

POSE DE LA VOIE SUR LA LIGNE À GRANDE VITESSE "TGV RHÔNE ALPES"

Michel Leroy - Ingénieur Principal

Chargé de la réalisation des travaux de voie ferrée du TGV Rhône Alpes

ABSTRACT

This document discusses:

- The geometric characteristics of the Rhone-Alpes TGV Line and the means used to achieve the objectives.
- The method employed to build 1000m of single track per day. This method consisted of the use of 18m prefabricated track elements to build a temporary track, along which final track elements were transported.
- The vérification carried out after construction to ensure optimum levels of safety and comfort for the TGV service.



1. INTRODUCTION

La ligne nouvelle T.G.V. R.A. est un maillon du T.G.V. S.E. qui avant l'an 2000 devrait permettre de relier PARIS à MARSEILLE ou MONTPELLIER en 3 heures.

Le T.G.V. R.A. a pu bénéficier pour sa construction de l'expérience des T.G.V.

S.E. et Atlantique.

Dans l'exposé qui suit, je vous parlerai d'abord de la géométrie de la voie, puis en m'appuyant sur une cassette vidéo réalisée par l'entreprise T.S.O., je vous montrerai comment a été construite la voie du T.G.V. R.A.

Enfin, je vous parlerai des contrôles effectués avant la mise en service commercial de cette ligne nouvelle.

2. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA LIGNE A GRANDE VITESSE T.G.V. RHONE ALPES

2.1 Vitesses de référence

La gamme des vitesses de référence appliquées à cette ligne est la suivante : 230, 270, 300 et 320 km/h. Les rames actuelles ne circulent qu'à 270 km/h (rames sud-est oranges) ou 300 km/h rames réseau. Les futures rames à 2 étages devraient pouvoir circuler à 320 km/h.

2.2 Entr'axe entre V1 et V2

Les T.G.V. S.E. et Atlantique ont un entr'axe de 4,20 m, les lignes classiques de 3,60 m, le T.G.V. RHONE ALPES et le T.G.V. Nord ont un entr'axe de 4,50 m.

2.3 Tracé en plan

Caractéristiques des courbes valeurs limites

Valeurs limites

Vitesse (km/h)	Rayon en plan (m)	
	Nominal	Minimal
230	2500	2173
270	5000	3250
300	6000	4000
320	6000	5000

Dévers de la voie

On distingue le divers d'équilibre DV et le dévers pratique D.

Le dévers d'équilibre compense l'effet de la force centrifuge. Il est donné par la formule :

$$DV = 11,8 \frac{V^2}{R}$$

Dans laquelle :

- le dévers DV est exprimé en mm,
- la vitesse V est exprimée en km/h,
- le rayon R est exprimé en m.

Le dévers pratique appliqué à la voie est donné par la formule :

$$D^{mm} = K/R(m) \text{ ce dévers est limité à } 180 \text{ mm.}$$

dans laquelle K représente un coefficient de divers fonction de la vitesse.

V (km/h)	K
230	390 000
270	576 000
300	720 000
300 (*)	900 000

Raccordement de tracé :

Les raccordements de tracé entre alignement et courbe ou entre courbes successives, de même sens ou de sens contraire, sont réalisés au moyen de raccordements à courbure progressive (RP) sur lesquels s'effectue la variation de

dévers de la voie.

La variation de dévers s'exprime par la formule

$$i = \frac{D}{L}$$

- i représente la variation de dévers, en mm/m,

$i \leq 0,56$ mm/m si $V = 320$

$i \leq 0,6$ mm/m si $V = 300$

$i \leq 1$ mm/m si $V = 160$

- D le dévers appliqué à la voie, en mm,

- L la longueur du RP, en m est un multiple de 10 m.

La longueur des raccordements est déterminée par la formule ci-après :

$$L = K/R(m) \times i$$

Longueur minimale des éléments géométriques (alignements, courbes).

La longueur minimale d'une pleine courbe, d'un alignement situé entre 2 courbes de même sens ou de sens contraire est égale à :

$L \text{ en m} = V/2$ si $V < 300$ km/h

et à $L \text{ en m} = 300$ si $V \geq 300$ km/h.

2.4 Profil en long

La déclivité maximale est de 35 mm/m en pleine ligne; elle est nulle dans les gares et sur les voies d'évitement.

Courbes de raccordement en profil en long

Pour les vitesses de référence $V 230 - V 270 - V 300 - 320$ il convient d'introduire une courbe circulaire de raccordement de profil en long entre deux déclivités lorsque la valeur absolue de leur différence algébrique est > 1 mm/m.

La gamme des courbes à appliquer, en bosse ou en creux, en fonction de la vitesse de référence, correspond aux valeurs suivantes :

Vitesse de référence km/h	Courbe de raccordement en bosse ou en creux	
	Conseillée	Minimal normal
230	16 000 m	10 000 m
270	25 000 m	13 000 m
300	25 000 m	16 000 m
320	25 000 m	21 000 m

La courbure maximale utilisée est de 40 000 m.

La développée du rayon de raccordement doit être, chaque fois que cela est possible, supérieure à 100 m. Entre deux raccordements successifs, il doit être aménagé une déclivité constante de 150 m environ.

2.5 Appareils de voie

Les appareils de voie installés sur le T.G.V. R.A. sont construits à partir de rails UIC 60 kg et posés sur traverses bois ou béton. Ils sont définis par la tangente de l'angle de déviation. Les plus longs de tg 0,0154 ont un rayon la voie déviée de 7 350 m minimum et une longueur approximative de 220 m. Ils sont parcourus à 230 km/h sur la voie déviée. Les plus courants, utilisés dans tous les postes de change-

ment de voie et pour les entrées sur les voies à quai des gares sont des tg 0,0128, rayon minimum 3 550 m longueur environ 160 m et vitesse sur la déviée 170 km/h. Il existe également des appareils de tg 0,0654 pour les entrées sur voies d'évitement ou voies de service à 80 km/h. Tous les appareils situés sur les voies directes sont parcourus à la vitesse de la ligne sur la voie directe. Ils sont posés en plan et en alignement. Ils sont précédés et suivis d'un alignement d'une longueur minimale de 100 m sans raccord de déclivité.

2.6 Travaux topographiques nécessaires à la pose de voie

2.6.1 Implantation des points d'axe

Les points d'axe sont implantés dans l'axe de l'entre voie à partir du canevas de base fourni par la S.N.C.F. La liste des coordonnées des points d'axe tous les 20 m et des points caractéristiques du tracé, origines et fins de raccordements, pointes, talons et centres géométriques des appareils avec leur position kilométriques sont également fournis par la S.N.C.F. et sont implantés soit par la S.N.C.F. pour les points principaux, (points d'axe tous les 200 m, origines et fins de raccordement et implantation des appareils) soit par un géomètre de l'entreprise de pose de voie pour les autres points appelés points secondaires.

2.6.2 Rejets

Les points d'axe sont rapidement couverts par le ballast. Avant pose de la voie ils sont donc reportés en dehors de la zone ballast et appelés rejets. Ces rejets sont nivelés par double détermination et sont utilisés jusqu'à la mise à niveau définitif de la voie à la fois pour positionner avec précision la voie à la pose en dressage, mais aussi à chaque relevage, pour vérifier son altitude.

2.6.3 Régularisation des courbes

Les piquets de rejet sont utilisés pour le dressage de la voie jusqu'à l'avant dernière passe de relevage. A l'avant dernière passe la voie doit être à ± 1 cm de sa position théorique. Afin d'améliorer la qualité du dressage, les courbes sont régularisées par la méthode des flèches.

Depuis la construction du T.G.V. Atlantique, la S.N.C.F. associée aux entreprises Framafra et T.S.O. a mis au point un système de relevé automatique de flèches relié à un ordinateur et monté directement sur la bourreuse. Le relevé est fait par passage de la bourreuse à 30 km/h avant travail. Le listing de flèches à réaliser recalculé par l'ordinateur est soumis par l'entrepreneur à un agent qualifié de la S.N.C.F. présent à bord de la bourreuse. Si la proposition est jugée satisfaisante l'entrepreneur est autorisé à réaliser le travail. Si le travail réalisé est conforme au projet proposé à l'agent S.N.C.F., le travail est accepté.

La variation de flèche sur 20 m, relevée tous les 10 m ne doit pas excéder 0,5 mm.

2.7 Défauts courts

Les défauts géométriques courts ne sont pas ressentis par les passagers, mais ils provoquent une dégradation rapide du nivellement et du matériel. Les défauts courts sont dus à des patinages de trains de travaux pendant la construction ou à des écrasements de ballast pendant les circulations d'essais à grande vitesse (330 à 350 km/h).

Pour éliminer ces défauts une campagne systématique

de meulage SPENO est réalisée après rechargement à l'arc des plus gros défauts.

3. METHODE DE POSE

3.1 Montage de la voie

La méthode de pose utilisée sur le T.G.V. R.A. consiste à mettre en place une voie provisoire, de 6 à 7 km, composée de longueurs montées de 18 m à l'aide d'une poutre.

Cette poutre prend les longueurs montées sur une rame d'approvisionnement située à l'arrière, elle les transfère à l'avant et les pose devant elle, ces longueurs sont éclissées entre elles, ensuite la poutre avance sur la nouvelle longueur et recommence la même opération. Cette opération permet de poser plus de 1 000 m de voie provisoire chaque jour.

Cette voie provisoire est utilisée : pour approvisionner les rails définitifs en longueurs de 288 ou 396 m. Les rames d'approvisionnement peuvent comporter jusqu'à 42 barres de 396 m soit plus de 16 km de rails ou 4 km de double voie. La voie provisoire est également utilisée pour approvisionner les traverses et ramasser les longueurs de voie provisoire de la manière suivante :

Chaque jour un train chargé de 1 800 traverses béton pénètre sur la voie provisoire le long de laquelle les rails définitifs ont été déchargés. Deux portiques enjambent le train de traverses pour enlever les longueurs de voie provisoire et les charger sur des wagons vides. Au retour ils prennent chacun 30 traverses et vont les placer à la place des longueurs montées déposées. Le menu matériel est déchargé lors du déchargement des rails définitifs. Dès que tous les matériaux de la voie définitive sont en place, l'opération de montage commence, et ainsi chaque jour environ 1 000 m de voie sont montés. En fin de journée la voie définitive est raccordée à la voie provisoire, le train vide de traverse et plein de longueurs de voie provisoire est rentré à la base et les longueurs sont transférées de nuit sur le train de pose de longueurs montées à mettre en place le lendemain.

3.2 Relevage

Cette opération consiste à relever la voie en six passes à l'aide de bourreuses dresseuses lourdes.

Chaque passe de relevage est précédée d'un déchargement de ballast. Il faut 4 500 t de ballast pour avoir un minimum de 35 cm de ballast sous les traverses. A chaque passe la quantité de ballast mise en œuvre et la capacité des bourreuses ne permettent pas de lever la voie de plus de 8 cm. En alignement et compte tenu de la pente de la sous-couche (4 %) la voie est posée avant relevage avec un dévers de 60 mm ($150 \text{ cm} \times 0,04 = 6 \text{ cm} = 60 \text{ mm}$) ce qui fait que six relevages sont nécessaires pour amener la voie à son altitude théorique avec une tolérance de +0 -2 cm sur la file basse et au dévers calculé avec une tolérance +0 -4 mm.

Au cours de ces opérations de relevage on stabilise la voie à l'aide d'un stabilisateur après la 2ème et la 5ème passe de relevage (cas général) en tout état de cause avant la libération. (Le stabilisateur vieillit artificiellement la voie et augmente sa résistance transversale).

3.3 Libération

Les longs rails soudés subissent des variations de température importantes. La température des rails peut atteindre 60°. Pour éviter une déformation de la voie du fait des contraintes thermiques provoquées par cette élévation de température, on règle les rails à une température d'équilibre comprise entre 25 et 32°.

Les rails sont désolidarisés des traverses, mis sur rouleaux, une coupe est réalisée au milieu d'une longueur de 1 200 m de toute contrainte et en fonction de la température ambiante, on calcule l'allongement à donner aux rails pour les amener à leur longueur théorique à la température de 25°.

A l'aide de vérins hydrauliques on allonge les rails et on les soude par aluminothermie.

3.4 Finitions

Après avoir réalisé cette libération on fait à l'aide d'une bourreuse, un nivellement et un dressage de finition appelé nivellement complémentaire. Cette opération a lieu avant le meulage SPENO.

3.5 Montage des appareils de voie

Le montage de la voie est fait de manière continue, y compris à la place des appareils afin de ne pas perturber sa cadence d'avancement.

Les appareils sont posés dès que la voie est terminée dans la zone où se trouvent les appareils.

A la place des appareils, la voie est déposée, le ballast régalez et les appareils montés avec beaucoup de précautions afin de leur donner une géométrie parfaite dès la pose. Cette géométrie sera facilement conservée si elle est de bonne qualité et difficilement améliorée si elle est de mauvaise qualité à la pose.

Après montage et soudure, les appareils sont relevés comme la voie courante à l'aide de bourreuses dresseuses lourdes pour appareils de voie. La géométrie est contrôlée comme pour la voie courante en apportant beaucoup de soins au parallélisme des deux voies et à la valeur de l'entraxe de 4,50 m dans les zones d'appareils en communication V1-V2. Les appareils sont comme la voie courante mis en équilibre thermique à une température de référence comprise entre 25 et 32°.

4. VERIFICATIONS DE LA GEOMETRIE

L'entreprise de pose de voie est chargée d'assurer tout au long du chantier le contrôle de la réalisation des travaux aussi bien au niveau de la qualité de la prestation (non détérioration des rails, traverses, attaches, vérification du serrage au couple prescrit, etc ...) que, du respect des tolérances prescrites dans le cahier des charges.

Chaque jour l'entreprise établit systématiquement des fiches de contrôle, ces fiches sont vérifiées par sondage par la S.N.C.F. Le chantier est arrêté si les fiches ne sont pas fournies ou si les indications portées ne sont pas conformes aux spécifications.

Les bourreuses sont équipées d'enregistreurs qui indiquent, la qualité du travail effectués (gauches, dévers, etc) et pour la dernière passe de relevage, les flèches obtenues après bourrage dressage.

Malgré ces divers contrôles la S.N.C.F. fait passer chaque mois une voiture d'enregistrement de la géométrie de la voie. Cette voiture appelée voiture MAUZIN donne les défauts de nivellement et dressage en vraie grandeur de chaque file de rail, l'écartement de la voie, les écarts de dévers et les gauches. La base de mesure du nivellement et du dressage est de 14,5 m.

Avant mise en service commercial, une campagne de mesures d'accélération transversales de caisses et de bogie est faite en faisant circuler à vitesse croissante une rame T.G.V. spécialement équipée pour effectuer ces mesures et circuler à des vitesses très supérieures aux vitesses commerciales.

5. CONCLUSION

Je vous rappelle que sur le T.G.V. A, ces montées en vitesse nous ont permis d'atteindre 482,4 km/h en Décembre 1989 et 515,3 km/h en Mai 1990. Dans ces deux cas les accélérations transversales de caisses et bogies sont restées dans les limites fixées pour les trains classiques. Sur le T.G.V. A nous disposions de 40 km de voie avec des courbes de 12 500 m et 15 000 m de rayon. Sur le T.G.V. R.A. les courbes avaient des rayons de 4 000 m dans la partie nord et 6 000 m dans la partie Sud, ce qui a limité la vitesse de nos essais à 335 km/h dans les courbes de 4 000 m et 360 km/h dans les courbes de 6 000 m de rayon.

Le résultat des mesures d'accélération à ces vitesses nous a montré que l'on pouvait circuler sans risque aux vitesses commerciales envisagées : 300 km/h dans la partie Nord et 320 km/h dans la partie Sud dès que les rames seront aptes à cette vitesse.

VUES AERIENNES METRIQUES

Toutes échelles - Toutes émulsions : pour toutes applications

— Vues aériennes panoramiques —

Tous travaux photographiques de précision liés à la cartographie :
Agrandissement, réduction, modification, assemblage de plans - tous formats - tous supports.



AU SERVICE DES AMENAGEURS

670, rue Jean Perrin - Z.I. - 13851 AIX EN PROVENCE CEDEX 03

Téléphone : 42.60.05.45 - Télécopie : 42.24.26.04