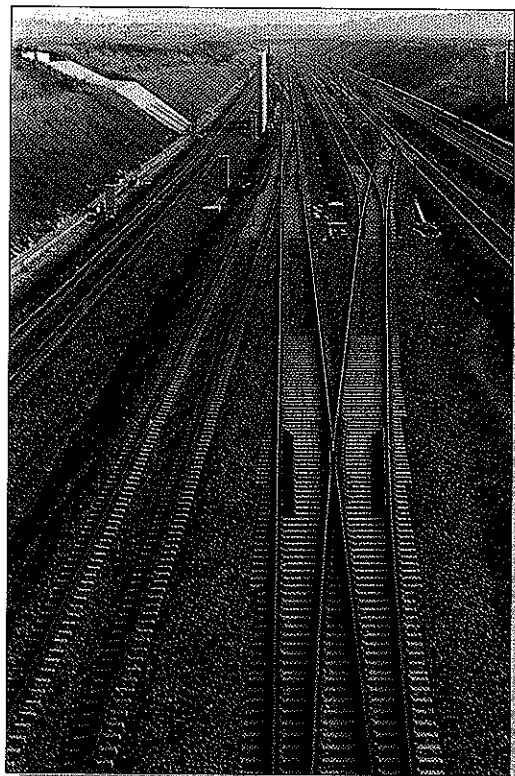


domaine est donc très importante. Les appareils de voie sont de différents modèles suivant l'utilisation qui en est faite. Ces différents modèles



Appareil de voie sur béton en gare de Chessy.

sont définis par la tangente de l'angle de croisement des files de rail intérieures. Il s'agit:

- de bifurcation avec une vitesse maximale en voie déviée de 230 km/h;
- de communication avec une vitesse maximale de 170 km/h compatible avec un changement de sens de courbure;
- de desserte des voies de garage où la vitesse en voie déviée n'est pas de première importance ( $V = 80$  km/h).

Ligne de TGV Atlantique.



Les tracés de ces appareils doivent respecter les règles de base suivantes:

- appliquer un maximum de  $1,00 \text{ m/s}^2$  d'accélération transversale en pointe de l'appareil;
- avoir un tracé comportant des variations de courbure nécessaires pour passer du rayon maximum en pointe à l'alignement droit au talon;
- avoir une technologie adaptée aux tolérances de montage et de nivellement dressage ainsi qu'aux efforts engendrés.

La technologie de construction des appareils de voie à grande vitesse bénéficie des améliorations suivantes:

- la pose se fait sur des supports en béton précontraint qui permettent une stabilité accrue de l'appareil ainsi qu'une meilleure garantie de durée de vie du plancher;
- un étage élastique est placé entre le rail et le support en béton sur toute la longueur de l'appareil pour améliorer l'élasticité générale;
- les attaches sont des attaches élastiques sur la totalité de l'appareil, y compris l'aiguillage et le croisement;
- les croisements sont systématiquement à pointe mobile, les éléments constitutifs de ces croisements en acier au manganèse étant soudés sur les rails encadrants par un procédé particulier;
- un profil d'aiguille spécial permet la circulation en voie directe à 300 km/h dans l'aiguillage sans risque de déséquilibre du bogie.

L'utilisation des cœurs à pointe mobile est impérative pour éviter les chocs à grande vitesse. Les attaches élastiques et les supports en béton permettent d'incorporer les appareils dans les LRS sans mesure complémentaire d'anticheminement.

**Appareils de dilatation** - Dans un système de pose de voie en LRS, les interruptions aux extrémités mobiles

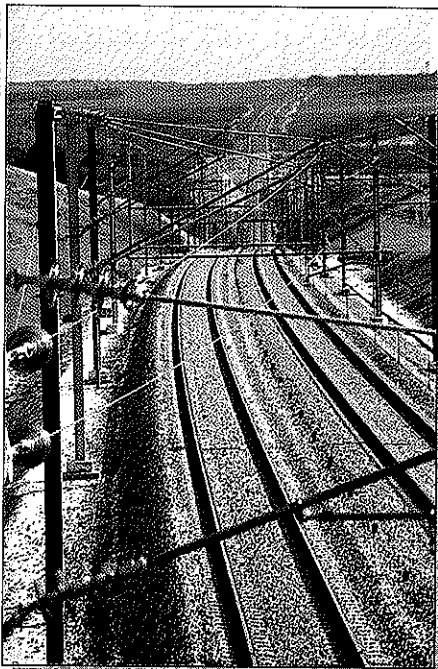
des ouvrages d'art de grande longueur doivent être munies de ce type d'appareil de dilatation.

Le déplacement longitudinal relatif possible des deux extrémités est de deux fois 600 mm.

Ces appareils doivent également éviter toute rupture de l'inertie verticale du rail afin de conserver une distribution longitudinale des efforts correcte. Il faut donc que la transition de ces efforts verticaux se fasse progressivement d'une extrémité à l'autre.

### Assemblage des différents éléments

Nous avons fait une analyse de nos matériaux et matériels de haute tech-



Ligne de TGV Paris Sud-Est.

nicité, ce que nous pouvons considérer comme étant la technologie française actuelle pour lignes à grande vitesse. Il reste à examiner les méthodes et les moyens utilisés pour mettre en œuvre ces différents éléments afin de réaliser une voie apte aux meilleurs services pour lesquels elle est destinée: la grande vitesse. Il s'agit de réaliser un châssis de voie rigide avec ses tolérances propres, posé sur un lit de 35 cm de ballast compacté avec une géométrie finale extrêmement précise. Trois chantiers élémentaires sont à considérer:

- la pose du châssis de voie sur la sous-couche compactée;
- le relevage de la voie avec réalisation de la géométrie finale;
- la libération des LRS et les finitions.

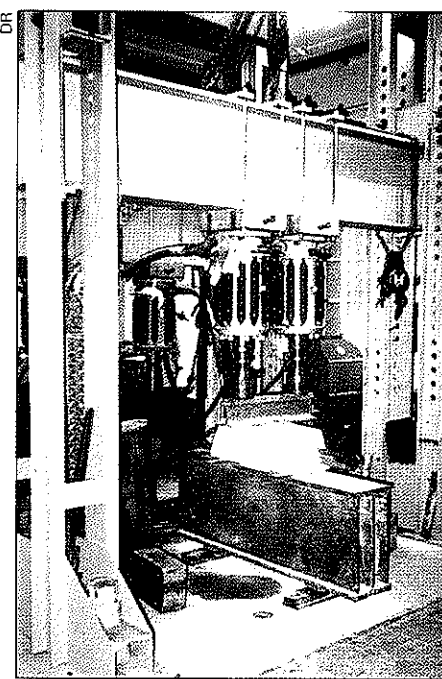
La pose du châssis de voie est effectuée à l'aide d'une voie provisoire qui permet l'approvisionnement du matériel nécessaire au montage du châssis. Une géométrie de voie TGV se réalise en cinq ou six relevages successifs avec utilisation de bourreuses auto-

matiques et sur lesquelles les systèmes de calcul intégrés donnent des corrections nécessaires à l'obtention de l'objectif en fonction de la mesure réalisée pour la machine avant travail. La pose des appareils de voie est incluse dans le chantier de pose, elle s'effectue après le 4<sup>ème</sup> relevage de la voie. La pose en longs rails soudés (LRS) est une règle absolue: appareils de voie compris. Les joints isolants collés sont exclus sur les itinéraires en voie directe, seuls les appareils de dilatation spéciaux pour grands ouvrages sont admis.

Les LRS sont mis à contrainte nulle à 25°C par une opération particulièrement importante et précise qui conditionne la stabilité de la voie au cours des futures opérations de maintenance. Les attaches Nabla sont serrées à l'aide de machines qui permettent d'obtenir les conditions normales de leur fonctionnement avec la précision suffisante. Les contrôles nécessaires a posteriori sont limités au contrôle de la géométrie et de l'écartement. Les contrôles de la géométrie sont effectués à l'aide d'une voiture de mesure de la géométrie de la voie.

### Développements

Différents sujets de développement sont actuellement en cours:



Essais de performance d'une traverse dans les laboratoires de la SNCF.

- la voie sans ballast;
  - une amélioration de l'impact sonore des rames à grande vitesse;
  - une étude de comportement rhéologique du ballast.
- La pose de voie sans ballast peut être

avantageuse pour des situations spécifiques telles que tunnels ou superstructures. Des études et essais sont programmés pour mettre au point un système de voie sans ballast adapté aux lignes à grande vitesse.

Un groupe d'étude travaille actuellement sur la diminution des émissions sonores. Il est chargé d'étudier les modifications à apporter aux composants de la voie dans le but de diminuer le bruit de roulement. Ces améliorations porteront simultanément sur le matériel et la voie. Enfin une meilleure connaissance de comportement rhéologique du ballast permettrait une optimisation de la voie.

### Conclusion

Le matériel de voie pour les lignes à grande vitesse, s'il n'est pas différent fondamentalement du matériel de voie courant, doit être de très haute qualité et correspondre aux exigences particulières des grandes vitesses. Toutes les précautions ont été prises au niveau des études, du développement et de la vérification au cours des essais de montées en vitesse pour que ce matériel soit bien défini quant à ses performances. Les plans d'assurance qualité mis en place dans les usines de fabrication sont les garants de la production.

Avec plus de 20 millions de traverses "système Vagneux" fabriquées dans 14 usines à travers le monde, l'expérience de SATEBA INTERNATIONAL garantit la qualité pour ses...

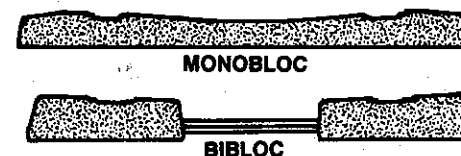
# TRAVERSES EN BETON

L'expérience SATEBA inclut les modèles de traverses pour :

- Voie standard - Voie large - Voie étroite
- Grande vitesse (TGV 300 km/h)
- Charges lourdes (30 T/essieu)
- Métros - Tramways - LRT
- Lignes secondaires

**sateba** INTERNATIONAL

262 boulevard Saint-Germain 75007 Paris (France)  
Tél. 33 (1) 47.05.71 18 Fax 33 (1) 47.53.79.27 Télec SATEBA 200808F



# La voie sur dalle

Par Lothar Fendrich

Chef de la division des Voies - Deutsche Bahn AG

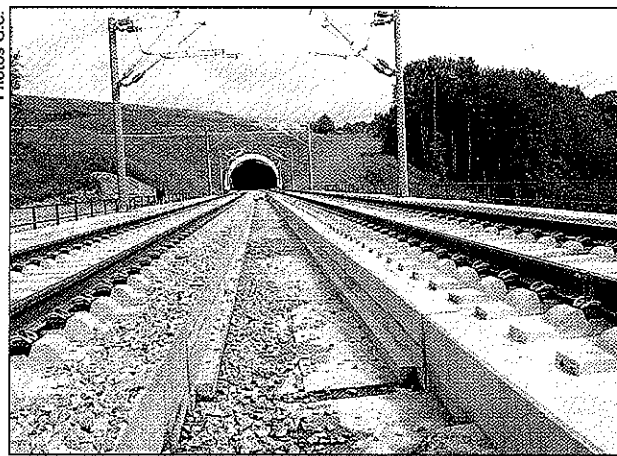
Le ministère allemand de la recherche et de la technologie s'est attaché à promouvoir le développement de la voie sur dalle (VSD) en tant qu'option de substitution à la voie sur ballast pour les lignes à grande vitesse et ce, dès 1972 avec la mise en œuvre des types "Rheda" et "Oelde" dans les gares du même nom.

Les variantes qui en résultent s'appuient sur des configurations de base désormais fiables et s'inscrivent par conséquent dans un processus d'amélioration continu qui n'échappe pas au jeu de la concurrence.

## Caractéristiques systémiques

La VSD est un ouvrage complexe, constitué de nombreuses composantes. Les développements qui suivent s'intéresseront à une réalisation sur ouvrages en terre, c'est-à-dire sur remblai, en tranchée, au-dessus des dalles ainsi que sur les zones de remplissage des ouvrages d'art tels que les culées de pont ou les portails de tunnel.

Les VSD sur ouvrages en terre comprennent — outre la partie plate-forme constituée de couches non liées, y compris les fondations et les installations de drainage — les éléments



Dès 1972 les recherches sur la voie sans ballast ont commencé.

ments de superstructure de la voie, à savoir: le châssis de la voie avec les rails, les attaches, les plaques de béton ou couches porteuses en asphalte, sans oublier la couche sous-jacente à liant hydraulique ainsi que les éléments anti-vibration et anti-bruit.

L'avantage fonctionnel de la VSD est manifeste par rapport à la voie ballastée. A vitesse croissante, la dispersion des sollicitations verticales et horizontales, c'est-à-dire la déformation de la voie, dépend de la qualité géométrique de celle-ci. Et ce phénomène s'explique par les irrégularités affectant la positionnement en creux des traverses d'une part et l'élasticité du ballast et de la plate-forme d'autre part.

Du fait de la nature différente d'une traverse à l'autre, l'élasticité globale de la voie ballastée résultera donc du comportement spécifique de l'attache du rail, du ballast et des sous-couches, qui active en retour la fonction porteuse et répartitrice de charge remplie par le rail.

Il en va différemment de la VSD dont l'élasticité est réalisée presque exclusivement par des semelles élastiques ou par des appuis élastiques montés sous les traverses. Cette technique garantit un haut degré d'homogénéité ainsi qu'une dispersion limitée et aisément quantifiable des valeurs de rigidité verticale, un aspect tout à fait essentiel pour les interactions véhicule/voie à grande vitesse.

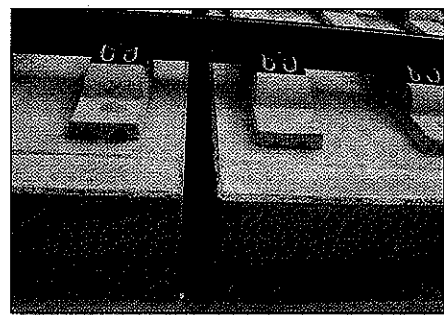
Le problème de l'activation de la portance du rail en fonction de l'élasticité des appuis et des caractéristiques de

leurs matériaux requiert encore un important effort de recherche, notamment en ce qui concerne l'harmonisation d'ensemble du système, tant pour la voie ballastée que pour la voie sur dalle. C'est pourquoi la proposition consistant à concevoir un profil de rail à patin large doit retenir l'attention.

On distingue deux catégories de VSD selon leurs conceptions respectives:

- les types "monolithiques" à traverses encastrées dans le béton ou à blocs d'appui de type Rheda ou Züblin;
- les types "décomposés",

constitués de couches d'assises béton ou asphalte en "sandwich" avec châssis de voie en pose directe. L'ensemble de ces configurations impose les mêmes contraintes quant à la réalisation des ouvrages en terre et à l'utilisation des attaches de rail préfabriquées en usine, qu'il s'agisse de traverses monobloc, bi-bloc ou constituées de blocs indépendants. Les modèles dits "décomposés" se distinguent surtout par le dispositif



permettant de garantir le châssis de la voie contre les déplacements latéraux et les relèvements susceptibles de survenir en amont et en aval de l'essieu du véhicule.

## Contraintes relatives aux ouvrages en terre

Le niveau actuel des connaissances, acquises y compris dans le cadre des recherches rail/roue, confirme que, jusqu'à 400 km/h environ, il ne doit pas se produire d'augmentation brutale des sollicitations. Aussi il semble exclu qu'un dysfonctionnement soudain puisse affecter les sous-couches dans le cas d'une VSD.

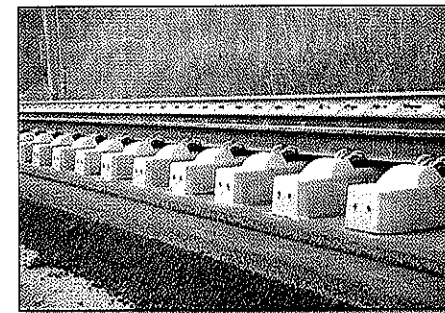
En revanche, les mesures effectuées

dans le cadre du programme d'essais ICE ont montré qu'au-delà de 300 km/h, on ne peut exclure, à moyen terme, un risque de déstabilisation progressive des couches non liées — dont le ballast fait également partie — qui se traduira par des charges de régénération de plus en plus élevées. Deux constats s'imposent:

- les voies sur dalles présentent, en termes de maintien de la qualité géométrique, des avantages notables par rapport à la superstructure ballastée en raison d'une meilleure stabilité et d'une moindre sollicitation des sous-couches;
- les exigences auxquelles doit répondre l'ensemble plate-forme/sous-couches pour les VSD coïncident avec celles requises pour les lignes à grande vitesse à voie ballastée. Toutefois, il importera de définir des critères spécifiques d'assurance qualité.

## Les couches d'assise de la voie sur dalle

Par rapport à la voie ballastée, la VSD est constituée d'un système porteur rigide à la flexion et au ripage qui met en jeu des couches d'assise et des dalles imperméables de conceptions variées ainsi que des installations complémentaires comme le drain



médian par exemple.

**Les deux configurations de base** - La dalle de béton sur couche d'assise à liant hydraulique (HGT) ou la couche d'assise en asphalte sur HGT imposent, d'après l'état actuel des connaissances, des conditions équivalentes aux éléments de plate-forme sous-jacents. A la rigidité plus élevée de la dalle béton qui permet un niveau de contraintes plus faible et mieux réparti au passage des trains correspond l'élasticité supérieure de la couche asphalte qui exerce des sollicitations dynamiques moindres sur la plate-forme, sachant que ces deux configurations apparaissent plus favorables pour la voie ballastée classique.

**Type Rheda** - La dalle d'assise en béton se présente sous forme d'auge dans laquelle est déposé le châssis de voie. A partir d'une assiette de voie théorique définie en référence au sommet du rail, celui-ci fait ensuite l'objet d'un réglage en l'aide des broches horizontales et verticales inté-



La voie sur dalle est déjà utilisée sur les lignes ICE.

grées aux traverses (une sur deux). Enfin, le châssis muni de ses armatures longitudinales et transversales est bloqué par un béton de remplissage dans sa position définitive.

Cette configuration est en service depuis plus de 20 ans en pleine voie et en tunnel. Elle a été mise en place début 1994 sur la section Breddin-Glößen de la ligne aménagée Berlin-Hambourg, sur un tronçon à double voie de 2x7 km.

**Type Züblin** - Des traverses mono ou bi-bloc sont enfoncées à une profondeur d'environ 7 cm dans le béton frais de l'ensemble armé dalles / couches d'assise épais de 28 cm. Leur position est réglée par rapport à l'appui du rail sur la traverse et en référence à l'assiette nominale. La pose des traverses est réalisée par une machine spéciale de type Züblin qui assure un positionnement très précis. L'installation des rails ainsi que les corrections éventuelles s'effectuent après durcissement du béton.

Cette configuration a vu le jour pour la première fois en 1977 sur la ceinture nord de Munich. Les applications les plus récentes remontent à fin 1993 début 1994 sur la section Wittenberge-Dergenthin de la ligne aménagée Berlin-Hambourg (tronçon à double voie d'environ 2x6 km).

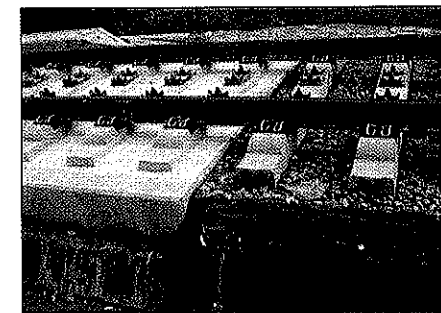
## Superstructure de la voie sur dalle (VSD)

A l'instar des types "monolithiques" Rheda et Züblin décrits précédemment, les configurations esquissées ci-après utilisent également des traverses monobloc ou bi-bloc préfabriquées, à une exception près qui met en jeu l'attache loarv 300. L'emploi de traverses fabriquées en usine et rigoureusement

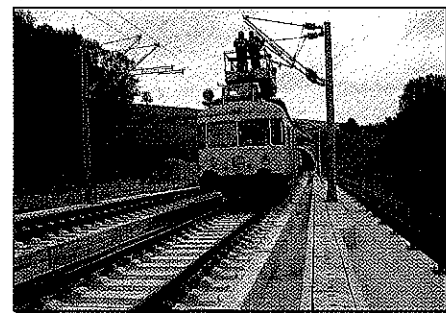
"tolérancées" garantit le maintien des valeurs d'écartement et d'inclinaison du rail requises du point de vue de la dynamique de roulement.

Les corrections géométriques à effectuer au niveau des attaches posent un problème complexe. Aussi importe-t-il d'établir une distinction entre les réalisations avec broches (Rheda) et sans broches (tous les autres types).

Dans le premier cas de figure, la position exacte des rails est fixée d'emblée et les marges de correction ultérieure d'assiette restent entièrement disponibles, alors que dans le deuxième cas, elle résulte de la somme de plusieurs paramètres: la surface de la dalle porteuse/couche d'assise avec ses tolérances, les traverses, les éléments d'attache et le rail proprement dit. Dans cette deuxième hypothèse, il faut admettre dès le montage une utilisation minimale des possibilités de correction.



Le type Züblin représente un cas spécial, étant donné que le degré de précision géométrique dépend dans une large mesure de l'appareil de montage. Confortées par les analyses statistiques, théorie et pratique concluent à la quasi-improbabilité d'une addition défavorable des tolérances admissibles sur les différents composants





dans un sens ou dans l'autre, cumul qui peut atteindre 7 mm environ pour un montage sans broche. Autrement dit, s'il y a dépassement des valeurs limites lors des mesures effectuées à la réception, ce fait sera presque exclusivement imputable à un outrepassage des tolérances sur un ou plusieurs composants.

### Autres systèmes et développements ultérieurs

Les autorités de tutelle ont également admis le système Ortwein de VSD anti-vibration. Il comprend un élément

perpendiculairement à l'axe de la voie est garantie par un élément à cheville dont la partie haute entre dans la traverse alors que la partie basse s'enfonce dans la couche d'asphalte. Une pièce d'élastomère disposée entre l'élément à cheville et la traverse autorise les mouvements verticaux entre le châssis et la couche d'assise. Elle réagit élastiquement aux efforts horizontaux perpendiculaires ou parallèles à l'assiette de la voie. Après la pose de la traverse et le montage des rails, on procède au dressage de la voie. Pour finir, un mortier appro-

resserrement des tolérances de hauteur et sur la conception d'une dalle béton non armée. Au-delà de ce champ d'investigation, les progrès réalisés résulteront de la pression de la concurrence qui s'exerce sur les entreprises désireuses de remporter les marchés. Néanmoins on ne peut ignorer l'ampleur du travail qui reste à accomplir pour affiner les techniques de mesure qui conditionnent l'obtention d'un haut degré de précision géométrique pour les VSD. Il n'est plus concevable en effet de se contenter, comme dans

ainsi que valorisation optimale de l'action conjuguée de différents matériaux. La modification de la largeur du patin constitue à cet égard un aspect essentiel;

• mise au point d'une modélisation numérique (actuellement inexistante) de la VSD couvrant les éléments de plate-forme et de sol sous-jacent. Un résultat dans ce domaine serait apprécié, s'il permettait de dégager une loi sur les matériaux en rapport avec la mécanique des sols, qui tiendrait compte de sollicitations répétées à caractère cyclique.

Dès lors que la tenue de la VSD dans la longue durée est conditionnée par la qualité avérée de la plate-forme et du sol sous-jacent, il importe d'optimiser les méthodes de mesure en vue d'une meilleure évaluation de la régularité et de l'homogénéité des différentes couches. Les procédés existants ne sont pas suffisants. L'utilisation opérationnelle à grande échelle de la VSD offre la possibilité d'effectuer des mesures systématiques en cours d'aménagement et pendant les circulations à grande vitesse et d'appréhender de manière coordonnée le comportement dynamique (y compris sous l'angle du bruit aérien et structurel) de l'ensemble des composants de la VSD - sol sous-jacent/plate-forme/couches d'assise/superstructure. L'objectif est de parvenir à une compréhension globale du système susceptible de produire un modèle pertinent pour les interactions véhicule/voie.

Compte tenu de la continuité et de l'homogénéité des couches d'assises liées et non liées de la VSD, avec le rail qui est assimilable à une



### Synthèse

Avec le concours du ministère de la recherche et de la technologie qui s'est échelonné sur plusieurs années, la voie sur dalle dans ses versions pour plate-forme, tunnel, ponts ou appareils de voie, est parvenue à un stade de développement qui autorise une application large de cette technique. Les problèmes concernant notamment les conditions géotechniques

qui doivent encore faire l'objet de tests complémentaires.

Des travaux de recherche restent par conséquent à réaliser ultérieurement dans le but d'élaborer une modélisation systémique des effets de portance à partir de mesures effectuées en cours de travaux et pendant les circulations à grande vitesse, l'objectif étant de maîtriser les interactions véhicule/voie à grande vitesse.

fini en béton, en forme de cuvette, dans lequel le rail est fixé de force par des barres de serrage sans contact avec le patin. Le rail est en outre conforté par des profilés d'élastomère qui rejoignent latéralement l'âme du rail. La transmission des efforts se réalise exclusivement par les profilés en élastomère ("rail flottant"). L'élément fini en béton vient se placer dans un évidement longitudinal de la couche d'assise pour être ensuite dressé à l'aide des quatre broches disposées aux angles.

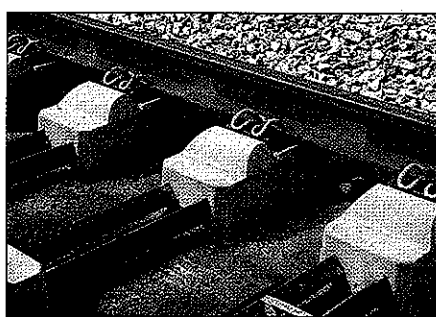
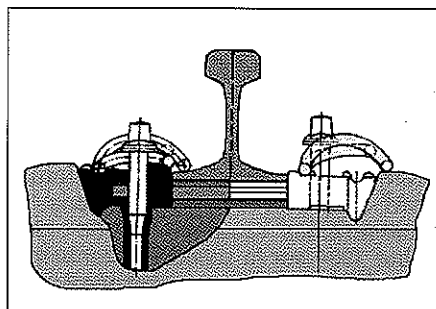
Après obtention de la géométrie désirée, on injecte un mortier à prise rapide dans l'espace résiduel compris entre la pièce finie et l'évidement longitudinal, ce qui permet de figer l'assiette de la voie. Un dressage distinct doit être effectué pour le rail droit et le rail gauche dans la mesure où ils sont indépendants.

Avantages mis en avant: atténuation du bruit aérien et solidéen et degré d'élasticité élevé du système même à grandes vitesses. Il est envisagé de démontrer ces avantages dans le cadre d'essais en service.

Une autre proposition des sociétés Wayss & Freytag et Knape/Kirchner Gleis- und Tiefbau GmbH et co. est soumise actuellement à une procédure d'homologation. Il s'agit d'un châssis à traverses en béton sur couche d'assise en asphalte. La stabilité géométrique du châssis parallèlement et

perpendiculairement à l'axe de la voie est garantie par un élément à cheville dont la partie haute entre dans la traverse alors que la partie basse s'enfonce dans la couche d'asphalte. Une pièce d'élastomère disposée entre l'élément à cheville et la traverse autorise les mouvements verticaux entre le châssis et la couche d'assise. Elle réagit élastiquement aux efforts horizontaux perpendiculaires ou parallèles à l'assiette de la voie. Après la pose de la traverse et le montage des rails, on procède au dressage de la voie. Pour finir, un mortier appro-

L'attache Loar V300 permet de régler le niveau de la voie en hauteur.



le cas de la voie ballastée, d'un positionnement approximatif du châssis, en attendant les opérations très précises de dressage et de bourrage effectuées par les machines; pratiquement dès le départ, il faut veiller à ce que voie et traverses correspondent à la géométrie idéale de la voie dans une fourchette de tolérances très rigoureuse, si l'on veut éviter d'embêter les corrections en vue de la réception de l'infrastructure.

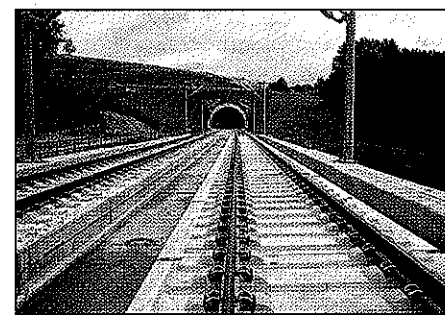
### Travaux de recherche

En résumé, la VSD est parvenue, tant sous l'angle de la connaissance théorique que du développement technique, à un niveau de maturité suffisant pour bénéficier d'une homologation officielle et se concrétiser à travers des projets appropriés.

Ceci étant, si la première phase a mis en évidence la nécessité d'un approfondissement de la recherche, il ne s'agit pas d'une question de première urgence. Malgré les lacunes identifiées, on peut d'ores et déjà assumer la responsabilité de l'utilisation opérationnelle de la VSD.

Une deuxième phase d'optimisation et d'approfondissement systématique au plan scientifique devrait conduire à promouvoir les activités de recherche dans les domaines suivants:

• effet porteur des configurations dites "décomposées" quant à l'élasticité des appuis et la qualité des matériaux



"couche d'assise unidimensionnelle", il importe de réfléchir à une nouvelle approche tendant à remettre en cause le principe de discontinuité de l'appui du rail auquel pourrait se substituer un ensemble continu à haut degré d'élasticité. L'approche conceptuelle en matière de tolérance géométrique consisterait à dire qu'un "lit" verticalement plus souple sous le rail pourrait être ressenti comme moins sensible aux défauts verticaux. Si l'on voit les choses de la sorte, alors cette une question sera incontournable pour qui entend épuiser le thème de la voie sur dalle.



PARIS  
18-22 JUIN 1995

### ONZIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL DES ESSIEUX-MONTÉS

Une manifestation triennale qui réunit les professionnels de l'industrie de la roue et des essieux, ainsi que les réseaux ferroviaires du monde entier : plus de 30 pays seront représentés.

### PROGRAMME TECHNIQUE

Des débats, conférences, réunions sur le thème du progrès technique et de la maîtrise des coûts, apportant des solutions concrètes à vos besoins.

Principaux sujets abordés : la grande vitesse, le transport lourd, le trafic passagers longues distances, la maintenance, les roulements, la réduction du bruit, le choix et le comportement des matériaux, les essais non destructifs, etc.

Pour obtenir un dossier d'inscription, veuillez nous contacter à l'adresse suivante :

ONZIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL DES ESSIEUX-MONTÉS

B.P. 72 - 59942 DUNKERQUE Cédex 2 FRANCE

Tél. : 33.28.29.63.13 - Fax : 33.28.29.63.92

Le Congrès est parrainé par "La Société Française de Métallurgie et des Matériaux"