



Structures des chaussées souples

Dimensionnement des chaussées souples par méthode mécanistique



Laurent Porot

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



Conception d'une chaussée



DC to Richmond Road in 1919 – from the Asphalt Institute

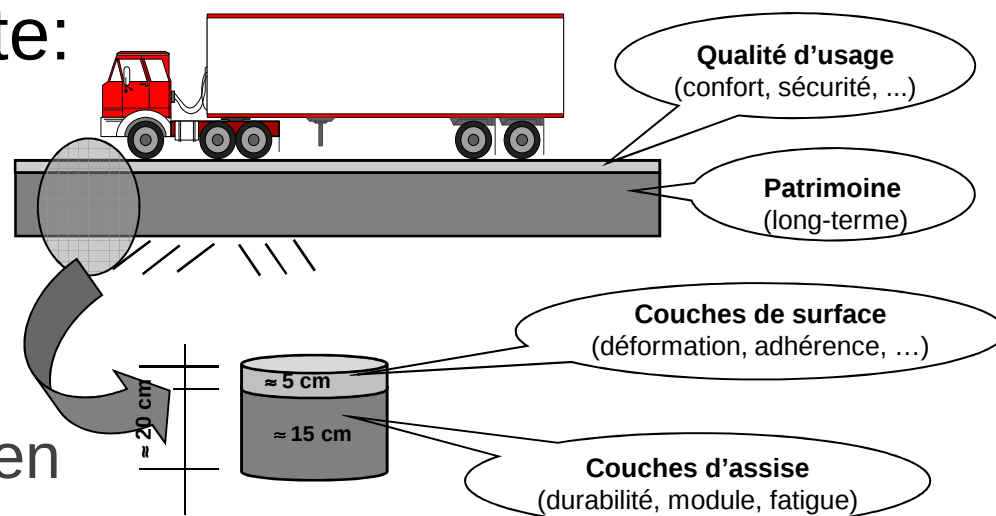
La conception d'une chaussée

➤ Comprendre les fonctions d'une chaussée

- Qualité d'usage, confort, sécurité, ...
- Valeur patrimoniale, durabilité, drainage, ...

➤ Prendre en compte:

- Trafic
- Sol support
- Climat
- Matériaux
- Stratégie d'entretien
- Coût global construction / entretien

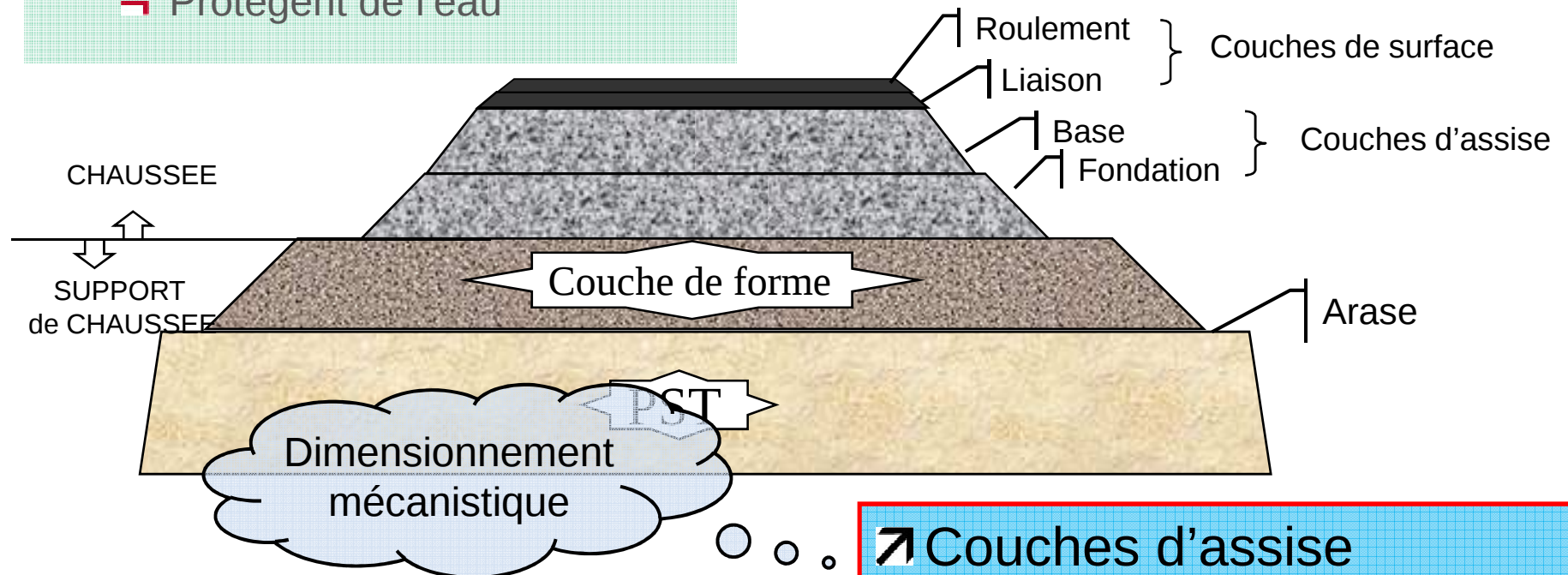


Optimiser le choix et les épaisseurs des matériaux en tenant compte de toutes les contraintes

Composition d'une chaussée

➤ Couches de surface

- ▢ Assurent confort, sécurité
- ▢ Protègent de l'eau



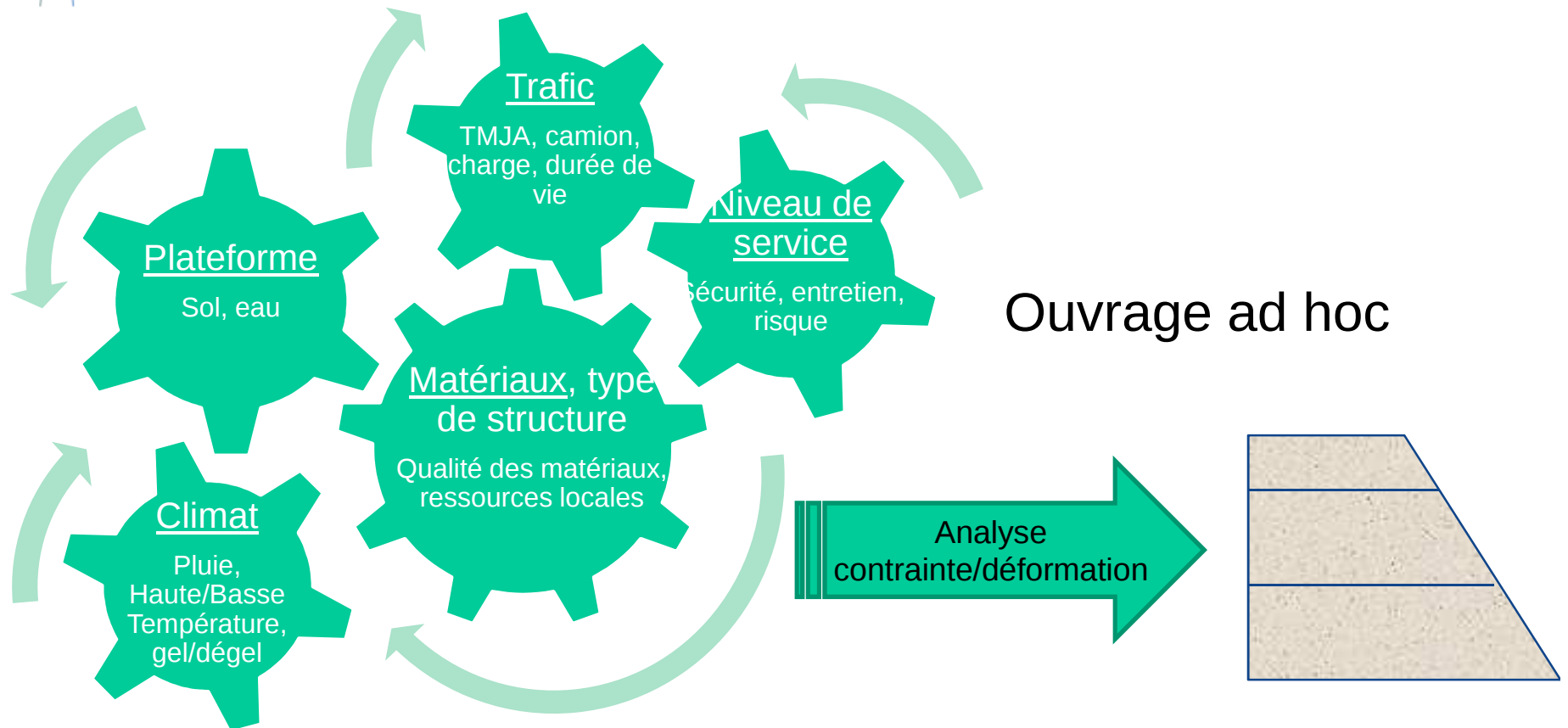
➤ Support de chaussée

- ▢ Assure portance du sol
- ▢ Protection au gel

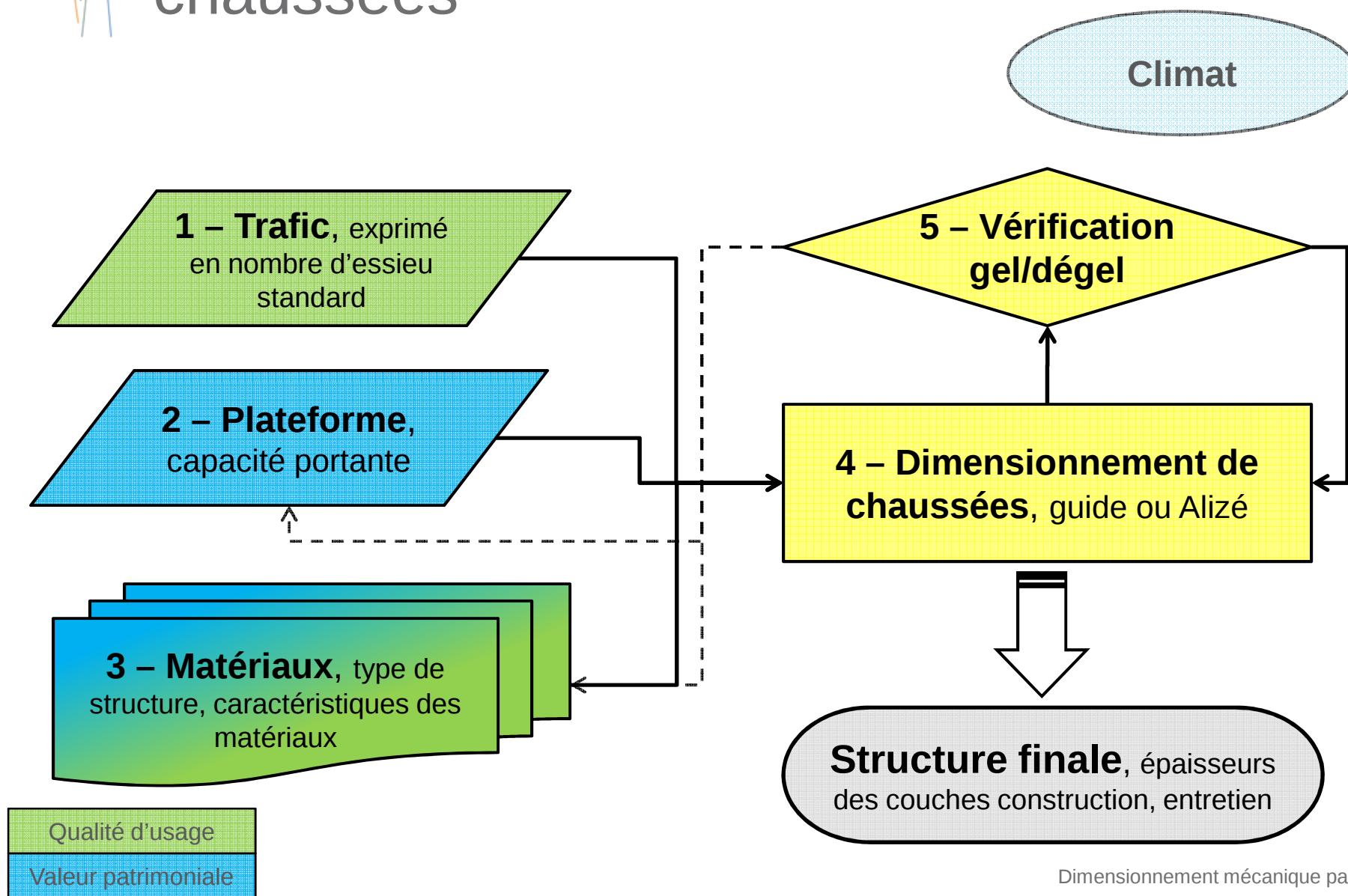
➤ Couches d'assise

- ▢ Assurent la tenue structurelle
- ▢ Répartissent la charge sur le sol

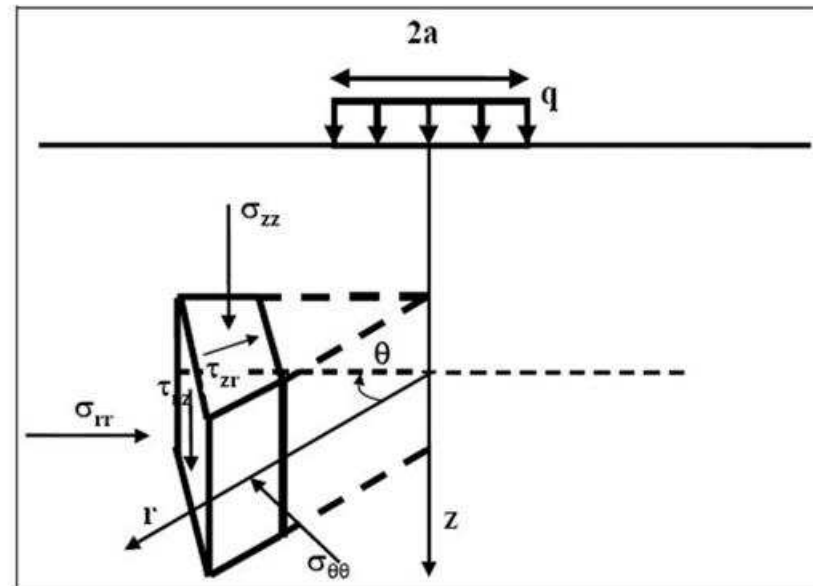
Concevoir une chaussée ...



Principe du dimensionnement de chaussées



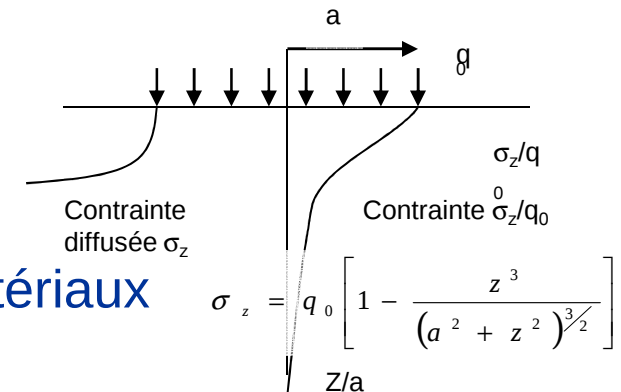
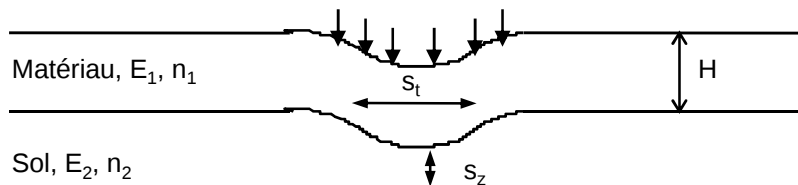
Dimensionnement mécanique



Mécanique des chaussées

➤ Modèle de Boussinescq (1885)

- Massif unique infini (modèle à 1 couche)
- Indépendant des caractéristiques des matériaux



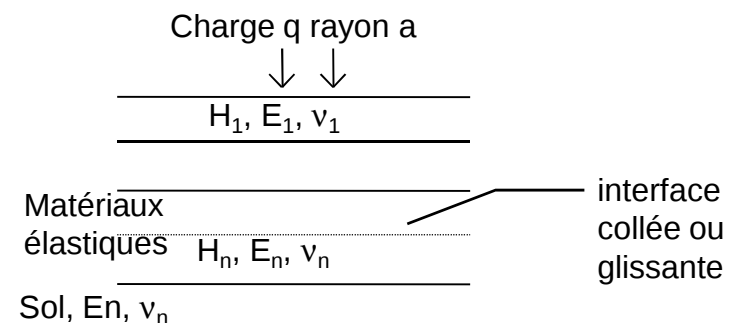
➤ Modèles de Hogg (1938) et de Westergaard (1926)

- Système à 2 couches
- Dépend des matériaux (module)

➤ Modèle de Burmister (1943)

- Multicouches
- Couches isotropes et infinies en plan

Modèles basés sur la théorie d'élasticité linéaire



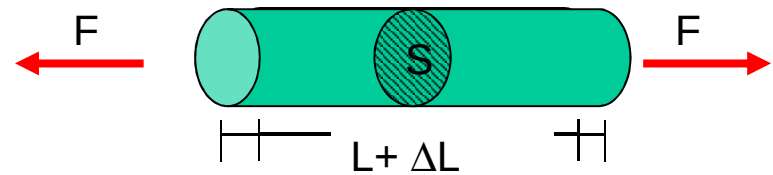
Théorie de l'élasticité linéaire

➤ Comportement mécanique

→ Force F

→ Contrainte $\sigma = F/S$

→ Déformation $\varepsilon = \Delta L/L$



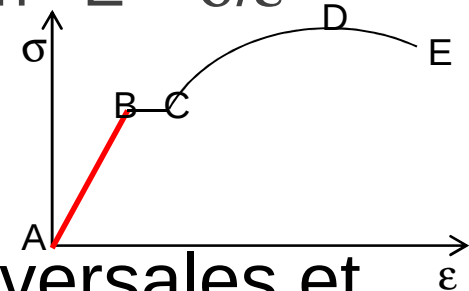
➤ Module élastique (loi de Hooke)

→ Corrélation contrainte / déformation $E = \sigma/\varepsilon$

➤ **AB → élasticité linéaire (réversible)**

➤ BC → plasticité

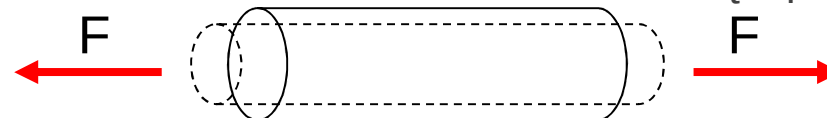
➤ E → contrainte à la rupture



➤ Rapport des déformations transversales et longitudinales

→ Coefficient de Poisson

$$\nu = \varepsilon_t / \varepsilon_l$$



Quelques ordres de grandeur...

➤ Quelques valeurs de contraintes

Pour un homme:

- ☞ 80 kg
- ☞ 0.06 m² surface

→ Pression de **0.013 MPa**
(0.13 bars)

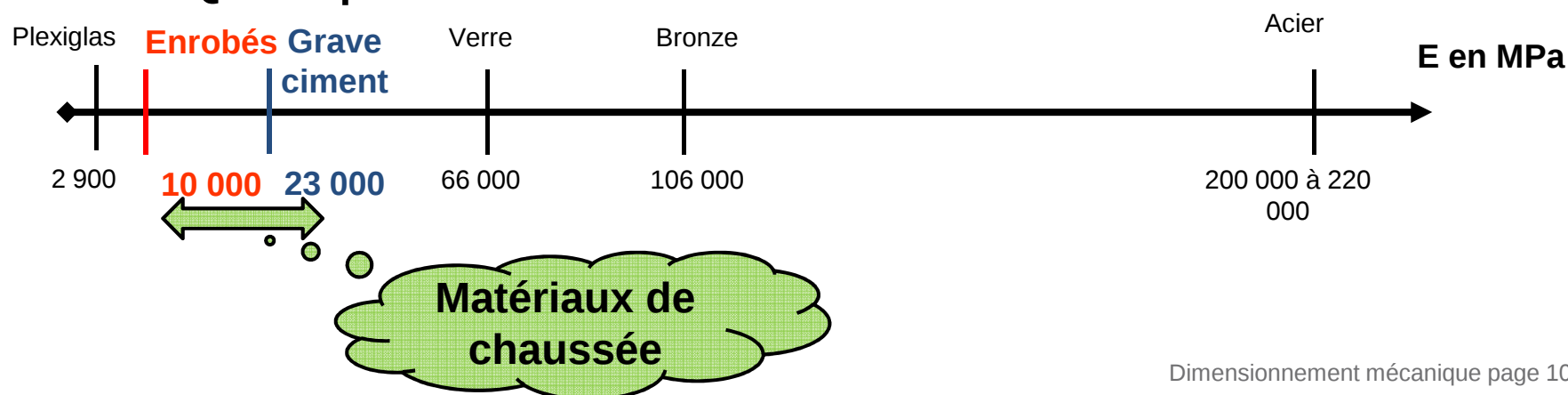


Essieu standard :

- ☞ 2,04 t par roue
- ☞ 0.05 m² surface

→ Pression de **0.6 MPa**
(6 bars)

➤ Quelques valeurs de modules



Approche mécanique

Modélisations

Structure

─ Type de structure ─ Essieu standard de référence

─ Type de matériaux

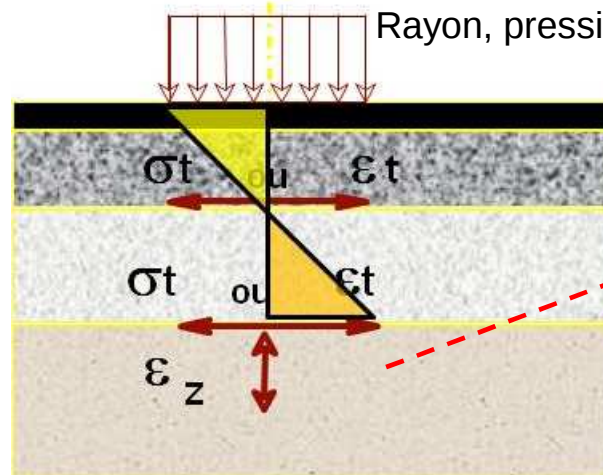
E_1, H_1, ν_1

E_2, H_2, ν_2

E_3, H_3, ν_3

E_4, H_4, ν_4

Cas de charge

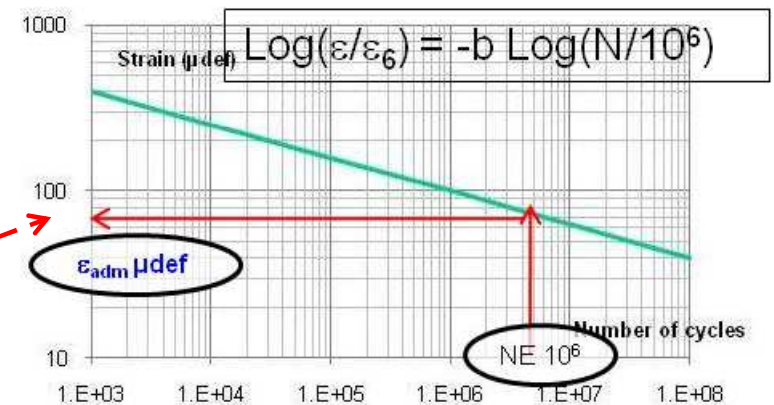


Conditions aux interfaces
(collé ou glissant)

**Dimensionnement
structurel uniquement**

Matériaux

Fatigue curve

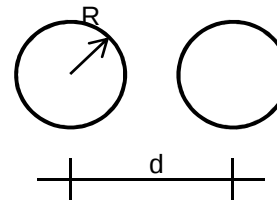


$$\epsilon_t < \epsilon_{adm}$$

Modélisation mécanique

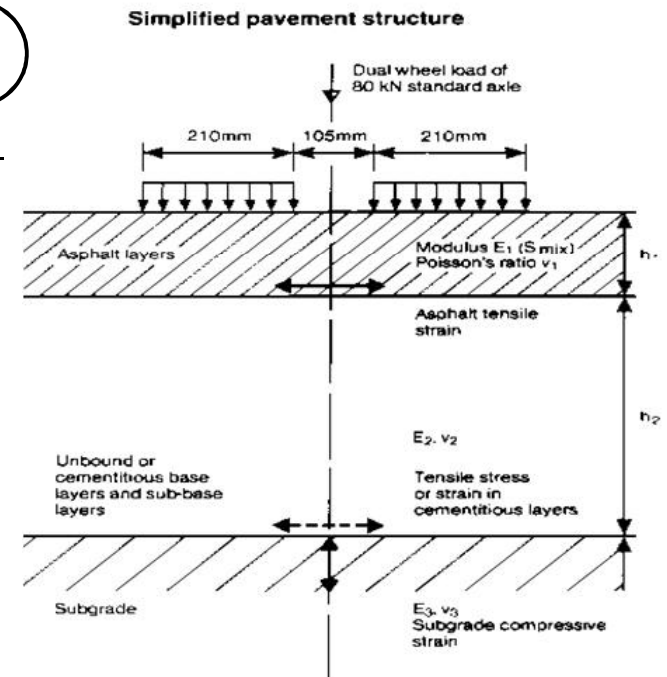
➤ Modélisation essieu

- Charge par roue
- Empreinte circulaire
- Entraxe des roues

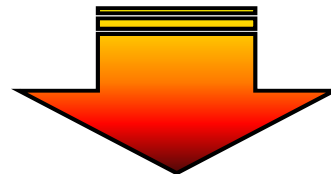


➤ Modélisation structure

- Epaisseur des couches
- Module
- Coefficient de Poisson
- Interface collée ou glissante



Source: Shell Pavement Design Manual 1978



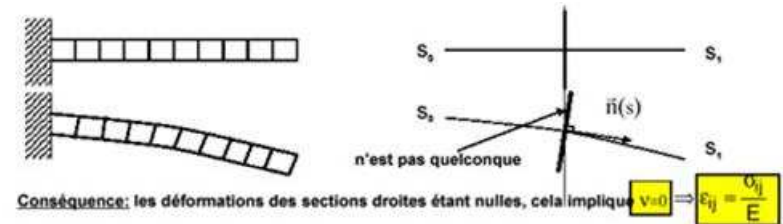
➤ Contraintes et déformations dans la structure

Hypothèses du modèle

➤ Couches infinies en plan, pas d'effet de bord

➤ Théorie des plaques minces (hypothèse de Navier)

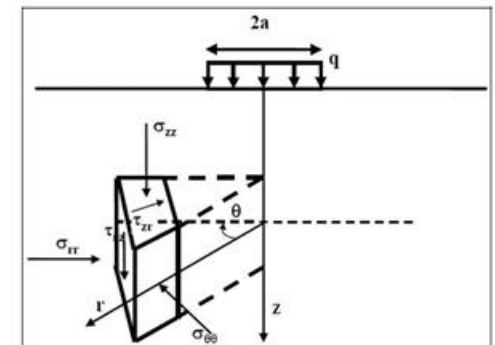
- Plan moyen confondu avec fibre neutre
- Sections planes restent planes sous déformation



➤ Matériaux élastique linéaire et isotrope

➤ Pour une charge circulaire

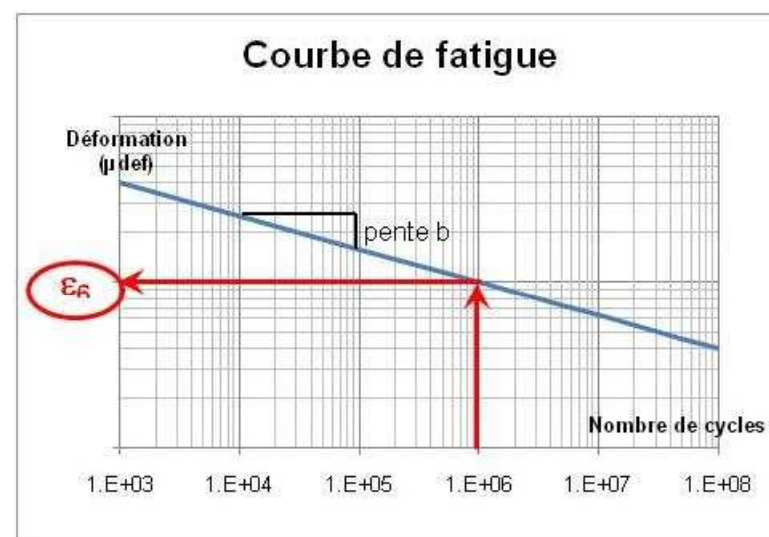
- Symétrie de révolution → calcul en coordonnées cylindriques



Modélisation des matériaux

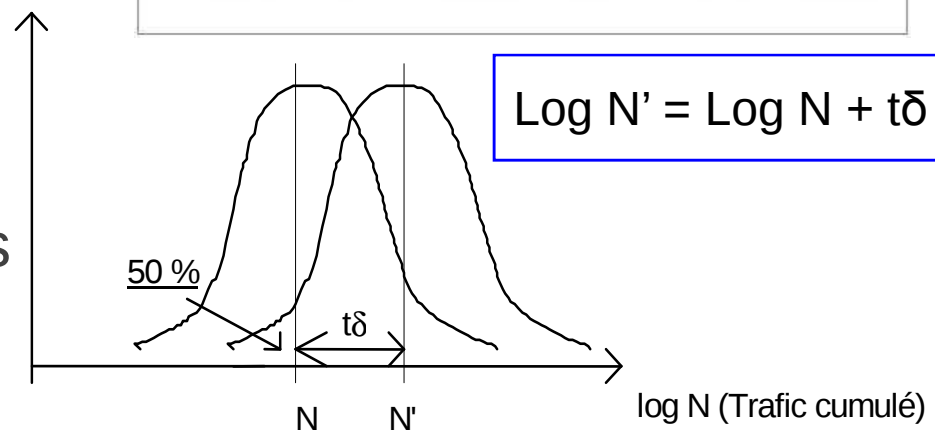
➤ Comportement en fatigue des matériaux (courbes de Wöhler)

➤ Evalué en laboratoire



➤ Dispersion sur

- Les caractéristiques
- La mise en œuvre



Critères de dimensionnement

- Pour le sol et les **matériaux non liés**
 - **déformation verticale** haut de couches

Loi du type $\varepsilon_{zadm} = A N^{-0.222}$

- Pour les **enrobés**
 - **déformation horizontale** bas de couches

Loi du type $\varepsilon_{tadm} = K \varepsilon_6 (N/10^6)^{-1/b}$ avec $-1/b$ de l'ordre de 5

- Pour les matériaux **liés aux liants hydrauliques**
 - **contrainte horizontale** bas de couches

Loi du type $\sigma_{tadm} = K \sigma_6 (N/10^6)^{-1/b}$ avec $-1/b$ autour de 12-13

Facteurs de calage

➤ La réalité diffère de la théorie et nécessite un calage

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

$$\sigma_{adm} = \sigma_6 \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times kc \times kd \times kr \times ks$$

- Calage en température $\varepsilon_6 E^{1/2} = \text{cst}$
- kc , corrélation labo / terrain (kc entre 1 et 1,3)
- kr , coefficient de risque (fiabilité)
- ks , défaut de portance de la plateforme (kr entre 1 et 1,2)
- kd , coefficient de discontinuité et gradient thermique

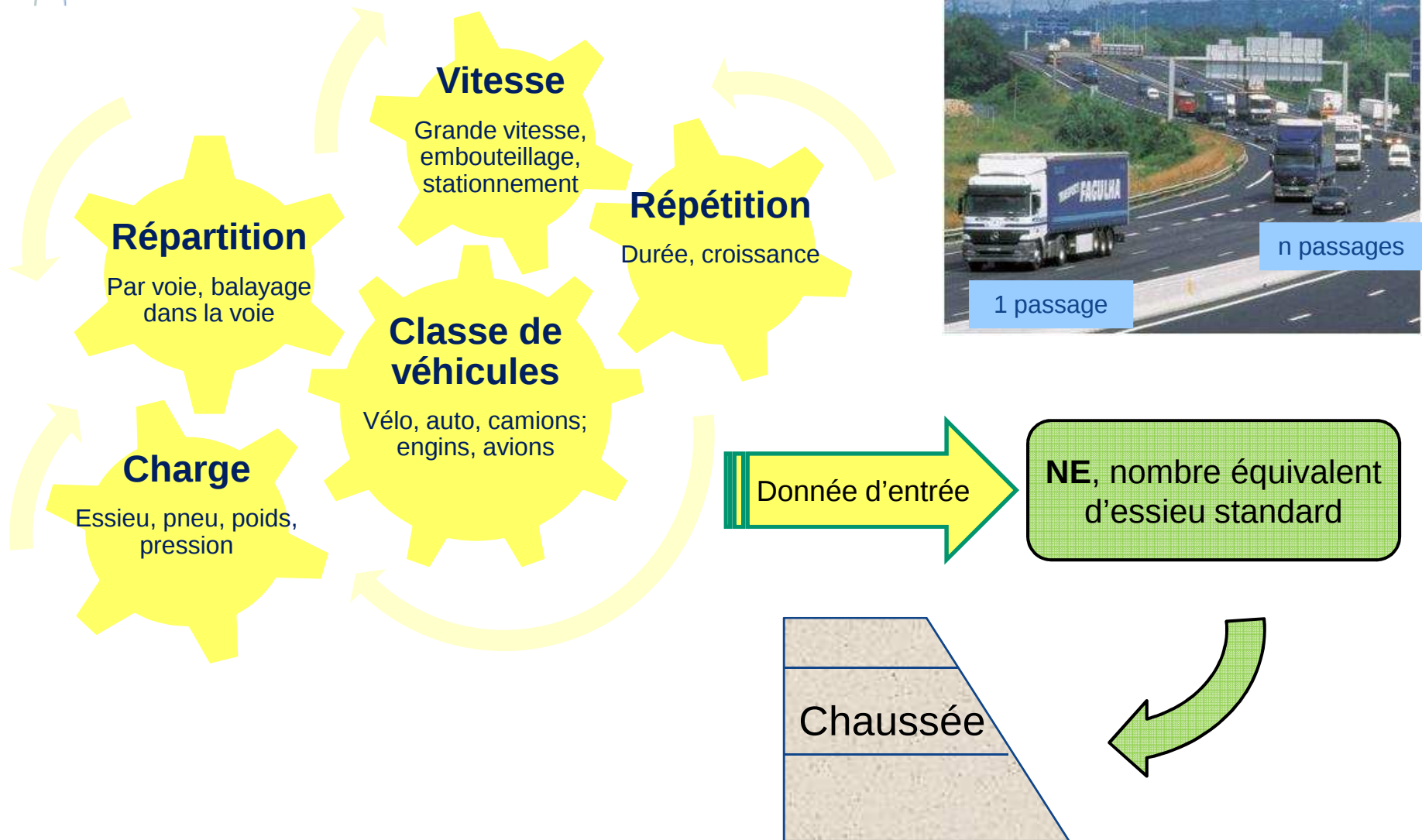
Approche française

- Une approche générale (guide technique 1984)
 - **Rationnelle**, basé sur modèle mécanique
 - **Performantielle**, utilisant les caractéristiques mécaniques des matériaux
 - **Empirique**, recalage par rapport aux observations terrains
- Caractéristiques des enrobés mesurées en labo
 - Module à 15°C, 10Hz et fatigue à 10°C, 25Hz
- Essieu standard de 13t
- Modèle élastique linéaire → Alizé

Données d'entrée



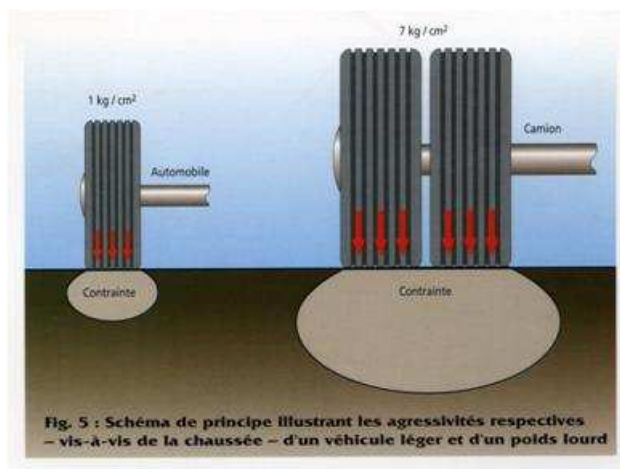
Prise en compte du trafic



Le trafic

- Trafic journalier de $PL > 3.5 T$
- Taux de croissance, τ
 - Géométrique ou linéaire
- Durée de service, d
- Coefficient d'Agressivité Moyen, CAM

Trafic cumulé, N



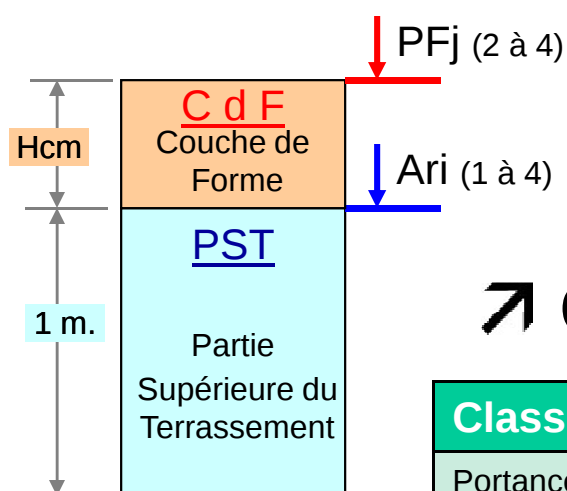
Trafic cumulé équivalent

$$NE = N * CAM$$

La plateforme

➤ Plate forme PF_j :

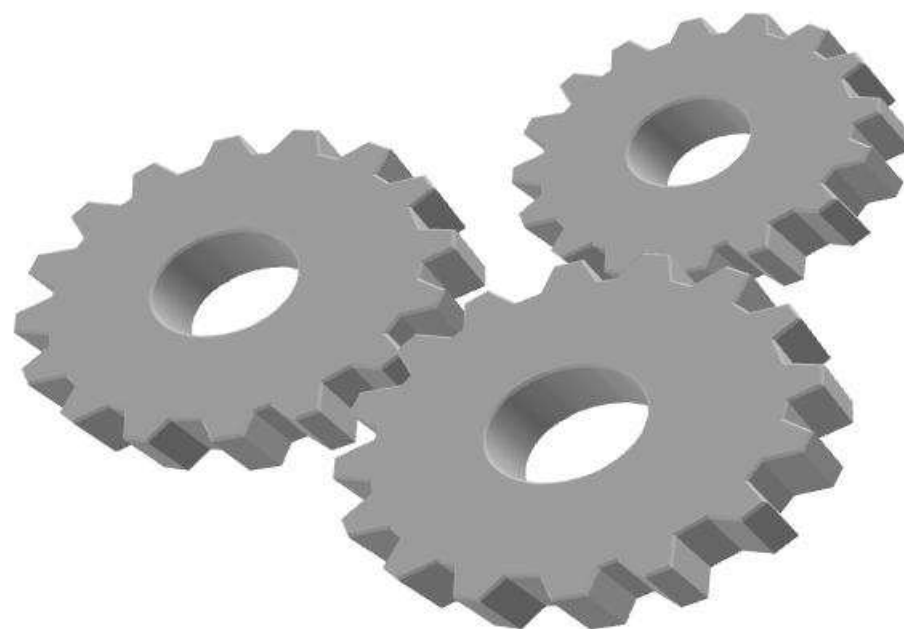
- Couche de forme assurant la pérennité d'une portance à long terme
- Arase de terrassement



➤ Classe de plateforme

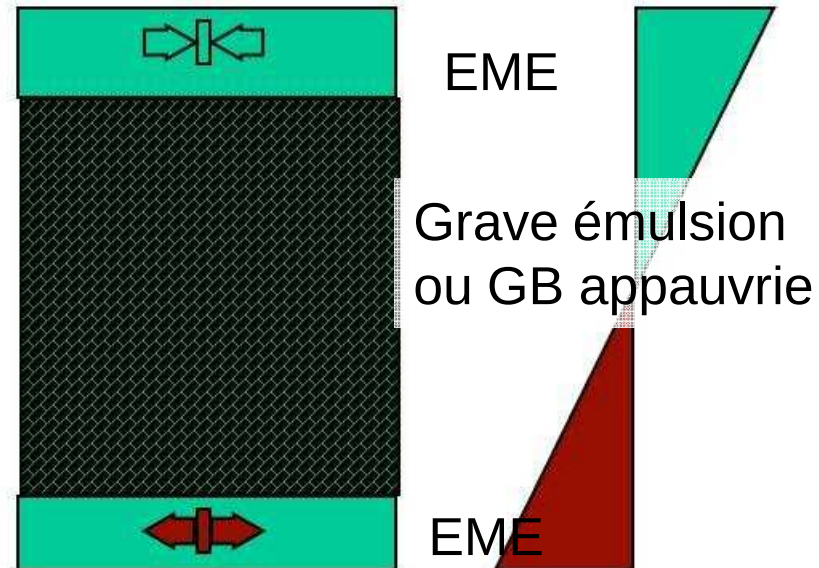
Classe	PF1	PF2	PF3	PF4
Portance EV2 (GTR)	> 20 MPa	> 50 MPa	> 120 MPa	> 200 MPa
Déflexion pour CdF traitée en mm (GTS)		1,2 (chaux) 0,8 (ciment)	0,8 (chaux) 0,6 (ciment)	0,5 (ciment)

Applications complémentaires



Application au concept Tricouche

➤ Idée: intercaler une couche de moindre module entre 2 couches à module élevé



**Intérêt économique,
jusqu'à 30% d'économie**

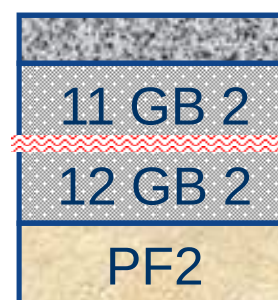
Divers points sensibles

Cas de référence



300 PL/j
20 ans

Collage des couches



300 PL/j
1 an 2 mois

Défaut de portance



300 PL/j
10 ans

Variation d'épaisseur



300 PL/j
11 ans

Accumulation de dommage

➤ Structure dimensionnée pour un trafic donné

- A chaque chargement → dommage élémentaire d_i
 - Cumul des dommages sur la durée de vie (Loi de Miner)
- $$\mathbf{D = \Sigma d_i = 1} \qquad d_i = (\epsilon_t / \epsilon_{tadm})^{1/b}$$

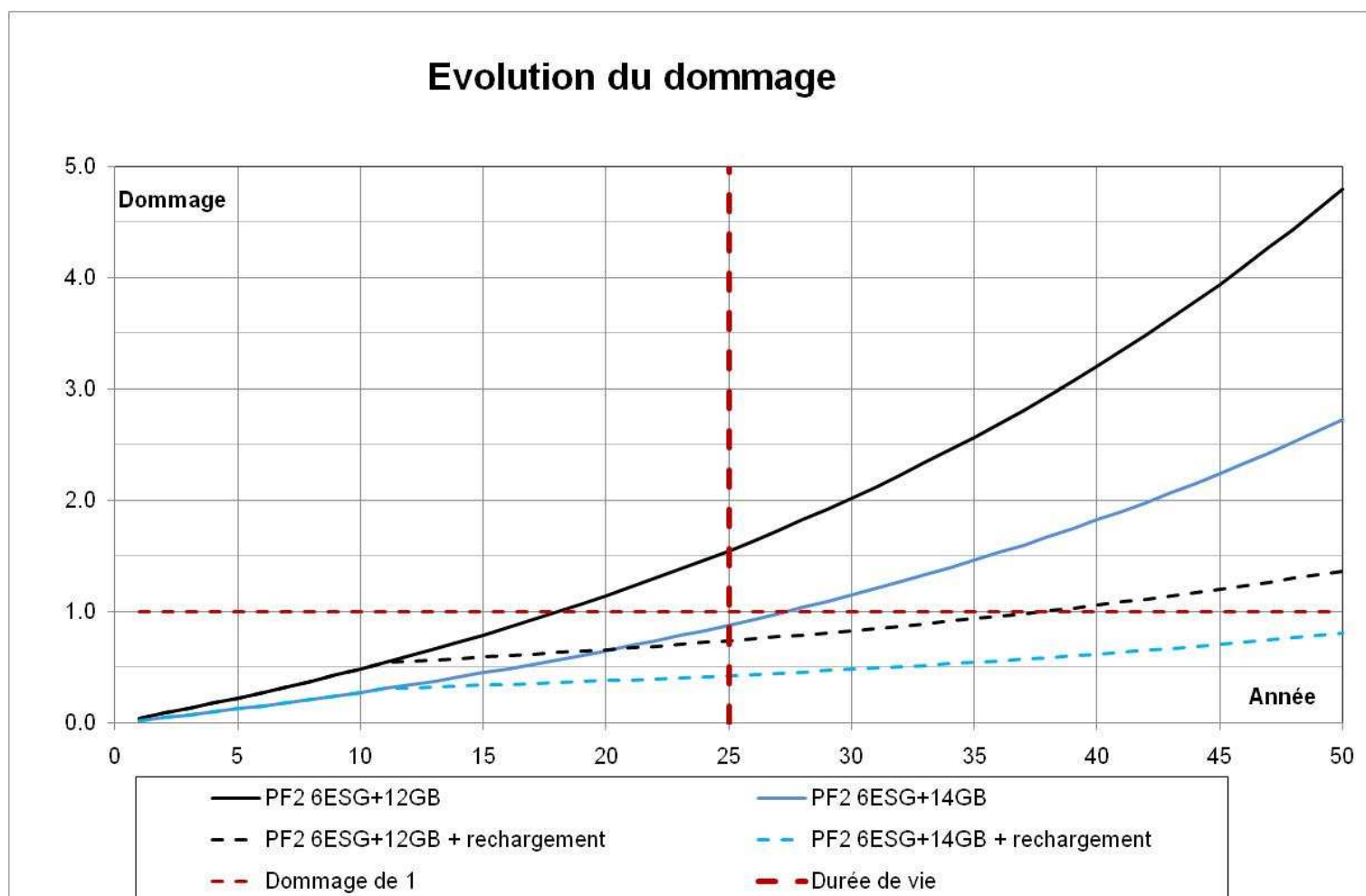
➤ Dommage élémentaire dépend du

- Type de chargement
- Type de structure et épaisseur de chaussée

➤ Application

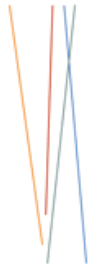
- Optimisation des scénarii d'entretien ($D < 1$)
- Appréciation de la durée de vie résiduelle
- Renforcement / réhabilitation de chaussée
- Calcul d'agressivité

Exemple de cumul des dommages



Conclusions





Dimensionnement mécanique – Points à retenir

1. Dimensionnement mécanique ne concerne que la valeur structurelle de la chaussée
2. Méthode mécanique basé sur système multicouche linéaire élastique et fatigue
3. Approche Rationnelle, Performantielle et Empirique
4. Importance des données d'entrée
5. Large spectre d'applications