

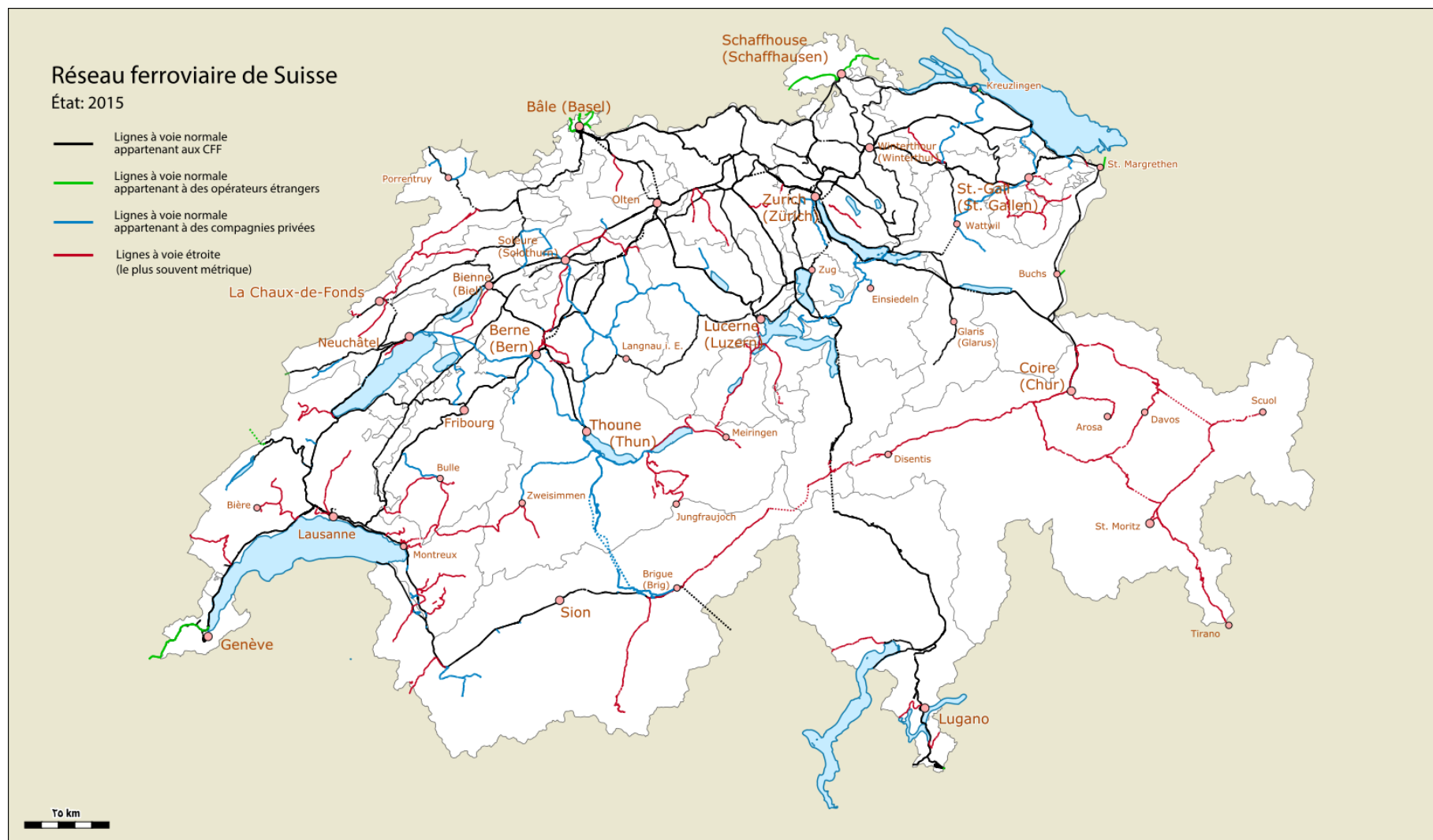
**CIVIL 463.27**

**DEGRADATIONS DES VOIES  
FERREES**





# Réseau ferroviaire en Suisse



# Réseau ferroviaire en Suisse

## ► Réseau ferroviaire

## ► 5'124 km

►► CFF 3'011 km

►► Compagnies privées 2'123 km

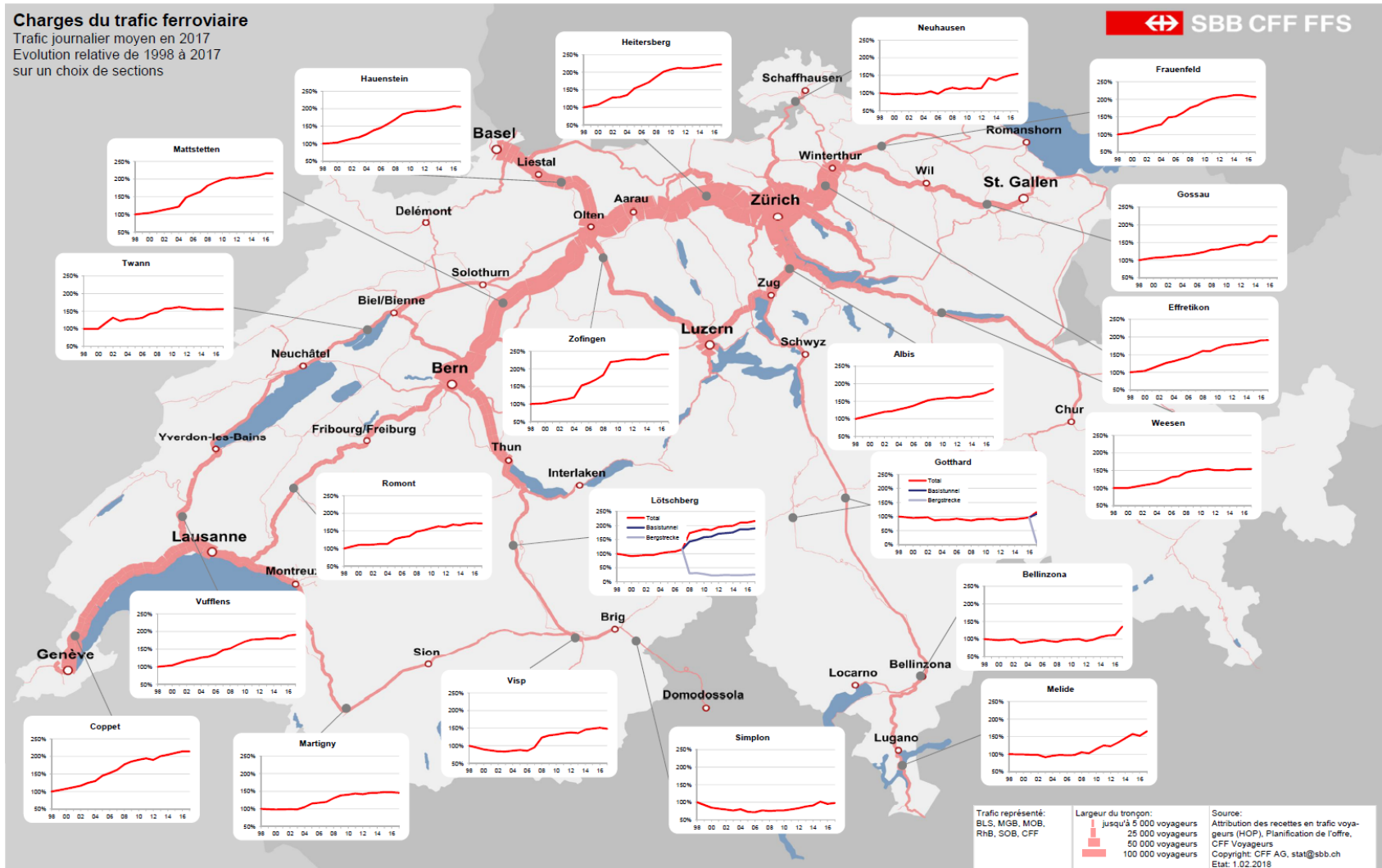
# Réseau des CFF

- ▶ **15'000 appareils de voie**
- ▶ **747 gares et haltes**
- ▶ **496 poste d'enclenchement**
- ▶ **32'813 signaux pour la circulation des trains**
- ▶ **934 passages à niveau**
- ▶ **294 tunnels**
- ▶ **5'761 ponts**

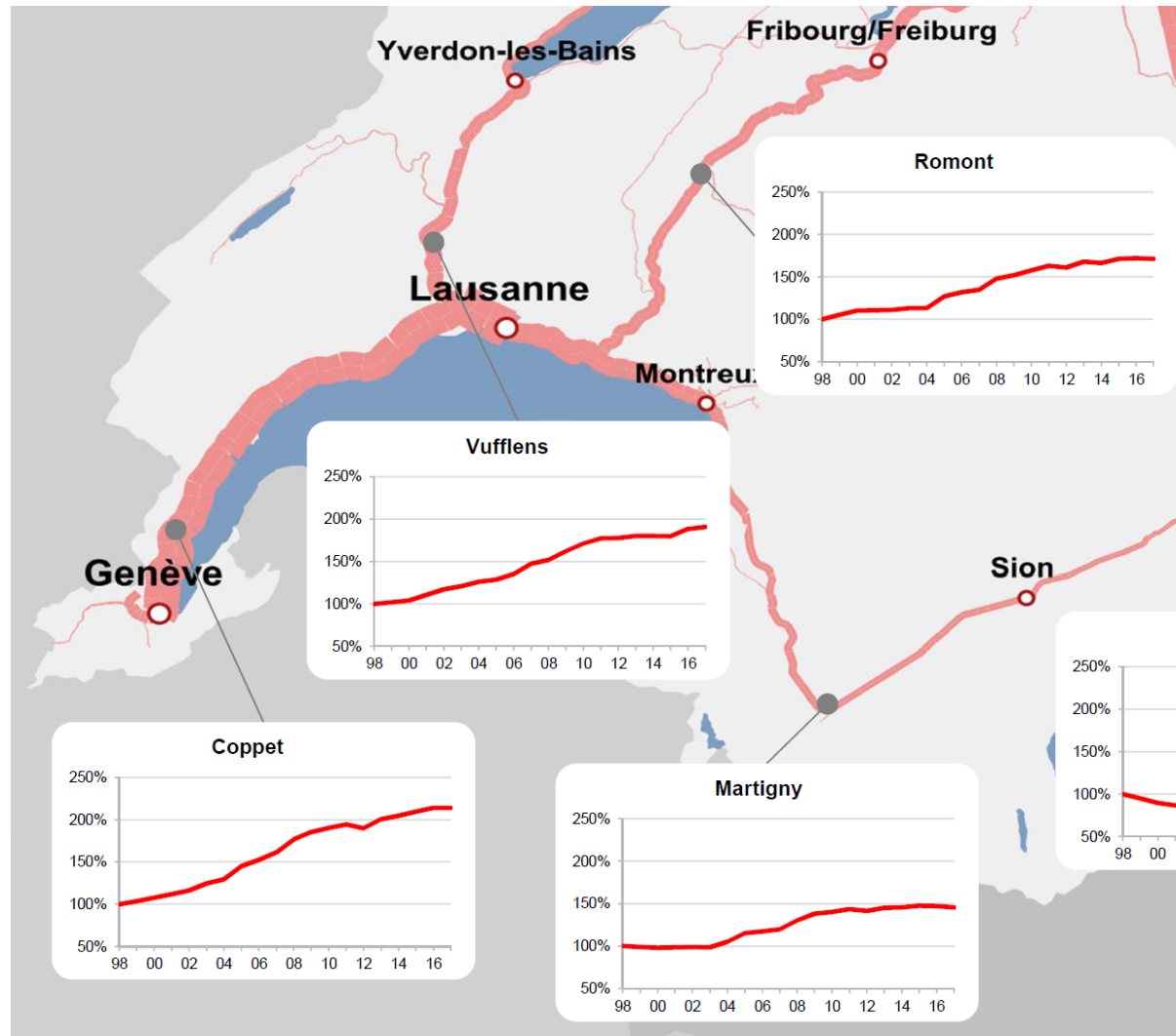
# Augmentation du trafic

## Charges du trafic ferroviaire

Trafic journalier moyen en 2017  
Evolution relative de 1998 à 2017  
sur un choix de sections



# Augmentation du trafic



# Entretien annuel aux CFF

## ► Entretien

- 800 km de voie principale (15%)
- 1850 appareils de voie (12%)

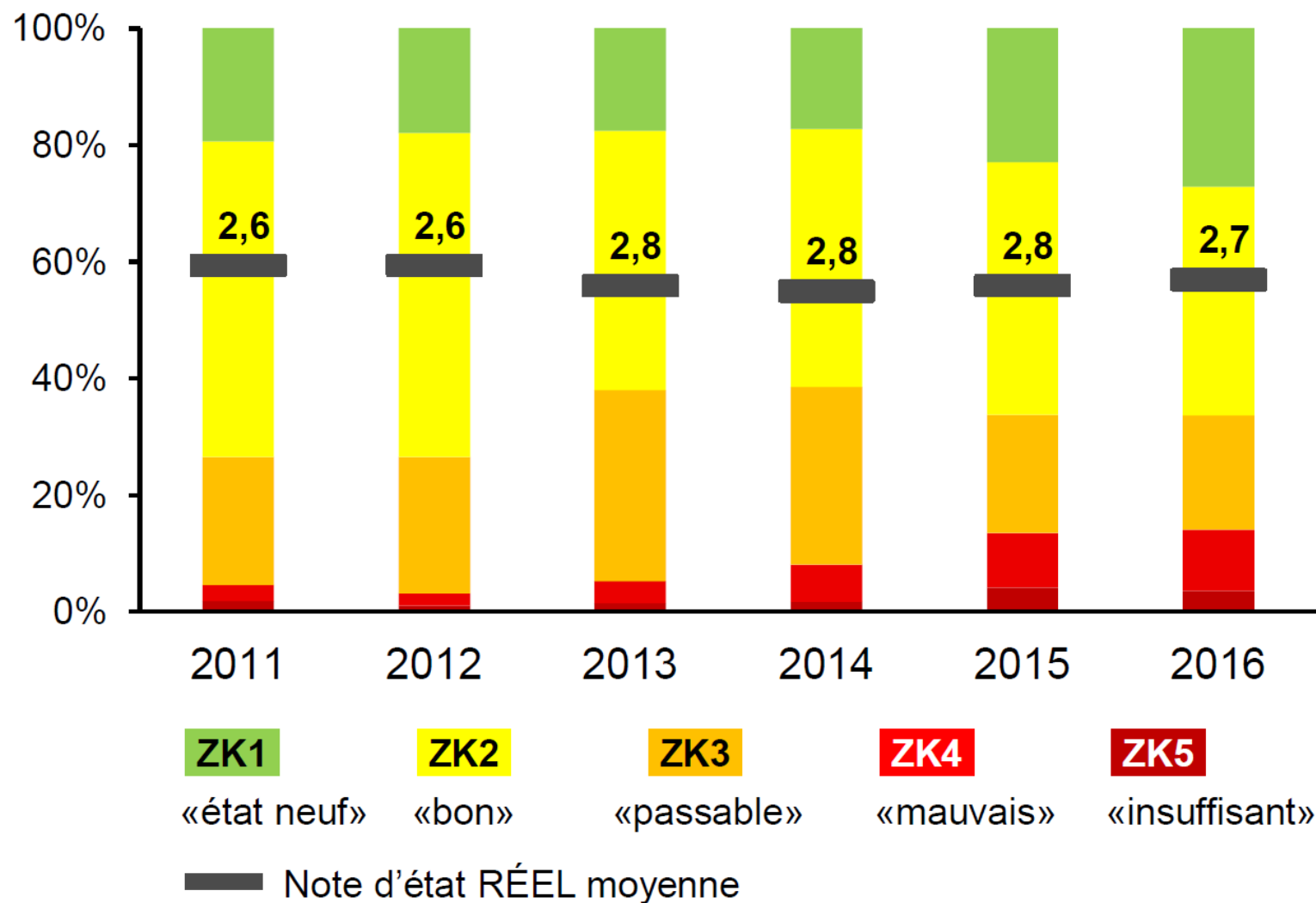
## ► Renouvellement

- 170 km de voie (3%)
- 450 appareils de voie (3%)

## ► Matériel utilisé

- 550 km de rails / 325'000 traverses
- 420'000 tonnes de ballast

# Etat du réseau CFF

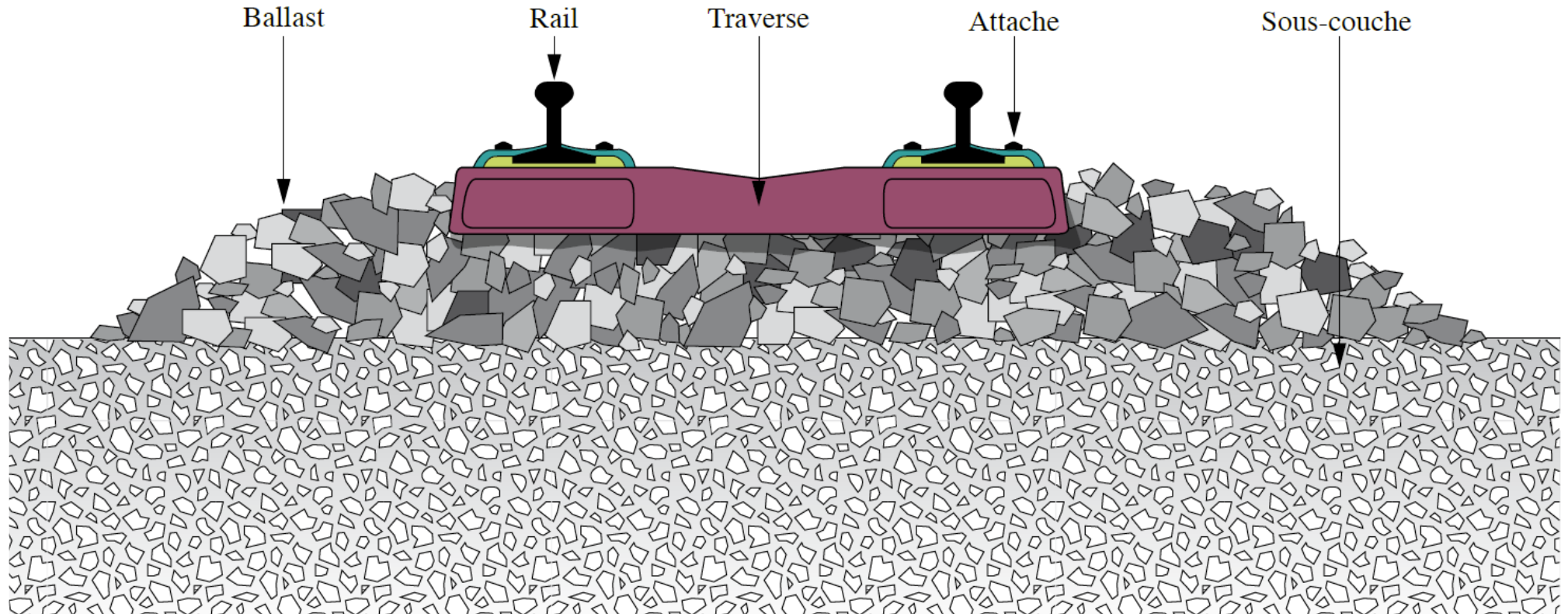




# Tendances

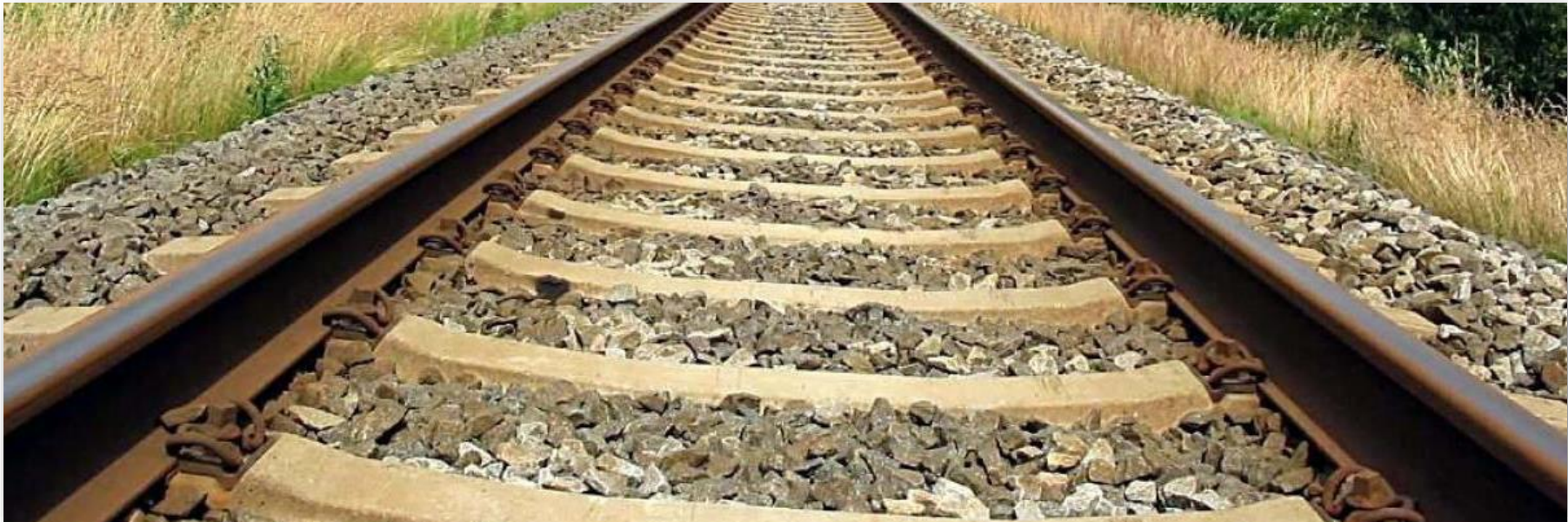
- ▶ **Augmentation des sollicitations**
  - ▶ Augmentation du nombre de trains
  - ▶ Augmentation de la charge par essieux
  - ▶ Augmentation de la puissance par essieux
- ▶ **Diminution du besoin d'entretien !**
  - ▶ Construction plus lourde de la voie
  - ▶ Plus haute qualité du matériel de la voie
  - ▶ Maintenance plus efficace

# Superstructure d'une voie ferrée ballastée



# Phénomène de la dégradation de la voie

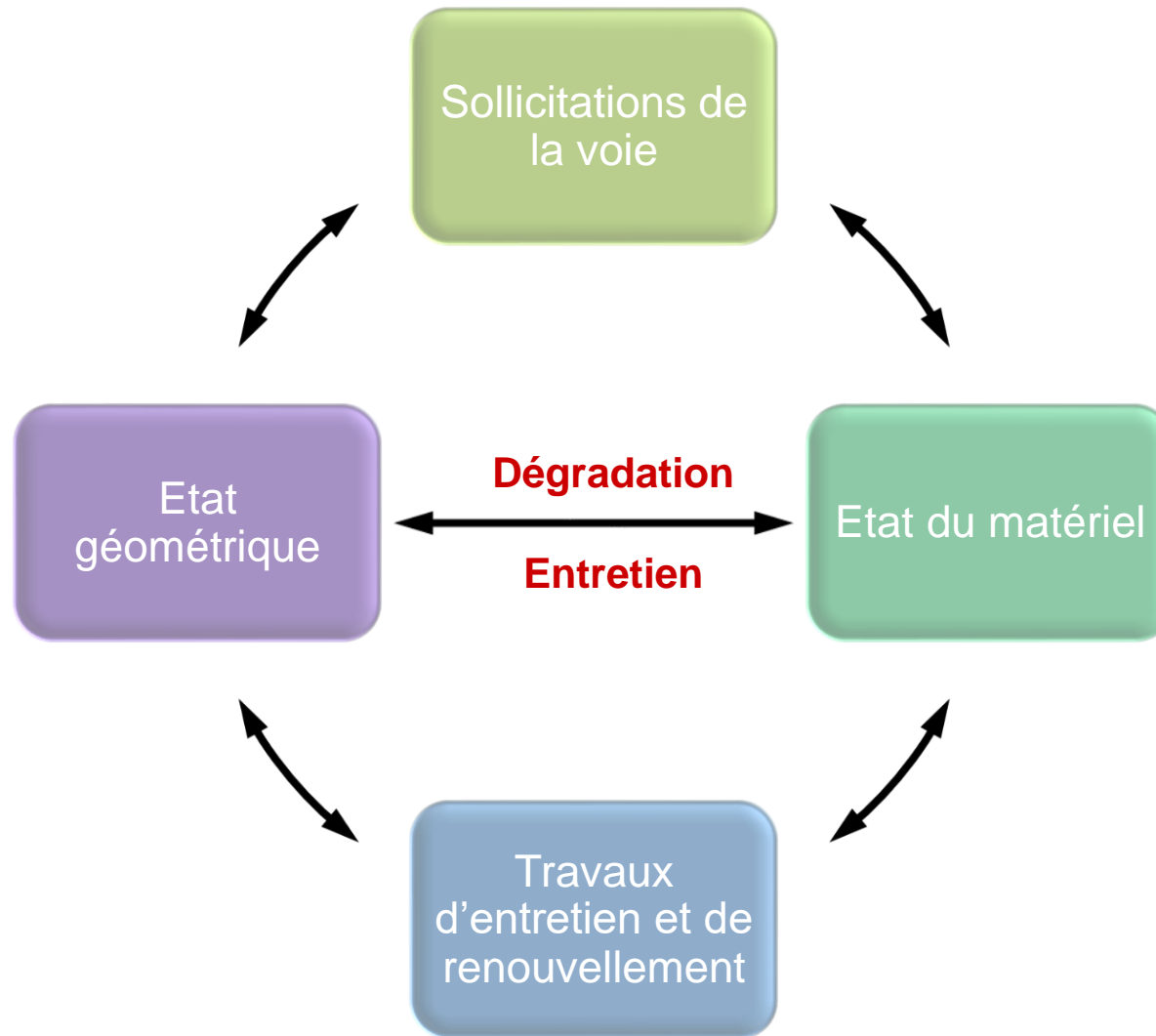
- ▶ **La circulation des trains induit une perte de substance de la voie**
  - ▶ Qualité de la géométrie
  - ▶ État du matériel



# Rapidité de la dégradation

- ▶ **Cette rapidité dépend ...**
- ▶ **... de la conception et des propriétés de la voie**
  - ▶ Un armement plus lourd, un ballast de bonne qualité et une fondation stable et homogène permettent une meilleure durabilité de la voie
- ▶ **... du type des trains et de matériel roulant circulant sur la voie**
  - ▶ Certains véhicules, généralement les wagons marchandises, sont plus agressifs pour la voie

# Relation Matériel – Géométrie de la voie





# Facteurs déterminants du besoin d'entretien

## ► Sollicitation de la circulation des trains

### ► Effets dynamiques

$$P = \varphi \cdot P_s$$

$P$  Charge utilisée pour le dimensionnement (kN)

$P_s$  Charge de roue (kN), déterminée par la moitié de la charge par essieu

$\varphi$  Coefficient de l'impact dynamique ( $> 1$ )

### ► $\varphi$ fonction de la vitesse



# Influence du trafic

$$E = k \cdot T^{\alpha} \cdot P^{\beta} \cdot V^{\gamma}$$

**E Coûts d'entretien**

**k Facteur dépendant de la qualité de roulement :  
géométrie de la voie, contact rail-roue, etc.**

**T Charge totale annuelle (cumulée)**

**P Charge par essieu (dynamique)**

**V Vitesse**

Type de défaut	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Fatigue des rails	3,0	3,0	1,0 ~ 1,1
Défaut de la table de roulement du rail (p.ex. usure ondulatoire)	1,0	3,5	1,0 ~ 1,1
Fatigue des autres composants de la construction de la voie	3,0	3,0	1,0 ~ 1,1
Géométrie de la voie	1,0	3,0	1,0 ~ 1,1

# Défauts de la géométrie de la voie



# Défauts de la géométrie de la voie

- ▶ **La géométrie se dégrade de manière différente d'un endroit à un autre**
  - ▶ Les charges dynamiques ne sont pas partout identiques
  - ▶ La géométrie de la voie ne reste que rarement homogène
  - ▶ Ce qui induit des mouvements supplémentaires des véhicules
  - ▶ Ce qui augmente les charges dynamiques sur la voie ... le début du cercle vicieux

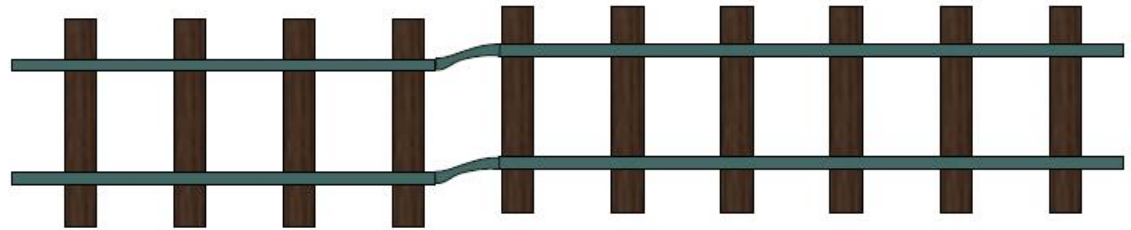


# Défauts de la voie

## ► Défauts dans un plan

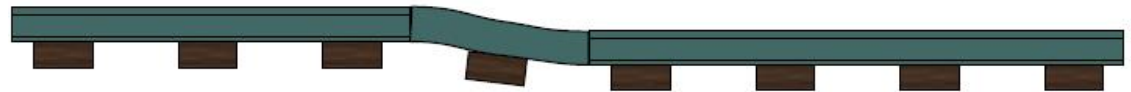
### ►► Horizontal

□ Dressage



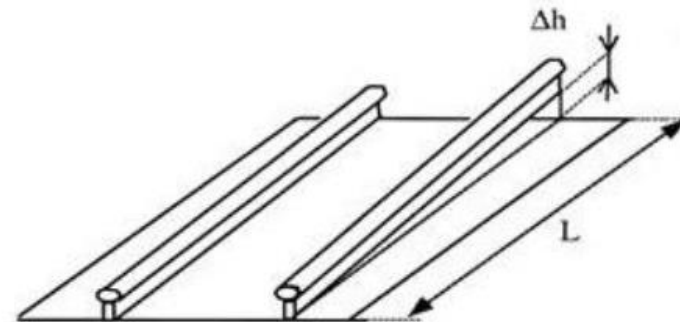
### ►► Vertical

□ Nivellement



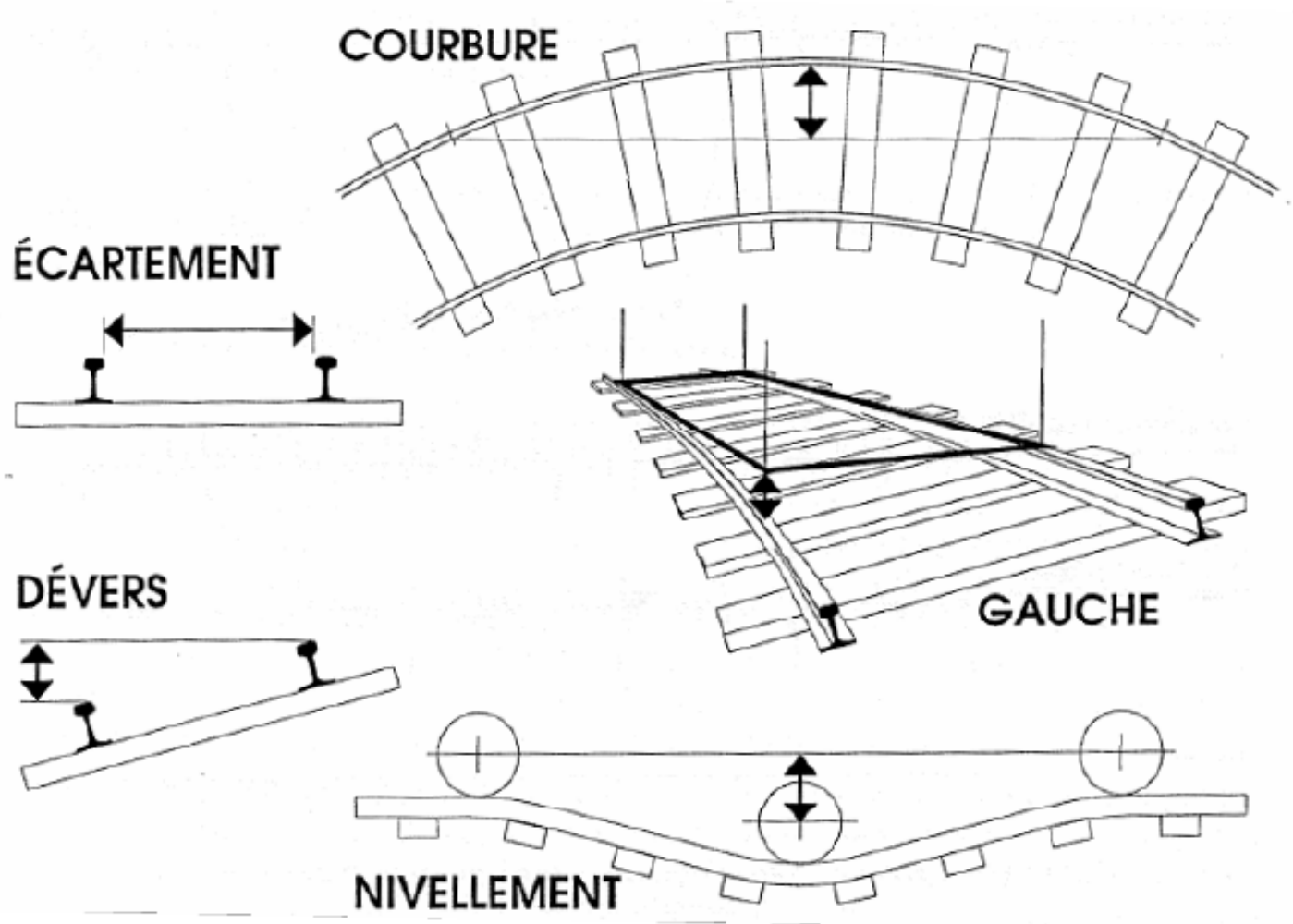
## ► Défaut multi-plan

### ►► Gauche





# Relevé de l'état géométrique des voies



# Relevé de l'état géométrique de la voie

## ► Mesures de la géométrie

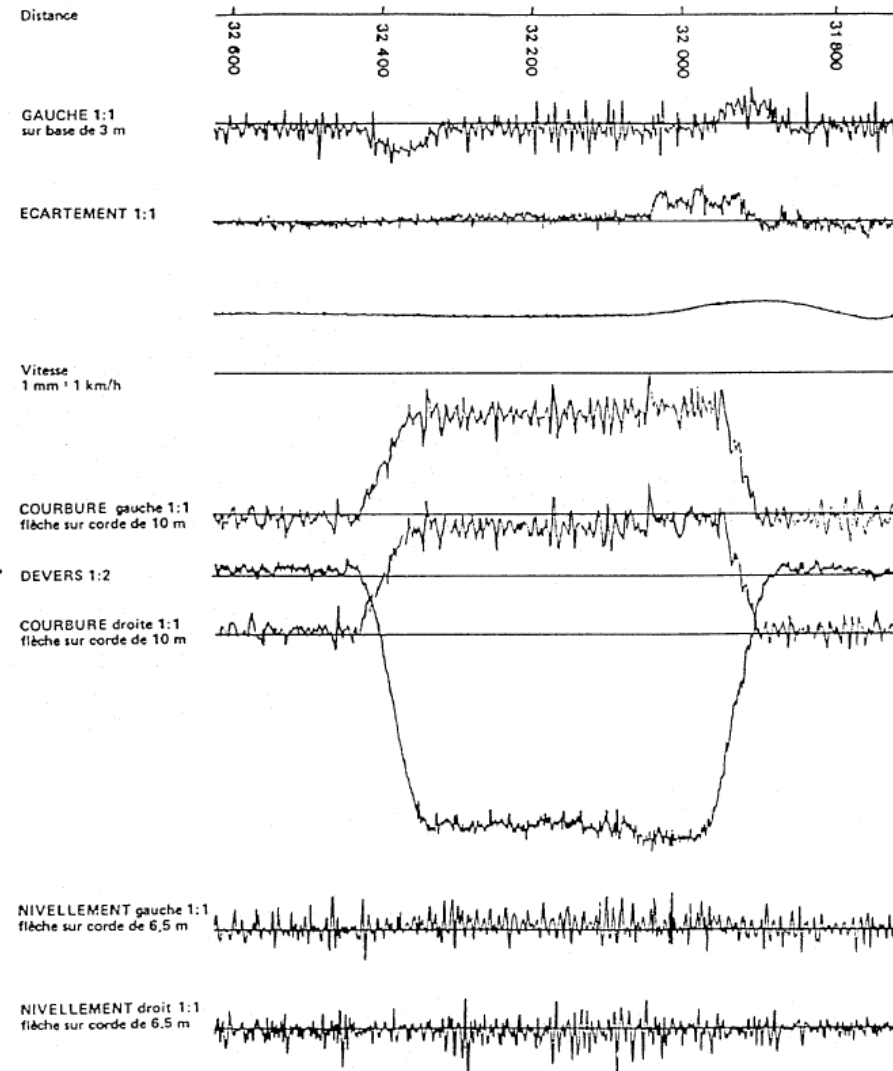
- Écartement
- Courbure de chaque file de rail
- Dévers (pendule gyroscopique)
- Gauche
- Nivellement de chaque file de rail
- Profil en long de chaque file de rail / moyenne

# Relevé de l'état géométrique de la voie

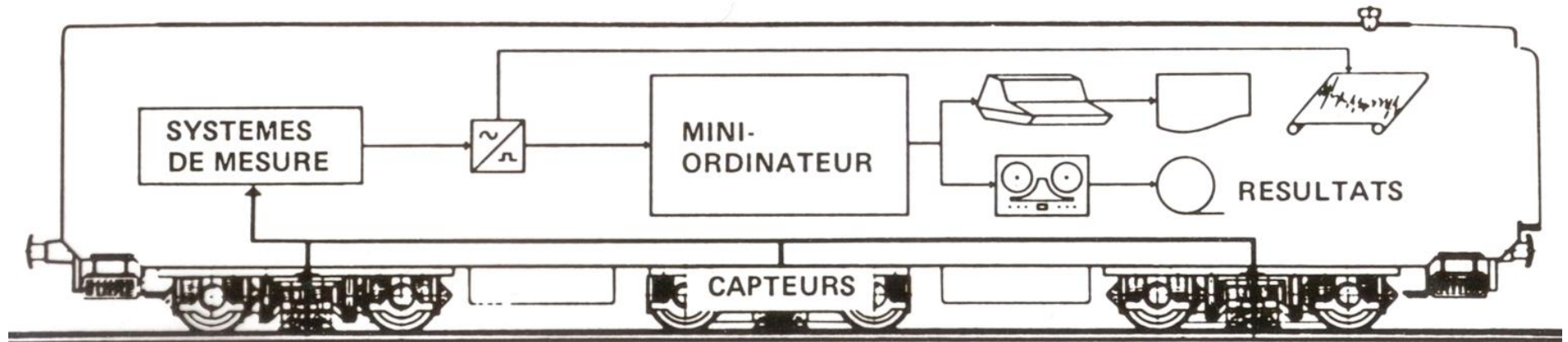
## ► Autres valeurs

- Surface de la table de roulement de chaque file de rail
- Position absolue (GPS)
- Vitesse de mesure
- Indications locales (OA, etc.)

# Exemple de relevés



# Voiture de mesure de la géométrie de la voie





# Mesure de la géométrie de la voie

## ► Problématique

- Mesurer des défauts de différentes longueurs d'ondes
  - de quelques cm à plusieurs dizaines de mètres → facteur 10'000
- L'augmentation des vitesses de circulation exige des tolérances plus serrées, sur de plus longues distances
- Diminution des blancs horaires disponibles pour effectuer les relevés

# Mesures de la géométrie de la voie

## ► Évolutions technologiques

- Utilisation de plateformes inertielles et de systèmes laser
- Utilisation de GPS couplés à des références spatiales fixes
- Utilisation de techniques de mesures et de traitement de signaux très rapides, permettant d'augmenter la vitesse de circulation lors de campagnes de mesure

## ► Somme d'informations plus importante à stocker et à traiter

# Défauts du matériel de voie

## ► Défauts des rails

- Dus à la fabrication : très rares
- Usure due à l'utilisation

## ► Tache ovale

- Depuis intérieur du champignon
- Cause : effets thermiques
- Conséquences : fissure latérale progressive
- Inspection : ultrason



# Défauts du matériel de voie

## ► Défauts de surface (fabrication)

- Traitement thermique
- Conséquences : écaillage sous trafic
- Réparation : rechargement par soudure



# Défauts des rails

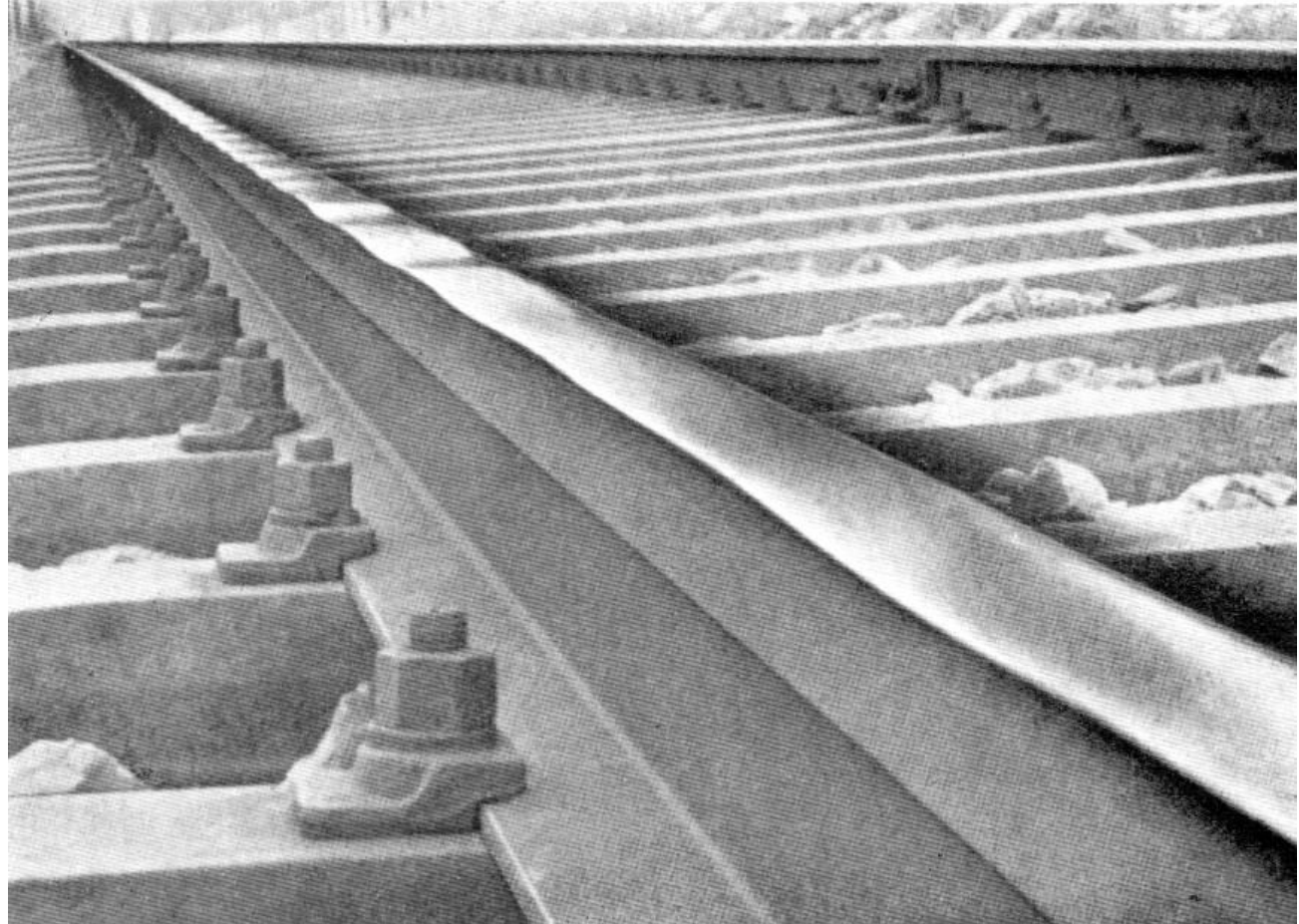
## ► Usure ondulatoire





# Défauts des rails

## ► Usure ondulatoire



# Défauts des rails

## ► Usure ondulatoire

► A onde courte (1-10 cm) ou à onde longue (10-200 cm)

### ► Causes

- ☐ rigidité de la superstructure
- ☐ espacement traverses
- ☐ frottement dans les lignes de métro
- ☐ charges dynamiques des roues

► Détectés visuellement / enregistrement géométrique

► Conséquences : bruit, inconfort

► Solution : meulage

# Défauts dus à l'utilisation

## ► Usure latérale

- Sur les files hautes des courbes
- Due aux sollicitations du matériel roulant
- Dépend du graissage



## ► Usure verticale anormale

- Due aux sollicitations du matériel roulant (trafic marchandises)



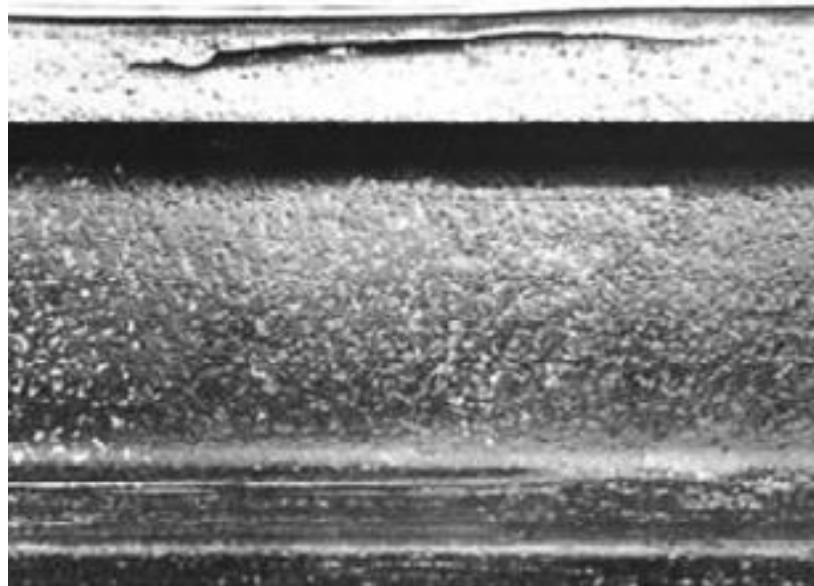
# Défauts dus à l'utilisation

## ► Pour ces deux types d'usure

- Peuvent entraîner une rupture du rail par affaiblissement du profil
- Détection visuelle ou par voiture de mesure
- Meulage éventuel des bavures avant retrait

# Fissuration horizontale

- ▶ Tend à détacher le champignon
- ▶ Se propage ensuite dans l'âme
- ▶ Inspection visuelle / ultrason





# Head Checks

- ▶ **En courbe**
  - ▶ f(rayon, vitesse)
- ▶ **Fissures horizontales régulières sur 3 mm**
- ▶ **Propagation des fissures**
- ▶ **Inspection : ultrason**
- ▶ **Correction : meulage**



# Défauts des attaches et des traverses

## ▶ Traverses

- ▶▶ Bois : pourriture

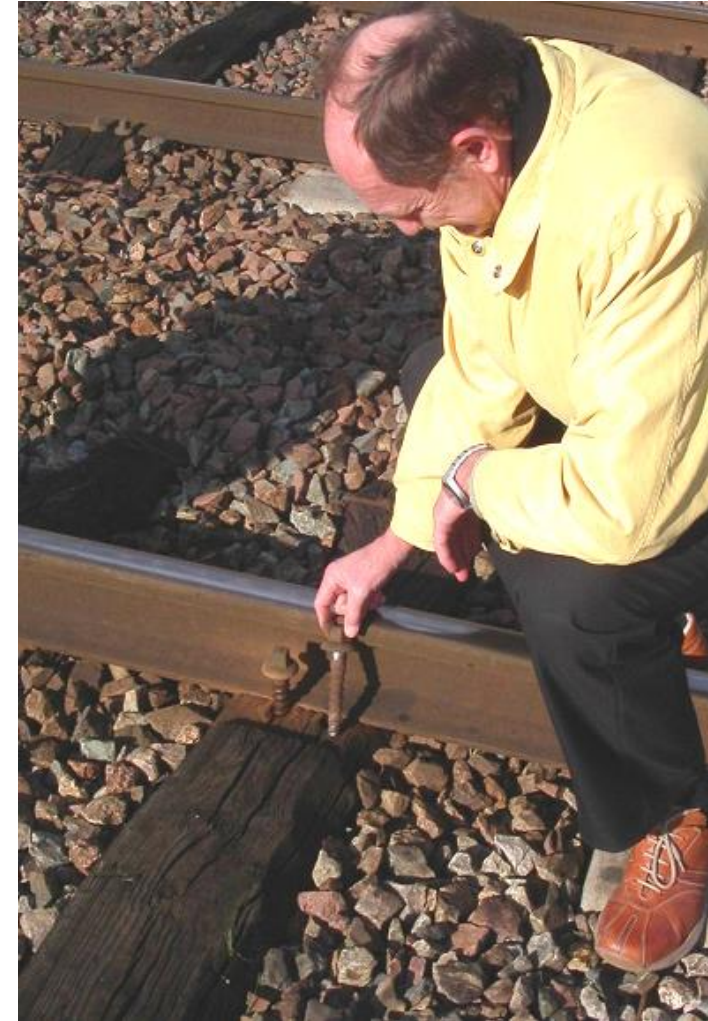
- ▶▶ Métal / entretoises : fatigue, oxydation

- ▶▶ Béton : fissures

## ▶ Charges dynamiques locales

## ▶ Tirefonds

# Défauts des attaches et des traverses



# Dégradation du ballast

- ▶ **Abrasion**

- ▶ **Arrondissement**

  - ▶ Causes : trafic & bourrage

- ▶ **Pollution**

  - ▶ Remontée des fines et pompage

- ▶ **Perte des propriétés**

  - ▶ Drainage, élasticité, amortissement

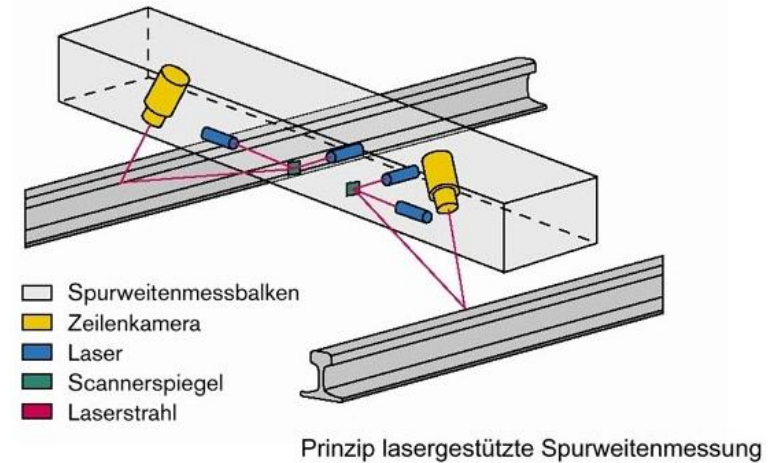
- ▶ **Renouvellement nécessaire si  $\phi < 22,4 \text{ mm} \geq 30 \%$**





# Relevé de l'état du matériel

## ► Train de mesure





# ROGER 1000 - Suisse





# SNCF TGV Iris 320



# Mesures combinées

## ► Géométrie + Etat du matériel → EurailScout

*GPS*

*Cabine de mesure*

*Vidéo*

*Géométrie de la caténaire*

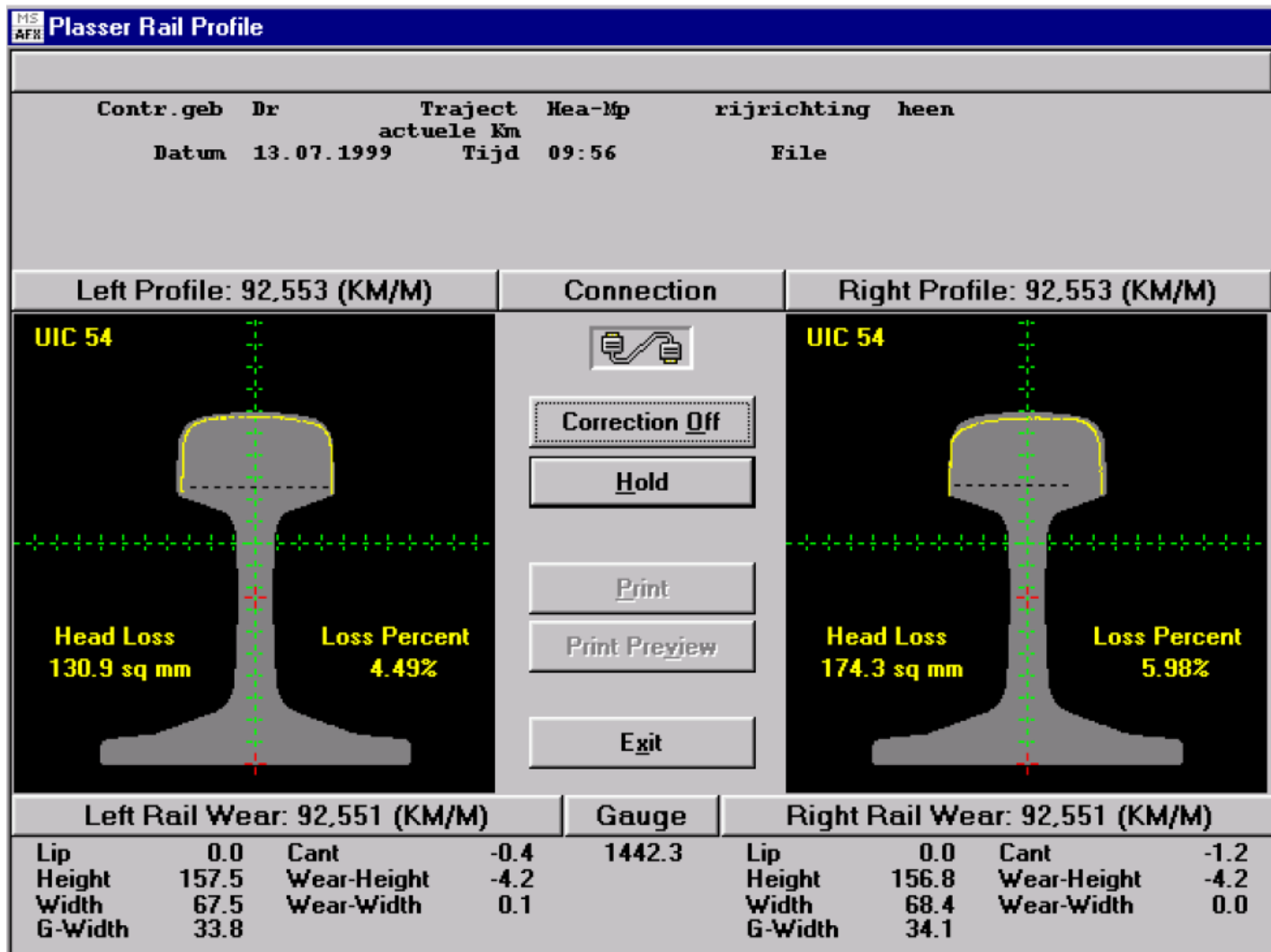


*Profil géométrique*

*Profil du rail*



# Mesure du profil du rail



# Considérations

- ▶ **Contrôle visuel reste indispensable pour nombreux composants**
  - ▶ Eventuellement remplacé ou complété par des logiciels de traitement d'image
- ▶ **La création d'infrastructures particulières (LGV / longs tunnels) exigent des solutions plus efficaces et fiables**



# Considérations

- ▶ **Les nouvelles voitures de mesures rapides intègrent nombreuses fonctionnalités de mesure et de traitement des informations**
  - ▶▶ Mesures au laser,
  - ▶▶ Mesures vidéo et traitement numérique d'image,
  - ▶▶ Rapidité de traitement de l'information,
  - ▶▶ Base de données

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

