

2160

## LA VSB STEDEF

### PRESENTATION

#### Raison d'être de la VSB

VSB est l'abréviation de VOIE SANS BALLAST.

C'est presque exclusivement dans les Chemins de Fer Métropolitains qu'on a cherché en premier lieu, à poser la voie sur le radier des tunnels urbains.

Ce système de pose directe présente l'intérêt de supprimer le ballast et l'entretien correspondant de la voie, particulièrement coûteux et malaisé en tunnel et en régime de trafic intense. Il doit amortir les vibrations pour sauvegarder l'intégrité du support, la sécurité des constructions voisines et la tranquillité des riverains.

D'autres avantages découlent de la pose sans ballast : entre autres, la section plus réduite des tunnels à construire, d'où une économie substantielle de construction, ou l'accroissement du gabarit haut des anciens, la collecte plus facile des eaux d'infiltration, la surveillance plus aisée des œuvres basses, la facilité de remplacement des différents éléments en cas de déraillement, etc... Aussi, intéresse-t-elle aujourd'hui la plupart des Grands Réseaux Nationaux.

C'est en 1964 que notre conception nouvelle de voie sans ballast a vu le jour.

#### Principe

Ce système fait appel aux traverses béton blocs avec fixations élastiques telles que crapauds Nabla, crapauds RN, attaches AP. La semelle en caoutchouc cannelée interposée entre le rail et le blochet en béton étant la même que celle existant en voie ballastée classique ; ce système est en effet suffisamment éprouvé pour l'amortissement des fréquences élevées affectant le rail.

L'absorption des fréquences plus basses est réalisée quant à elle à la base des traverses par un coussin pneumatique constitué par une plaque en élastomère à structure cellulaire fermée (minuscules bulles gonflées d'azote).

C'est cette semelle microcellulaire sous traverse qui joue le rôle du ballast.

L'intérêt de cette solution réside dans la capture sélective des deux ordres de fréquences nocives aux étages mêmes où ils se manifestent et avec les moyens élastiques appropriés à chacun d'eux.

L'intérêt est également d'avoir conservé le principe d'une masse (celle de la traverse en béton) encadrée par 2 étages élastiques.

Il serait en effet illusoire de penser pouvoir assurer avec une seule semelle à la fois :

- . la filtration des hautes fréquences
- . la filtration des basses fréquences
- . la souplesse de la voie

tout en restant en plus compatible avec le système d'attachments choisi.

### Simplicité du système

Le principe classique de la voie ferrée avec utilisation de traverses régulièrement espacées est maintenu. Il est très rassurant à cet égard de retrouver ainsi un schéma simple, ayant fait ses preuves.

La semelle microcellulaire est placée entre le dessous de chaque blochet et un chausson en forme d'auge destiné à venir s'adapter au-dessous du blochet. Ce chausson peut être maintenu par des bracelets au blochet.

Ce chausson muni de sa semelle microcellulaire se pose en quelques secondes, très facilement et sans collage. Les traverses peuvent ainsi être pré-équipées.

Vous trouverez en annexe 1 et 2 le dessin d'une pose VSB et la perspective en éclaté d'un blochet VSB équipé de son chausson et de sa semelle microcellulaire.

### **VALEURS NUMERIQUES ET ESSAIS REALISES**

#### Semelles microcellulaires

Le modèle le plus courant a pour dimension :

longueur	:	660 mm.
largeur	:	230 mm.
épaisseur	:	12 mm.

Il existe d'autres modèles, notamment pour blochets allongés devant supporter un isolateur. La nature du caoutchouc utilisé, son épaisseur (12 mm.) ainsi que sa densité (entre 0,6 et 0,9 selon les utilisations) permettent d'obtenir les caractéristiques souhaitables de raideur et d'amortissement.

Pour le modèle destiné à un trafic type métro la raideur quasi statique est d'environ 1,3 tonnes par mm. d'écrasement de la plaque entière et ce en faisant l'essai avec un effort vertical variant de 1 à 6 tonnes. (pour obtenir une variation d'effort de 6 - 1 = 5 tonnes correspondant sensiblement au passage d'une roue d'environ 10 à 12 tonnes).

La raideur dynamique moyenne de cette même plaque microcellulaire est d'environ 1,9 tonnes par mm. d'écrasement. La rigidité entre 1 tonne et 6 tonnes varie très peu avec la fréquence quand celle-ci reste comprise entre 250 et 600 cycles/minute.

Il existe une spécification technique STEDEF précise concernant le contrôle de ces semelles microcellulaires (avec notamment le contrôle de paramètre comme la géométrie, l'étanchéité, la mesure d'enfoncement lent et de perte d'élasticité, la rigidité).

#### Chausson enveloppe

En forme d'auge il est pourvu d'un fond lisse de 5 mm. d'épaisseur. Sa hauteur est généralement de 100 mm. Les 4 flancs sont pourvus de cannelures permettant de donner une certaine élasticité vis à vis des efforts transversaux et longitudinaux.

En ce qui concerne le chausson la spécification technique STEDEF impose également certaines valeurs en ce qui concerne les tolérances, la dureté, la résistance à la rupture et l'allongement (avant et après vieillissement accéléré) et la teneur en cendres.

Toutes ces précautions ont également concourru au succès de la VSB STEDEF. A PARIS sur la ligne A du RER du côté de la DEFENSE il existe un tronçon en courbe de 700 m. de rayon équipé en pose VSB STEDEF depuis 1970. Les semelles microcellulaires et les chaussons, toujours d'origine, ont accumulé à ce jour 507 millions de tonnes. Un contrôle de ces semelles et chaussons en 1984 n'a donné lieu à aucune anomalie ni dérive de qualité.

Vous trouverez ci-joint en annexe 3. une coupe transversale du chausson avec au fond la semelle microcellulaire de 12 mm. d'épaisseur.

#### Essais réalisés

Cette solution simple qu'est la VSB a fait l'objet d'une étude poussée en laboratoire pour le compte de l'office européen de recherches et d'essais [comité ORE D87].

Ces essais ont comporté les étapes suivantes :

- élasticité verticale des semelles seules en statique et en dynamique
- alternance d'essais statiques et de fatigue sur pulsateur, sur traverse VSB complète.

Pour les essais de fatigue sur pulsateur la force 2R appliquée verticalement sur la traverse variait entre 1 tonne et 15 t. à une fréquence de 250 cycles minute. L'inclinaison des bielles avait été choisie pour avoir un rapport  $\frac{S}{R} = 0,5$

R

- contraintes dans l'entretoise
- variation du serrage des attaches (il s'agissait de crapauds RN).

Vous trouverez à titre d'exemple ci-joint en annexe [4 à 6] :

- la représentation schématique du pulsateur
- les mesures de surécartement sous effort oblique
- les mesures d'enfoncement du blochet.

#### Bruits et vibrations

Des comparaisons ont été effectuées par les Services Techniques de la RATP pour comparer la VSB STEDEF avec la voie classique sur ballast. Vous trouverez en annexe 7. le résultat de ces mesures.

## INTERET POUR LA POSE

- L'avantage principal de la VSB à la pose réside dans sa simplicité et dans les tolérances de pose que l'on peut obtenir directement et sans retouches.

En effet ce sont les rails qui servent de référence dès le départ pour caler parfaitement la voie en nivellation, dressage et écartement. Le calage des traverses définitif par bétonnage n'est fait qu'après ; les systèmes basés sur le principe inverse ne peuvent conduire qu'à des retouches.

Le principe de pose est le suivant :

La fondation est établie en réservant des alvéoles ou de préférence des saignées dans lesquelles viendront se loger les blocs en béton des traverses, mais sans qu'aucune précision particulière soit recherchée.

Les chaussons sont alors enfilés sur la base des blochets en béton de la traverse et maintenus en place à l'aide de 2 colliers en caoutchouc fournis avec les chaussons.

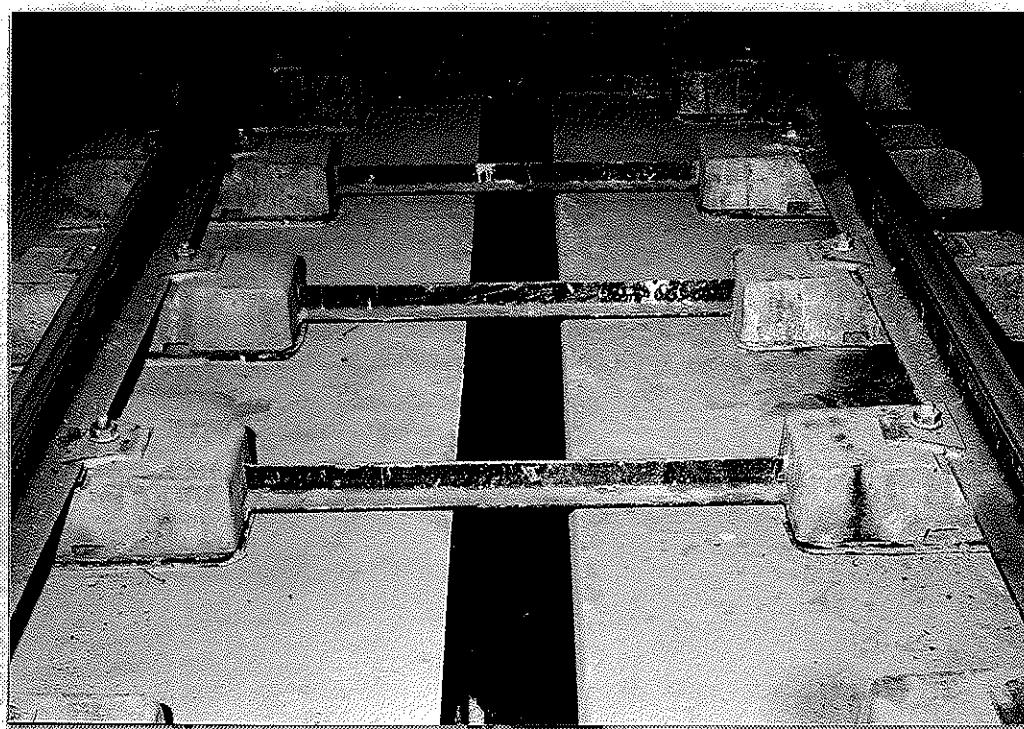
Les rails sont ensuite mis en place et fixés aux traverses par leurs attaches correctement serrées. La voie est alors réglée avec précision en plan et en profil et maintenue provisoirement dans cette position, à l'aide de cales prenant appui sur la fondation ou sur les piédroits du souterrain.

On injecte ensuite sous les blocs, un mortier de remplissage constitué par des éléments de petit module et relativement liquide pour combler aisément le vide entre le chausson et le radier.

La résistance transversale et longitudinale de la voie est très amplement assurée par le calage des bas de blochets des traverses dans leurs alvéoles (profondeur 80 à 90 mm, environ).

Les mouvements du blochet sous l'effet du passage des essieux ne provoquent pas d'usure des alvéoles en béton compte tenu de l'interposition du chausson dont les parois latérales nervurées assurent à la fois une élasticité en compression et en cisaillement.





#### Corrections ultérieures :

Si il s'avérait nécessaire de corriger ultérieurement la géométrie de la voie cela resterait toujours possible :

- en latéral en jouant sur les numéros de butée Nabla ou de crapauds RN ou de butée AP,
  - en vertical moyennant l'utilisation de cales ou en rebétonnant ; toutefois nous n'avons jamais eu connaissance qu'un réseau ait été obligé de recourir à ces opérations.
- Un autre intérêt pour la pose et pour l'utilisation est de pouvoir faire des opérations telles que passage transversal de câbles ou soudure de rail sans avoir ni à casser le radier ni à soulever la voie.

## INTERET POUR L'UTILISATEUR

Outre la perfection géométrique liée à la simplicité de pose et au fait que l'on adapte le radier à la géométrie de voie désirée et non l'inverse on peut citer :

- l'absence d'entretien
- le remplacement très facile des éléments si nécessaire (par exemple en cas de déraillement).
- le faible encombrement
- la régularité des caractéristiques de la voie notamment son élasticité verticale et transversale qui sont des éléments importants dans la répartition des efforts.
- son niveau de vibration plus faible qu'en voie ballastée
- sa longévité
- sa très bonne isolation électrique.

Ce dernier point est un plus indéniable d'autant que malgré les systèmes de drainage il existe toujours par infiltrations ou ruissellement une humidité relative sensible dans la majorité des tunnels.

- et enfin le fait d'avoir désacouplé la voie du radier (les blocs reposent dans leurs alvéoles par gravité) évite de provoquer une fissuration de ce dernier comme cela arrive parfois dans certaines voies sur dalle.

Signalons aussi au passage qu'il reste possible de supprimer les entretoises des traverses blocs après coup dans certaines zones en alignement moyennant quelques précautions.

## REFERENCES

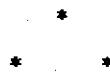
La première pose remonte à 1966 au BOTZBERG en SUISSE. Depuis les poses en VSB STEDEF n'ont cessé de se multiplier et à ce jour on en est à 220 kms de voie VSB STEDEF en service dans le monde plus 60 kms en cours de construction.

La liste des références comprend aussi bien :

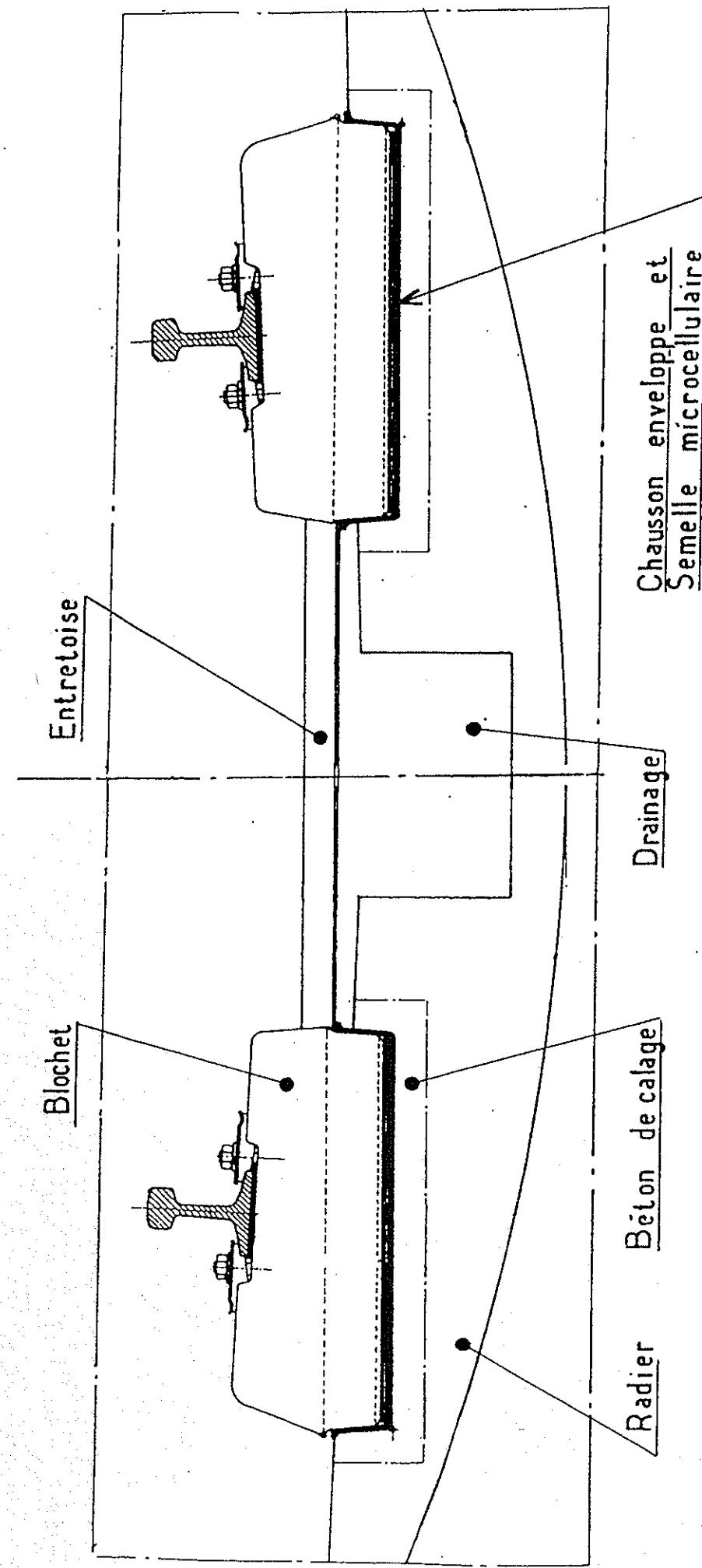
- des charges par essieu élevées (22,5 tonnes par essieu).
- des vitesses élevées (160 km/h d'une façon courante notamment sur certains tronçons SNCF équipés en VSB). Des essais ont de plus été conduits sans problème à 200 Km/h, au tunnel du HEITERSBERG en SUISSE.
- des trafics journaliers élevés : environ 100 000 tonnes jours en pointe sur certains tronçons RER.

La plupart des poses VSB ont été effectuées en tunnel mais il existe aussi des poses à l'air libre.

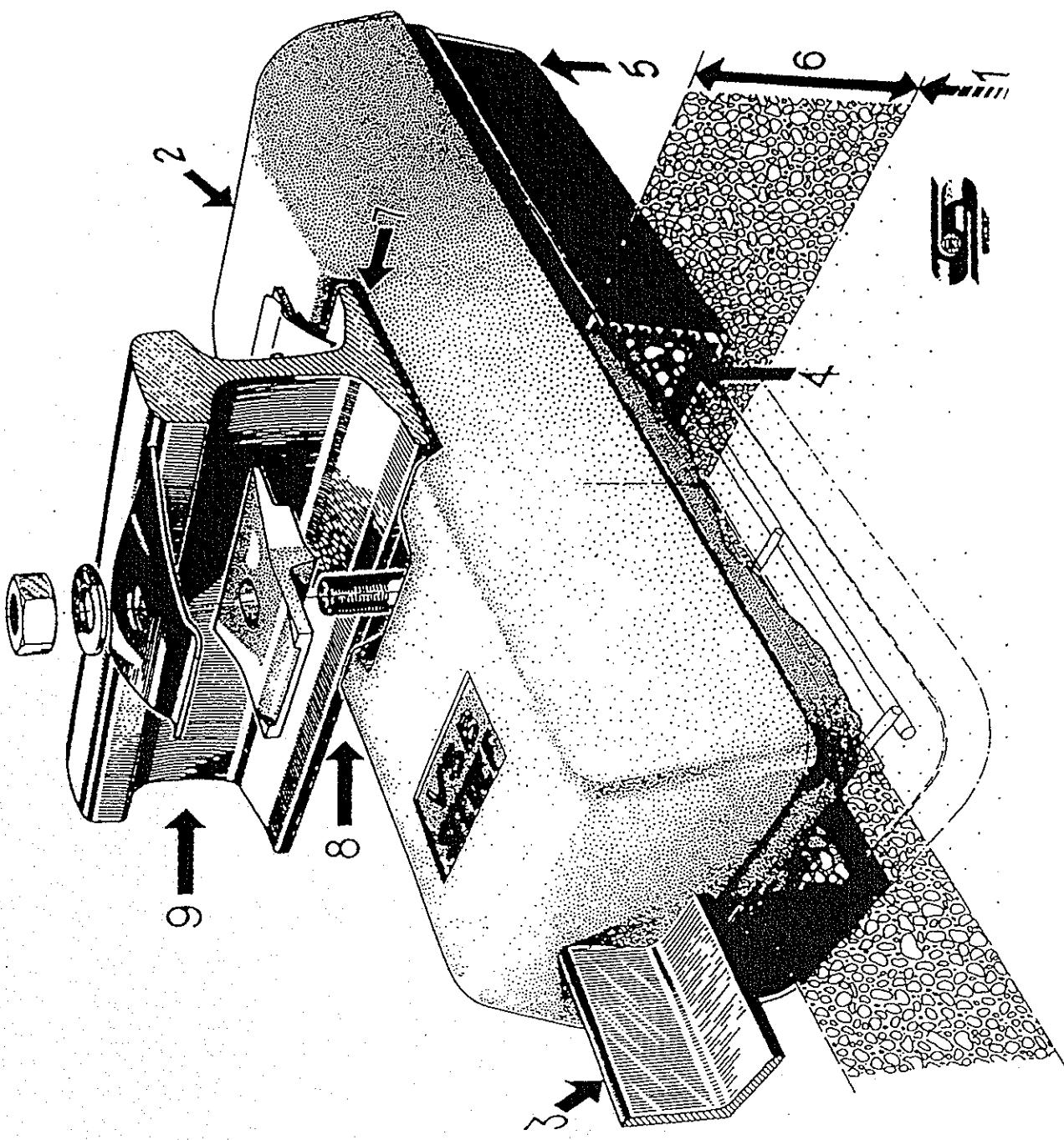
Un document joint résume les références VSB à fin 1986.



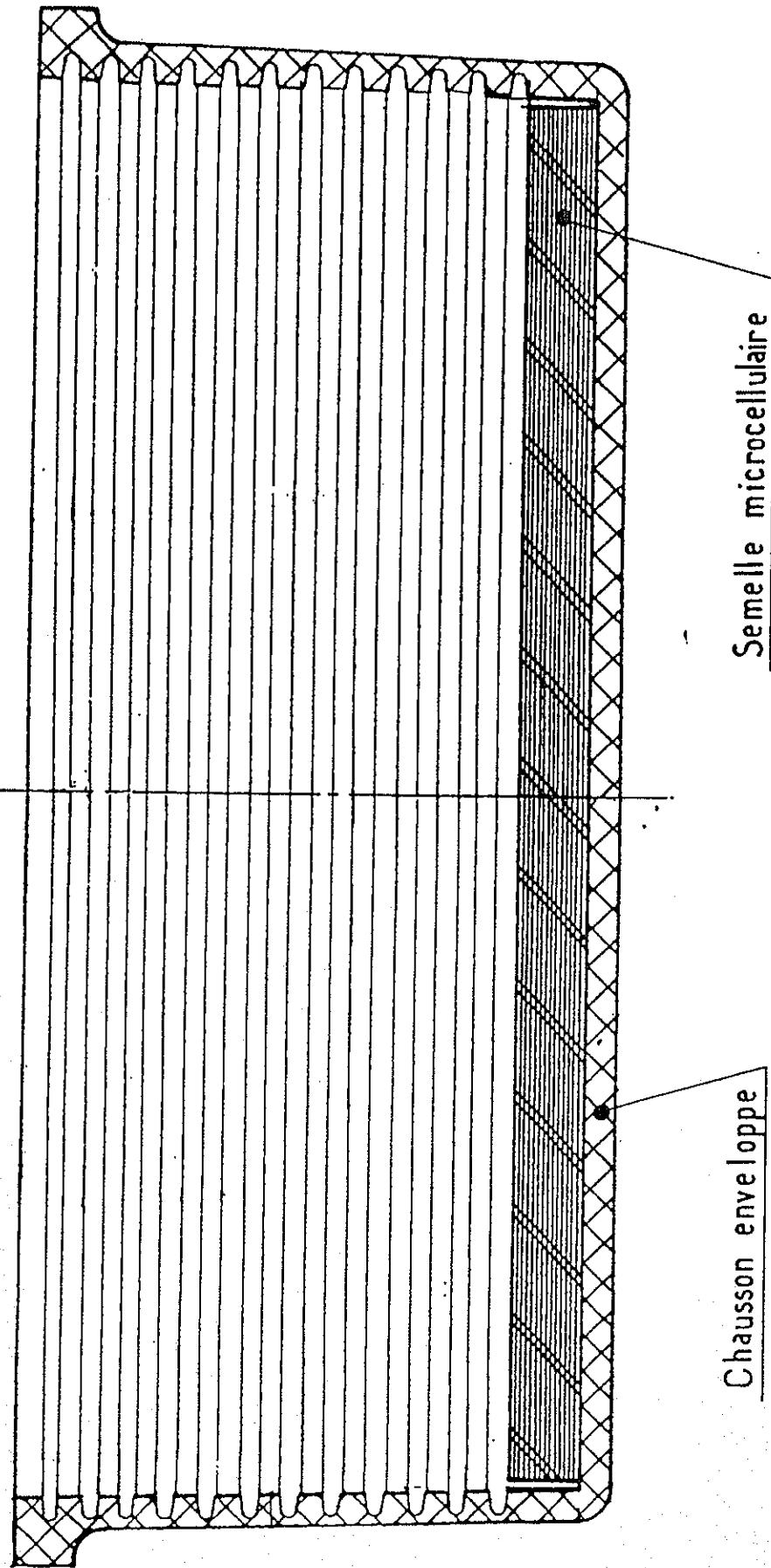
**Annexe: 1** Exemple de pose V.S.B STEDEF



Annexe 2 | Vue en perspective d'un blochet V.S.B STEDEF



**Annexe: 3 | Coupe transversale d'un chausson V.S.B STE DEF.**



## PULSATEUR A BIELLES

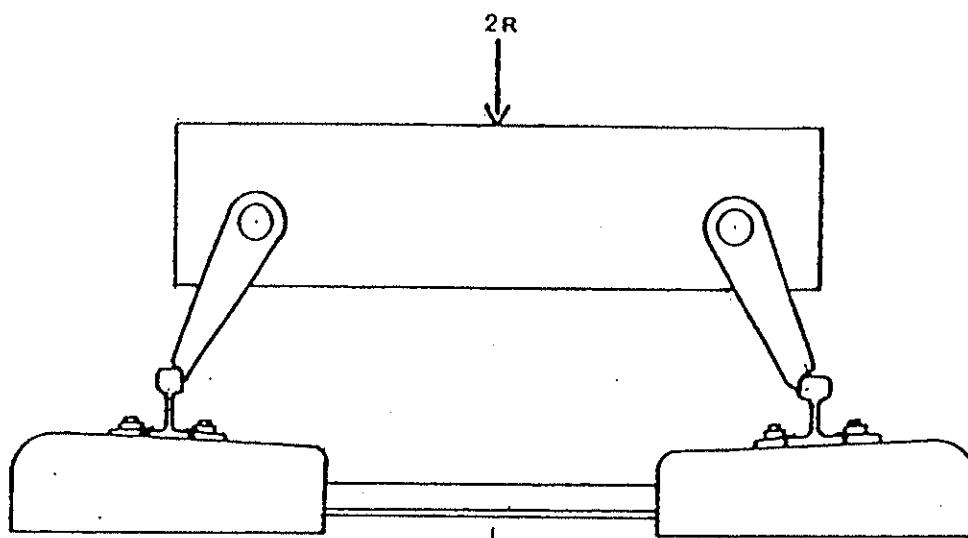
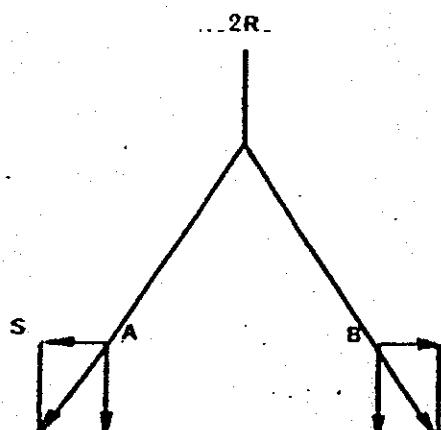


Schéma du rapport des forces

charge minimale  $2R = 1t$ charge maximale  $2R = 15t$ 

$$0,250 \leq S \leq 3,750$$

$$0,500 \leq R \leq 7,500$$

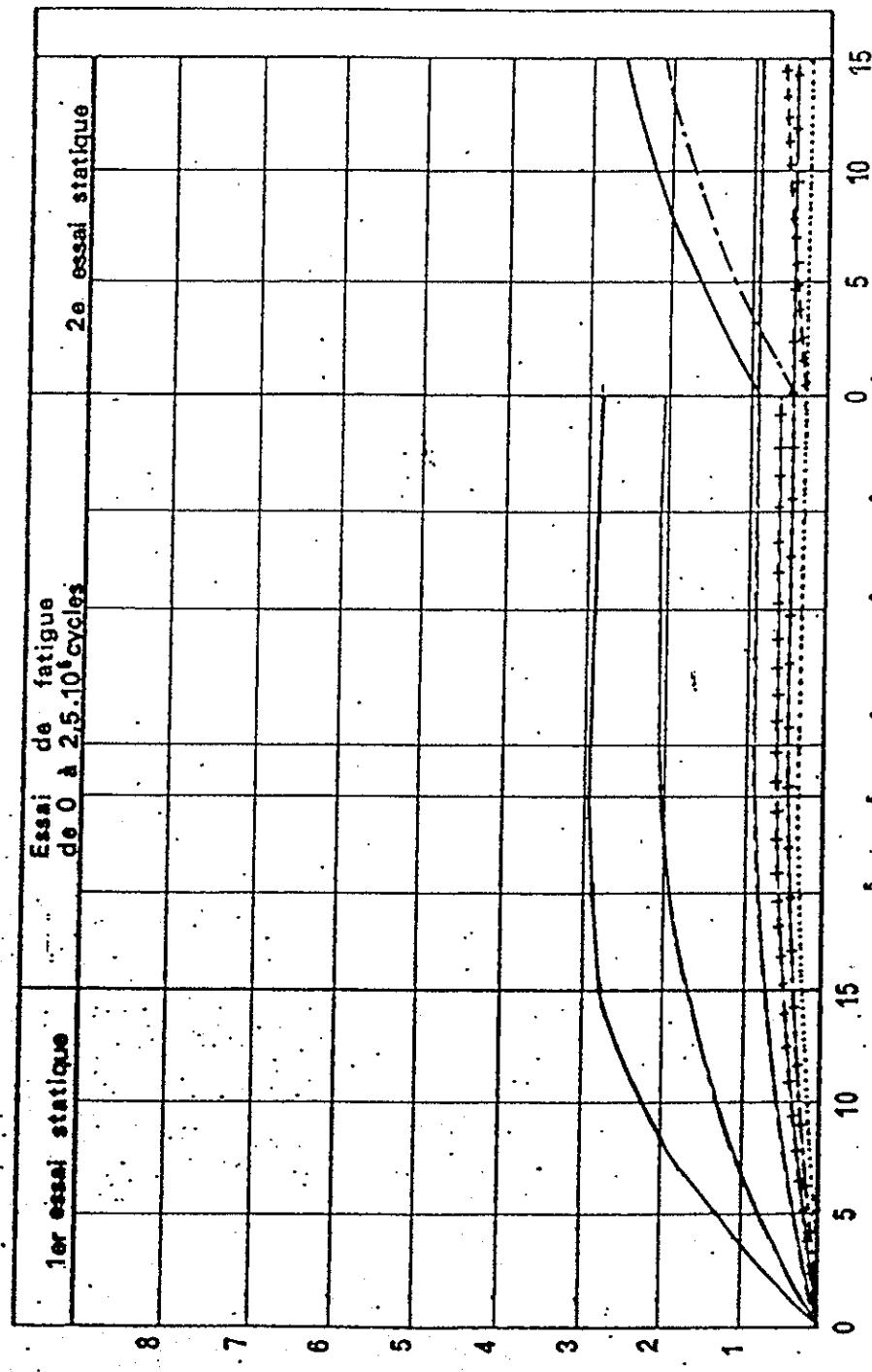
$$\frac{S}{R} = \frac{1}{2}$$

$$S = 0,500 R$$

——— SURECARTEMENT SOUS CHARGE DU CHAMPIGNON  
 ———— SURECARTEMENT RESIDUEL DU CHAMPIGNON  
 ——— SURECARTEMENT SOUS CHARGE DU PATIN  
 + + + SURECARTEMENT SOUS CHARGE DU BLOCHET

## BLOCHETS AVEC ENTRETOISE

## SURECARTEMENT DU CHAMPIGNON, DU PATIN ET DU BLOCHET

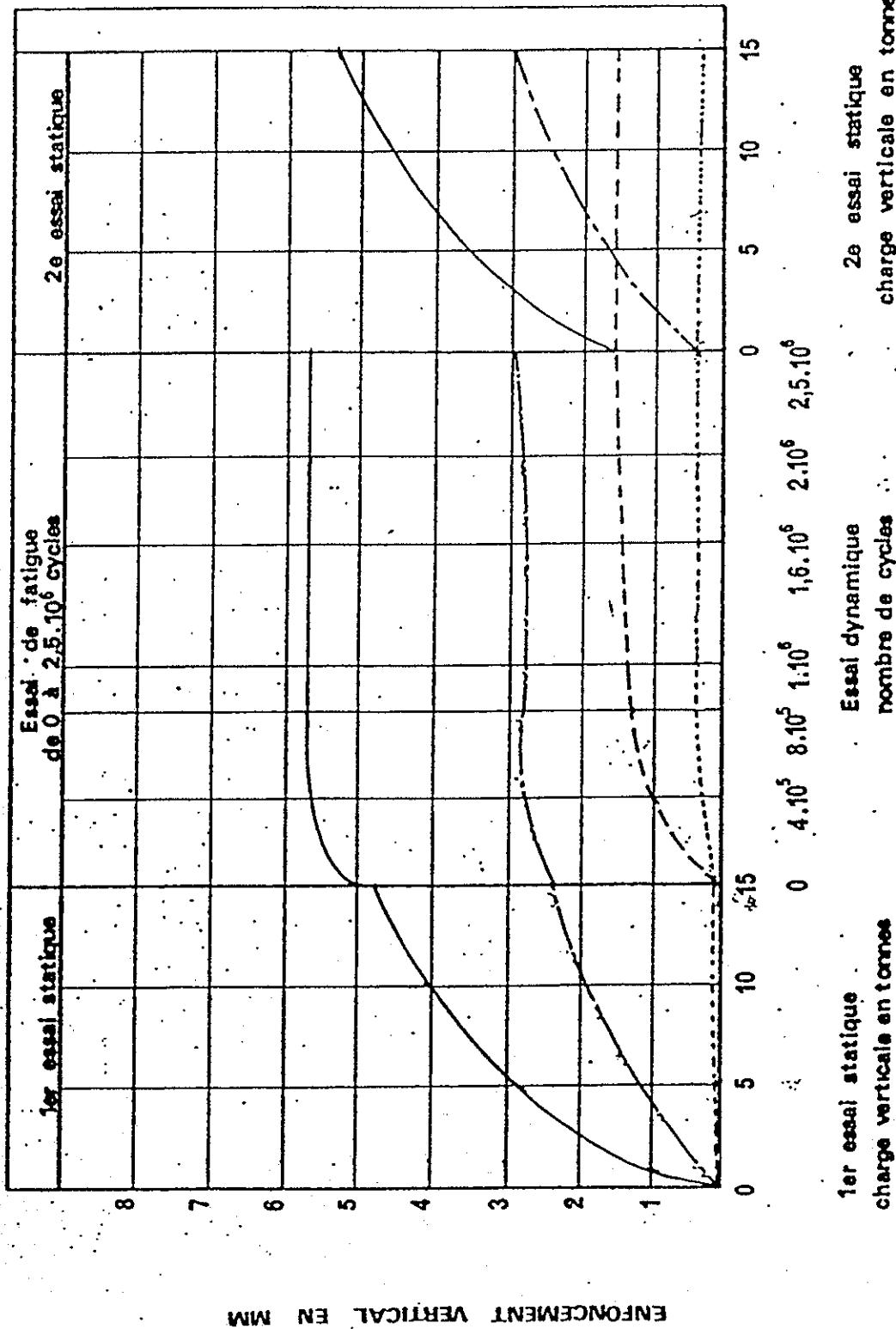


SURECARTEMENT EN MM

1er essai statique charge verticale en tonnes  
 Essai dynamique nombre de cycles  
 2e essai statique charge verticale en tonnes

BLOCHETS AVEC ENTRETOISE  
ENFONCEMENT DU BLOCHET

— ENFONCEMENT VERTICAL SOUS CHARGE DU BORD EXTERIEUR DU BLOCHET  
— ENFONCEMENT VERTICAL RÉSIDUEL DU BORD EXTERIEUR DU BLOCHET  
— ENFONCEMENT VERTICAL SOUS CHARGE DU BORD INTÉRIEUR DU BLOCHET.  
... ENFONCEMENT VERTICAL ET RÉSIDUEL DU BORD INTÉRIEUR DU BLOCHET



## FILTRAGE DES BRUITS ET DES VIBRATIONS

EXTRAIT DU RAPPORT DE MESURES DE BRUIT ET DE VIBRATIONS,  
rédigé par les Services Techniques de la R.A.T.P. pour la  
comparaison de la pose directe sur béton de la VOIE SANS  
BALLAST STEDEF à chaussons élastiques et de la VOIE CLASSIQUE  
sur ballast.

- - -

### 1) SITUATION

La première ligne EST-OUEST du Réseau Express Régional, relie les villes de la banlieue parisienne de St. GERMAIN-EN-LAYE à l'Ouest à BOISSY SAINT-LEGER à l'Est en traversant l'agglomération de PARIS, dans sa plus grande longueur.

A l'Ouest, se situe la liaison souterraine de la Place de l'Opéra à PARIS, à la station de la Défense où se trouve, hors PARIS, le Palais des Expositions CNIT.

Sur cette dernière zone, la RATP a expérimenté la VSB à chaussons STEDEF, comparativement à la voie classique sur traverses en bois et ballast.

### 2) DESCRIPTION DES POSES DE VOIE REALISEES

- D'une part, la pose directe sans ballast STEDEF avec chausson élastique comme indiqué dans cette notice.

- d'autre part, la pose sur ballast prise en référence, qui comporte des traverses en azobé équipées d'attaches élastiques, griffons RN sans selle métallique, mais comportant également entre le patin du rail et la traverse, une semelle cannelée en caoutchouc de 4,5 mm d'épaisseur.

L'épaisseur du ballast est au minimum de 0,45 m.

Le rail est pour les 2 types de pose, du type U 80 (60 kg) posé en longues barres soudées.

### 3) DESCRIPTION DES ESSAIS

Les zones retenues pour les essais ont été choisies en alignement, sous les circulations d'un élément MS 61 de 3 voitures (motrice + remorque + motrice).

.../...

### 3-1) Mesures de bruit

Les mesures de bruit ont été effectuées :

- a) à l'intérieur de la remorque. Le microphone a été placé au centre de la voiture, à 1,20 m de hauteur, dirigé vers le haut, toutes fenêtres fermées.
- b) dans le souterrain : le microphone dirigé vers le train d'essai, était situé au droit de la partie médiane des zones de mesures, à 3 m de l'axe de la voie de circulation, et à 1,20 m au-dessus du niveau du rail.

### 3-2) Mesures de vibrations

Les capteurs de vibrations ont été fixés sur tirefonds préalablement scellés dans le béton.:

- a) dans l'axe longitudinal de la voie.

Les capteurs étaient placés à raison d'un par zone dans la rigole située entre les 2 files de rails, disposition que permet seule, la pose sans ballast.

- b) dans l'axe longitudinal de la galerie technique.

Les capteurs étaient placés au fond du radier, entre 2 voies.

### 3-3) Conditions de circulation du train d'essais

La circulation était prévue à 60, 80 et 100 km/h.

Pour les mesures de vibrations, une série de circulations supplémentaires a été faite à la vitesse de 40 km/h.

## RESULTATS :

### 4) BRUIT DANS LE TRAIN ET DANS LE TUNNEL

#### 4-1) Résultats globaux

Les niveaux de bruit en dB (A) aux vitesses de 60, 80 et 100 km/h, sont indiqués dans les tableaux ci-après ; ils correspondent aux valeurs moyennes des niveaux relevés sur les différentes bases d'essais pour 3 passages de l'élément d'essai de 3 voitures.

##### a) Bruit dans la remorque

Type de pose	Vitesse
	60 km/h : 80 km/h : 100 km/h
	: : :
VSB à chaussons STEDEF	76 dB (A) : 79 dB (A) : 84 dB (A)
Pose sur ballast	71 " " : 75 " " : 80 " "

#### b) Bruit dans le souterrain

<u>Type de pose</u>	:	<u>Vitesse</u>				
	:	60 km/h	:	80 km/h	:	100 km/h
VSB à chaussons STEDEF	:	96 dB (A)	:	100 dB (A)	:	105 dB(A)
Pose sur ballast	:	92 " "	:	95 " "	:	99 " "

## 4-2) Vibrations

Résultats globaux dans la bande de fréquence de 45 à 180 Hz.

Les niveaux de vibration en vitesse vibratoire exprimés en dB au-dessus de  $10^{-8}$  m/s (valeur efficace) ont été calculés à partir des niveaux d'accélération détectés par les capteurs. Ils sont donnés dans la bande de fréquence de 45 à 180 Hz qui recouvre les 2 octaves de fréquences médianes 63 et 125 Hz et qui, d'après toutes les expériences antérieures, caractérise bien le bruit sourd de grondement entendu dans les immeubles riverains lors du passage des trains. Leurs valeurs figurent dans les tableaux ci-après pour les vitesses de 40, 60, 80 et 100 km/h.

a) Entre les rails, dans la rigole de la voie sur la VSB

<u>Type de pose</u>	<u>Vitesse</u>			
	40 km/h	: 60 km/h	: 80 km/h	: 100 km/h
Pose STEDEF PK 4 857	74 dB	76,5 dB	78 dB	
PK 5 335	77 "	80 "	82 "	

b) Dans la galerie centrale (moyenne des résultats obtenus sur 3 capteurs).

<u>Type de pose</u>	<u>Vitesse</u>			
	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h
Pose VSB/STEDEF : point A	65 dB	69 dB	71 dB	
point B				73 dB
Pose sur ballast	74 dB	79 dB	80 dB	84 dB

## 5) COMMENTAIRES

### 5-1) Sur le bruit :

En ce qui concerne le bruit, l'objectif de 75 dB (A) fixé par la Commission "lutte contre le bruit" est atteint dans les voitures à la vitesse de 80 km/h, pour la pose sur ballast ; il est légèrement dépassé, de 4 dB (A) pour la pose directe VSB-STEDEF.

5-2) Des mesures complémentaires ont été faites par la R.A.T.P. avec un répandage d'une couche de gravillons 12/15 sur la dalle en béton du radier de la VSB-STEDEF.

Cet apport d'une légère couche de gravillons sur le radier, réduit les bruits de façon importante et notamment dans le tunnel à la fréquence de 1.000 Hz, où le gain est de 7 dB par rapport à la VSB-STEDEF sans gravillons.

### 5-3) Sur les vibrations :

En ce qui concerne les vibrations, le classement peut être fait en considérant les niveaux de vitesse vibratoire (référence 0 dB pour  $10^{-8}$  m/s valeur efficace) dans la bande de fréquence 45 à 180 Hz.

Dans ces conditions, la pose sur ballast engendre les niveaux les plus élevés surtout à 100 km/h. La pose VSB-STEDEF est la meilleure ; les niveaux obtenus à 80 km/h dans l'axe de la galerie technique sont de 71,5 dB pour la VSB-STEDEF, et de 80 dB pour la pose sur ballast.

### 5-4) Conclusions :

La VSB-STEDEF, avec gravillons, présente donc sur la voie classique sur ballast, le double avantage d'être moins bruyante et de donner également un amortissement beaucoup plus important des vibrations.