Structures des chaussées souples

Calcul de renforcement de chaussée

Laurent Porot

Bitume Québec – Formation technique
23, 24 et 25 novembre 2010

Bitume Québec

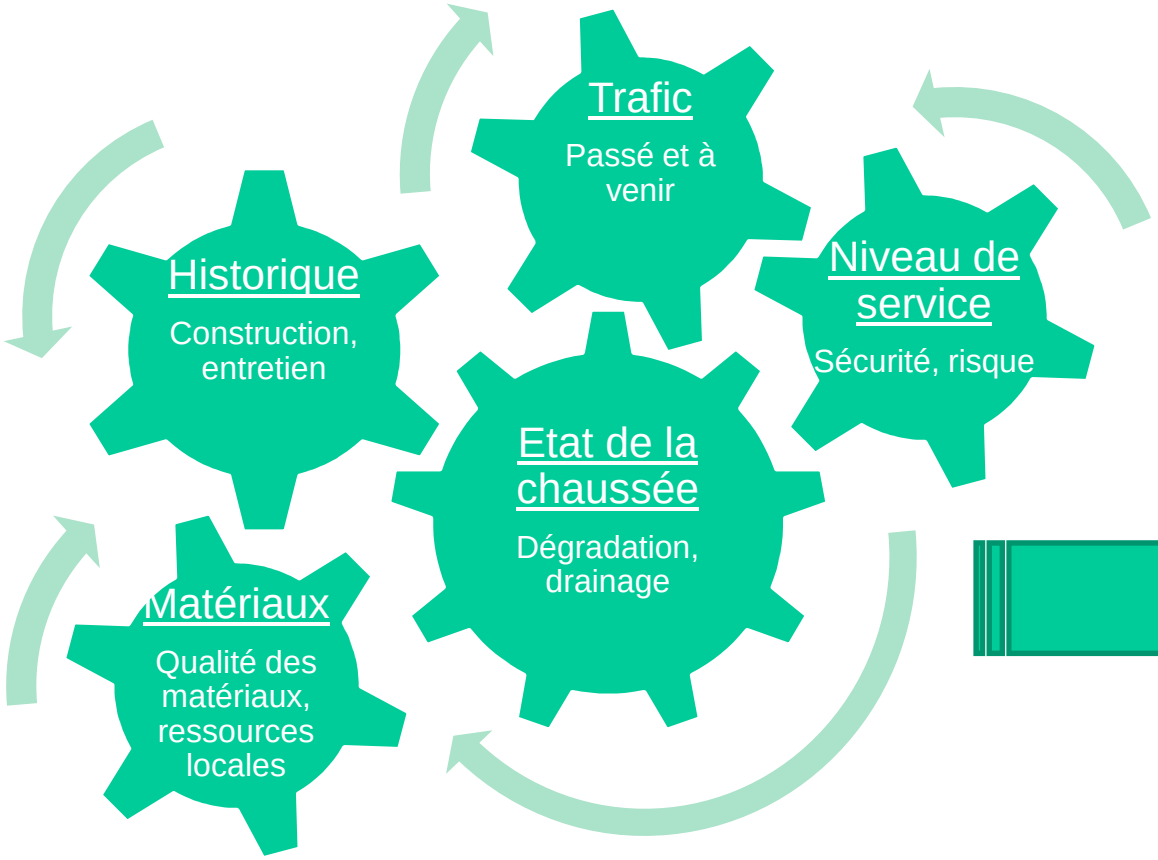
Renforcements de chaussées

Dégradations des chaussées

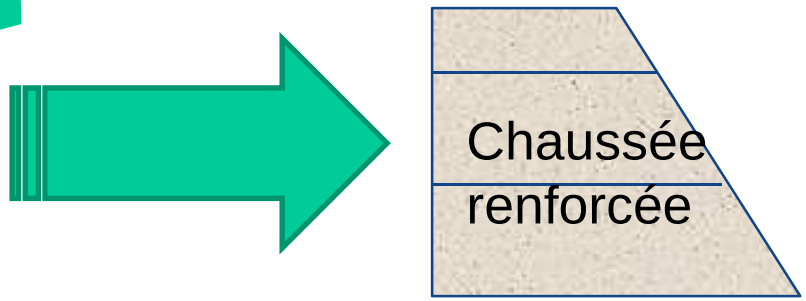
Dimensionnement mécanique renforcement

- Sous le trafic et les chargements
  - Fatigue des matériaux → fissuration et faïençage
  - Cisaillement des roues → arrachements
- Avec les conditions climatiques
  - En été, haute température → orniérage sous trafic
  - En hiver, basse température → fissuration thermique
  - Pluies, gel → désenrobage
- Au cours du temps
  - Durcissement du bitume → plus fragile
- Selon le type de structure
  - Assise hydraulique → fissuration transversale

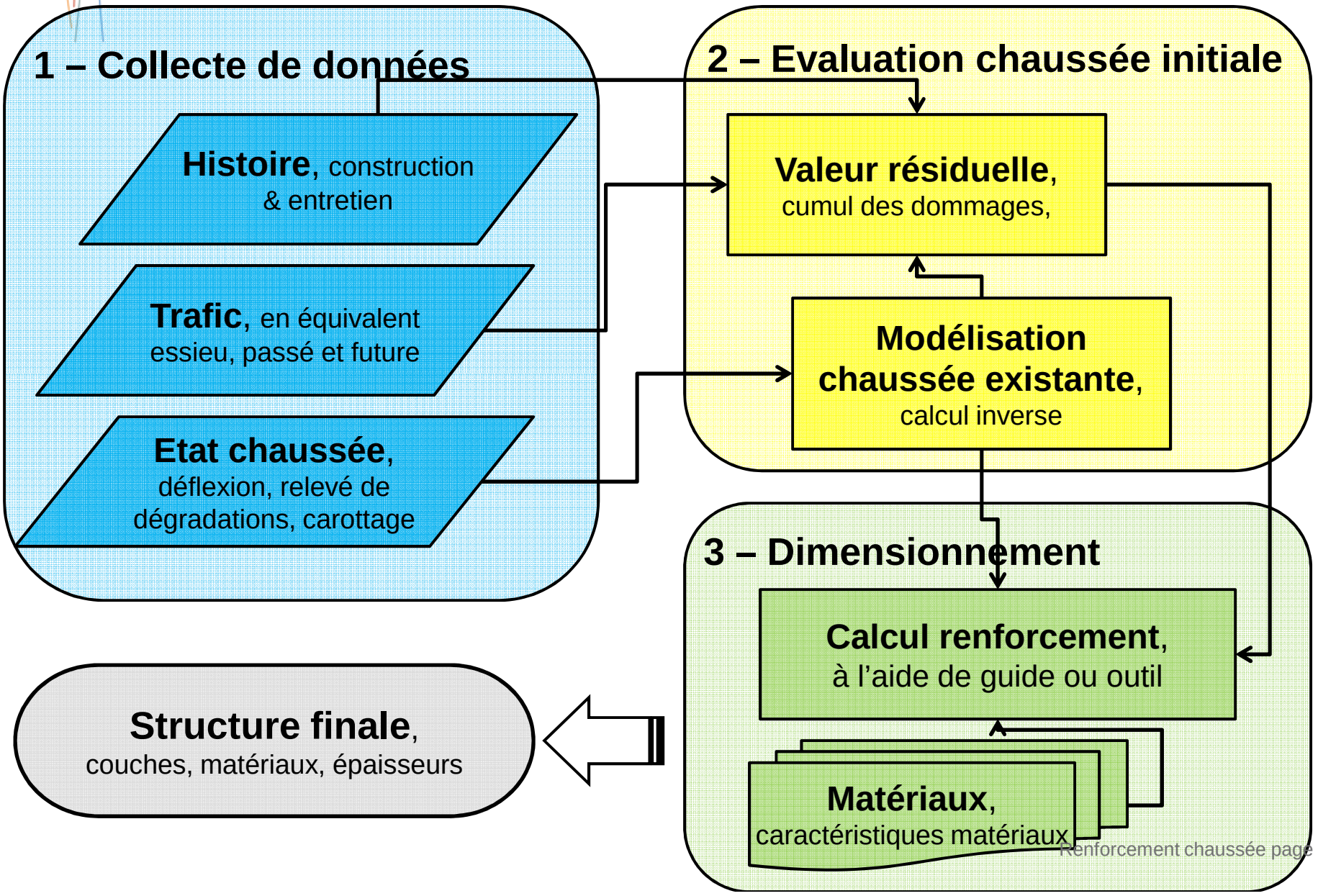
Principe d’un renforcement



Prêt à repartir



Etude de renforcement



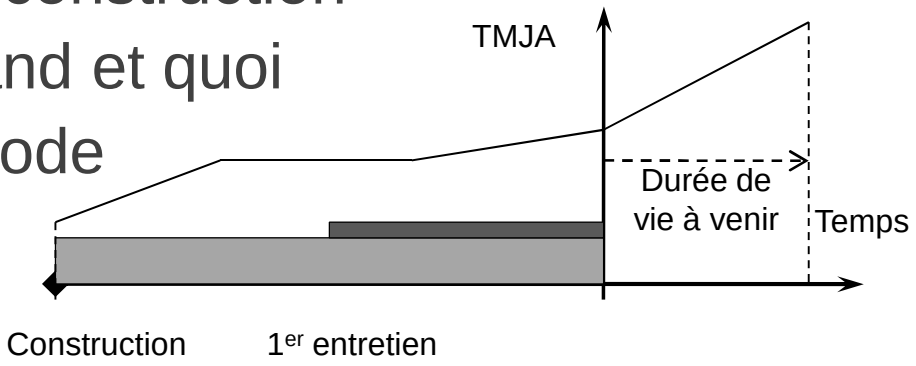
Evaluation de la chaussée

- Relevé des dégradations
  - Fissuration, Orniérage, Affaissement, ...
  - Environnement, drainage, géométrie, ...
- Mesures de déflexions et rayons de courbure
  - Déflectomètre ou poutre Benkelman
- Carottages et / ou sondages
- Autres
  - Géo radar
  - Caractérisation en labo, module, extraction, ...

Valeur résiduelle

Historique de la chaussée

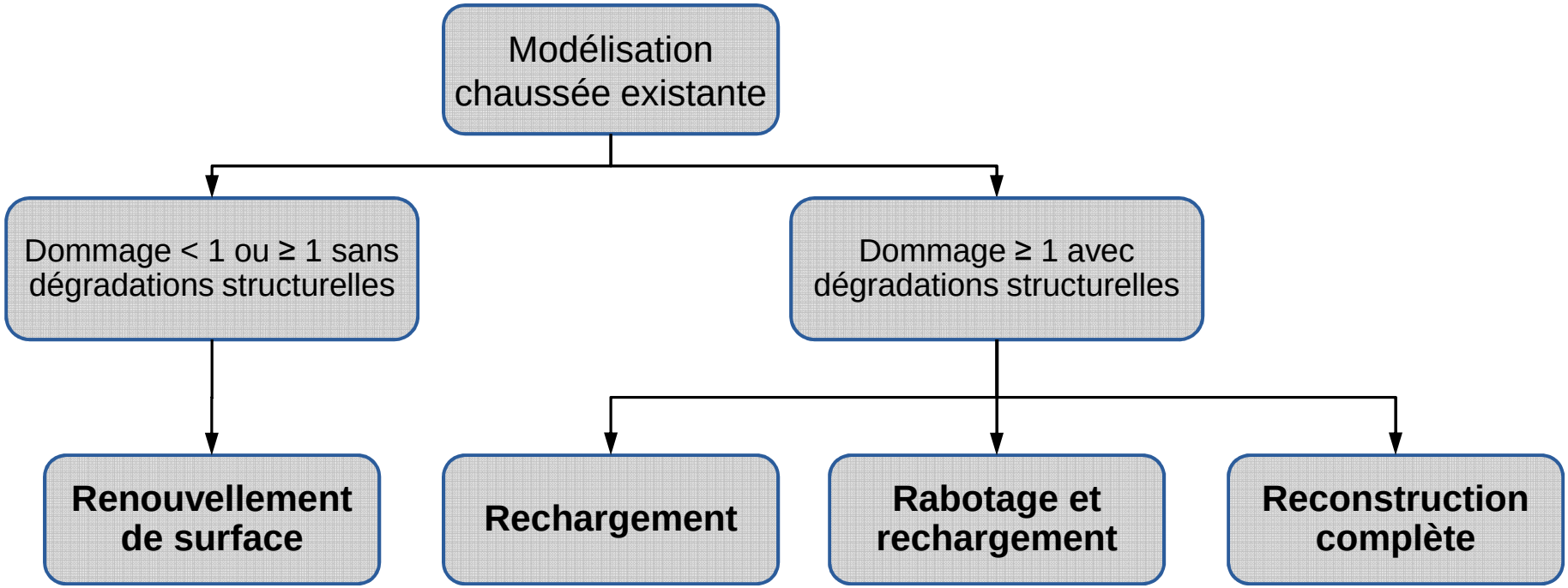
- Type de structure et construction
- Entretien passé, quand et quoi
- Trafic passé par période
- Trafic à venir



Valeur résiduelle

- Calcul du cumul des dommages $D = N_1d_1+N_2d_2+ \ldots$
- Contrôle de cohérence
  état de chaussée vs dommage
- Valeur résiduelle → 1 – D
- Détermine le patrimoine restant de la structure
- A comparer au trafic à venir

Dimensionnement de renforcement



↗ Calculs de renforcement par modélisation (analyse des contraintes et déformations)

Analyse sur le cycle de vie

- La conception du cycle de vie chaussée
  - Durée de service → période d'utilisation de la chaussées (id est durée de concession, …)
  - Durée de vie → période pour laquelle la chaussée est dimensionnée au départ

- Besoin d'intégrer l'entretien
  - Entretien peut prolonger la durée de vie
  - Besoin du maintien des conditions de surface

Une tendance vers une gestion de préservation du patrimoine

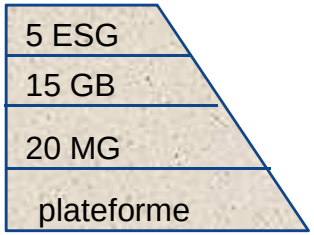
Exemple d’étude de renforcement

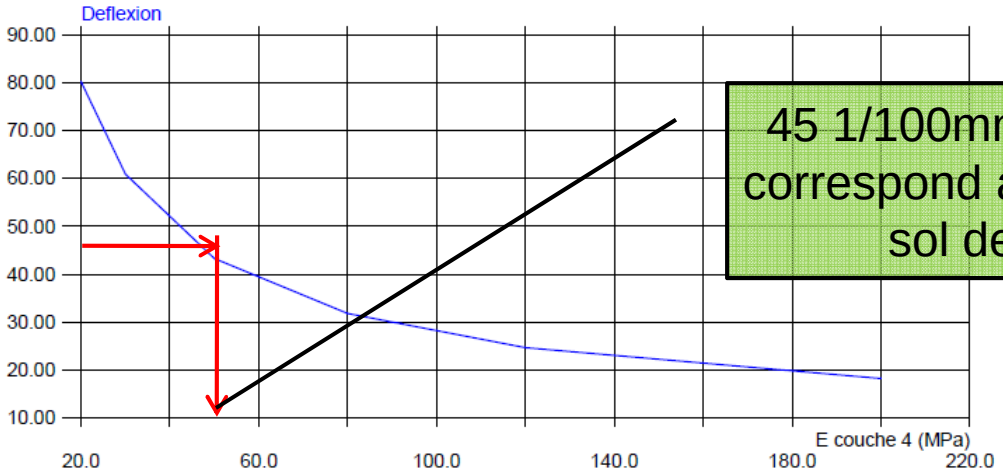
Chaussée existante

- Voirie secondaire → trafic plus lourd
- Données
  - Déflexion caractéristiques d = 45 1/100 mm
  - Les carottages donnent
    - 5 cm ESG + 15 cm GB sur 20 cm GM puis sol
    - Les carottes ne sont pas cassées, matériaux sains
  - Le relevé de dégradations montrent
    - Peu ou pas de fissuration, quelques ornières, désenrobage
- Trafic
  - Passé 0,5 millions essieux équivalents
  - A venir 5 millions essieux équivalents

Modélisation structure existante

- Module des matériaux
  - Matériaux encore sains (carottes) → E = 70% E_{ref}
    - EESG = 3500 Mpa, EGB = 6500 MPa
- Portance sol support par calcul inverse
  - Modélisation par Alizé de la structure
    - Structure à partir des carottes
    - Portance du sol variable de 20 à 200 MPa





45 1/100mm de déflexion correspond à un module du sol de 50MPa

Valeur résiduelle de la structure

↗ Modélisation théorique initiale

Valeur initiale des matériaux

Calcul de renforcement

épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0.050	5400.0 collé	0.350	0.000	52.4	0.520	-15.3	0.58
			0.050	25.4	0.370	-28.4	0.52
0.150	9300.0 collé	0.350	0.050	25.4	0.625	2.8	0.529
			0.200	-81.3	-1.028	75.2	0.031
0.200	200.0 collé	0.350	0.200	-81.3	-0.006	169.9	0.031
			0.400	-109.3	-0.024	157.9	0.015
infini	50.0	0.350	0.400	-109.3	0.000	301.6	0.015

Déformation en bas de la GB

- NE admissible NE_{adm} = 1,79 millions

$$NE_{adm} = \left(\frac{\varepsilon_{adm}}{\varepsilon_6(10°c, 25Hz) \times kc \times kr \times ks} \times \sqrt{\frac{E(15°C)}{E(10°C)}} \right)^b \times 10^6$$

↗ Calcul de l'endommagement

- Dommage accumulé $D_1 = NE/NE_{adm} = 0.279$
- Valeur résiduelle $1-D_1 = 0,72$ → 70% de capacité

Calcul du renforcement

1 – Détermination trafic admissible

$\mathbf{NE_{adm}} = 5{,}54\ 10^6$

- Au final dommage de 1 = $D_1 + D_2$
- Avec $D_2 = NE_2/NE_{adm}$

$NE_{adm} = NE_2 / (1\text{-}D_1)$

2 – Détermination déformation admissible $\boldsymbol{\varepsilon_{adm}}$ = 64,6 µdef

- Calculé à partir du NE admissible

$$\varepsilon_{adm} = \varepsilon_6(10°c, 25Hz) \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10°C)}{E(15°C)}} \times kc \times kr \times ks$$

3 – Calcul de la structure

- Choix du type de renforcement
- Faire varier les épaisseurs pour trouver $\varepsilon_t < \varepsilon_{adm}$

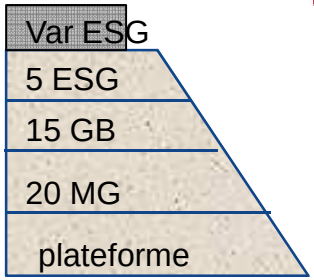
Cas rechargement avec ESG

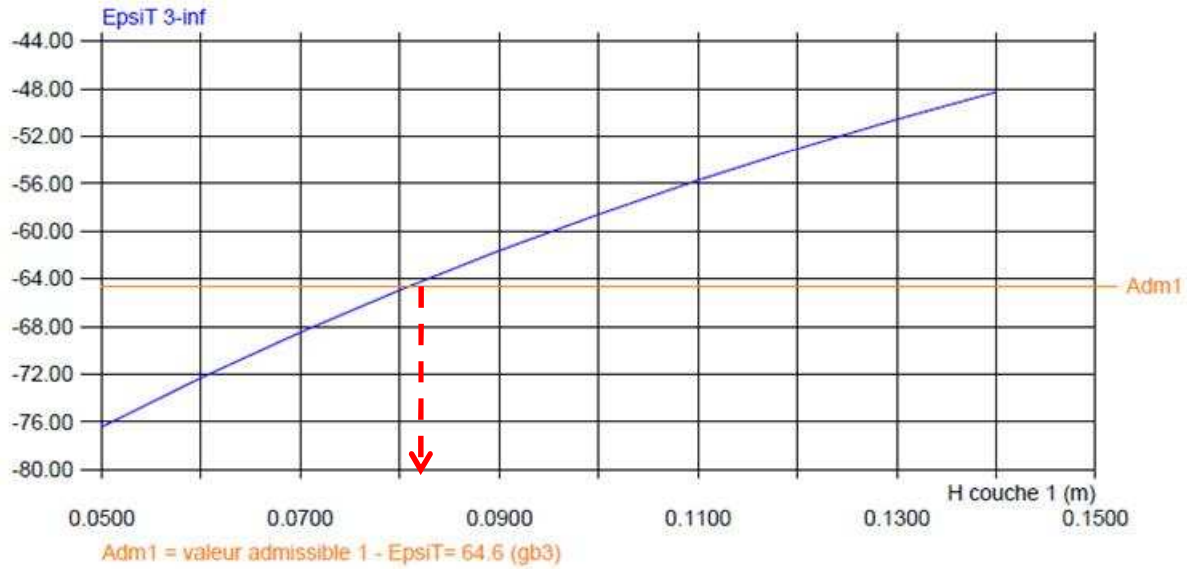
www.eurovia.fr

↗ Modélisation structure sous Alizé

¬ épaisseur variable de ESG

ε_{adm} = 64,6 µdef





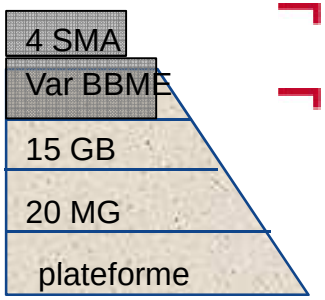
- Renforcement avec **8 ESG**
- + 8 cm par rapport chaussée existante
- Risque possible dégradation ESG initiale

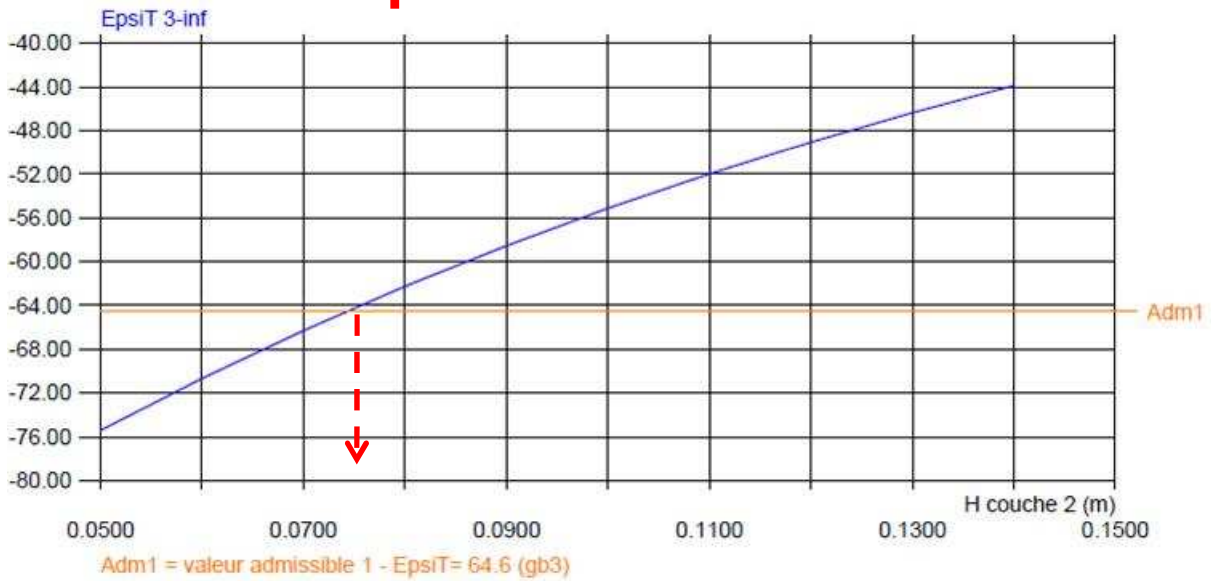
Cas rabotage et renforcement BBME

↗ Modélisation structure sous Alizé

- Rabotage ESG existant sur 5cm
- 4 cm SMA + **épaisseur variable BBME**

ε_{adm} = 64,6 µdef





- Rabotage + **8 BBME + 4 SMA**
- + 7 cm par rapport chaussée existante
- Remplacement de la couche de surface

Exemple d’entretien sur cas #2

Cas 2 entretien du boulevard urbain

- Rappel de la structure
  - Durée de vie de 25 ans
  - Dimensionnement
    - Alizée → 6 ESG + 14 GB + MG sur sol 47 MPa
    - CHAUSSEE2 → 6ESG + 12 GB + MG sur sol 47 MPa
- Dimensionnement théorique
  - Entretien périodique non intégré
  - Durée de vie 27 ans ou 18 ans selon les méthodes
  - Durée de vie de la couche de roulement ???
- Entretien proposé
  - Après 12 ans (milieu de durée de vie) rechargement avec 6 ESG

Intégration d'un entretien

- Principe, calcul des déformations par période
  - Avant rechargement → ε_{t1} pour NE_1 sur 12 ans
  - Après rechargement → ε_{t2} pour NE_2 sur le reste
  - Au final le dommage est

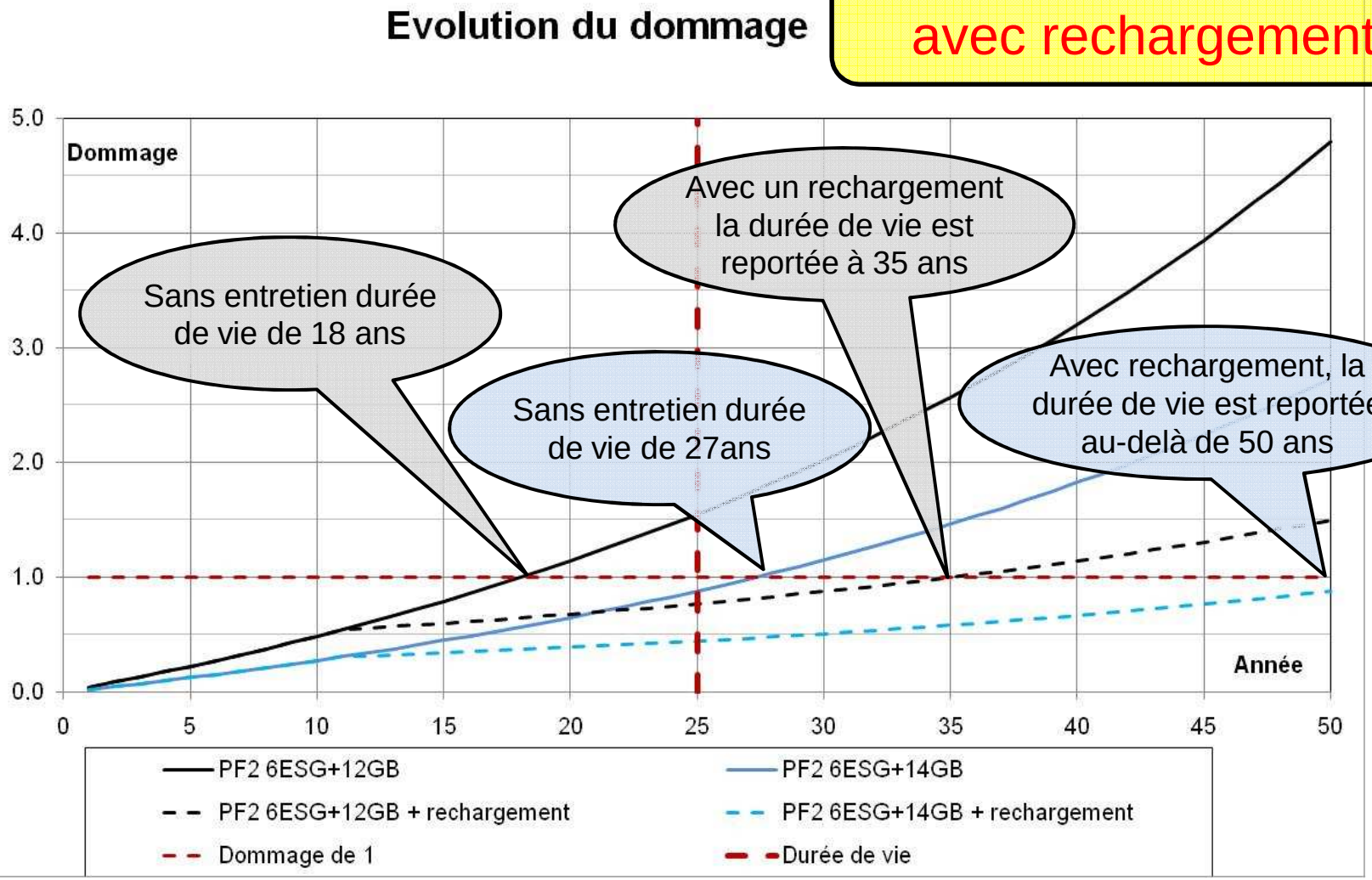
$$D = D_1 + D_2 = (\varepsilon_{t1}/\varepsilon_{1adm})^{1/b} + (\varepsilon_{t2}/\varepsilon_{2adm})^{1/b}$$

- Cas avec rechargement 6ESG à 12 ans
  - Pour une fiabilité de 15%

	NE	**ε_{tadm}**	**Structure CHAUSSE2**		**Structure Alizé**	
			ε_t	D	ε_t	D
Avant	$5{,}7\ 10^6$	71,6 µdef	64,7 µdef	0,60	57,8 µdef	0,34
Après	$9{,}0\ 10^6$	65,4 µdef	48,0 µdef	0,21	43,3 µdef	0,13
Final	$14{,}7\ 10^6$			0,81		0,47

Comparaison des 2 options

Durée de vie x 2 avec rechargement



Enseignement

- Bien différencier durée de vie et durée de service
- Notion de fiabilité

  La probabilité pour que, sans entretien, la chaussée nécessite une reconstruction complète

- Avec l'intégration d'un entretien (+ 6 ESG à 12 ans)
  - Durée de vie doublée
  - La structure CHAUSSEE est validé
  - La structure Alizé est largement dimensionnée
- Notion de « Structure progressive »

Conclusions

Renforcement – Points à retenir

1. Inspection du site obligatoire
2. Étude de renforcement basé sur des mesures de déflexion
3. Intégration du cumul des dommages
4. Importance de l’entretien