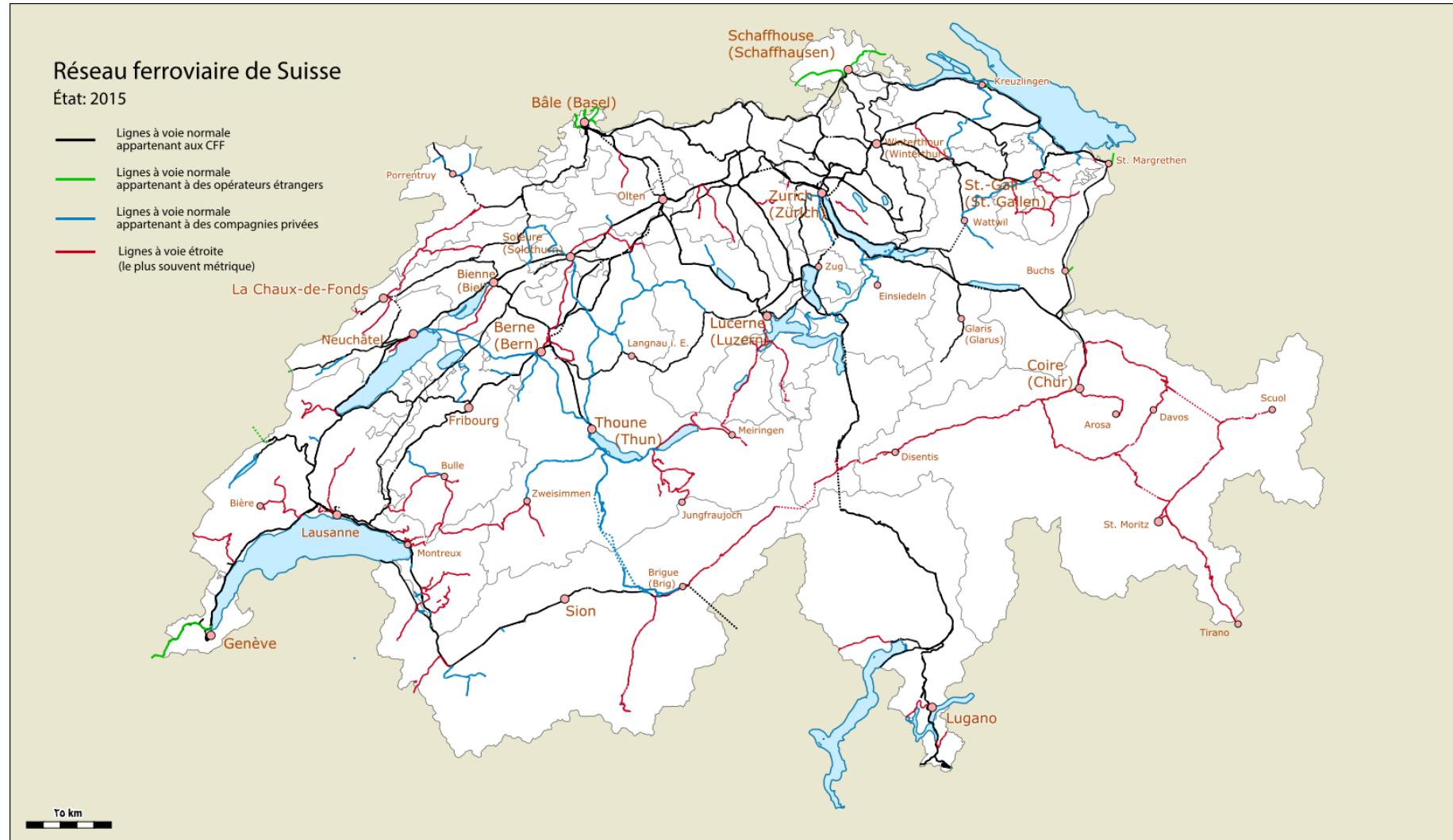




CIVIL 463.27

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

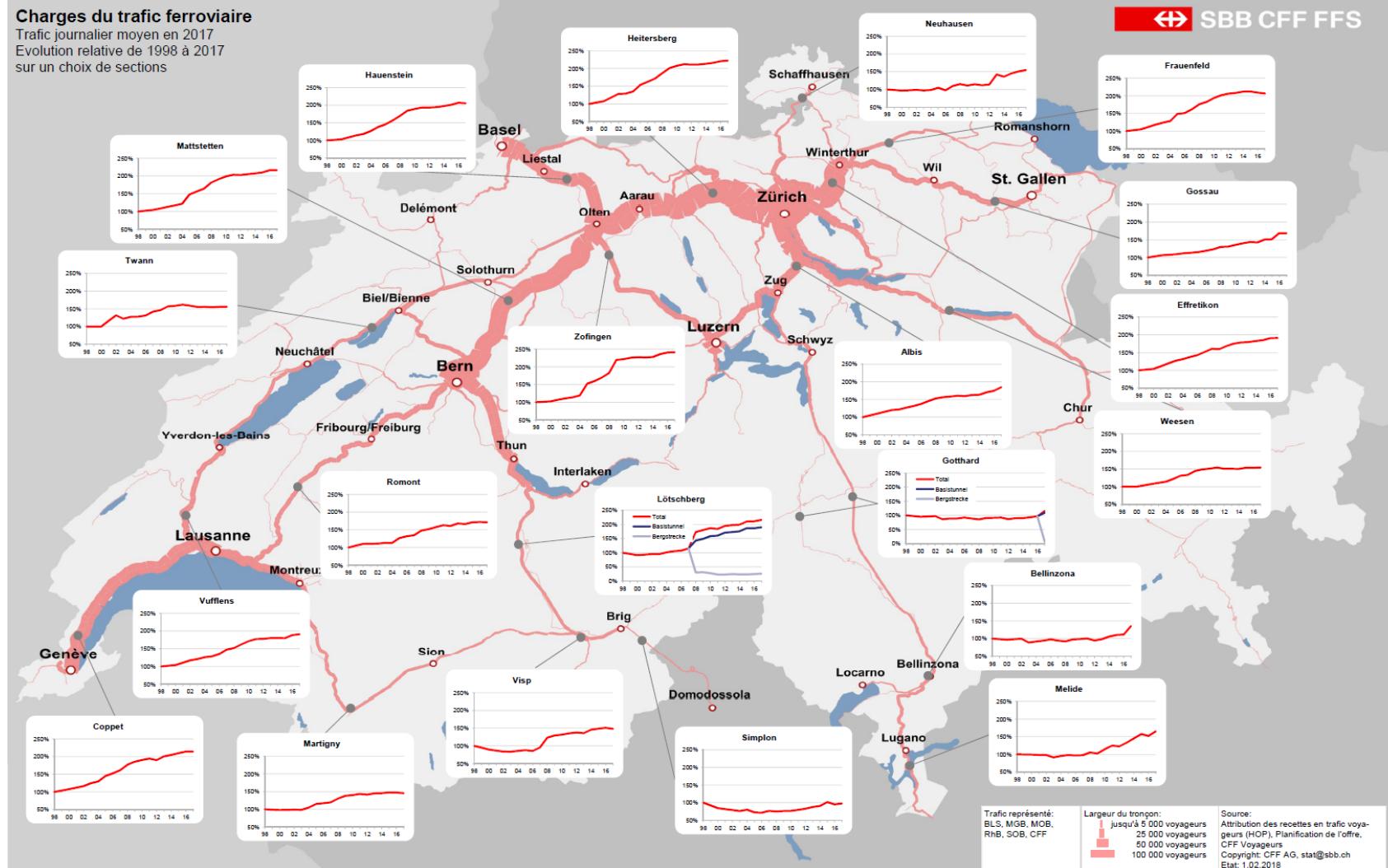
- ▶ **15'000 appareils de voie**
- ▶ **747 gares et haltes**
- ▶ **496 poste d'enclenchement**
- ▶ **32'813 signaux pour la circulation des trains**
- ▶ **934 passages à niveau**
- ▶ **294 tunnels**
- ▶ **5'761 ponts**

Augmentation du trafic

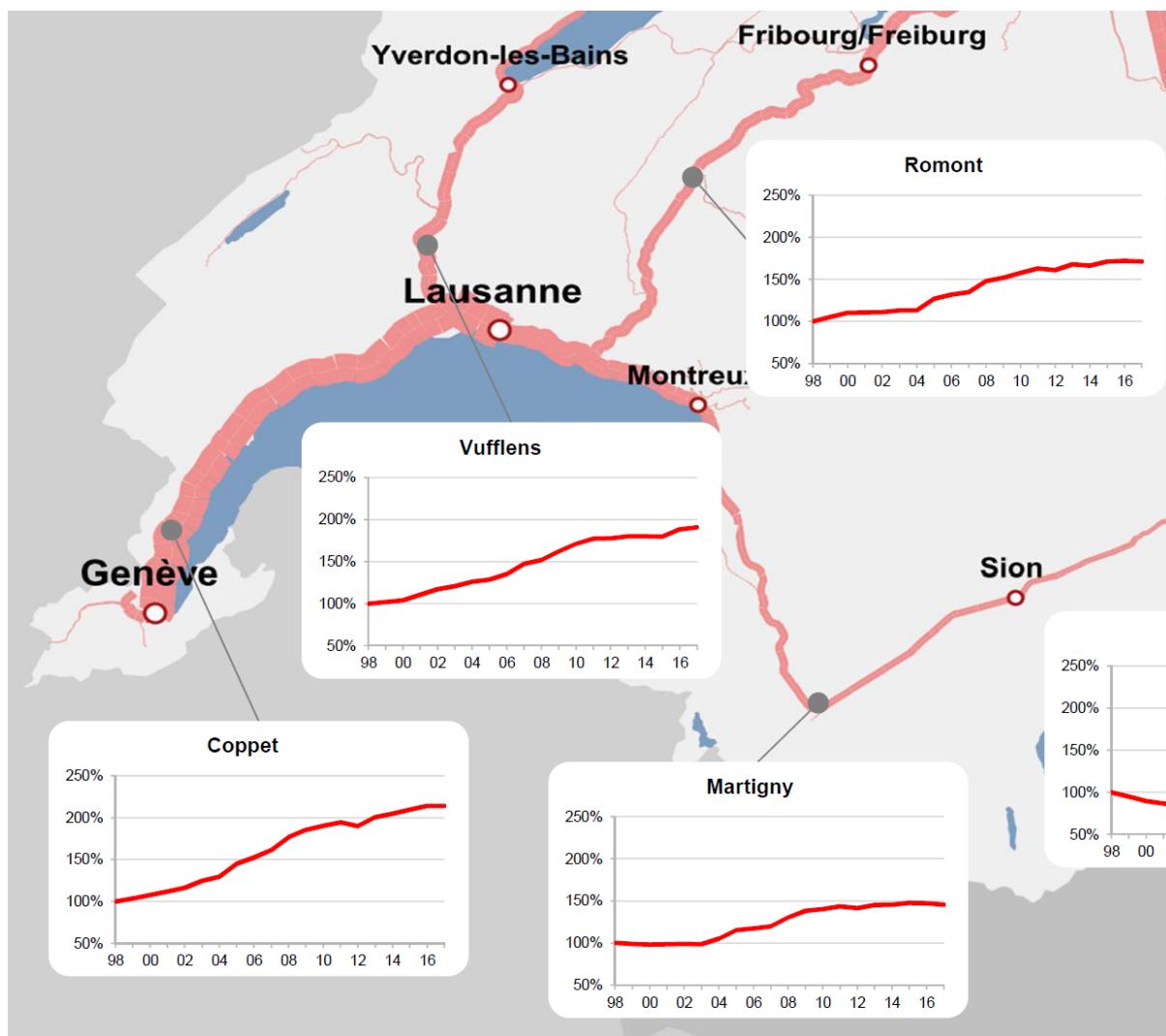
Charges du trafic ferroviaire

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

 SBB CFF FFS



Augmentation du trafic



Entretien annuel aux CFF

► Entretien

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

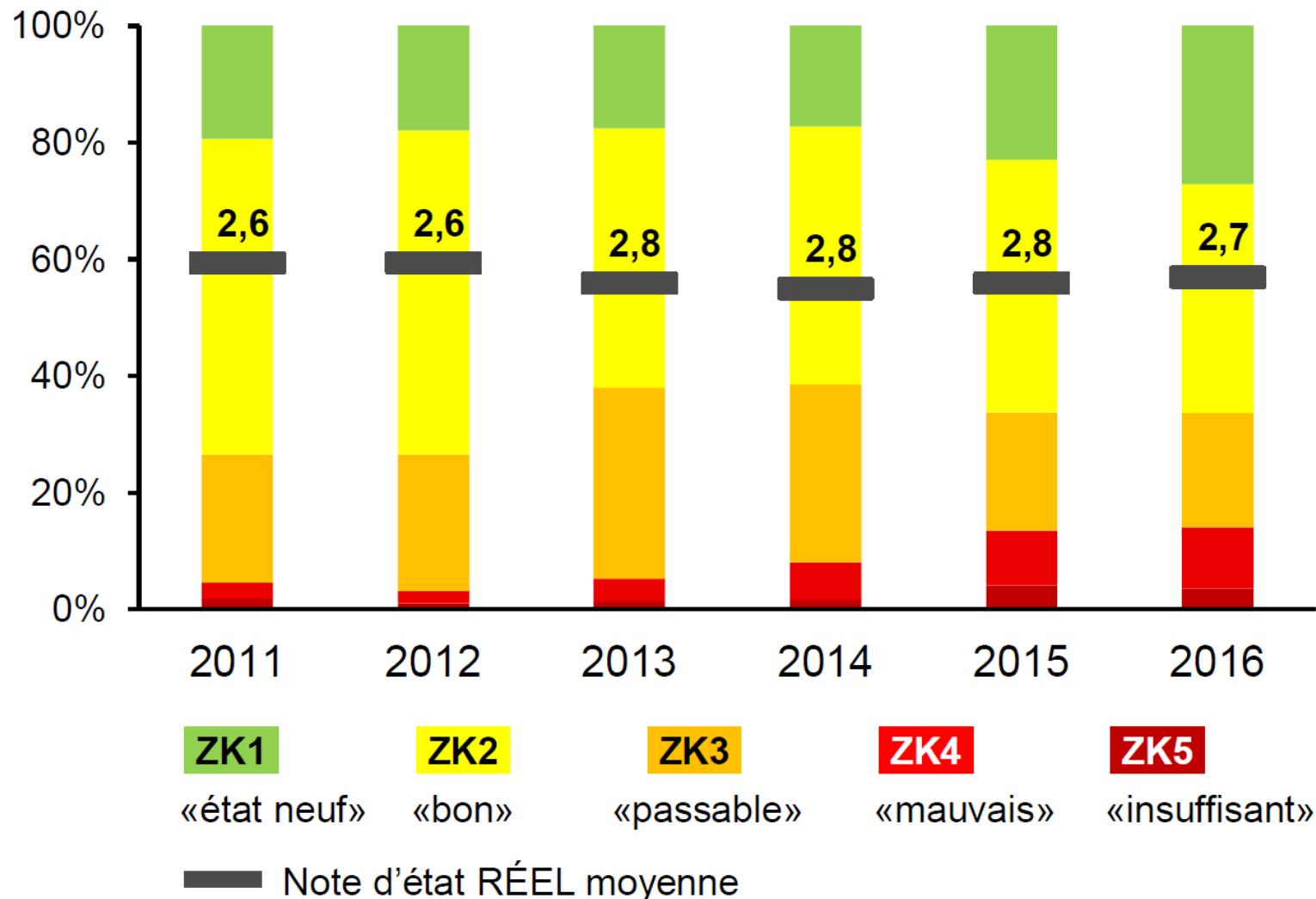
► Renouvellement

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

► Matériel utilisé

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

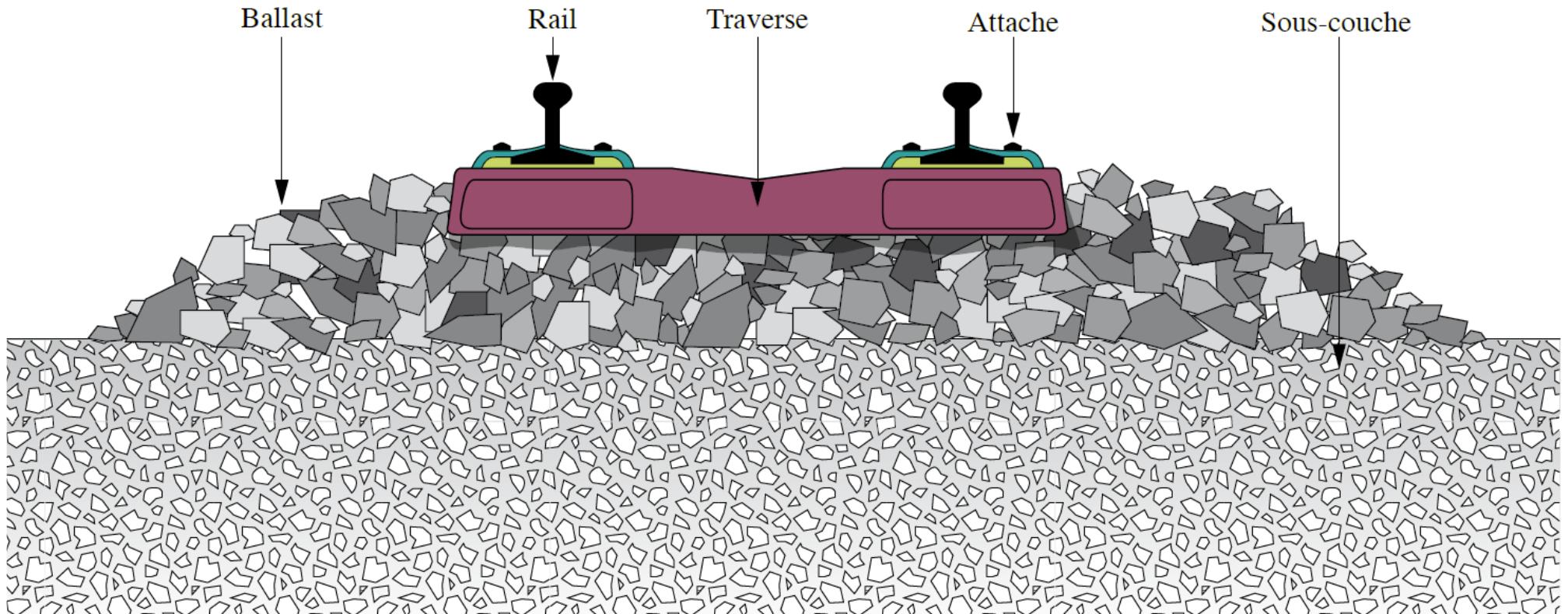
Etat du réseau CFF



Tendances

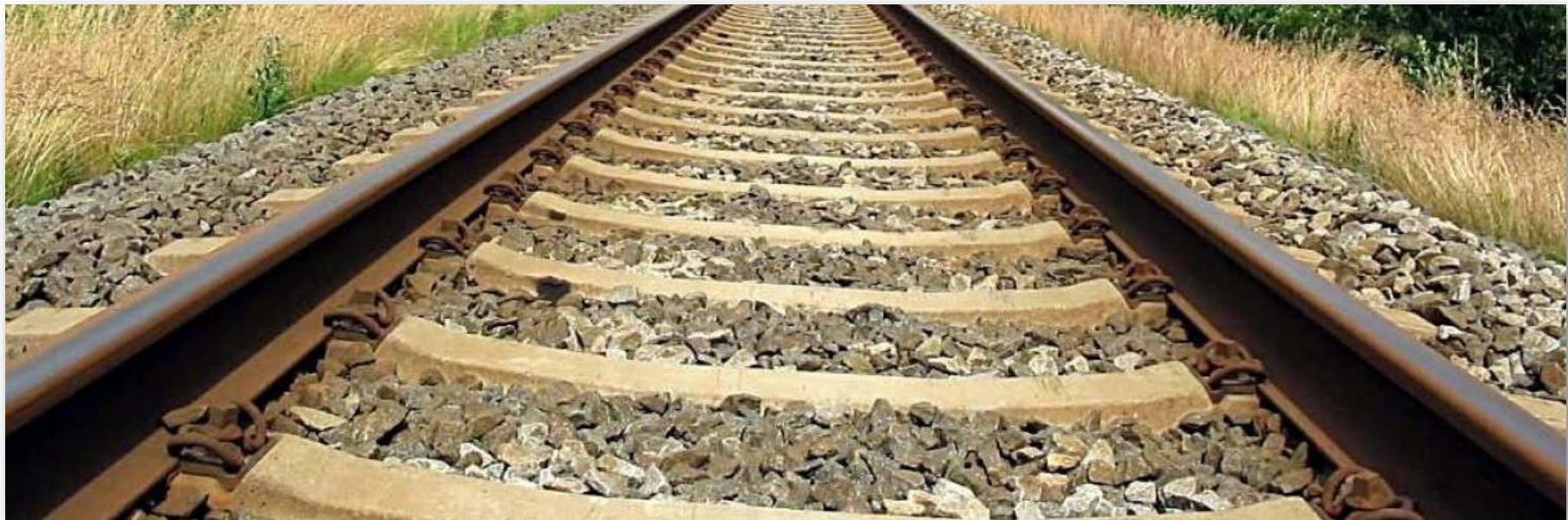
- ▶ **Augmentation des sollicitations**
 - ▶ Augmentation du nombre de trains
 - ▶ Augmentation de la charge par essieu
 - ▶ Augmentation de la puissance par essieu
- ▶ **Diminution du besoin d'entretien !**
 - ▶ Construction plus lourde de la voie
 - ▶ Plus haute qualité du matériel de la voie
 - ▶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

Superstructure d'une voie ferrée ballastée



Phénomène de la dégradation de la voie

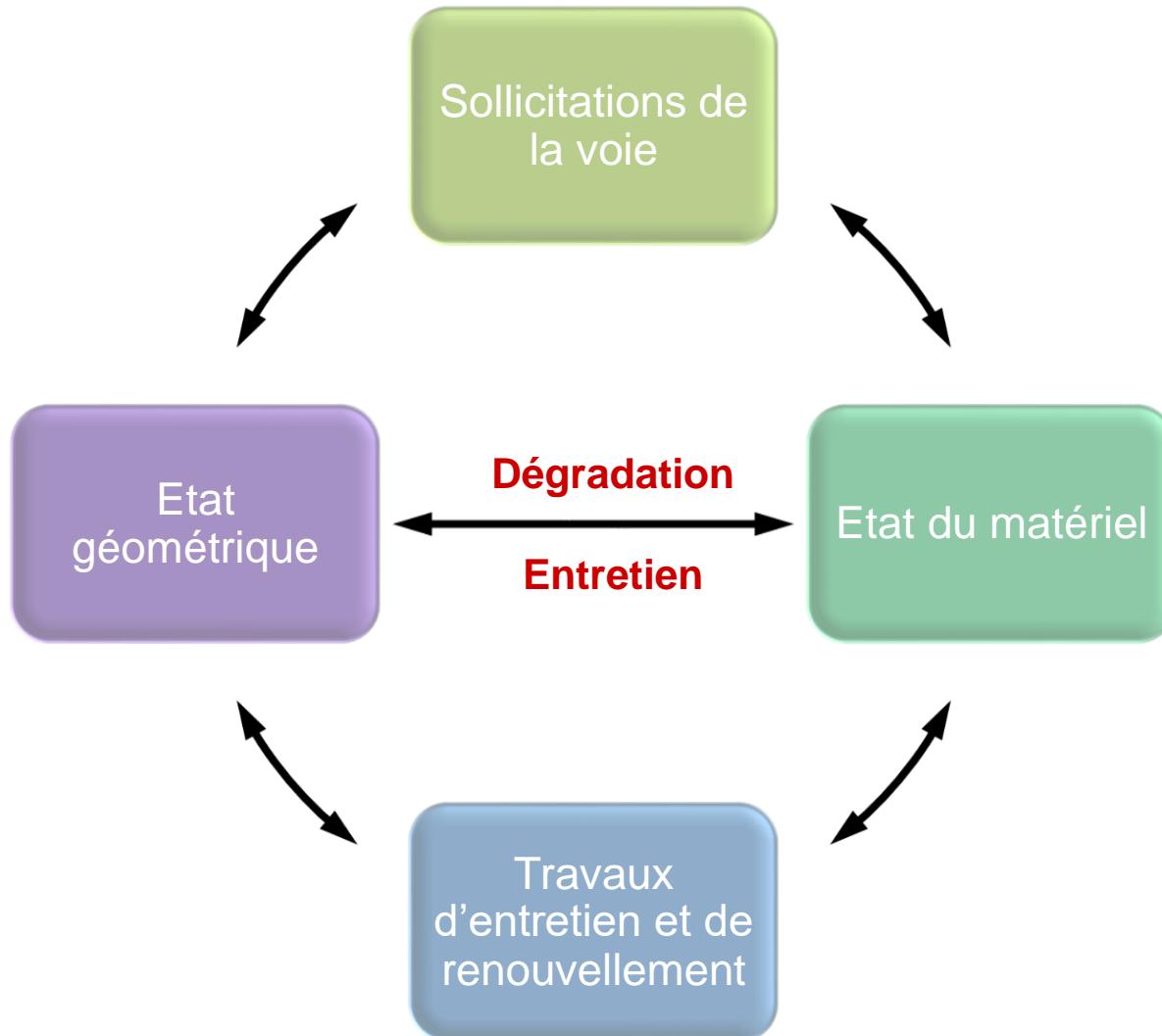
- ▶ La circulation des trains induit une perte de substance de la voie
 - ▶ Qualité de la géométrie
 - ▶ État du matériel



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

φ Coefficient de l'impact dynamique (> 1)

► φ 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	α	β	γ
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

Défaux de la géométrie de la voie



Défaux de la géométrie de la voie

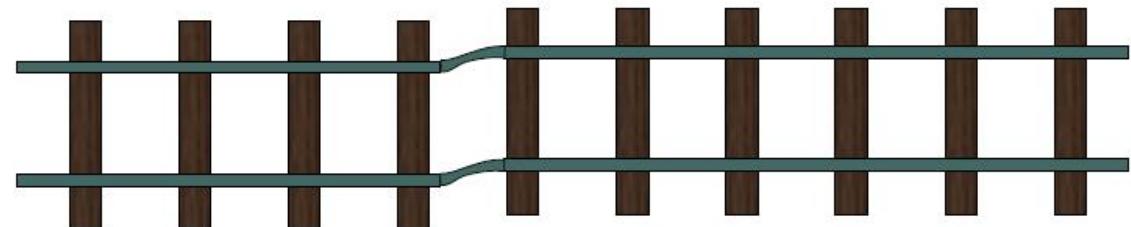
- ▶ La géométrie se dégrade de manière différente d'un endroit à un autre
 - ▶ Les charges dynamiques ne sont pas partout identiques
 - ▶ La géométrie de la voie ne reste que rarement homogène
 - ▶ Ce qui induit des mouvements supplémentaires des véhicules
 - ▶ Ce qui augmente les charges dynamiques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

Défauts de la voie

► Défauts dans un plan

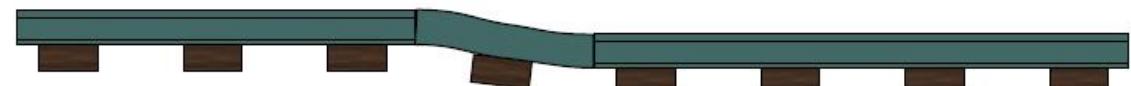
» Horizontal

Dressage



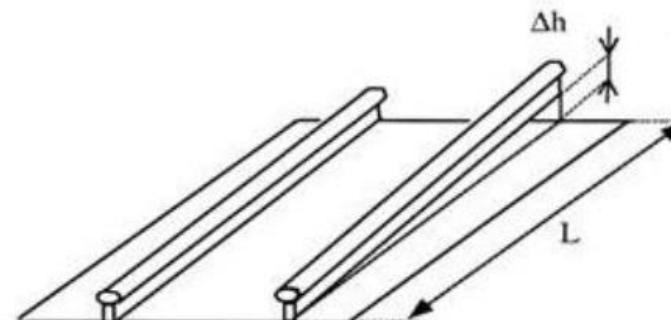
» Vertical

Nivellement

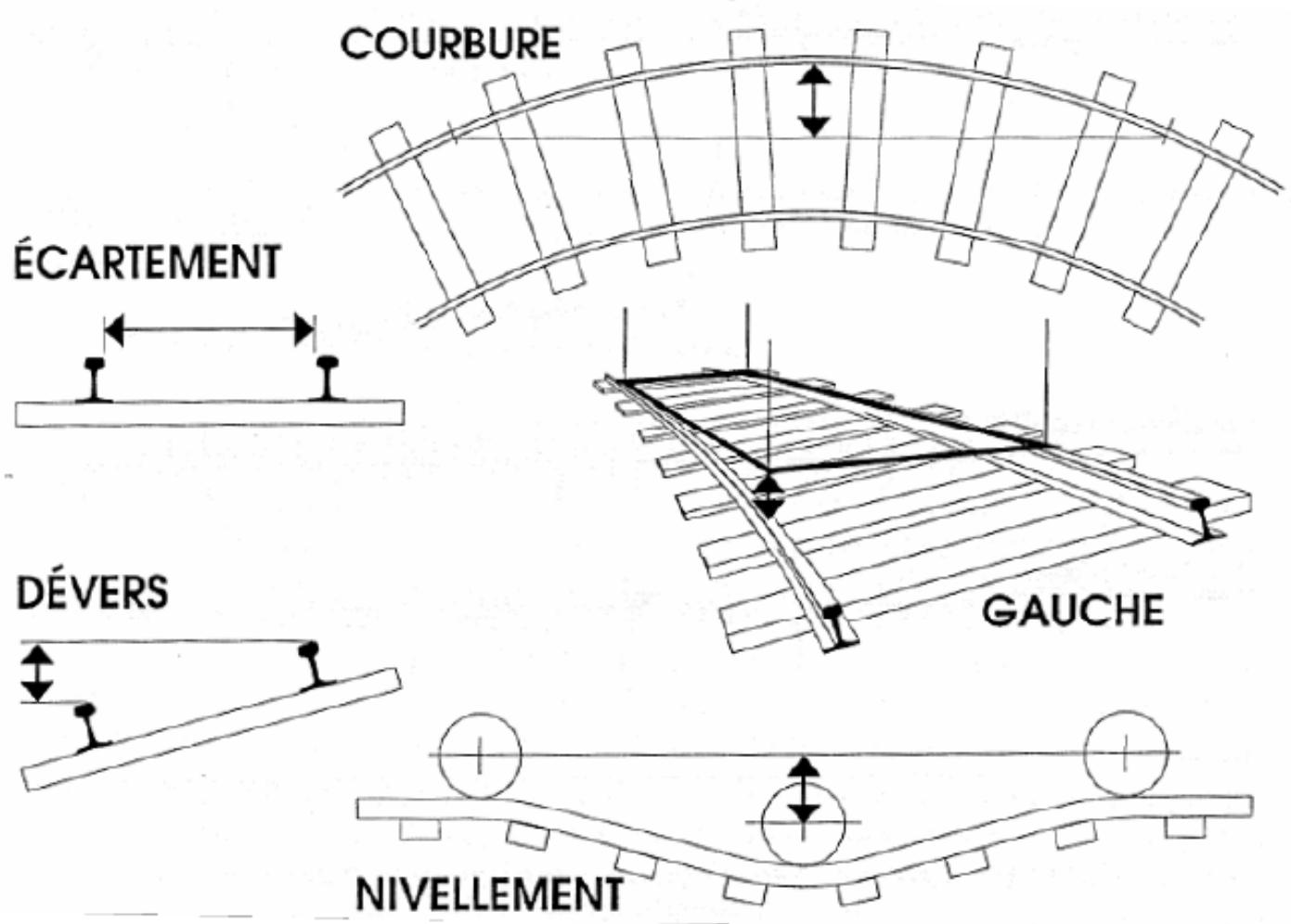


► Défaut multi-plan

» Gauche



Relevé de l'état géométrique des voies



Relevé de l'état géométrique de la voie

► Mesures de la géométrie

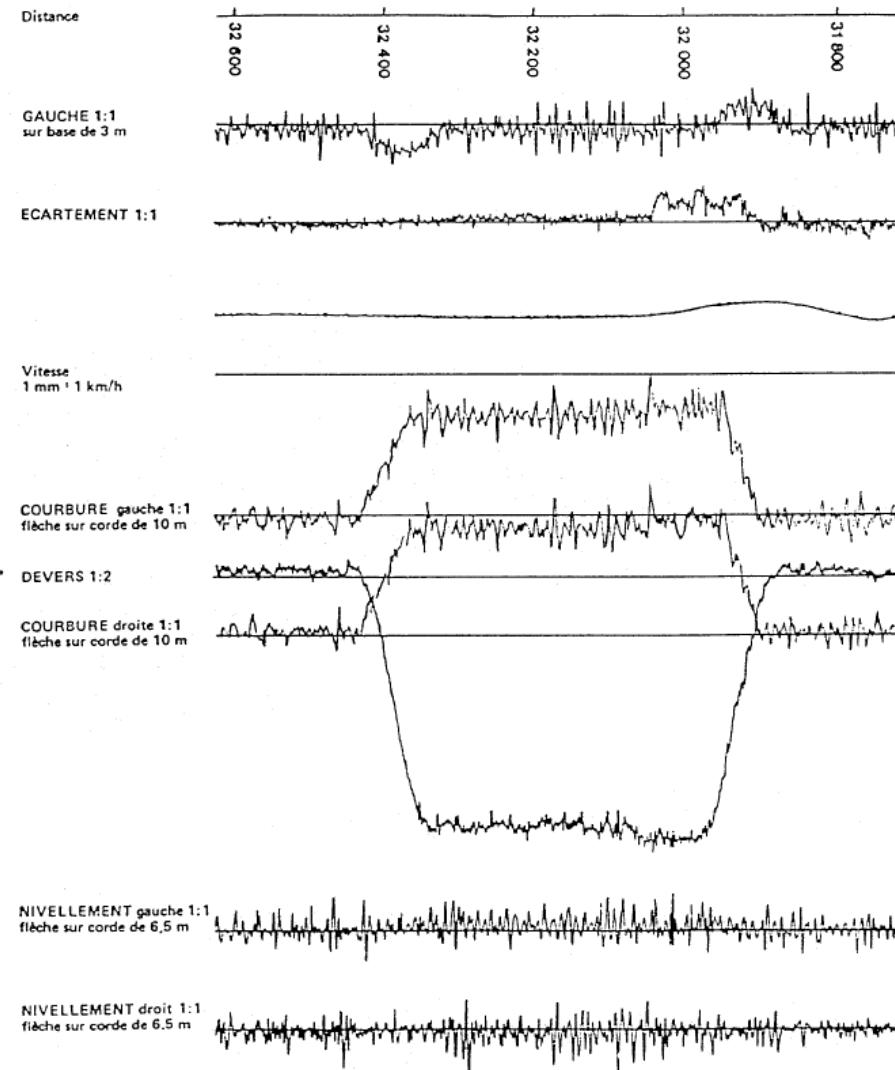
- » Écartement
- » Courbure de chaque file de rail
- » Dévers (pendule gyroscopique)
- » Gauche
- » Nivellement de chaque file de rail
- » Profil en long de chaque file de rail / moyenne

Relevé de l'état géométrique de la voie

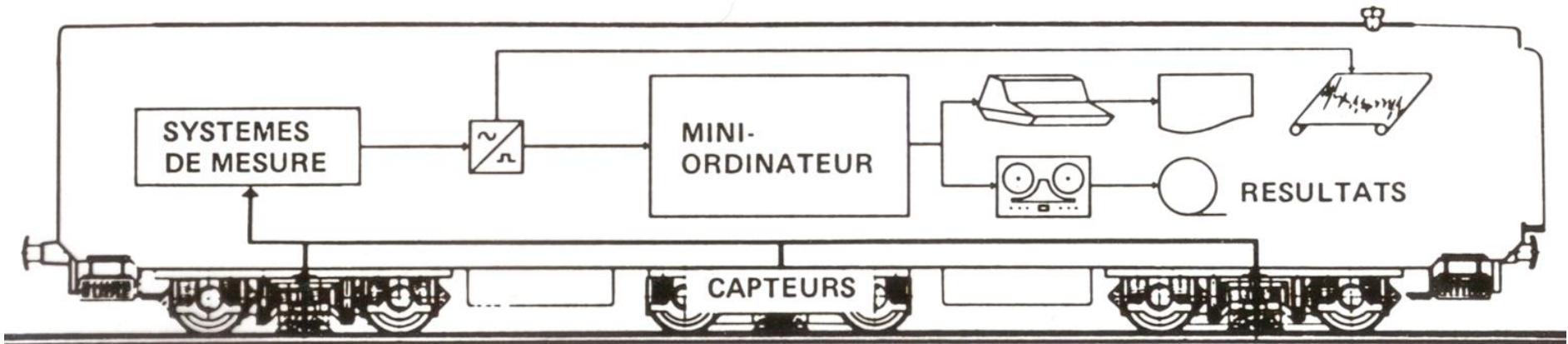
► Autres valeurs

- » 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



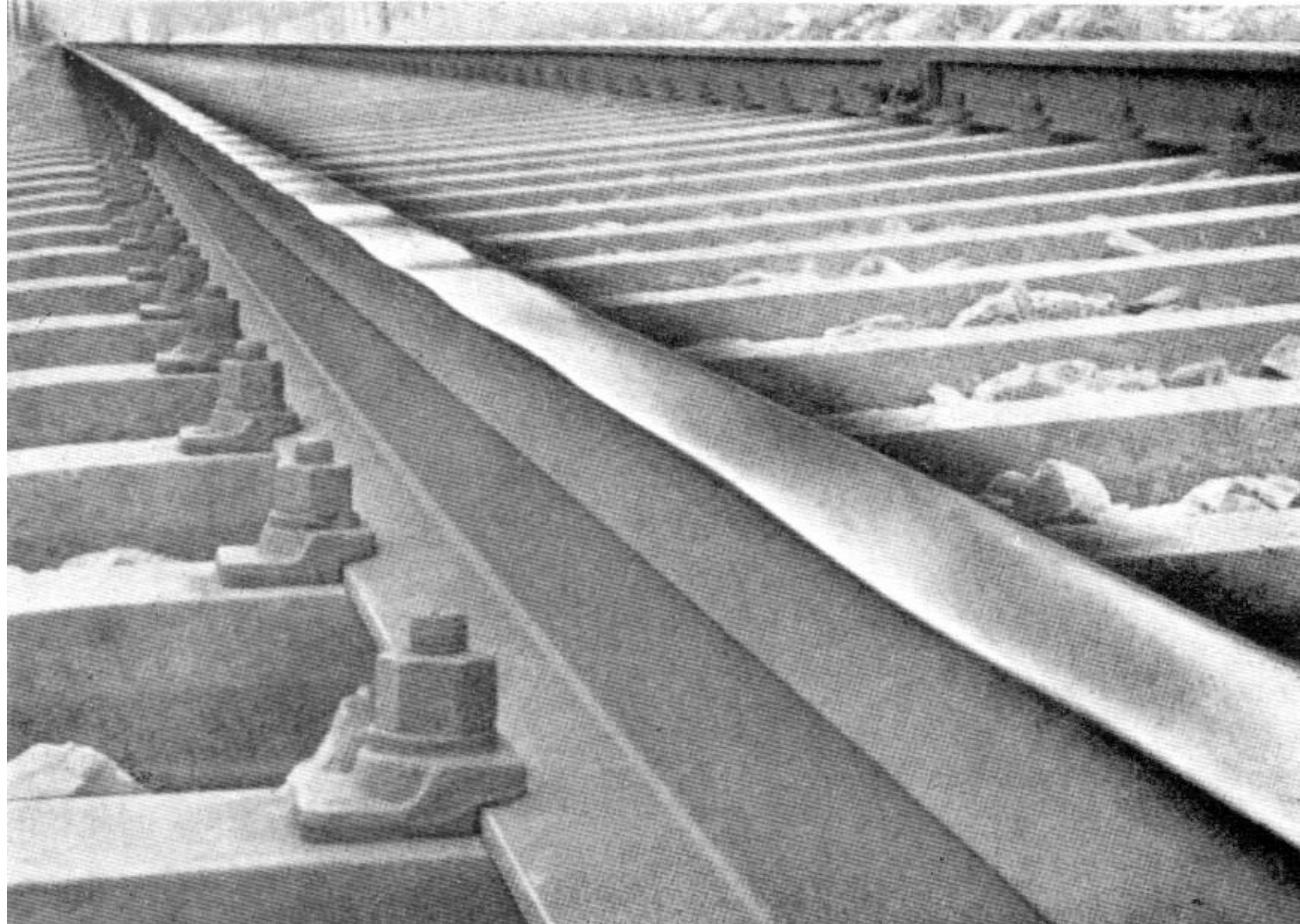
Défauts des rails

► 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
- » Déetectés 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)

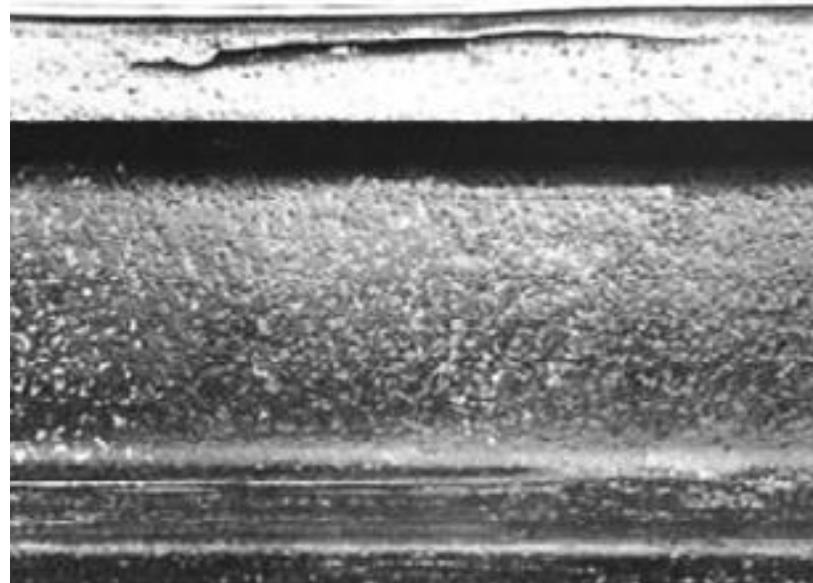


Défauts dus à l'utilisation

- ▶ 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

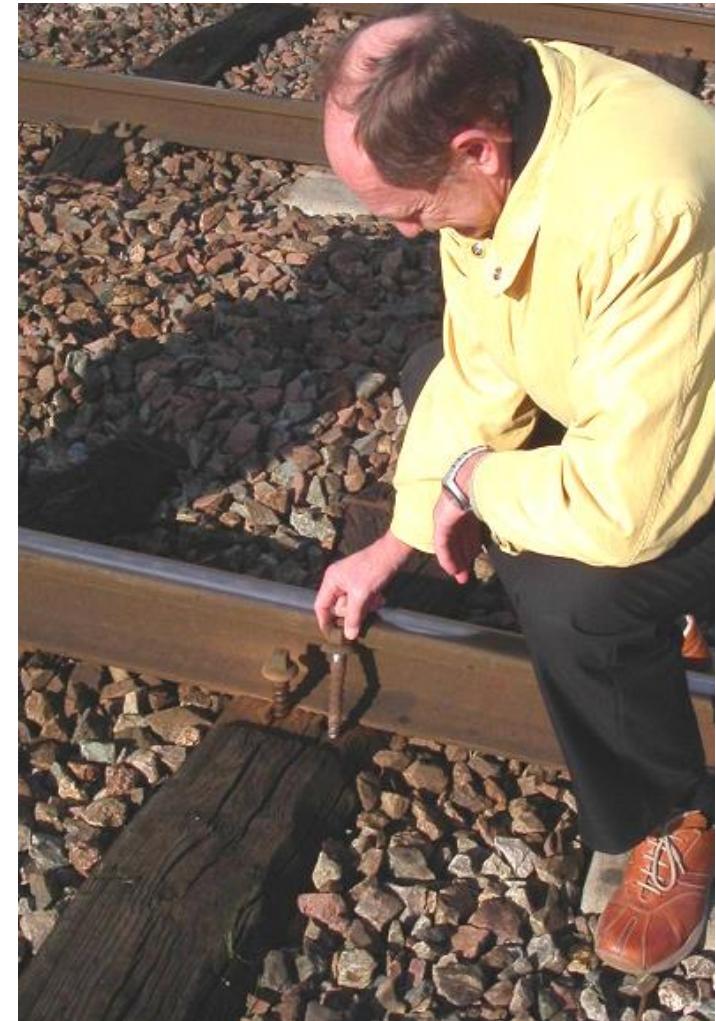


Défauts des attaches et des traverses

► Traverses

- Bois : pourriture
 - Métal / entretoises : fatigue, oxydation
 - Béton : fissures
- ## ► Charges dynamiques locales
- ## ► Tirefonds

Défauts des attaches et des traverses



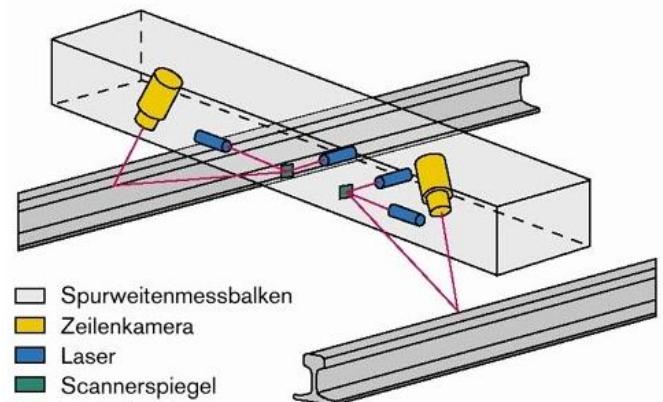
Dégradation du ballast

- ▶ 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



Prinzip lasergestützte Spurweitenmessung

ROGER 1000 - Suisse



SNCF TGV Iris 320



Mesures combinées

► Géométrie + Etat du matériel → EurailScout

GPS

Cabine de mesure

Vidéo

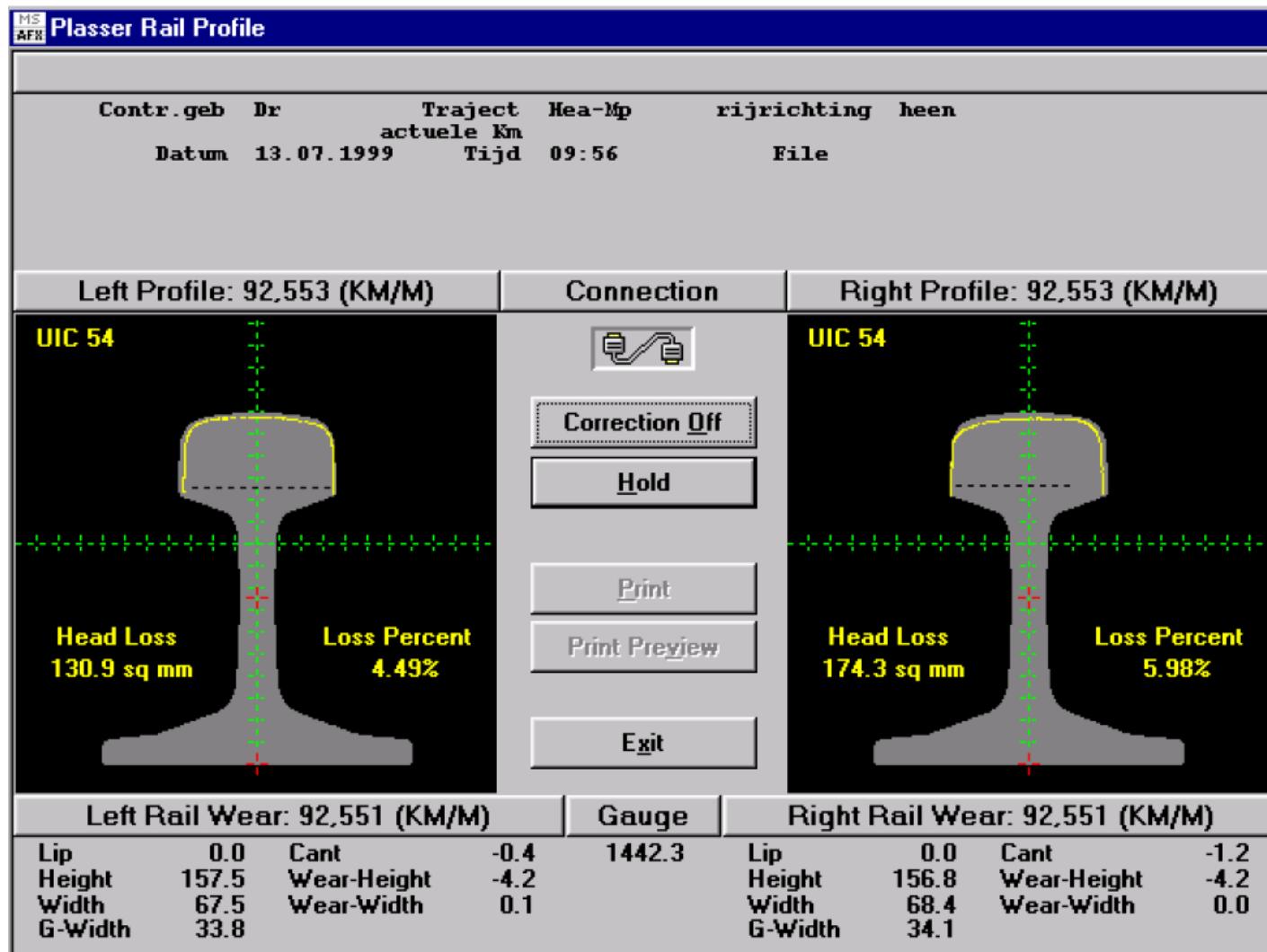
Géométrie de la caténaire



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

