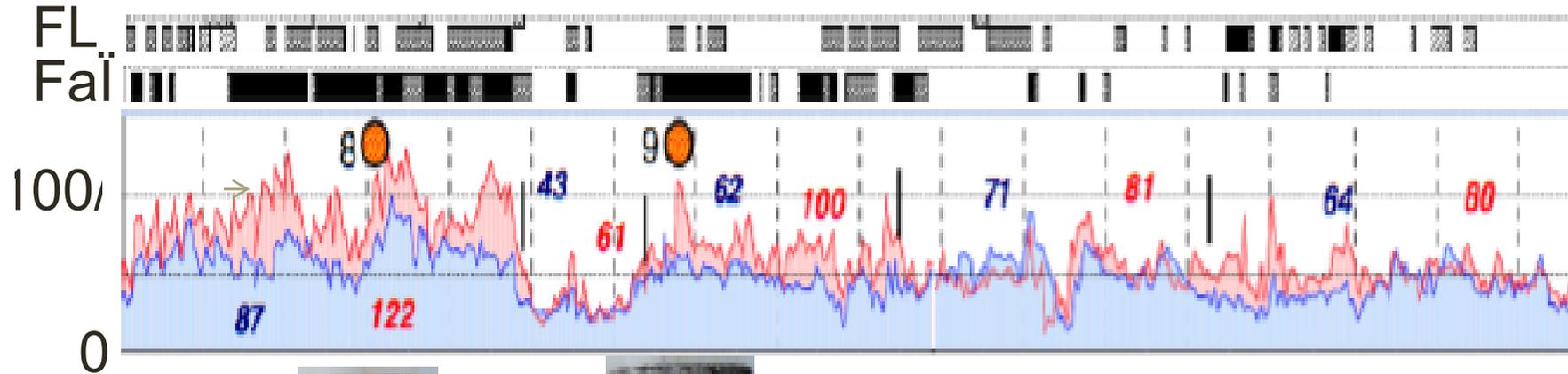


Page 41  
§ 2.6.1 Mode  
d'acquisition des  
mesures

# *Emplacement des mesures*

- **Nota :**
- dans le cas où la mesure de déflexion 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.

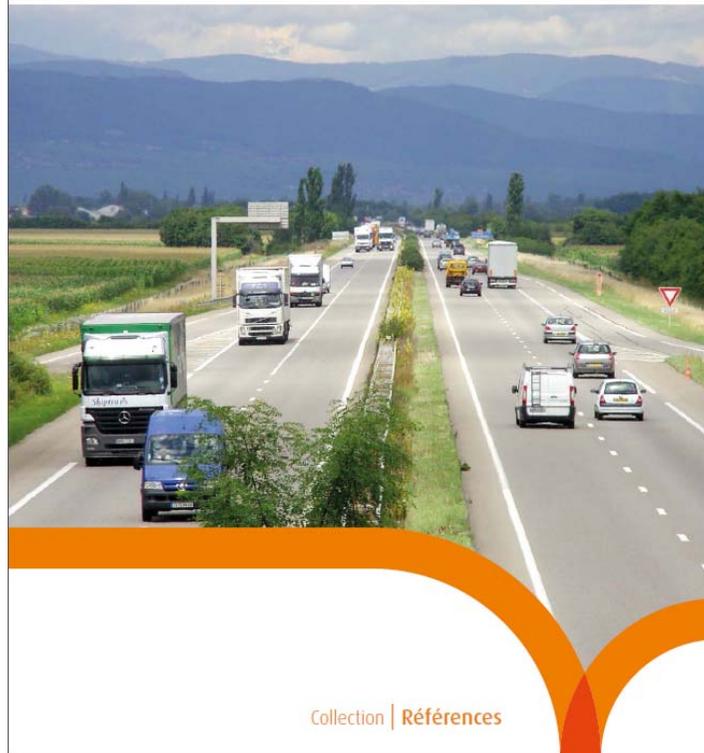
# Relation : déflexion-fissuration



# *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 ( $\sigma_d$ ) ;
  - 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°<br>mesure | déflexions<br>en 1/100<br>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<br>des<br>valeurs | valeurs<br>déflexions<br>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<br>des<br>valeurs | valeurs<br>déflexions<br>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

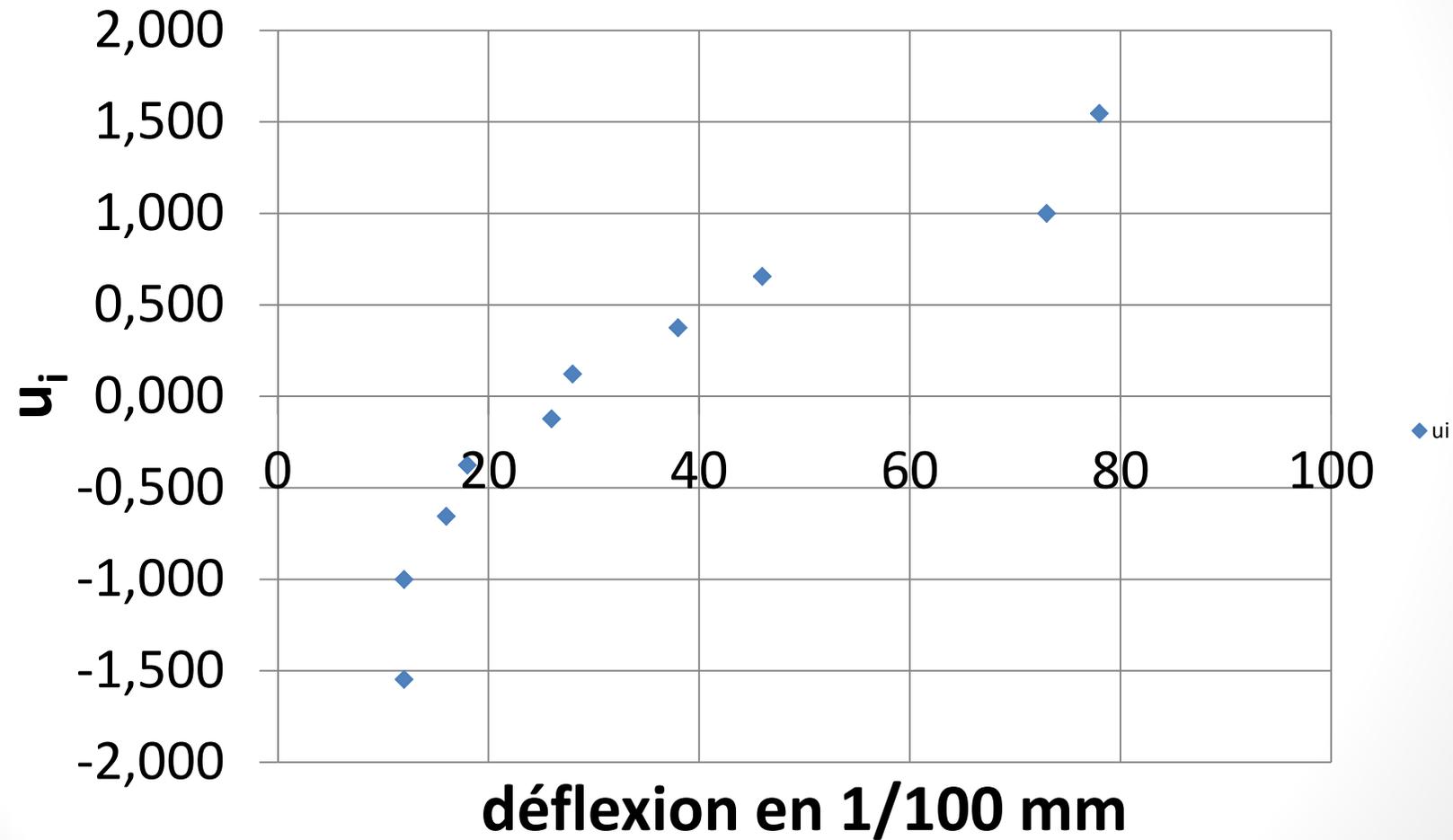
$$Fi = \frac{i - 3/8}{n + 0,25}$$

## Vérification de la distribution Gaussienne des déflexions mises en tableur

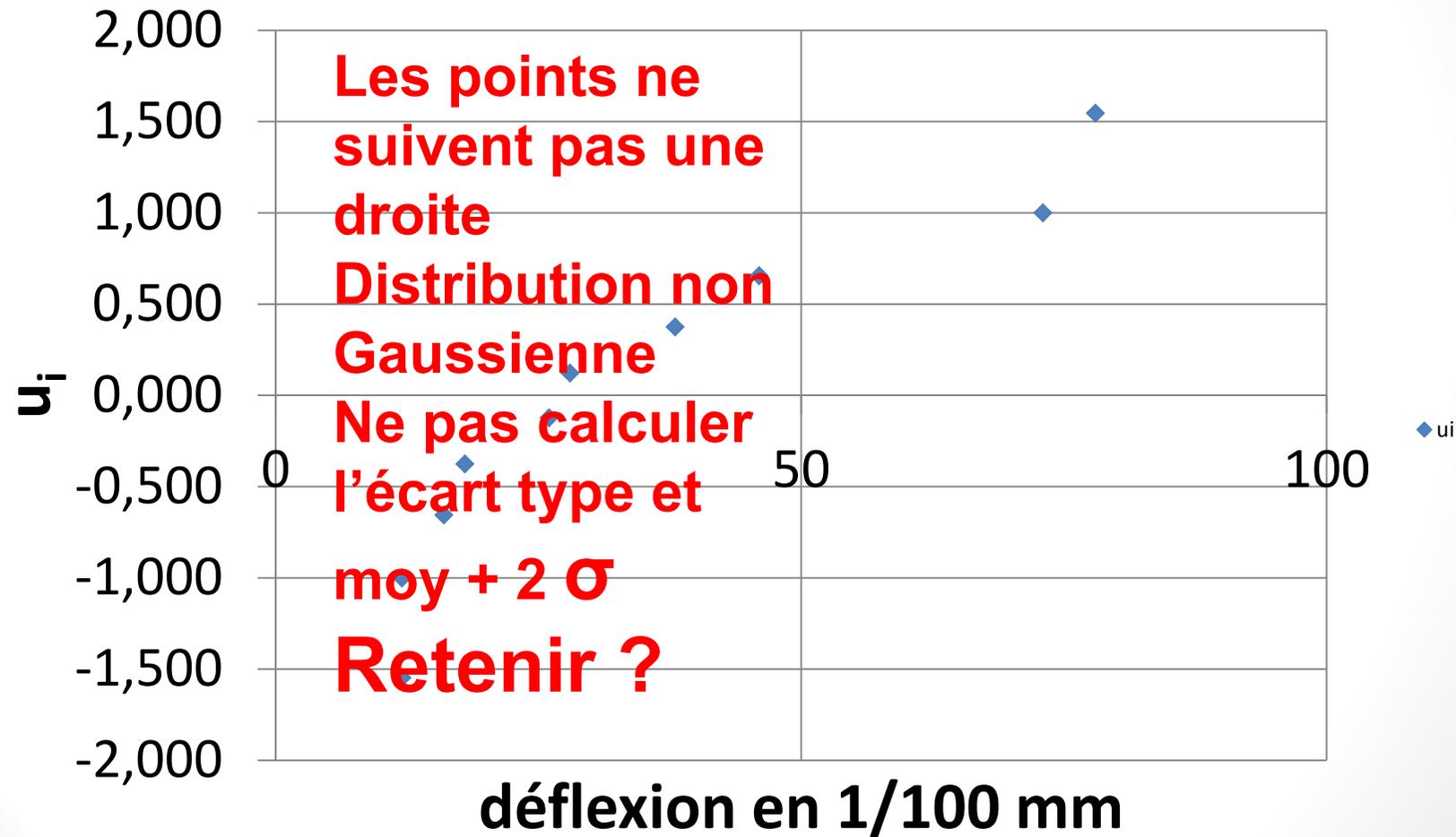
| rang des valeurs | valeurs déflexions triées di | Fi    | ui     |
|------------------|------------------------------|-------|--------|
| 1                | 12                           | 0.061 | -1.547 |
| 2                | 12                           | 0.159 | -1.000 |
| 3                | 16                           | 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: BLI souple Voie: [v]

Gestionnaire: [v] Département: 99

Localis... Supprimer Localis... Supprimer

pr 0 pr 1

abs 0 abs 0

Bibliothèque [v] Répertoire [v]

**Detail de l'étude**

+ Créer un cas    !!! Vue panoramique

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>d100: 0+100 100mm/100</p> <p>5 beton-bitumineux (37)</p> <p>20 grave-non-traitee (37)</p> | <p>d110: 0+110 110mm/100</p> <p>5 beton-bitumineux (37)</p> <p>20 grave-non-traitee (37)</p> | <p>d200: 0+200 200mm/100</p> <p>5 beton-bitumineux (37)</p> <p>20 grave-non-traitee (37)</p> |
|--|--|--|

**Cahier des charges**

20 an(s) ???

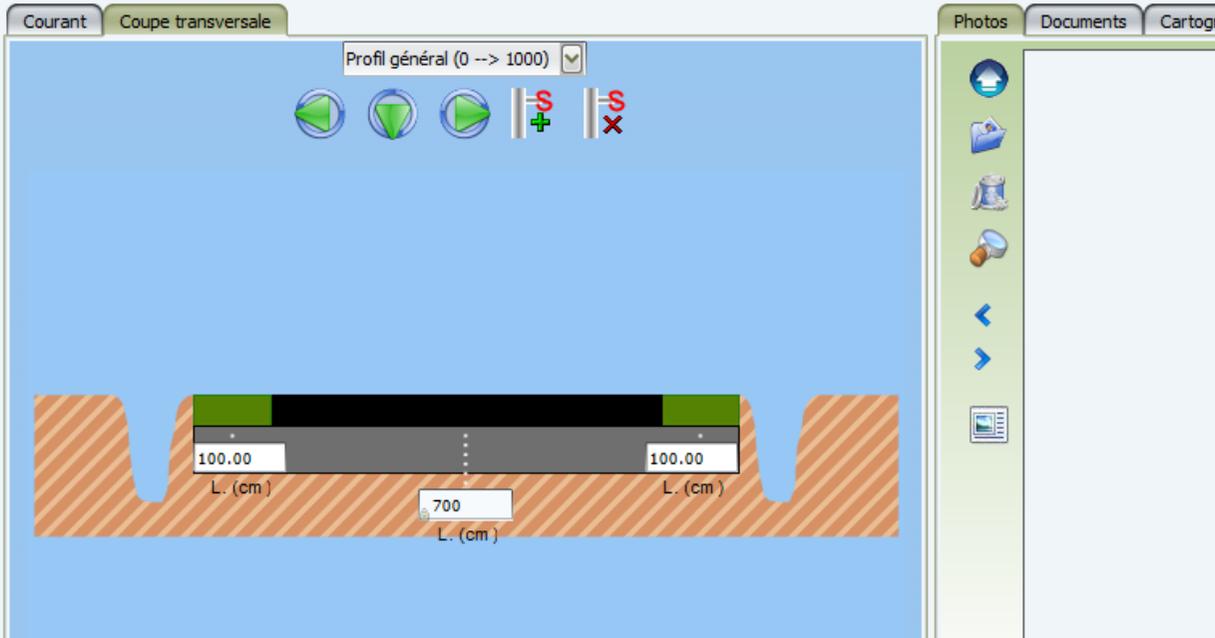
**Trafic**

Type de progression: Arithmétique

Taux d'accroissement à l'origine: 2

Mesuré ? Oui

2017  
Voie 1: 150 PL/j



**Conceptions    Elargissements**

+ Créer conception

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

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



| Déflexion<br>1/100 mm | GB3 en<br>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<br>1/100 mm | GB3 en<br>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**