

COMPORTEMENT DES STRUCTURES D'ASSISE FERROVIAIRE SOUS L'EFFET DES CHARGES ROULANTES - MODÉLISATION MATHÉMATIQUE

1 INTRODUCTION

L'étude et la conception des structures d'assise ferroviaire ont longtemps gardé un caractère empirique, cela étant dû en partie à la complexité et à la variété des matériaux utilisés. Des progrès considérables ont été réalisés ces dernières années, tant dans le domaine des performances pures que dans celui de l'exploitation. Ces progrès ont été rendus possibles par le développement des méthodes de dimensionnement (évolution considérable des puissances de calcul et l'introduction de la méthode des éléments finis) et l'amélioration progressive des connaissances sur les comportements mécaniques réels des matériaux. Cela nous a permis la mise en œuvre de modèles volumiques simulant le comportement de la structure d'assise ferroviaire. La suite de l'article est consacrée à la description de tels modèles et des principaux résultats qu'ils ont fournis.

2 DESCRIPTION DES STRUCTURES D'ASSISE FERROVIAIRE [1]

Une structure d'assise ferroviaire est constituée par plusieurs couches de matériaux différents (fig.1) dont les rôles complémentaires contribuent à assurer le bon comportement de la voie des points de vue rigidité, tenue de nivellement et drainage. Cette structure est composée des couches suivantes:

Ballast: c'est un granulat concassé 25/50 mm provenant de roches dures. Il assure, en raison de sa granulométrie particulière, l'évacuation rapide des eaux zénithales; il constitue un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments).

Sous couche: c'est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plate-forme. Elle peut être mono ou multicouche et est constituée par des granules bien gradués à base de gravier et de sable. Elle a pour rôles la protection de la partie supérieure de la plate-forme contre l'érosion qui résulte, d'une part du poinçonnement opéré par les éléments du ballast, d'autre part de l'action des eaux; une meilleure répartition des charges transmises et enfin une anti-contamination entre la plate-forme et le ballast.

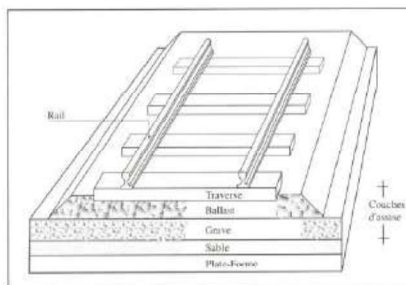


Figure 1: Structure d'assise ferroviaire

3 MODÉLISATION MATHÉMATIQUE

3.1 But de la modélisation

La structure d'assise ferroviaire constitue un ensemble multicouche dont le comportement de la modélisation telle qu'elle sera exposée ci-dessous consiste à :

- comprendre le mieux possible la réalité physique du problème et de permettre la détermination des champs de déplacements et de contraintes dans les diverses couches,
- mettre en évidence l'influence de l'épaisseur des couches d'assise et de la qualité du soi de la plate-forme sur le comportement du système,
- étudier l'influence du type de traverses utilisé.

3.2 Modélisation de la structure

3.2.1 Description géométrique du modèle

Le modèle comprend:

- Le rail : la méthode des éléments finis permet d'obtenir une modélisation assez fine du rail, néanmoins, vu les dimensions des divers éléments de la modélisation de la structure et pour des raisons d'homogénéité, il est pratiquement impossible de retenir un maillage si fin pour le rail. Cette raison nous a conduit à modéliser le rail par une section rectangulaire présentant la même inertie que celle du rail réel (fig 2).
- La semelle en caoutchouc interposée entre le rail et la traverse est utilisée pour assurer une liaison élastique permanente entre ces derniers et améliorer l'élasticité de la voie.

A. MANSOURI
IGC - USTORAN
M. BENSATI
IGC - USTORAN

RÉSUMÉ

Le présent article est une synthèse des études de modélisation effectuées sur des structures d'assise ferroviaire par la méthode des éléments finis (MEF) en système volumique. L'outil d'analyse numérique est un logiciel intitulé MAGE ayant permis de mettre au point l'influence de l'épaisseur des couches d'assise, des caractéristiques mécaniques de la plate-forme et du type de traverses utilisé.

MOTS CLÉS

Voie ferrée - structure d'assise - ballast - grave - traverse - éléments finis (méthode) - logiciel MAGE.

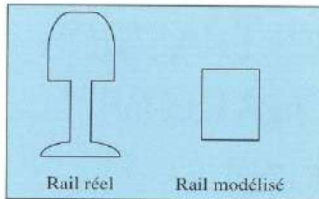


figure 2- Modélisation du rail

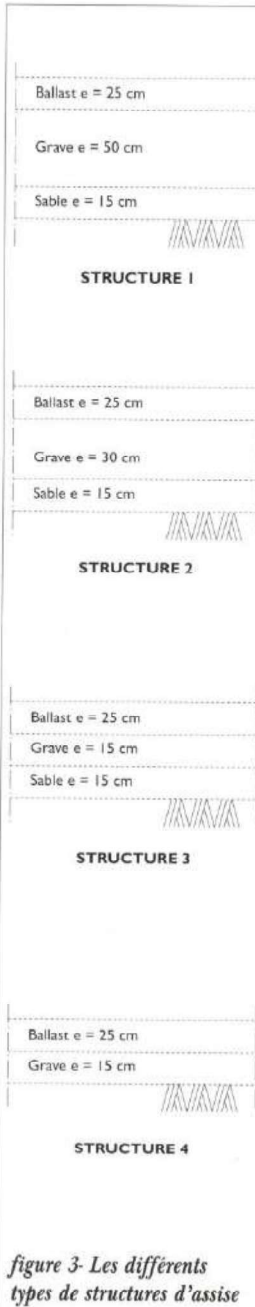


figure 3- Les différents types de structures d'assise

Deux types de semelle sont utilisés:

- semelle d'une épaisseur de 9 mm utilisée surtout pour les traverses en béton;
- semelle d'une épaisseur de 4, 5 mm réservée aux traverses en bois.

• La traverse sous charge et, de part et d'autre de celle-ci, quatre traverses successives. Nous

avons effectué ce choix car les résultats des différents essais réalisés antérieurement par l'ORE [3] ont montré que les phénomènes se manifestent jusqu'à la quatrième traverse adjacente.

Les différentes couches d'assise (ballast, grave, sable) prises en compte dans la modélisation sont reprises de la fiche UIC 714 [6]; leurs épaisseurs (fig.3) résultent d'un modèle de calcul élaboré à l'aide d'observations faites en voie [5].

• La plate-forme: quatre types de plate-formes ont été étudiés:

- Plate-forme P1 constituée d'un sol dit QS 1 de mauvaise qualité
- Plate-forme P2 constituée d'un sol dit QS2 de qualité moyenne
- Plate-forme P3 constituée d'un sol dit QS3 de bonne qualité
- Plate-forme rocheuse
- La charge nominale de 20 t/essieu

3.2.2 Maillage et conditions aux limites

Pour des raisons de symétrie par rapport aux plans (x, z) et (y, z), l'étude se réduit au quart du modèle (fig.4). Notre maillage comporte 432 éléments à huit nœuds et 1240 nœuds (soit 3384 degrés de libertés). Les conditions aux limites se présentent sous deux formes:

- Conditions de déplacements imposées à cause de la symétrie :
 - symétrie par rapport au plan (y, z), pour tout point d'abscisse $x=0$ on impose $u=0$
 - Symétrie par rapport au plan (x, z), pour tout

point $y=0$ on impose $v=0$

- Conditions de déplacements imposées aux limites du modèle :

- pour $x=0$ et $x=4,259$ on impose $u=0$
- pour $y=0$ et $y=2,545$ on impose $v=0$
- pour $z=0$ on impose $w=0$

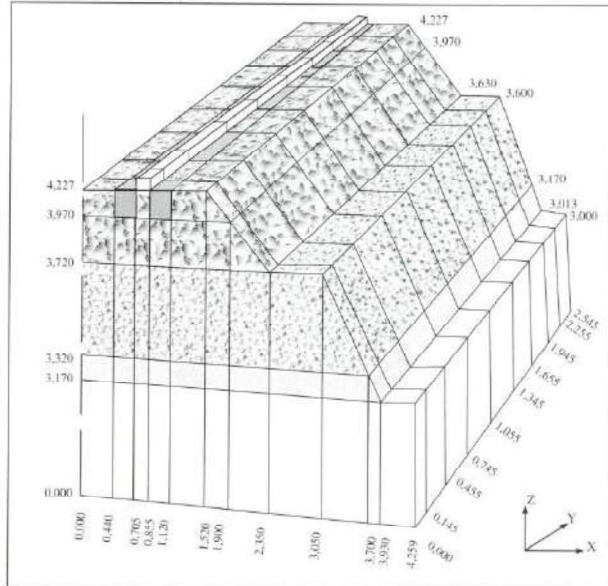


Figure 4: Maillage volumique du modèle

3.2.3 Caractéristiques mécaniques des matériaux

Les valeurs des caractéristiques mécaniques retenues pour les calculs ont été déterminées à partir des résultats des essais triaxiaux effectués par l'ORE [3] [4]. Les valeurs sont indiquées dans les tableaux 1 et 2.

4. RÉSULTATS

La charge transmise par la roue sur le rail est assimilée à une force ponctuelle; en effet, lorsqu'on applique la théorie de Hertz, le contact roue-rail s'exerce sur une surface elliptique dont les longueurs d'axes sont très petites, de l'ordre de 10 mm.

Matériaux	E(Mpa)	V	c (Mpa)	$\phi(^{\circ})$
Ballast	110	0,2	0	45
Grave	200	0,3	0	35
Sable	100	0,3	0	30
Sol QS1	12,5	0,4	15	10
Sol QS2	25	0,3	10	20
Sol QS3	80	0,3	0	35
Roche	3000	0,2	1500	30

Matériaux	E(Mpa)	ν	R_t (Mpa)	R_c (Mpa)
Traverse:				
• Bibloc en béton armé	$30 \cdot 10^3$	0.25	3	30
• Béton précontraint	$50 \cdot 10^3$	0.25	6	9
• Bois	$25 \cdot 10^3$	0.25	10	100
Rail	$2 \cdot 10^5$	0.30	700	600

◀ **Tableau 1- Caractéristiques mécaniques des matériaux**

▲ **Tableau 2- Caractéristiques mécaniques des traverses et rail**

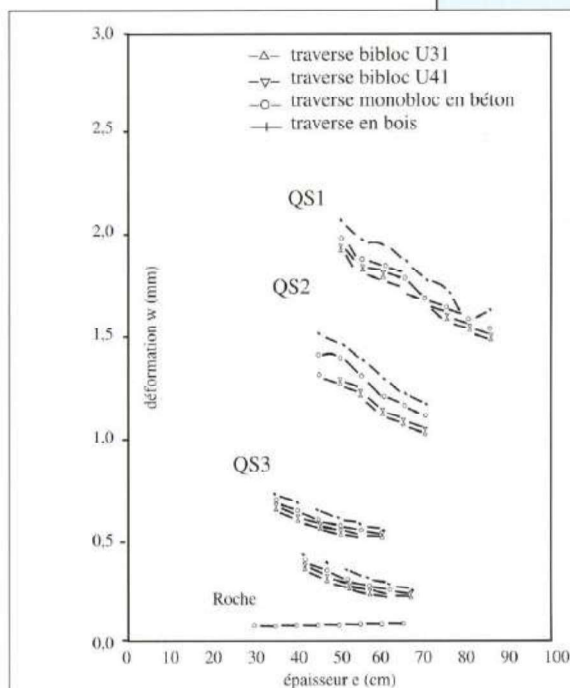
Les calculs effectués à l'aide du logiciel *Mage* ont permis de tirer les conclusions suivantes :

4.1 Déformations (Graphe 1 et 2)

Nous constatons d'abord que la qualité du sol de la plate-forme est bien le facteur prédominant pour les déformations. Pour les trois types de traverses en béton, le calcul a donné des valeurs de déformation très voisines (pour un même type de plate-forme et pour une même épaisseur des couches d'assise). Nous en déduisons donc que les paramètres prépondérants pour le calcul des déformations dans le cas d'une traverse en béton sont la qualité du sol de la plate-forme et l'épaisseur des couches d'assise, le type de traverses étant secondaire.

Dans le cas de la traverse en bois, nous constatons que celle-ci provoque des déformations plus importantes que les traverses en béton au niveau de la plate-forme et de la traverse. Ceci résulte de la plus grande flexibilité des traverses en bois. Par contre, le phénomène est contrebalancé au niveau des rails par la plus faible souplesse des semelles utilisées avec les traverses en bois.

Nous observons, enfin, que lorsque l'épaisseur des couches d'assise augmente, les courbes qui correspondent aux divers types de traverse ont tendance à se rapprocher.

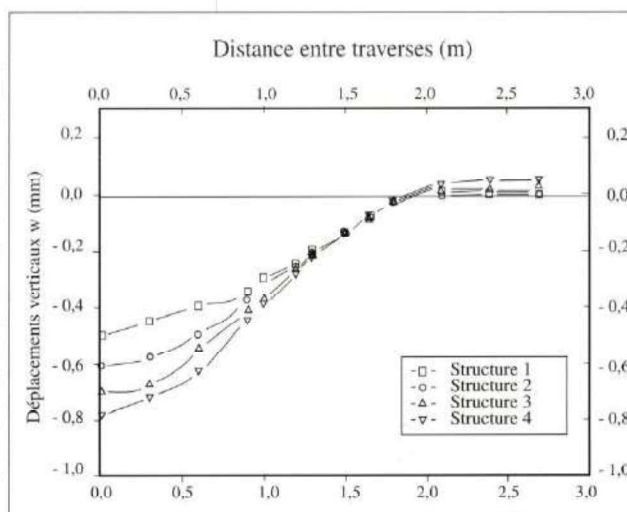


Graphe 1. Enfoncement de la structure d'assise pour divers types de traverses

4.2 Contraintes (Graphe 3)

L'étude comparative des divers paramètres permet de constater que:

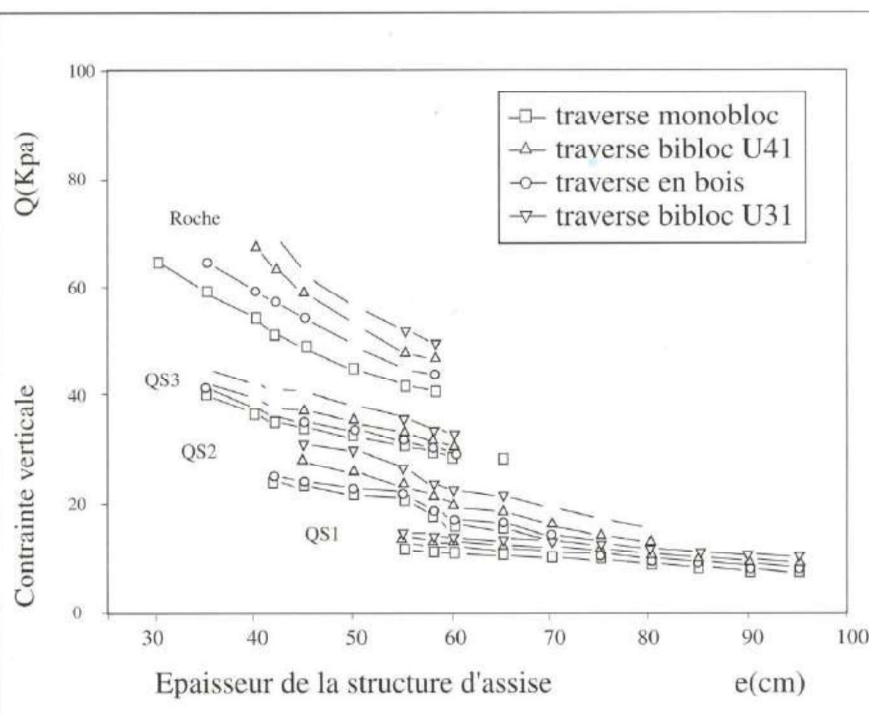
- Pour les traverses en béton, le paramètre longueur de traverse présente une certaine importance,
- La traverse en bois (d'une longueur de 2.60 m) présente sur les plates-formes QS 1 et QS2 une sollicitation identique à celle d'une traverse monobloc en béton d'une longueur de 2.50 m



Graphe 2. Déplacements verticaux. Coupe longitudinale

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALIAS. J - La voie ferrée - Eyrolles 1984.
 [2] MANSOURI. A - Comportement des structures d'assise ferroviaire sous l'effet des charges roulantes - Modélisation Mathématique -Thèse de Magister, USTO Mars 1996.
 [3] O.R.E. D71 - Sollicitations de la voie, du Ballast et de la plate-forme sous l'action des charges roulantes - Revue générale des chemins de Fer (R.G.C.F) - Mai 1973.
 [4] O.R.E. DI 17 - RP N°5 - Déformations d'un Ballast de voie sous charges répétées - Octobre 1974.
 [5] SAUVAGE. R, RICHEL. G - Les couches d'assise de la voie ferrée - R.G.C.F., Décembre 1978.
 [6] U.I.C. Fiche 719R - Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires - 1980.



Graphie 3. Contrainte verticale pour les divers types de traverses

- L'influence de la longueur et de la nature de la traverse est beaucoup plus sensible sur les contraintes qu'elle ne l'est sur les déformations,
 - Enfin, nous constatons que la qualité du sol est aussi un facteur important.

4.3 Transmission de la charge appliquée

L'examen de la transmission de la charge appliquée sur la traverse sous charge et les traverses adjacentes nous a permis de déduire ce qui suit:

- Quel que soit le type de traverse, l'influence de la qualité du sol sur la transmission de la charge est secondaire;
- Nous observons, par ailleurs, que la charge appliquée au droit d'une traverse est supportée par cette traverse sous charge et de part et d'autre de celle-ci par les deux traverses adjacentes. Au-delà de la deuxième traverse adjacente, nous constatons une réaction quasi-nulle et de légères contraintes de traction apparaissent.

5 CONCLUSION

Notre étude nous a permis d'approfondir les divers aspects du comportement mécanique du système complet *voie ferrée-fondation*.

Nous avons montré que la rigidité verticale de la voie, qui dépend surtout de la qualité du sol, quelle que soit l'épaisseur des couches d'assise, est plus importante sur une plate-forme rocheuse que sur une plate-forme argileuse.

La bonne performance de la voie dépend principalement de deux facteurs:

- d'une part d'une souplesse suffisante, influant sur la tenue du matériel de la voie ainsi que sur la fatigue du matériel roulant et par conséquent sur le confort des voyageurs,
- d'autre part, d'une bonne transmission à la plate-forme des efforts appliqués, par l'intermédiaire d'un matelas répartiteur constitué par les couches d'assise et la couche de forme, et minimisant, tant que faire se peut, les effets de dégradation de la voie.

Enfin, les connaissances scientifiques et les moyens technologiques évoluant jour par jour, il serait judicieux de poursuivre et intensifier les recherches entreprises, afin d'adapter encore mieux la voie ferrée aux besoins de notre époque et aux exigences de l'avenir ■