

# Paramètres qualitatifs de l'infrastructure d'une voie ferrée



un dossier rédigé par



**Klaus LIEBERENZ**

Professeur  
à l'Université  
de Dresde

Ce dossier énonce quelques principes de base relatifs à la qualité d'une voie ferrée, au plan mécanique.

#### **Qualitative parameters for rail infrastructure**

*This article sets out a number of basic principles governing the quality of railway track from the standpoint of its mechanical properties.*

#### **Qualitätsparameter für die Infrastruktur einer Eisenbahnstrecke**

*Dieser Artikel nennt einige Grundprinzipien in Bezug auf die Qualität einer Eisenbahnstrecke aus mechanischer Sicht.*

## **Le problème**

En Europe, le tracé de la majeure partie des lignes de chemins de fer comporte des remblais, des tranchées, des tranchées latérales et des ouvrages à même le terrain, réalisés, pour la plupart, au XIX<sup>e</sup> siècle, dans des conditions techniques pour le moins modestes. Dans la plupart des cas, les ouvrages en terre ont, en effet, été érigés sur un sous-sol qui a rarement été amélioré, dans des remblais irréguliers et sans que le compactage nécessaire n'ait été réalisé. Lors de l'avènement du trafic ferroviaire, les charges de trafic et les vitesses des circulations étaient faibles et, dans la plupart des cas, les exigences plus sévères nées de l'augmentation des charges de trafic et du relèvement des vitesses de circulation ont été satisfaites par la prise de mesures en rapport avec la superstructure de la voie, des mesures qui devaient par ailleurs permettre de limiter les déformations au niveau de l'infrastructure de la voie et du sous-sol. Dans la plupart des cas, les ouvrages en terre ont bénéficié a posteriori d'un compactage, dans la zone de compression de la voie, ou d'une consolidation (partielle), sous l'effet des charges propres et des charges de trafic, ce qui a créé un certain « état d'équilibre ». Les mesures de drainage mises en œuvre et, de façon plus limitée, l'installation de couches de protection, ont rendu l'infrastructure de la voie « apte à l'emploi ». Le sous-sol, par contre, n'a été amélioré de façon plus approfondie que de façon ponctuelle.

L'aménagement des infrastructures ferroviaires, entrepris pour créer un réseau de transport performant sur la durée, tend vers la réalisation de lignes à grand rendement, avec des vitesses de circulation et des charges à l'essieu plus élevées, ce qui impose de nouvelles exigences à l'infra-

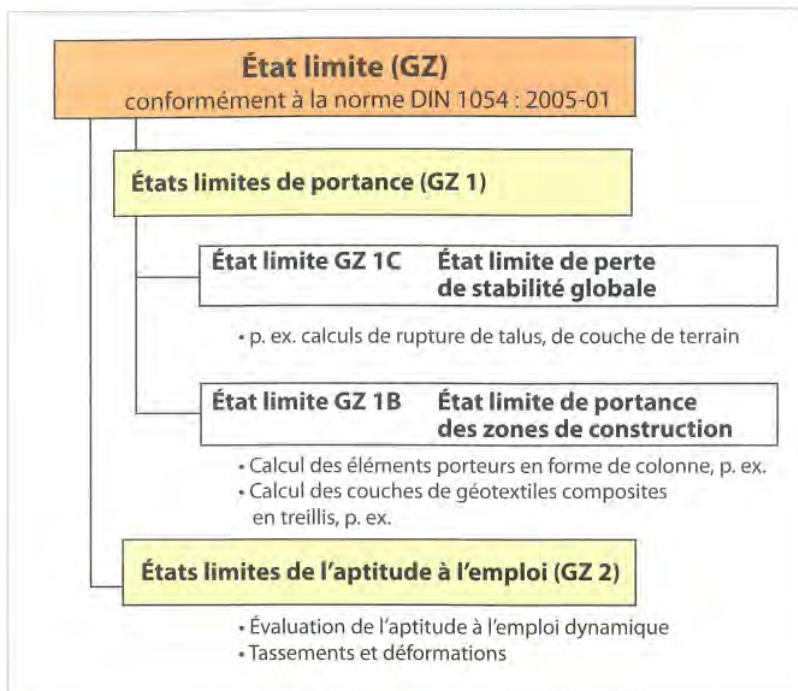
structure de la voie. Les lignes nouvelles et leurs ouvrages en terre sont construits selon des standards conformes à l'état de l'art, mais les lignes aménagées sont souvent constituées de sous-sols et d'ouvrages en terre qui, du point de vue géotechnique comme du point de vue géométrique, ne respectent pas les exigences actuelles. Les sollicitations plus importantes, en rapport avec la vitesse, la charge à l'essieu et l'utilisation de la ligne, peuvent mettre en péril le fameux « état d'équilibre » obtenu et entraîner des problèmes liés à l'aptitude à l'emploi et à la portance des ouvrages en terre, de même qu'une disponibilité restreinte des lignes. Ce sont surtout les ouvrages en terre (dont les talus sont trop pentus et peu sécurisés), les sols à problèmes (tels que les sables sensibles aux phénomènes de transfert), les sols constitués de matériaux à granulométrie fine (avec une résistance au cisaillement insuffisante et une tendance accrue à la déformation) et les couches meubles (pour partie constituées de matières organiques) qui sont critiques pour l'infrastructure de la voie et pour le sous-sol.

L'infrastructure de la voie, le sous-sol et les ouvrages en terre doivent être améliorés, afin qu'ils soient en mesure de supporter et de répartir les charges sans subir de déformations ; ils doivent être adaptés aux standards actuels des lignes de chemins de fer. Les mesures constructives nécessaires dans ce contexte vont de pair avec de nombreux problèmes liés à la construction, à l'exploitation et à l'environnement, notamment lorsque des mesures de grande envergure s'imposent, en rapport avec la technique de terrassement.

Durant la phase de planification, la norme DIN 1054 (2005-01) / EC 7-1 impose l'étude des états limites de portance et d'aptitude



Karl Pfeiffer



↑ [1] Preuves de stabilité de l'infrastructure de la voie et du sous-sol

à l'emploi [1]. Dans ce contexte, l'évaluation de la stabilité dynamique à des vitesses  $\geq 200$  km/h revêt de plus en plus d'importance, en rapport avec les charges de trafic qui sont fonction du temps, et dans le cas des sols à problèmes (Lieberenz/Wegener 2009 /1/).

Aux vitesses très élevées, des phénomènes dynamiques supplémentaires entraînent une augmentation des déformations et des contraintes, mais aussi d'allongements et des cisaillements, du fait de la propagation des vibrations (sous la forme d'ondes de cisaillement, de compression et de surface).

Il est donc impératif d'approfondir les impacts dus au trafic ferroviaire (charges statiques, charges quasi-statiques et charges dynamiques), les sollicitations de la voie (superstructure, infrastructure et sous-sol) et les résistances à l'intérieur des ouvrages et de leurs fondations (conditions du sous-sol, état de construction, géométrie et végétation).

## Le système porteur et les sollicitations

Les lignes de chemins de fer sont des constructions de forme linéaire, soumises à :

- ▶ des sollicitations statiques et dynamiques, dues aux circulations ferroviaires ;
- ▶ différentes conditions atmosphériques.

Les matériels roulants transfèrent à la voie les charges de trafic par l'intermédiaire des rails. La superstructure, l'infrastructure de la voie et le sous-sol doivent absorber puis éliminer sans dommage des efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, dus à la portance, au guidage et aux mouvements roue / rail, de même qu'aux températures. Dans ce contexte, les efforts verticaux  $P + P_{dyn}$  passent par les rails et les traverses avant d'être introduits dans le système multicouches constitué de la couche de ballast, de l'infrastructure de la voie et du sous-sol ; ils sont ensuite répartis et absorbés, sous la forme de la pression de ballast  $\sigma_b$ .

La voie, constituée de la superstructure, de l'infrastructure et du sous-sol, est soumise à des sollicitations dues aux circulations ferroviaires ; celles-ci sont fonction du temps [2] ; elles résultent de la succession des essieux des matériels roulants (sollicitations quasi-statiques) et des distances entre les irrégularités de roues et la voie (sollicitations dynamiques supplémentaires), compte tenu de la vitesse de circulation des matériels.

Dans la voie, les deux types de sollicitations se superposent. Sur la base des considérations quasi-statiques habituelles, de la méthode du longeron (méthode de ZIMMERMANN) et de la méthode du module de ballast (méthode de WINKLER), les pressions de surface et les contraintes  $p(x)$  sont calculées pour un point  $x$ . Celles-ci sont réparties dans le sens longitudinal de la voie ; les contraintes dans les couches inférieures sont déterminées par le biais d'un angle de propagation des charges dans le ballast et dans le sol.

La figure [3] présente les courbes verticales contraintes-temps (quasi-statiques) dues aux charges de type 1 (train de voyageurs tracté par une locomotive à six essieux et circulant à 200 km/h), sur la face inférieure des traverses et sur la face supérieure de la couche de protection. La figure [4] présente les sollicitations globales, compte tenu des influences dynamiques. La superposition des contraintes dues aux sollicitations quasi-statiques et dynamiques (supplémentaires) renferme des pics

de valeurs de contraintes nettement plus élevées sous les roues ; celles-ci agissent jusque dans la plate-forme et l'infrastructure de la voie. La locomotive et ses charges à l'essieu restent déterminantes.

La superstructure de la voie – qui n'est pas protégée – est, quant à elle, exposée aux influences atmosphériques qui varient fortement selon les saisons. L'arrivée et le départ de l'eau, à son niveau de la voie, peuvent entraîner les phénomènes suivants :

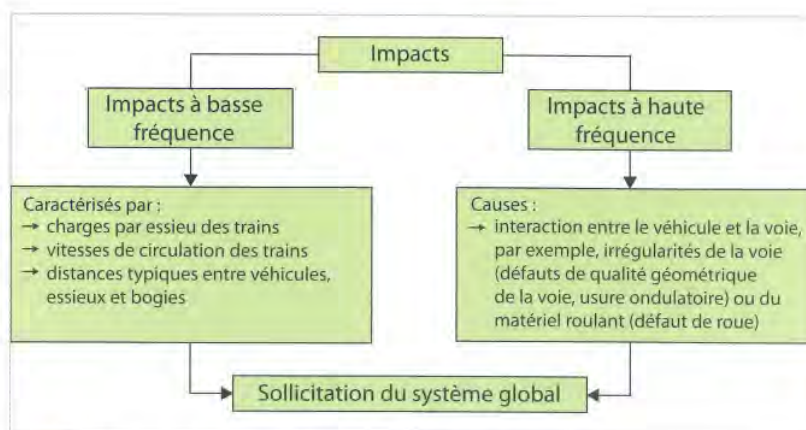
- ▶ accumulation d'eau, augmentation de la teneur en eau, modification de la consistance et réduction de la portance du sol, etc. ;
- ▶ écoulements d'eau importants, érosion, affouillement et dépôts.

Le gel peut être à l'origine de remontées capillaires, avec formation de lentilles de glace et soulèvements de la voie dus au gel. Durant la période de dégel, il peut y avoir des dégâts annexes, et notamment des phénomènes d'accumulation d'eau, réduisant la portance (Göbel/Lieberenz 2004 /2/).

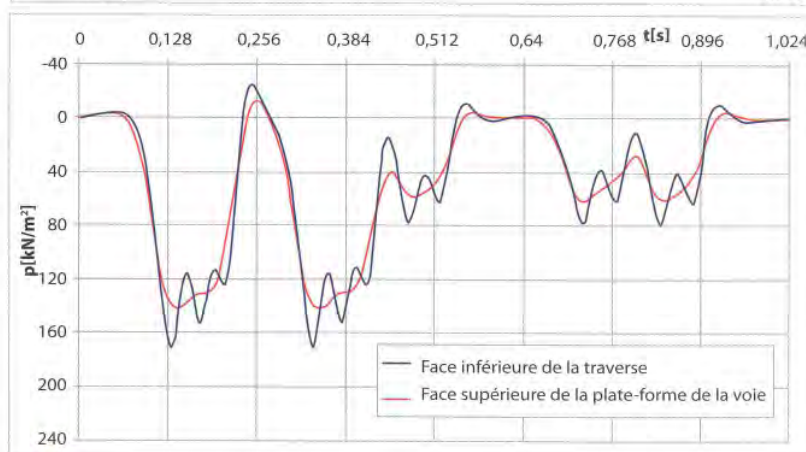
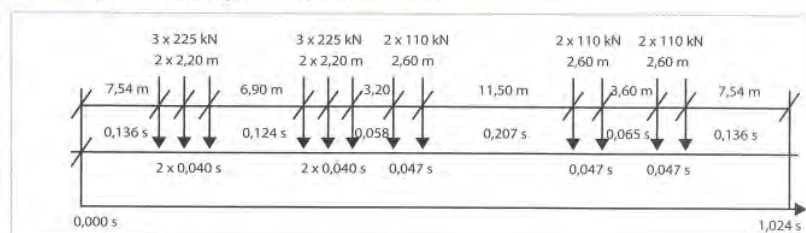
La chaleur et un rayonnement solaire important peuvent entraîner le dessèchement du sol et la réduction de sa teneur en eau, ce qui provoque à la fois des tassements et des fissures de retrait.

Dans le cas des lignes de chemins de fer, les influences, les sollicitations et les résistances varient fortement : ce phénomène typique est fonction des circulations, des vitesses, de l'état de la superstructure et de l'état de l'infrastructure. L'état de la voie, de son infrastructure et de son sous-sol doit être évalué sur la base de la figure [5]. Il est notamment important d'étudier le sous-sol et les fondations, et de déterminer les caractéristiques de mécanique et de dynamique des sols.

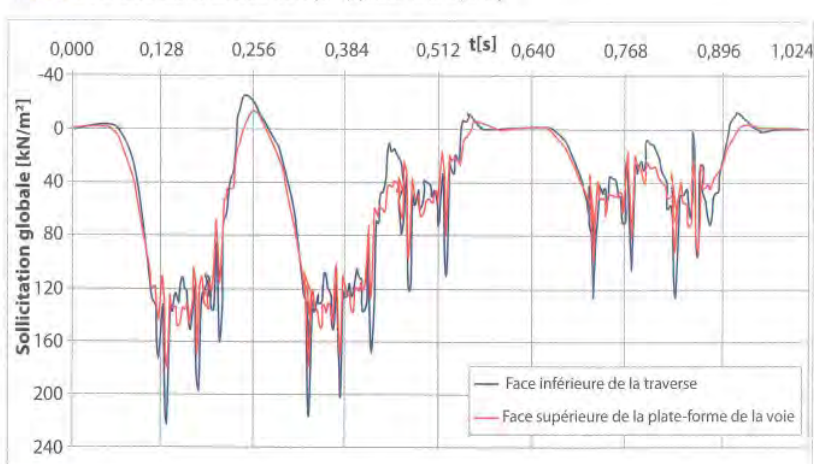
Sous l'influence de ce type de sollicitations plus complexes, des contraintes et des déformations apparaissent dans le système porteur et dans ses éléments constitutifs. Les contraintes doivent être absorbées par les résistances ; quant aux déformations, elles ne doivent pas dépasser certaines valeurs limites.



↑ [2] Impacts sur le système véhicule / voie



↑ [3] Courbes contraintes-temps (quasi-statiques)



↑ [4] Courbes contraintes-temps (globales)

### Résistances du sol

Étude du sol, essais en laboratoire et, le cas échéant, mesures dynamiques, en vue de la détermination des types de sol et de leurs caractéristiques :

- Cohérence et plasticité
- Densité, masse volumique apparente, à sec
- Teneur en eau
- Perte de désagrégation
- Angle de frottement, cohésion
- Vitesse des ondes de cisaillement
- Vitesse des ondes de compression
- Indice d'allongement transversal
- Module dynamique de cisaillement
- Amortissement

### Sont également à prendre en compte

- l'état de la voie
- le cas échéant, les restrictions d'utilisation et
- les indicateurs de problèmes liés à l'aptitude à l'emploi et à la stabilité

↑ [5] Étude de l'état des lignes de chemins de fer

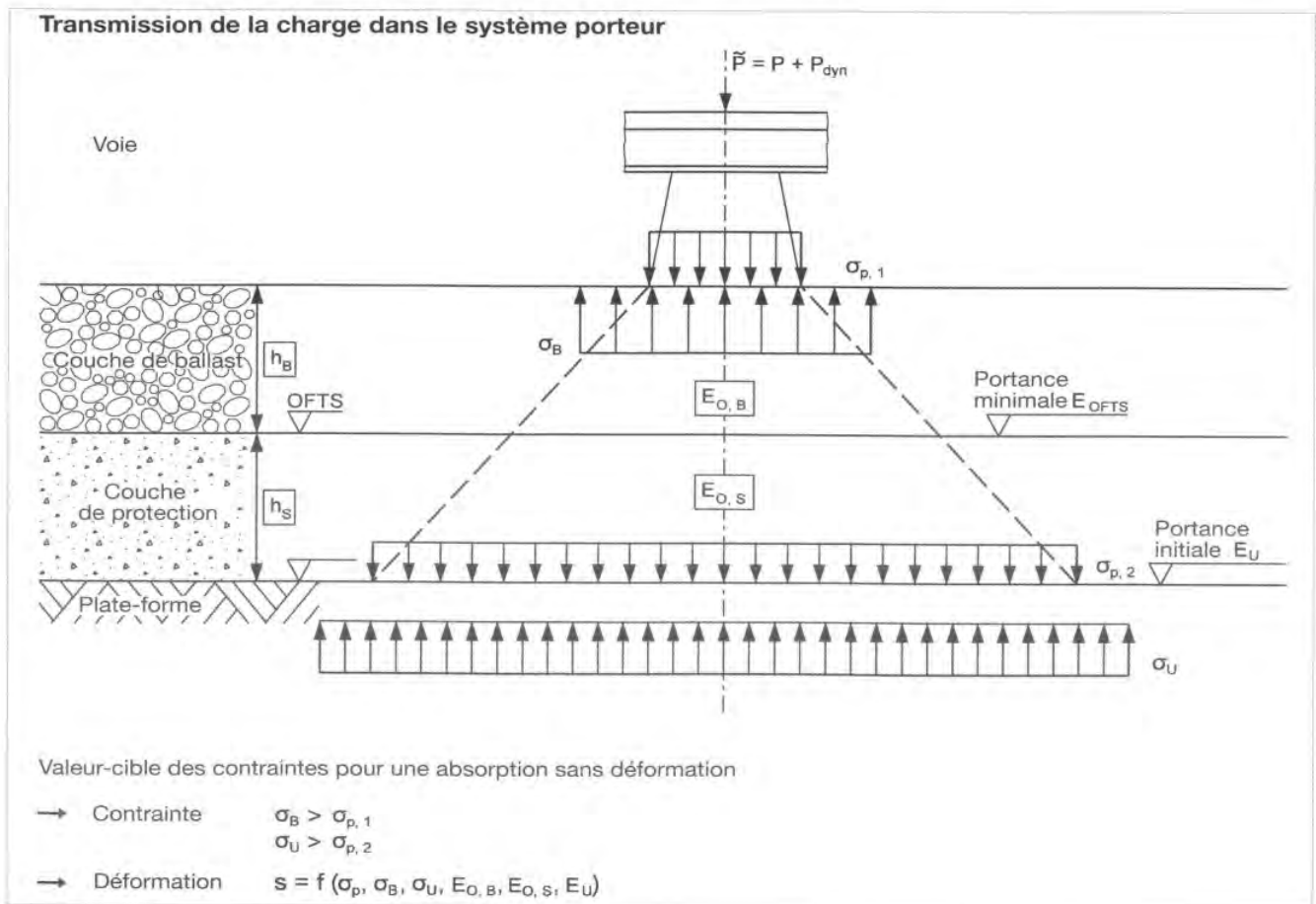
Sous une charge  $P + P_{dyn}$ , la voie et le système porteur sont soumis à une déformation  $s$  [6]. Le module de ballast  $C = P/s$  décrit la réaction aux déformations : il s'agit en fait d'une cote d'élasticité et de raideur du système porteur, décrivant la réaction aux déformations de la couche de ballast, de l'infrastructure de la voie et du sous-sol. L'affaissement élastique (enfonce-ment) et les contraintes au niveau du patin du rail ne doivent

↓ [6] Système porteur « superstructure et infrastructure de la voie »

pas dépasser certaines valeurs admissibles. L'enfoncement élastique doit donc être limité au niveau de la face supérieure du système porteur (de la face inférieure des traverses) : ceci est réalisé en définissant des valeurs de portance minimales au niveau de la face supérieure de la couche portante et au niveau de la plate-forme de la voie. L'enfoncement ne doit pas non plus être inférieur à une valeur donnée, afin de garantir l'élimination élastique de la charge, de même que la répartition longitudinale des efforts de roue sur le rail : il est ainsi possible d'éviter toute sollicitation excessive des points d'appui et de la couche de ballast.

Les éléments du système porteur doivent être dimensionnés de façon à ce que les contraintes  $\sigma_p$  soient absorbées sans destruction et sans déformation dommageable  $\rightarrow (\sigma_B > \sigma_{p1})(\sigma_U > \sigma_{p2})$ .

Les déformations sont fonction des contraintes, des modules de déformation propre des couches portantes et du sous-sol, ainsi que des épaisseurs de couches.

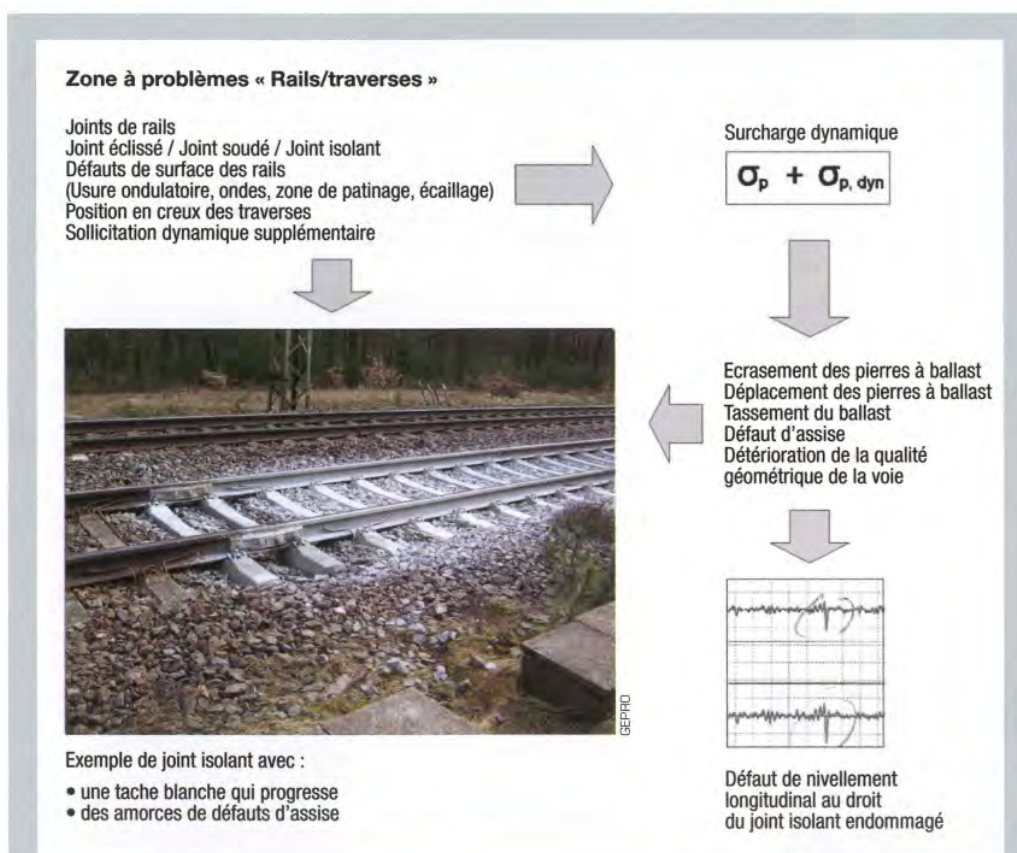


## Aptitude à l'emploi – Points faibles dans ce contexte

L'état des composants (superstructure, infrastructure de la voie et sous-sol) et de leurs éléments constitutifs détermine l'aptitude à l'emploi de la voie. Il convient d'évaluer l'usure et la dégradation de la voie, dues aux circulations ferroviaires. Les dépenses de maintenance, la qualité géométrique de la voie, l'état de la couche de ballast, la nature et l'état de l'infra-

structure de la voie et du sous-sol, de même que l'état des installations de drainage font l'objet d'une évaluation globale (Lieberenz/Kipper 2009 /3/).

La détérioration de la qualité géométrique de la voie peut être due à des facteurs d'influence déterminant à la fois l'évacuation de la charge à l'intérieur du système porteur [6] et les réactions à l'élasticité et aux déformations de la superstructure, de l'infrastructure et du sous-sol. Ces zones à problème sont décrites brièvement ci-après.



↑ [7] Zone à problème « rail / traverse »

### ► Zone à problème « rail / traverse »

Les irrégularités en rapport avec l'application des charges entre la roue et le rail, tels que joints de rails, défauts de surface des rails et position creuse des traverses sont des défauts isolés, engendrant des sollicitations dynamiques supplémentaires qui, à mesure que les vitesses de circulation augmentent, engendrent des contraintes nettement plus élevées à l'intérieur du système porteur. Dans un premier temps, le ballast est sollicité de façon excessive, avant que les pierres à ballast ne soient broyées, puis déplacées ; ensuite, le ballast se tasse. Les taches blanches, typiques de ces phénomènes, augmentent dans le sens de la marche. Si la cause de ces désordres n'est pas éliminée, l'infrastructure de la voie est sollicitée de façon excessive et il peut y avoir des défauts de portance.

► **Zone à problème « couche de ballast »**

Les sollicitations excessives du ballast ( $\sigma_B < \sigma_{p1}^*$ ) et / ou la pollution du ballast modifient les réactions aux déformations, de même que l'élasticité, la résistance au cisaillement et la propagation des charges au niveau de la couche de ballast. La couche de ballast et le sous-sol ne peuvent alors plus absorber de sollicitations plus élevées sans que cela n'entraîne des déformations dommageables.

→ [8] Zone à problème « couche de ballast »

**Zone à problèmes « Couche de ballast »**

- Sollicitation excessive  $< \sigma_{p,1} + \sigma_{p,1,dyn}$  (Ecrasement des pierres à ballast)
- Pollution de la couche de ballast (Fines, pertes dues à l'érosion par ruissellement, remontées de fines)



Exemple de pollution de la couche de ballast

- Diminution de la résistance au cisaillement
- Réduction du module de déformation spécifique

Répartition de charge insuffisante

Sollicitation excessive de l'assise de la voie

**Zone à problèmes « Assise de la voie »**

- Sollicitation excessive  $\sigma_u < \sigma_{p,2} + \sigma_{p,2,dyn}$
- Réduction de la portance ( $\sigma_u^* < \sigma_{p,2}$ ) (drainage insuffisant, défaut d'inclinaison de la plate-forme)

Déformations élastiques et plastiques plus importantes



Exemple de zone boueuse

Défaut de déclivité de la plate-forme  
Accumulation d'eau  
Zone mixte  
Défaut de portance

← [9] Zone à problème « assise de la voie »

► **Zone à problème « assise de la voie »**

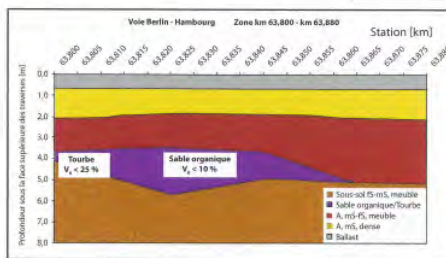
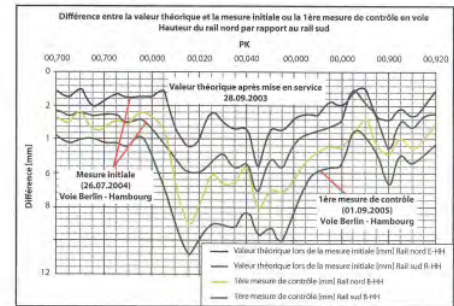
Les sollicitations excessives du ballast ( $\sigma_{p2}^*$ ), dues à des charges supplémentaires et / ou à une mauvaise répartition des charges dans la couche de ballast et / ou à une plus mauvaise portance du sol ( $\sigma_u^*$ ), par suite d'une teneur en eau trop élevée, augmentent les déformations élastiques et plastiques, de même que les défauts de portance ( $\sigma_u < \sigma_{p2}^*$  et  $\sigma_u^* < \sigma_{p2}$ ).

► **Zone à problème « plate-forme »**

À l'intérieur du sous-sol, les sols déformables (tels que ceux constitués de matériaux avec une granulométrie fine dont la résistance au cisaillement est insuffisante, les couches meubles et les sables sensibles aux déplacements) peuvent, sous l'effet de charges et de sollicitations dynamiques supplémentaires, être comprimés ou déplacés, ce qui peut entraîner des tassements, de même qu'une altération de la qualité géométrique de la voie.

**Zone à problèmes "Plate-forme"**

Cause :  
Tassements du sous-sol, du fait de la tendance à la déformation des sols



Exemple

- Tassement (ondes longues), non critique pour la qualité géométrique de la voie
- Tassement (ondes longues et courtes) avec dépassement du niveau longitudinal  $SR_{100}$  critique pour la qualité géométrique de la voie

↑ [10] Zone à problème « sous-sol »

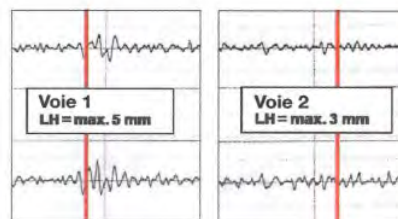
**Zone à problèmes « Raideur variable de l'infrastructure et de la superstructure »**

→ Module du lit de ballast / Raideur de la voie

- Transitions ponts/tunnels
- Inétanchéités
- Passages à niveau
- Appareils de voie



- Sollicitations dynamiques supplémentaires
- Compactage a posteriori
- Ecrasement des pierres à ballast



Défaut de nivellement longitudinal dans la zone de transition, sur une EU (ABS Hamburg – Berlin, EU Bredower Vorwerk, Pk 29,686 – Source : GEPRO)

↑ [11] Zone à problème « raideur variable de la voie »

► **Zone à problème « raideur variable de la superstructure et de l'infrastructure de la voie »**

Des modules de ballast et des raideurs de voie, variables sur de courtes distances et dans le sens longitudinal de la voie entraînent, au niveau des transitions, des sollicitations dynamiques supplémentaires et des sollicitations excessives de la superstructure et de l'infrastructure de la voie, de même que des phénomènes de compactage a posteriori, des mouvements de grains de matériaux et des tassements au niveau de la couche de ballast, de l'infrastructure de la voie et du sous-sol.

Ces zones à problème sont déterminantes pour la détérioration de la qualité géométrique de la voie, elles doivent donc être éliminées : il faut même veiller à ce qu'elles soient rejetées d'emblée.



## Influence de la construction et de la maintenance

Les travaux de construction et de maintenance permettent de garantir une bonne disponibilité de la voie et une bonne rentabilité, sous réserve qu'ils assurent à long terme le bon fonctionnement des éléments constitutifs de la superstructure et de l'infrastructure de la voie. Selon VEIT 2008 /4/, l'infrastructure avec la couche portante et le drainage, la superstructure avec la couche de ballast, les traverses et les rails, le tracé et en particulier les courbes de petit rayon, les matériels roulants et l'interaction roue/rail sont les éléments déterminants de la qualité géométrique de la voie. L'étude des coûts de possession (LCC) révèle qu'une mauvaise infrastructure et une qualité de ballast dégradée par des sollicitations excessives et des irrégularités de tracé longitudinal de la voie (passages à niveau et appareils de voie) sont les principaux facteurs de coûts sur la durée de vie de la voie.

Une bonne qualité initiale de la voie, dès la construction ou la transformation de la superstructure et de l'infrastructure, de même qu'une maintenance en fonction de l'état de la voie, sont les garants d'une aptitude à l'emploi durable, ainsi que d'une bonne qualité géométrique de la voie. À l'inverse, les économies réalisées au moment de la construction et de la transformation de la voie font grimper les coûts de maintenance et les coûts de possession. Quant aux économies réalisées sur la maintenance de la voie, elles entraînent une réduction de la durée de vie de la voie.

Éléments essentiels d'une bonne aptitude à l'emploi du système porteur, à long terme :

- couche de ballast avec une résistance au cisaillement élevée ;
- infrastructure avec une élasticité régulière et un bon comportement aux déformations, grâce aux caractéristiques suivantes :
  - installations de drainage fonctionnelles,
  - couche portante et couche de protection ;
- éléments élastiques (ressorts et amortisseurs) dans la superstructure de la voie.

La construction et la transformation de la voie doivent être planifiées et réalisées de façon telle que la voie présente une bonne qualité initiale et une grande réserve d'usure. Les mesures de maintenance qui s'imposent doivent, dans la mesure du possible, être prévues sur des tronçons continus de grande longueur, et elles doivent être réalisées avec des machines de travaux de voie à avancement continu.

## Méthode de réparation de la voie

Le système de maintenance doit permettre de déceler à temps, puis d'éliminer les défauts et les endommagements, de même que les zones à problème qui en résultent. Dans ce contexte, ce n'est pas seulement la maintenance, mais aussi la réparation des installations de voie qui est déterminante.

Le document [Lichtberger 2009 /5/] présente et explique les potentiels d'optimisation du système voie, du point de vue de l'instance chargée de la maintenance. Les méthodes de réparation appliquées aux zones à problèmes listées ci-dessous sont abordées dans la suite du texte.

L'entretien en continu des rails (y compris le meulage préventif) et la correction immédiate des défauts de voie s'imposent pour obtenir une géométrie de contact roue/rail optimale et pour réduire les sollicitations dynamiques supplémentaires du système véhicule/voie.

La pollution du lit de ballast doit être éliminée par un criblage de qualité de la couche de ballast [12] : cela permet de garantir une résistance au cisaillement suffisante du ballast, de même qu'une pente transversale continue de la plate-forme de la voie.

La portance et la résistance au gel de l'infrastructure, de même que son assainissement, sont garantis par des mesures de drainage et par l'installation d'une couche portante et d'une couche de protection [13].

- Dégarnissage du ballast ancien, avec la chaîne de dégarnissage
- Criblage pour l'élimination des matériaux à granulométrie trop fine / trop grande
- Criblage par tamisage et lavage
- Mise en voie du ballast criblé



HTW Dresden



HTW Dresden



Klaus Lieberenz



HTW Dresden

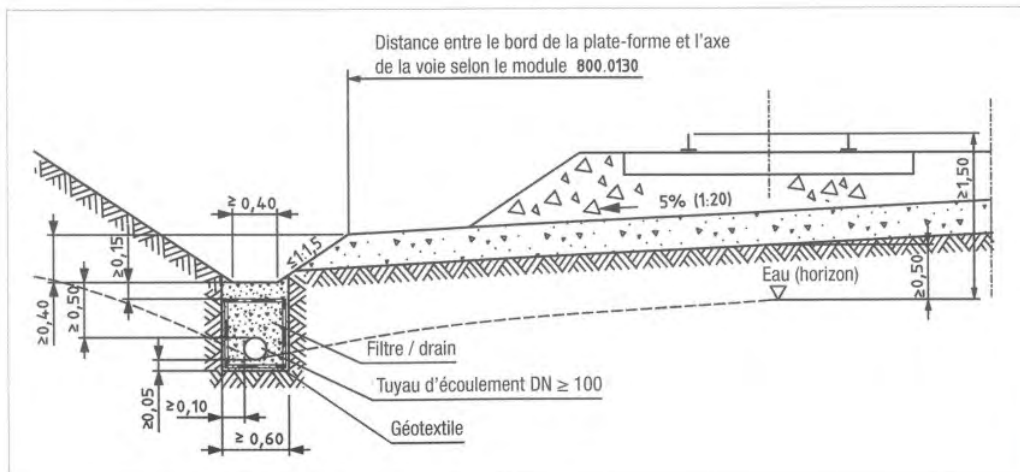
Pré-criblage avec un crible à étoiles / à doigts

Lavage dans crible adapté

Le **drainage** permet d'éviter de façon fiable l'accumulation d'eau dans le sol, l'augmentation critique de la teneur en eau, la modification de la consistance et la réduction de la portance du sol. La pente transversale de la plate-forme, les fossés ouverts, les fossés de talus et les installations d'écoulement d'eau se chargent de contenir et d'évacuer les eaux superficielles. Le drainage en

profondeur, au moyen d'une installation de drainage souterraine, est indiqué pour contenir et évacuer du sol les eaux souterraines non liées, de même que l'eau accumulée dans les différentes couches. Du fait de leur effet à retardement, les installations de drainage sont réalisées en amont ; elles doivent rester opérationnelles en permanence.

↑ [12] Méthode de criblage de la couche de ballast



← [13] Infrastructure de la voie ferrée

## Mise en voie de couches de protection, depuis la voie même

- Dégarnissage de la zone mixte et de la sous-couche
- Réalisation de la couche de forme (hauteur, inclinaison et largeur)
- Mise en voie et couppactage de la couche portante
- Combinaison possible de la couche portante et des géotextiles

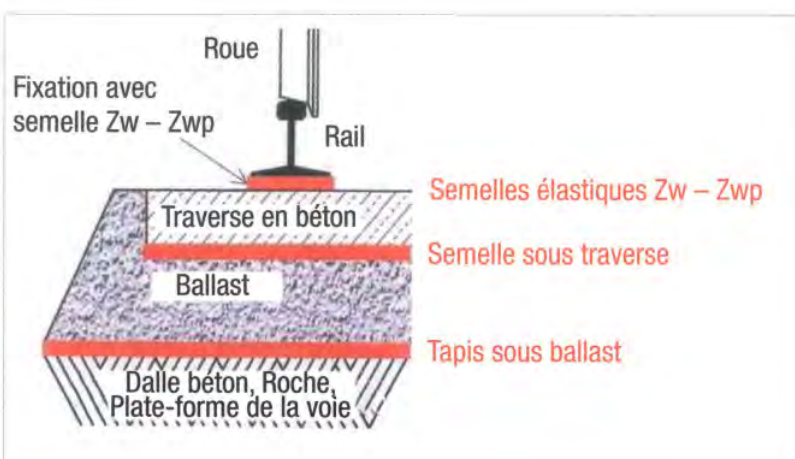


→ [14] Amélioration de la plate-forme de la voie (méthode d'intervention « en voie »)

Le système de couches (couche portante et couche de protection), installé sur la plate-forme de la voie, protège le sol contre les déformations dommageables et l'influence du gel. Il est constitué d'un mélange de granulats secondaires. La mise en place de géotextiles et de couches de transition et l'amélioration du sous-sol sont des mesures supplémentaires permettant d'améliorer l'efficacité de ce système. Les géotextiles renforcent quant à eux les effets de séparation, de filtrage, de drainage, d'armement, d'étanchéité ou d'amortissement.

La couche de protection peut être installée dans le cadre d'une intervention « hors voie », ou « en voie ». La mise en œuvre de la couche de protection avec des machines d'amélioration de la plate-forme de la voie est présentée à la figure [14].

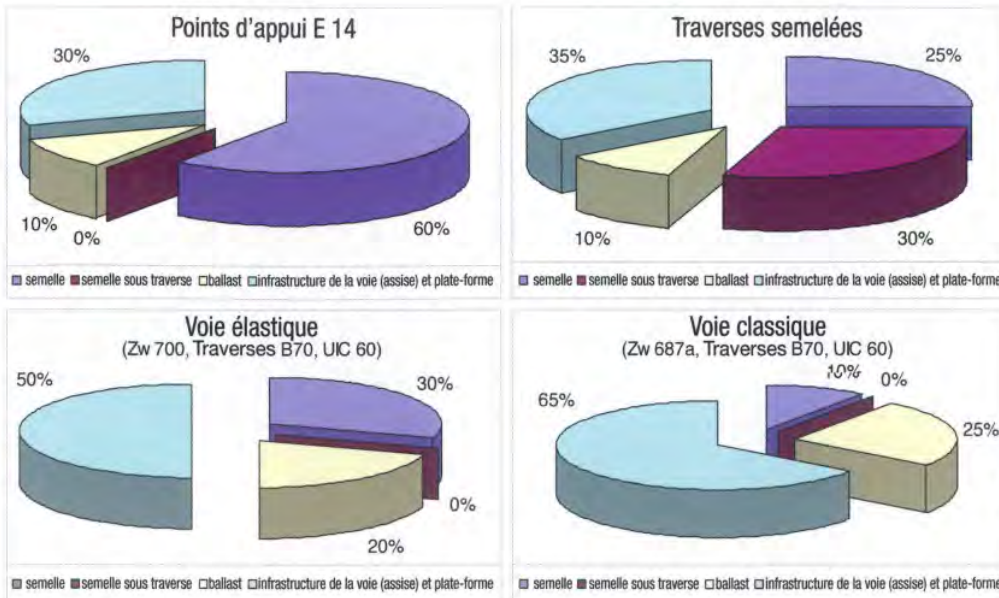
↓ [15] Positions d'éléments élastiques



L'installation de couches de protection et de systèmes porteurs renforcés par des géotextiles augmente la raideur de la voie ; elle optimise également la répartition des charges, ce qui donne une qualité géométrique de la voie et un confort de marche nettement meilleurs, notamment pour dans le cas de vitesses de circulation plus élevées. Dans le cas des sols constitués de matériaux à granulométrie fine, les installations de drainage opérationnelles, les couches portantes et les couches de protection sont les facteurs de la qualité initiale d'une voie ultra-performante.

Le recours à des éléments hautement élastiques, dans la superstructure de la voie, est l'une des meilleures solutions pour améliorer la qualité initiale et pour réduire l'usure de la voie. Grâce à la mise en voie d'éléments élastiques supplémentaires, dans la superstructure, les zones de défauts et d'irrégularités, et les sollicitations quasi-statiques et dynamiques sont réduites et la raideur des appuis de voie est uniformisée. Leur élasticité favorise un plus grand enfoncement des rails et une plus grande flèche, ce qui permet de réduire considérablement les efforts au niveau des points d'appui et les contraintes dans le ballast.

Leur effet d'amortissement permet de diminuer, voire de réduire de beaucoup les sollicitations vibratoires et les sollicitations des domaines temporel et fréquentiel (voir également [Lieberenz/Wegener 2009 /1/]). Tous ces effets amenuisent les déformations, les contraintes et les vitesses de vibration, non seulement au niveau



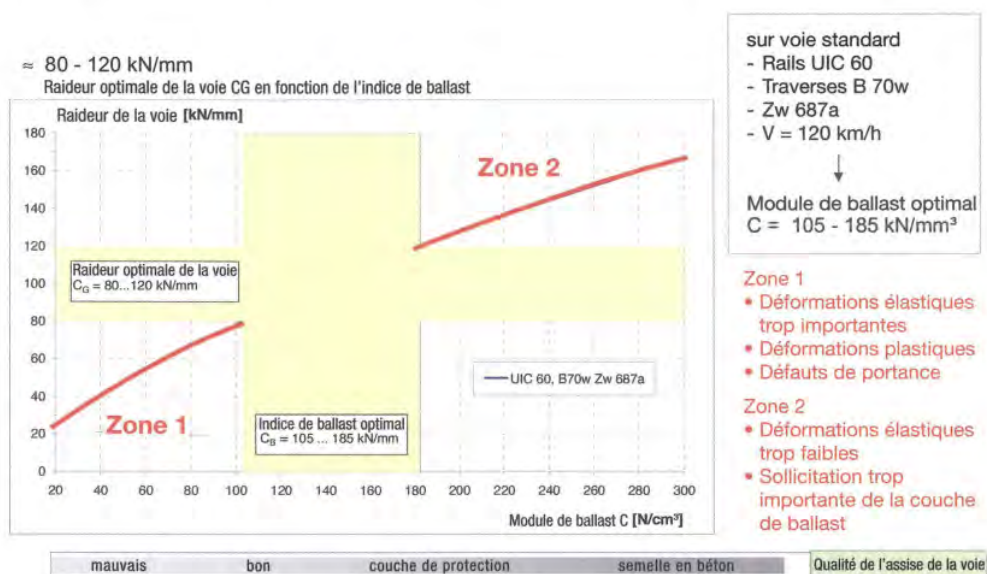
← [16] Répartition de l'élasticité

de la superstructure, mais aussi au niveau de l'infrastructure et du sous-sol. Les éléments élastiques sont mis en voie en différents endroits, sous les rails (selles de rails), sous les traverses (semelles de traverses), ou sous la couche de ballast (tapis sous ballast) [15].

La figure [16] présente la répartition de l'élasticité, sur la base de mesures concernant des superstructures de voie élastiques et hautement élastiques. Dans le cas des voies constituées de semelles de rails de type Zw 700, 30 % de l'élasticité est dû à la semelle de rail, 20 % de l'élasticité est dû au ballast et 50 % de l'élasticité est due à l'infrastructure de la voie et au sous-sol. La mise en œuvre d'une élasticité supplémentaire, sous la forme d'un

point d'appui E14, hautement élastique, et de semelles de traverses, déleste considérablement le ballast (10 % d'élasticité seulement), l'infrastructure et le sous-sol (30 % à 35 % d'élasticité seulement). Dans le cas des voies constituées de semelles de rails dures, de type Zw 687, le ballast, l'infrastructure et le sous-sol sont nettement plus sollicités (95 % d'élasticité), selon les calculs.

Les éléments hautement élastiques permettent en outre d'unifier efficacement la raideur de la voie dans le sens longitudinal. Dans les zones de transition vers les ouvrages d'art et les ponts, des couches portantes consolidées et des nattes sous ballast sont installées sous la couche de ballast. La figure [17] présente l'uniformisation de la raideur de la voie, obtenue



← [17] Raideur optimale de la voie

nue dans les zones de transition. Les charges dynamiques supplémentaires sont ainsi limitées et les déformations de l'ouvrage en terre ne sont pas critiques pour la qualité géométrique de la voie.

Les deux effets bénéfiques des éléments constitutifs avec une plus grande élasticité, la réduction des sollicitations dynamiques et l'uniformisation de la raideur de la voie, sont d'autant plus importants que les vitesses de circulation augmentent.

### Remarque finale

Les considérations de base, présentées dans le présent dossier, illustrent les liens qui existent à l'intérieur du système constitué par la superstructure, l'infrastructure et le sous-sol, en tant que système porteur uniforme. Une grande aptitude à l'emploi et une bonne qualité géométrique de la voie ne peuvent être obtenues que dans le cas d'une bonne qualité initiale de la voie (dès la construction et la transformation de la superstructure et de l'infrastructure de la voie) et grâce à une maintenance corrective basée sur le principe d'une intervention en temps réel et en fonction des

causes, dans les zones à problèmes. Un drainage opérationnel, la mise en œuvre de couches portantes et de protection, d'une couche de ballast résistant bien au cisaillement et d'éléments de superstructure avec une plus grande élasticité, sont essentiels. Les éléments présentés [1], en vue de la détermination de la sollicitation globale réelle [1 à 3], permettent de réaliser des calculs détaillés de dynamique de la voie et des sols, en fonction des paramètres suivants :

- ▶ masses, ressorts et amortisseurs du véhicule, du bogie et de l'essieu ;
- ▶ taille réelle du faux-rond ;
- ▶ vitesse de circulation de la rame ;
- ▶ éléments de la superstructure ; éléments élastiques et selles de rails ;
- ▶ raideur de l'infrastructure de la voie et du sous-sol.

Il est ainsi possible de prendre en compte, dans les calculs dynamiques, l'impact de la plus grande raideur des couches de protection renforcées par des géotextiles et celui des éléments constitutifs avec une plus grande élasticité et un effet d'amortissement plus élevé, et d'optimiser ainsi la construction de la superstructure et de l'infrastructure de la voie. ▲

## Références bibliographiques

LIEBERENZ (K.), WEGENER (D.), „Zur Abtragung der Lasten im System Oberbau-Unterbau-Untergrund“ (Évacuation des charges dans le cadre du système « superstructure – infrastructure – sous-sol »), Conférence Voie ÖVG, Salzbourg 2007.

GÖBEL (C.), LIEBERENZ (K.), „Handbuch Erdbauwerke der Bahnen“ (Manuel des ouvrages en terre des chemins de fer), Eurailpress Tetzlaff-Hestra GmbH & Co. KG, 2004.

KIPPER (R.), LIEBERENZ (K.), „Zum Einfluss des Unterbaues und des Tragsystems auf die Gleislage“ (Influence de l'infrastructure de la voie et du système porteur sur la qualité géométrique de la voie), Eisenbahningenieur (60) 09/2009.

VEIT (P.), „Wirtschaftlichkeit der Erhaltung der Bahn-Infrastruktur“ (Rentabilité de la maintenance de l'infrastructure ferroviaire), Actuel : Plasser und Theurer – Année 38 – N° 115

LICHTENBERGER (B.), „Das System Gleis – Optimierungspotenziale aus der Sicht des Instandhalters“ (Le système « voie » : potentiels d'optimisation, du point de vue de l'entreprise de maintenance), EIK2009, P. 53 – 72.