

ISOLATION

THERMIQUE ET ACOUSTIQUE

LES administrations de chemin de fer veulent offrir plus de confort à leurs clients et, au cours des dernières années, elles ont réalisé des progrès sensibles dans ce domaine. Malgré l'augmentation des vitesses de circulation, les techniciens sont parvenus à améliorer les qualités de roulement des véhicules. Les dimensions des compartiments, la décoration des parois, l'agrément des sièges, l'éclairage contribuent aussi à créer la sensation de confort. Mais cette sensation peut être fortement atténuée si l'atmosphère de la voiture est irrespirable, trop froide ou trop chaude, et si des bruits, en pénétrant dans les compartiments, dérangent les voyageurs et les empêchent de se comprendre sans forcer la voix. Il convient donc d'insonoriser les véhicules et de les munir de systèmes leur assurant la meilleure ambiance. Or, il se trouve que la plupart des dispositions prises pour l'isolation acoustique contribuent aussi à isoler les voitures au point de vue thermique. C'est pourquoi nous allons vous parler de cette double isolation, en sachant bien que l'isolation thermique ne fait que compléter les systèmes de chauffage, d'aération et, sur certains trains, de conditionnement de l'air.

Importance

de l'isolation thermique.

Au point de vue thermique, de nombreux essais avaient déjà été entrepris par différentes administrations, lorsque l'U.I.C. décida, en 1959, de construire, à Vienne, une station d'essais spécialement équipée pour mesurer les déperditions de chaleur dans les véhicules. Cette installation permet d'exécuter des essais statiques et dynamiques, c'est-à-dire, d'une part, des essais à l'arrêt, avec température extérieure réglable entre -40°C et $+50^{\circ}\text{C}$, et, d'autre part, grâce à une circulation d'air forcée, des essais dans les circonstances de marche; pour la vitesse de 120 km/h, la température extérieure peut varier de -15°C à $+50^{\circ}\text{C}$; pour des vitesses plus faibles, la température peut être abaissée jusqu'à -40°C .

Les essais effectués avec des véhicules récents ont permis de déterminer

quelle est l'importance des déperditions calorifiques et quels facteurs influencent ces pertes.

On a constaté :

- que la quantité de chaleur qui se perd en traversant les parois extérieures d'un véhicule convenablement isolé n'augmente que légèrement avec l'accroissement de la vitesse, alors que la quantité de chaleur évacuée par les orifices de ventilation et par les défauts d'étanchéité augmente sensiblement avec la vitesse;
- qu'en conséquence, les pertes calorifiques totales peuvent, dans certains cas, être doublées à partir de 80 km/h, et que la consommation d'énergie nécessaire pour maintenir une température convenable à l'intérieur du véhicule croîtra de la même manière.

On en conclut qu'il ne suffit pas de munir les véhicules d'une bonne isolation des parois, mais qu'il faut, en outre, les rendre aussi étanches que possible.

Importance

de l'isolation acoustique.

On a tenté de combattre le bruit à son origine, c'est-à-dire dans les vibrations produites par le contact du bandage en acier sur le rail et dans les vibrations des roues elles-mêmes. Malheureusement, aucun remède à la fois sérieux et économique ne semble pouvoir être apporté à ce mal. Il faut, dès lors, s'attacher à étouffer au maximum l'énergie sonore qui pénètre à l'intérieur des véhicules. Pour résoudre ce problème, il faut savoir comment cette pénétration se produit.

Les déformations du rail et de la roue provoquent des vibrations sonores qui se propagent dans l'air entourant toute la caisse du véhicule. Les plus importantes se trouvent à proximité de la source du bruit, c'est-à-dire sous le plancher (fig. 1).

Les vibrations se transmettent aussi depuis la roue, à travers le bogie, jusqu'au châssis et à la caisse du véhicule, aussi bien dans l'ossature que dans les tôles de revêtement.

Les vibrations sonores qui entourent la caisse s'ajoutent aux vibrations qui sont transmises par voie métallique, et la caisse elle-même entre donc en vibration

sous l'effet combiné de ces deux modes de transmission. De ce fait, le revêtement intérieur, qui est nécessairement fixé sur l'ossature, reçoit la somme de ces vibrations et les transmet finalement à l'intérieur des compartiments.

Les vibrations sonores extérieures peuvent encore pénétrer à l'intérieur des véhicules par tous les défauts d'étanchéité, tels que ceux des fenêtres, des portes, des appareils de ventilation, des entrées de canalisation.

Il faut enfin songer à toutes les sources de bruit qui se trouvent dans le véhicule lui-même.

Ce sont tous les organes qui, sous l'action des trépidations de la marche, peuvent entrer en vibration ou s'agiter dans leurs supports (timonerie de frein, portes coulissantes, garnitures métalliques, etc.).

Réalisation de l'isolation.

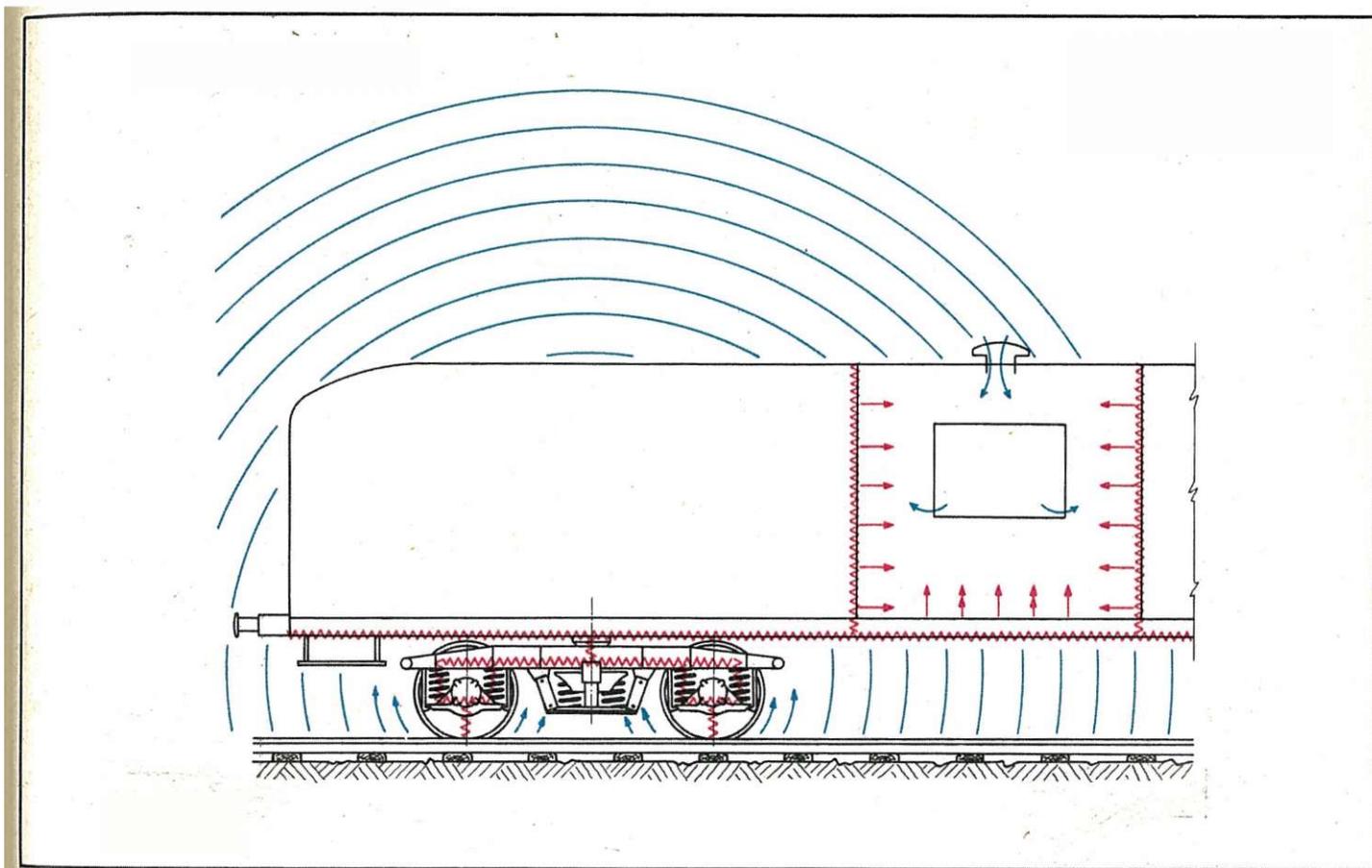
Comment peut-on dès lors concevoir l'isolation thermique et acoustique des véhicules?

Au point de vue calorifique, il suffit de placer des matériaux isolants sur les parois extérieures, d'éviter autant que possible les ponts thermiques et de colmater les orifices. Certains de ces derniers, ceux des appareils de ventilation, par exemple, ne peuvent être rendus entièrement étanches, et il faut accepter les pertes que cette situation entraîne; il en découlera un supplément d'énergie nécessaire pour le chauffage.

Pour l'acoustique, il en va tout autrement. Les moindres orifices peuvent devenir de véritables ennemis de l'isolation. Ceux qui ne peuvent être supprimés doivent être conditionnés de telle manière que la pénétration du bruit soit en tout cas réduite, par exemple en disposant des chicanes. Mais de toute façon, certains éléments de la caisse, tels que les fenêtres et les portes, laisseront passer une certaine puissance sonore; le niveau acoustique global ne pourra donc jamais être amené plus bas que celui qui est inhérent à ces imperfections inévitables.

L'insonorisation s'obtient par deux genres de mesures: d'une part, des solutions de continuité dans les liaisons métalliques et, d'autre part, des écrans de matériaux d'isolation dont on garnit les parois et le plancher.

DES VOITURES



COMMENT SE TRANSMETTENT LES VIBRATIONS SONORES (fig. 1).

Solutions de continuité.

Pour contrecarrer la transmission des vibrations métalliques, on intercale des supports élastiques. Des coussins en caoutchouc sont ainsi généralement prévus aux liaisons des divers organes des bogies et aux pièces d'appui de la caisse. Dans la caisse même, des supports en caoutchouc ou en liège sont placés à tous les points d'attache du garnissage intérieur, tant pour les parois et les planchers que pour les sièges et les cloisons (Fig. 2). Dans la plupart des cas, il faut cependant réaliser des liaisons relativement rigides, ce qui limite l'efficacité de ces intercalaires.

La transmission des vibrations métalliques aux éléments de garnissage inté-

rieur étant difficile à éviter complètement, il y a intérêt à limiter autant que possible les vibrations métalliques elles-mêmes. C'est le rôle des produits antivibrants (antidrumming), qui absorbent une partie de l'énergie vibratoire par frottement interne de leurs particules. Ces produits contiennent généralement des matières inorganiques, ou parfois du liège, enrobées dans un liant à base de résine synthétique, de caoutchouc ou de bitume. Parmi les matières inorganiques, la vermiculite est l'une des plus utilisées. Les résines sont généralement des dérivés vinyliques ou acryliques.

Tous ces matériaux antivibrants sont généralement appliqués par projection sur les tôles et les éléments d'ossature en épaisseurs quasi identiques. Leur effet

est donc plus sensible sur les tôles que sur les éléments profilés.

Les matériaux antivibrants présentent aussi toujours un certain pouvoir absorbant vis-à-vis des vibrations transmises par l'air. Ils peuvent même intervenir en partie pour l'isolation thermique.

Ecrans.

Les vibrations sonores aériennes doivent être absorbées par des écrans de matières fibreuses ou poreuses telles que la laine de verre, la laine minérale, les fibres d'amiante, les résines synthétiques expansées ou agglomérées. La plus utilisée est la laine de verre, qui présente

l'avantage d'être légère et d'avoir un très faible coefficient de transmission thermique. Pour assurer une bonne tenue de ce produit et lui donner plus d'élasticité, on choisit la variété superfine bakélisée à longues fibres (2 microns de diamètre et 20 à 50 cm de long). On se contente généralement de densités variant entre 8 et 50 kg/m³.

Au point de vue thermique, l'air lui-même est un excellent isolant à condition qu'il séjourne en couches minces dans lesquelles aucun courant de convection ne peut naître. Toutes les matières poreuses ou fibreuses sont donc susceptibles d'être de bons isolants thermiques. Il en est ainsi de la laine de verre. D'autres matières, telles que les fibres d'amiante, les grains de liège agglomérés avec un liant approprié et les mousses synthétiques, offrent de bonnes propriétés thermiques alliées avec d'intéressantes qualités d'isolation acoustique.

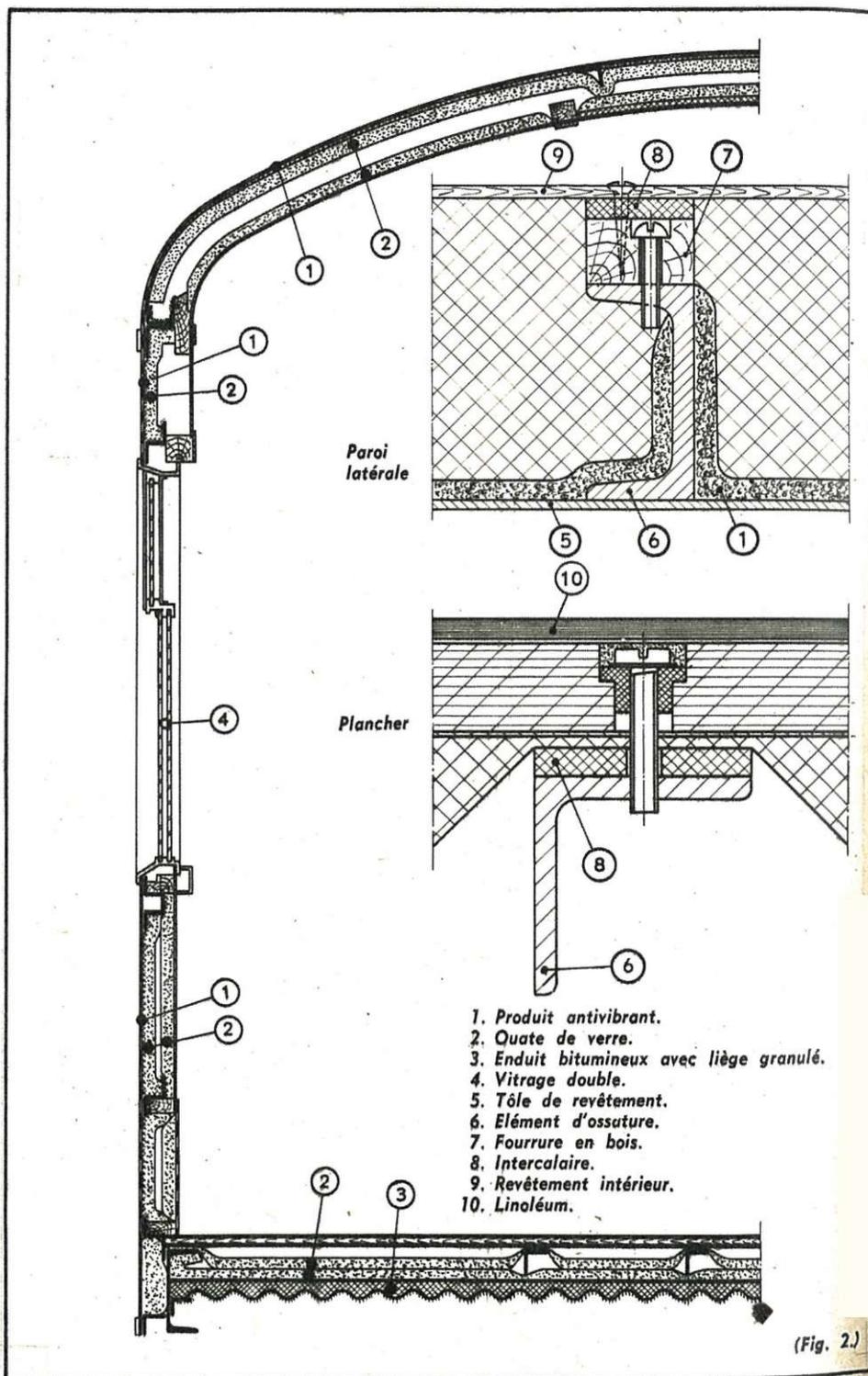
Dans ce qui précède, il a déjà été fait allusion au rôle important des fenêtres dans les déperditions calorifiques et dans la pénétration du bruit. Il est donc particulièrement indiqué d'utiliser des vitrages doubles dont les écrans réduisent notablement ces inconvénients. En outre, il y a lieu de construire les châssis de telle manière que leur partie ouvrante ne s'engage pas dans une fouille pratiquée dans la paroi du véhicule, car on réduit d'autant les possibilités d'isolation de cette paroi.

D'autres mesures peuvent avoir une influence déterminante. Il ne suffit donc pas d'appliquer des isolants aussi bien que possible pour obtenir une isolation thermique et acoustique efficace, il faut encore veiller à une conception convenable de toute la construction.

En résumé.

On peut résumer comme suit le programme d'isolation thermique et acoustique à réaliser :

1. Atténuer la transmission directe des vibrations, depuis la roue jusqu'à la caisse, en interposant des éléments élastiques d'amortissement partout où cela est possible ;
2. Couvrir l'ossature et les tôles de la caisse d'un produit antivibrant ;
3. Y superposer une couche de matière qui soit à la fois absorbante acoustiquement et isolante thermiquement. Si le produit antivibrant procure déjà un résultat appréciable à ces deux points de vue, cette dernière couche peut être réduite et même, dans les cas moins importants, être supprimée ;
4. Placer une deuxième couche d'absorption contre le revêtement intérieur ;
5. Eviter les ponts thermiques et acoustiques : placer des fourrures en bois ou, mieux encore, des intercalaires appropriés tout au long des supports du revêtement intérieur et veiller à la continuité parfaite de toutes les couches isolantes ;
6. Terminer le garnissage intérieur par des revêtements absorbants (tapis sur le plancher, velours sur les sièges, etc.) ;
7. Veiller à la bonne étanchéité des portes et fenêtres ; disposer éventuelle-



1. Produit antivibrant.
2. Quate de verre.
3. Enduit bitumineux avec liège granulé.
4. Vitrage double.
5. Tôle de revêtement.
6. Élément d'ossature.
7. Fourrure en bois.
8. Intercalaire.
9. Revêtement intérieur.
10. Linoléum.

(Fig. 2.)

LA vibration d'un corps solide provoque la mise en vibration des couches d'air environnantes. Il se crée ainsi des ondes de pression qui se propagent dans l'atmosphère. Quand elles atteignent l'oreille, elles influencent le tympan, qui enregistre ce que l'on appelle le son ou le bruit.

La sensation auditive créée par l'onde de pression varie d'après sa fréquence et son énergie. Il est facile de mesurer la fréquence : elle s'exprime par le nombre de vibrations par seconde, c'est-à-dire en Hertz (Hz). L'énergie de l'onde sonore peut être évaluée de différentes manières, par exemple en mesurant la pression qu'elle exerce par unité de surface. Mais de telles mesures n'ont pas de relation directe avec la sensation sonore réelle. C'est pourquoi l'on a imaginé le décibel (dB), qui définit le niveau de pression acoustique par rapport à un son-étalon (le plus faible qui soit audible) au moyen d'une relation logarithmique.

La sensation auditive dépendant à la fois de la fréquence et du niveau de pression acoustique, deux sons différents peuvent créer la même sensation auditive. C'est ainsi qu'un son de 100 Hz et de 68 dB donne la même sensation qu'un son de 1.000 Hz et de 50 dB. Il est donc nécessaire de pouvoir comparer directement le niveau sonore de deux sons en faisant usage d'une même référence : cette référence est la mesure en phones, qui désigne le niveau sonore que devrait avoir le son à la fréquence de 1.000 Hz pour provoquer la même sensation. Ainsi, les deux sons cités en exemple ci-dessus ont la même force sonore de 50 phones.

Une telle mesure présente cependant encore un inconvénient : elle n'est pas proportionnelle aux sensations. On en arrive finalement à une unité de mesure subjective qui correspond très sensiblement à la sensation physiologique réelle : le sone. Dans cette échelle de mesure, les valeurs de la sonie sont directement proportionnelles aux sensations physiologiques ; ainsi, un bruit de 64 sones est réellement deux fois plus important qu'un bruit de 32 sones.

Le tableau ci-dessous donne la correspondance entre l'échelle des phones et des sones et indique aussi le niveau de certains bruits bien connus de tous.

On voit, dans la partie droite de ce tableau, que le niveau sonore du bruit produit dans le bogie peut être voisin du seuil de douleur, c'est-à-dire de 256 sones.

	Sones	Phones	
Avion à réaction	512	130	
SEUIL DE DOULEUR	256	120	Bogie
Automobile de course	128	110	Passage d'un express
Chaudronnerie			
	64	100	} Compartiments à voyageurs
Orchestre symphonique	32	90	
Circulation urbaine	16	80	
	8	70	
	4	60	
Voie normale	2	50	
Appartement calme	1	40	
Studio radiodiffusion	0,5	30	
	0,25	20	
Chuchotement		10	
SEUIL D'AUDIBILITE		0	

tection, l'ossature de caisse et les tôles reçoivent une couche de produit antivibrant dont l'épaisseur est établie en fonction des caractéristiques de ce produit (généralement de 3 à 6 mm). Ensuite, un matelas de laine de verre superfine bakélisée est collé, sans interruption, sur tout le revêtement extérieur. Au plancher, ce matelas est éventuellement appliqué en double épaisseur. Les fourrures d'attache du revêtement intérieur sont garnies de plaques de liège plastifié ou de caoutchouc. Avant la pose du revêtement intérieur (plancher, parois latérales et plafond), celui-ci est recouvert, sur la face arrière, d'un nouveau matelas de laine de verre. Celui-ci est appliqué de telle manière qu'après la pose du revêtement, la couche ne présente aucune discontinuité ; elle est même pincée entre le revêtement et ses supports. Les attaches du revêtement, des sièges et des autres accessoires intérieurs sont en outre réalisées de telle manière que les ponts métalliques entre l'ossature et le revêtement intérieur soient évités au maximum. La photographie montre une telle réalisation qui permet d'obtenir, dans les compartiments, un niveau sonore inférieur à 6 sones (65 phones), c'est-à-dire environ un quarantième du bruit dans le bogie.

Dans les automotrices doubles électriques 1962 de la S.N.C.B., le niveau sonore a même pu être réduit à 2,6 sones (54 phones) dans les compartiments de première classe, c'est-à-dire, dans ce cas, à un soixantième du bruit dans le bogie.

Quant à l'isolation thermique, les essais effectués montrent que, par rapport aux voitures de construction plus ancienne, peu ou mal isolées, la consommation d'énergie de chauffage peut être réduite d'environ un tiers.

De tels résultats, joints aux améliorations apportées au système de chauffage, à l'éclairage, etc., permettent d'affirmer que le matériel à voyageurs construit au cours des dernières années par la S.N.C.B. peut être classé parmi les meilleurs des réseaux européens.

W. van Rijn,
ingénieur principal.

- ment des chicanes aux ouvertures indispensables ;
8. Enrober et isoler les canalisations métalliques qui pénètrent dans la caisse ;
 9. Suspendre élastiquement tous les organes qui sont susceptibles de transmettre des vibrations (ventilateurs, compresseurs, etc.).

A la S.N.C.B.

En tenant compte de ce programme, l'isolation de la caisse des voitures à voyageurs de la S.N.C.B. est actuellement réalisée suivant le schéma de principe reproduit ci-contre. La tôle ondulée sous le plancher est recouverte d'une épaisse couche de liège granulé (ou éventuellement d'un autre produit) aggloméré avec un produit bitumineux. Après avoir été enduite d'une couche de peinture de pro-

