

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 56 (1930)
Heft: 12

Artikel: De la propagation du son: étude d'un cas particulier
Autor: Steinmann, Ed.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-43504>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
 ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES
 ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : De la propagation du son. Etude d'un cas particulier, par Ed. STEINMANN, ingénieur. — Vevey-Corseaux Plage. — Les usages de l'aluminium et de ses alliages. — Nouvelles installations de la centrale d'Issy-les-Moulineaux. — Visites d'ateliers mécaniques. — SOCIÉTÉS : Groupe genevois de la G. e. P. — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS. — Service de placement.

Cette livraison contient 16 pages de texte.

DE LA PROPAGATION DU SON

Etude d'un cas particulier,

par Ed. STEINMANN, ingénieur.

Introduction.

La S. d. N. faisant actuellement construire son nouveau Palais dans la Propriété de l'Ariana, à Genève, il est de toute importance que l'emplacement choisi soit exempt, dans la plus large mesure possible, de tout bruit extérieur susceptible de troubler la paix des délibérations internationales.

Or la voie ferrée C. F. F. traverse sur un remblai de 4 à 5 m. de hauteur la Propriété de l'Ariana. (Fig. 1.)

Les architectes spécialement désignés pour l'élaboration des plans et la construction des bâtiments de la S. d. N. conscients de la lourde tâche qui leur est assignée, se sont émus de la situation créée par la présence d'un chemin de fer dans le voisinage du Palais. En effet, la voie ferrée à cet endroit n'est pas très esthétique et masquerait en partie la vue du Palais à partir de la route du bord du lac ; de plus, le bruit résultant de chaque passage de convois n'étant amorti en aucune façon est passablement gênant pour toute construction du voisinage.

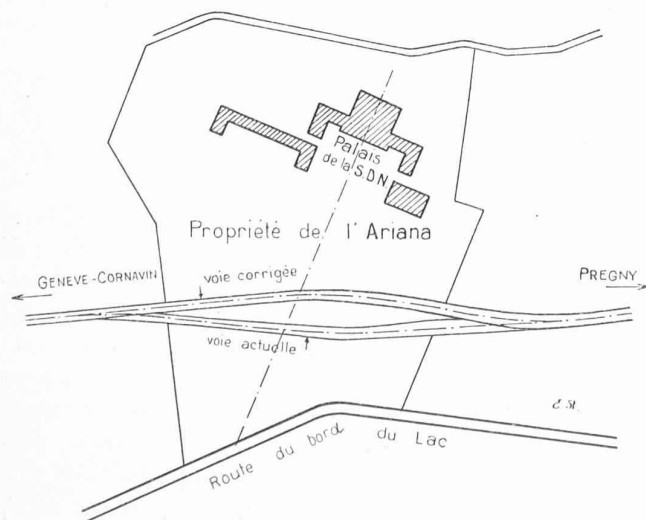


Fig. 1.

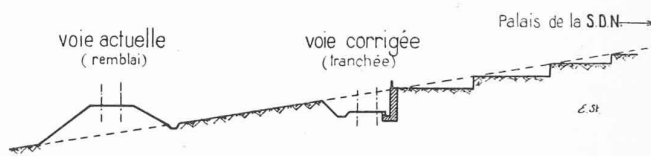


Fig. 2.

C'est en se basant sur ces considérations que les architectes du Palais ont adressé au Conseil Fédéral une note le priant d'examiner le déplacement de la voie ferrée pour la traversée de l'Ariana.

Le terrain naturel du parc de l'Ariana descend avec une pente moyenne assez forte du Palais à la voie ferrée actuelle, qui traverse le terrain à peu près suivant une courbe de niveau, parallèlement au lac et à la route qui le borde. Dans ces conditions, la déviation des voies à l'Ariana a été étudiée à deux points de vue :

1. Modifier le profil en long de la ligne, en abaissant au maximum le niveau du rail actuel de façon à supprimer le remblai existant.

2. Modifier le tracé en plan de la ligne pour que la voie pénètre d'elle-même dans le terrain, ce qui nécessite donc une tranchée ou un tunnel (fig. 1 et 2)

L'inconvénient qui résulte de la modification du tracé en plan est de rapprocher la voie ferrée du Palais ; par contre le tracé modifié en plan et en profil en long place le niveau du rail à quelques mètres en dessous du terrain naturel avoisinant.

La présente étude a pour but de rechercher : 1^o le profil transversal le plus favorable qu'il faut donner à la tranchée, c'est-à-dire au mur de soutènement et au talus et 2^o les matériaux à employer, pour absorber ou éviter dans la plus grande mesure possible la propagation au loin principalement dans la direction des bâtiments du Palais de la S. d. N., des bruits causés par le passage des convois sur la voie ferrée.

Etude spéciale relative à la propagation du son hors d'une tranchée de chemin de fer. Moyens de la combattre.

Le profil-type de la tranchée dans le cas présent est représenté par la figure 3. A droite, dans la direction du Palais, un mur de soutènement soutient les terres des

terrasses descendant du Palais ; à gauche un talus en terre planté d'herbe, solution moins coûteuse qu'un mur de soutènement. Les distances d'entr'axes des voies, du mur de soutènement à la voie I etc. sont celles adoptées généralement et qui ne peuvent être modifiées que très peu.

Il est nécessaire de se rendre compte d'où proviennent la plus grande partie des bruits d'un train en marche et de suivre le trajet des ondes sonores qui en découlent ; il restera ensuite à amortir ces bruits le plus possible ou à leur faire suivre un trajet bien déterminé.

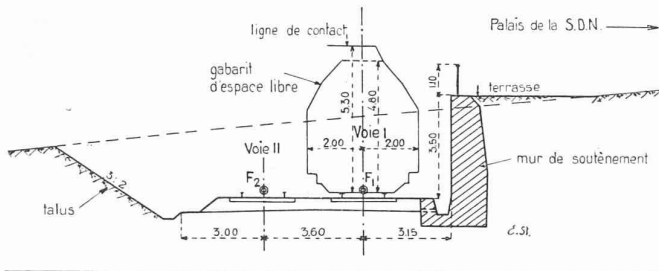


Fig. 3.

Parmi les causes des bruits créant le brouhaha qui accompagne le passage d'un train, nous retiendrons les principales, à savoir :

1. Le martèlement des rails par les roues plus spécialement au passage des joints. En effet, les roues des véhicules ne roulent pas régulièrement sur les rails ; elles sautillent presque continuellement sur le champignon du rail. (On s'en rend compte du reste facilement en examinant la surface de roulement d'un rail usé ; la table de roulement est ondulée longitudinalement.)

2. Le ronronnement des traverses métalliques, notamment pour une voie fraîchement réparée.

3. Le serrage des freins sur les roues, éventuellement les coups de tampon qui en résultent et le grincement des fusées sur les coussinets.

4. Le sifflet des locomotives.

5. Avec la traction électrique, le frottement des pantographes sur la ligne de contact.

- 5 bis. Avec la traction à vapeur, le bruit de la vapeur sortant de la cheminée ou directement des cylindres.

De tous ces bruits, seuls ceux indiqués sous chiffres 1, 3 et 5 sont inévitables ; quant aux autres ils ne se produiront pas soit par le choix d'un sous-sol non résonnant soit par des règlements de service appropriés au parcours envisagé. Nous ne retiendrons d'ailleurs que les numéros 1 et 3, les effets indiqués sous les numéros 5 étant toujours assez faibles.

Le bruit provenant du martèlement des rails prend naissance au contact des roues sur les rails soit au niveau du champignon du rail ; celui dû au freinage au niveau moyen des patins de freins sur les roues, un peu au-dessus des rails. La plus importante de ces deux « sources » de bruits est la première parce que plus intense et continue tandis que la seconde est intermittente.

Pour simplifier, on peut admettre que, les deux sources

de bruits étant égales sur les deux files de rails, tout se passe comme s'il n'y avait qu'un centre d'émission sur l'axe de la voie elle-même à faible hauteur au-dessus du sol. Nous avons ainsi déterminé les foyers principaux d'émission F_1 et F_2 (fig. 3) correspondant à chaque voie.

A) Recherche du profil transversal le plus favorable.

Cette étude exige deux hypothèses simplificatrices sur la propagation du son. En premier lieu, nous avons admis que les lois de la réflexion s'appliquent comme en optique, bien que la grande longueur d'onde des sons favorise dans une large mesure les phénomènes de diffraction (ou si l'on préfère les phénomènes de contournement des obstacles).

Comme on le sait, les dimensions d'un obstacle doivent être très grandes par rapport à la longueur d'onde pour que l'on puisse appliquer rigoureusement les lois de la réflexion.

Nous avons admis, en second lieu, que le fait qu'une onde sonore subit successivement plusieurs réflexions contribue dans une large mesure à son extinction rapide, par le fait des pertes d'énergie lors de chaque réflexion.

La première idée qui s'offre à l'esprit pour capter ou tout au moins pour diriger les ondes sonores émises des foyers F_1 et F_2 , serait de remplacer la tranchée à ciel ouvert par un souterrain. Celui-ci serait soit un véritable tunnel, soit une tranchée recouverte par une voûte. Ni l'une ni l'autre de ces solutions ne convient : la première est impossible à cause du profil en long de la ligne ferrée qu'on ne peut pas modifier davantage, et la seconde eu égard à son coût et au fait qu'elle masquerait en partie la vue du Palais.

On pourrait envisager d'arquer en forme d'ellipse, de foyers F_1 , F_2 , le mur de soutènement de droite et de construire son symétrique à gauche (voir figure 4). C'est une

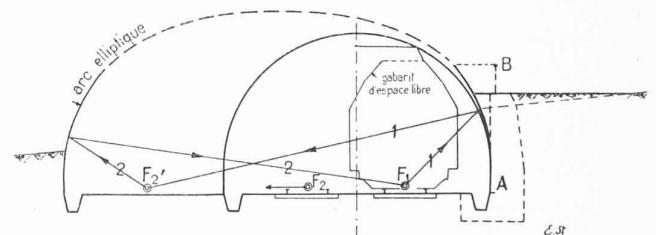


Fig. 4.

solution idéale, car chaque rayon sonore issu d'un des foyers et renvoyé, après réflexion, à l'autre foyer et ainsi de suite en perdant de plus en plus de son intensité : de cette façon le bruit se trouve rapidement amorti de lui-même. Malheureusement si on calcule cette ellipse, on s'aperçoit qu'elle est incompatible avec les données du problème : en effet, la hauteur BA étant donnée, pour que l'arc d'ellipse ne pénètre pas le gabarit d'espace libre, la distance F_1, F_2 , entre foyers doit être de plusieurs dizaines de mètres, ce qui est impossible.

a) Cherchons plus en détail ce qui se passerait si F_1 seul existait :

En voûtant le mur de droite en forme d'arc de cercle de rayon F_1A (fig. 5) les rayons I issus de F_1 sur la droite seraient renvoyés sur eux-mêmes en vertu des lois de la réflexion mais la hauteur h du mur de soutènement serait de beaucoup inférieure à celle H nécessaire au soutien des terres de la terrasse supérieure; avec un arc de rayon F_1B' on augmenterait par contre d'une quantité importante le cube des terrassements soit le coût de la tranchée sans pour cela que le résultat obtenu soit plus intéressant.

En choisissant pour courbure du mur un arc de parabole de foyer F_1 et de sommet A (fig. 6) les inconvénients signalés jusqu'ici tombent : le point D de la parabole de hauteur H ne coupe pas le gabarit d'espace libre et le cube des terrassements est identique à celui de la tranchée type. Tout rayon I issu de F_1 vers la droite sera réfléchi sur le mur et renvoyé horizontalement jusqu'à

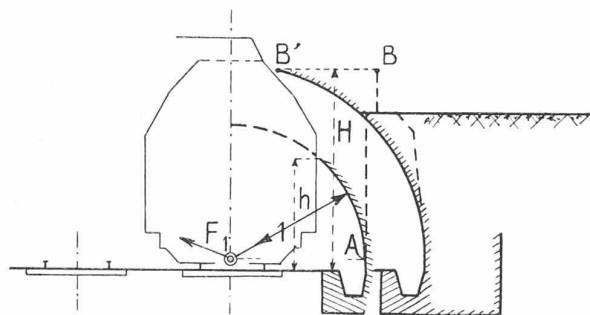


Fig. 5.

sa rencontre avec le talus de gauche qui l'absorbera en partie et réfléchira le reste dans une direction bien déterminée dépendant de l'inclinaison du talus. D'après la fig. 6 on voit aisément que l'inclinaison du talus devra être au maximum de 45° , sans quoi les rayons seraient réfléchis vers la droite c'est-à-dire dans la direction du Palais ce qui doit être évité. Plus le talus sera rapproché de l'horizontale mieux cela vaudra. On peut du reste remarquer que le choix des matériaux de revêtement du mur de soutènement ainsi que la nature du sol du talus ont leur importance quant à leur faculté d'absorption du son. Ce point sera développé plus loin.

Pour tout rayon 3 issu de F_1 vers la gauche la réflexion se fera suivant le cheminement de la fig. 6.

Remarque: Il est bien évident que, dans tous les cas, les rayons issus soit de F_1 soit de F_2 dans la zone comprise entre le point D et les verticales respectives de chaque foyer seront directement audibles au Palais; c'est inévitable puisqu'aucune couverture de l'ensemble

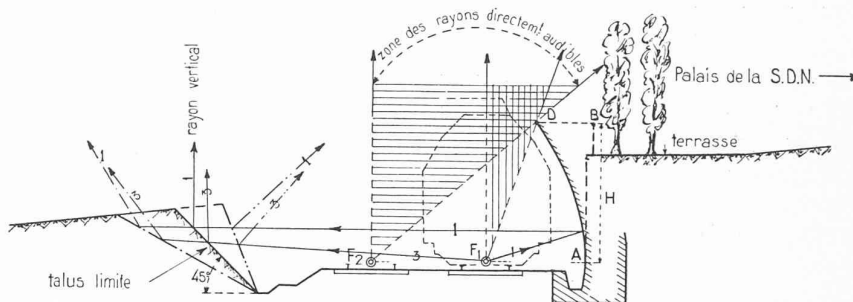


Fig. 6.

de la tranchée n'est possible. On pourra du reste atténuer passablement ces rayons en plantant une ou deux rangées d'arbres sur la première terrasse supérieure.

Une variante qui améliorerait un peu les conditions d'absorption du son consisterait à remplacer le talus de gauche par un mur-écran vertical (fig. 7). Le rayon I est réfléchi sur lui-même tandis que le 3 est réfléchi, donc amorti, plusieurs fois avant de sortir de la tranchée ce qui n'était pas le cas précédemment. Il faut évidemment que la hauteur de l'écran ne soit pas trop grande sans quoi les rayons sonores passeraient au-dessus du point D et deviendraient directement audibles; l'amélioration sur le cas précédent serait alors illusoire.

Le calcul simple suivant détermine la hauteur h maximum à donner au mur-écran pour qu'aucun rayon réfléchi par l'écran ne soit audible directement. (Voir fig. 7.)

Exprimons $\text{tg. } \alpha$ en fonction de h et de H

$$\text{tg. } \alpha = \frac{H - h}{L} = \frac{h}{x}$$

où x est la distance d'un foyer au mur-écran de gauche d'où on tire :

$$h = \frac{xH}{x + L}. \tag{I}$$

Dans le cas qui nous occupe cette formule donne :

Si F_1 seul existait $h_1 = \frac{6,75 \times 4,40}{6,75 + 8,36} = 1,97 \text{ m.}$

Si F_2 seul existait $h_2 = \frac{3,15 \times 4,40}{3,15 + 8,36} = 1,20 \text{ m.}$

F_1 et F_2 existant simultanément il faut donc adopter la plus petite dimension soit $h_2 = 1,20 \text{ m.}$

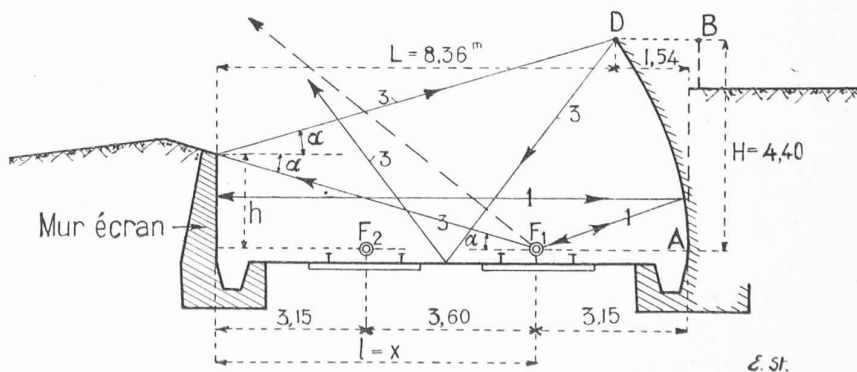


Fig. 7.

b) Cas des deux foyers F_1 et F_2 existant simultanément.

Si on conserve (fig. 8) le mur de droite en arc de parabole de foyer F_1 , comme on vient de le voir, les rayons issus de F_1 suivent un chemin bien déterminé. Ceux provenant de F_2 par contre suivent un parcours quelconque suivant l'angle d'après lequel ils viennent se réfléchir sur l'arc de parabole. Cherchons s'il n'existe pas une courbe AD qui satisfasse aux conditions d'imprimer un cheminement bien déterminé aux ondes sonores issues d'un des foyers F_1 ondes que nous arrangerons du reste d'amortir le plus possible et d'expédier aussi loin que faire se peut du Palais... et de renvoyer indéfiniment sur lui-même jusqu'à amortissement complet celles issues de l'autre foyer F_2 . Si cette courbe existe nous aurons alors résolu le problème le mieux possible. En nous basant sur notre précédente étude nous pouvons conclure qu'un arc de parabole de foyer F_1 et un arc de cercle de

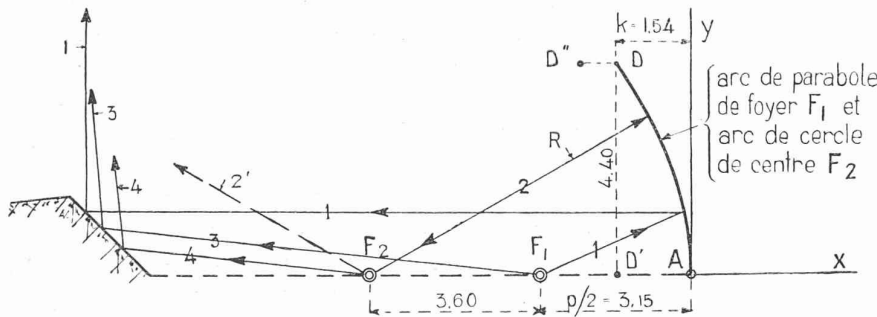


Fig. 8.

centre F_2 satisfieraient aux conditions. Or les deux courbures AD ne pouvant subsister à la fois il faut nécessairement que les deux courbes n'en forment qu'une c'est-à-dire que l'arc de cercle se confonde avec l'arc de parabole; en première approximation c'est pratiquement possible pourvu que la hauteur DD' ne soit pas trop grande. Il reste à déterminer le rayon du cercle qui se confond avec l'arc DA . On sait qu'on peut assimiler un arc de cercle à un arc de parabole dont le rayon est donné par la relation : $x = \frac{y^2}{2p} \approx \frac{y^2}{2R}$ d'où on tire $R = p$, soit $2 \times 3,15 \text{ m} = 6,30 \text{ m}$, ce qui donne pour distance entre foyers $3,15 \text{ m}$ ce qui ne peut être. D'autre part le point D vient en D'' et la différence DD'' des distances entre les courbes, égale à $0,25 \text{ m}$, est trop grande pour qu'on puisse admettre que les deux courbes soient confondues. Nous améliorerons ce premier résultat en cherchant le rayon du cercle passant par les points A et D . L'équation du cercle rapporté à son centre : $x^2 + y^2 = R^2$ donne après réduction si on pose $x = r - k$:

$$R = \frac{k^2 + y^2}{2k} = 7,06 \text{ m.}$$

Dans ce cas la distance F_1F_2 entre foyers = $3,91 \text{ m} > 3,60 \text{ m}$. En calculant les différences d'abscisses entre l'arc de parabole et l'arc de cercle pour des ordonnées identiques on obtient le tableau suivant :

ORDONNÉES (à partir de A)	ABSCISSES				
	parabole de foyer F_1	cercle $R = 7,06$	différence	cercle $R = 6,75$	différence
$A = 0$	0	0	0	0	0
m	m	m	m	m	m
1,10	0,10	0,09	+ 0,01	0,09	+ 0,01
2,20	0,38	0,35	+ 0,03	0,37	+ 0,01
3,30	0,87	0,82	+ 0,05	0,86	+ 0,01
$D = 4,40$	1,54	1,54	0	1,63	- 0,09

Les écarts entre les deux courbes sont insignifiants et pratiquement on peut les considérer comme confondues. Si on tient à conserver l'entr'axe normal des voies = à $3,60 \text{ m}$, $R = 6,75 \text{ m}$ et le tableau montre que les différences d'abscisses sont légèrement plus grandes que précédemment mais là encore les différences sont minimales.

Le problème est ainsi résolu. En suivant (fig. 8) le trajet des rayons sonores on constate que l'absorption et l'amortissement du son est maximum : ceux issus de F_1 se comportent comme l'indiquent les fig. 6 et 7; les rayons partant du foyer F_2 seront réfléchis sur eux-mêmes s'ils prennent la direction du mur de soutènement, quant aux autres ils suivront un parcours analogue à ceux de F_1 soit sur le talus soit sur le mur écran (dont la hauteur sera au maximum égale à h_2).

Il est évident que si on construit (fig. 9) un mur écran en forme d'arc parabolique de foyer F_2 soit le symétrique de celui de droite l'absorption du son sera encore améliorée (question de coût à part). En effet, tous rayons I et 4 issus de F_1 arriveront après double réflexion, donc passablement amortis déjà, sur F_2 et réciproquement ou encore seront réfléchis sur eux-mêmes tel le rayon 3 par exemple. Il en serait de même des rayons I et 4 issus de F_2 , de sorte que les rayons se trouveraient être complètement amortis sans qu'ils soient sortis de la tranchée.

Remarque. Une solution intéressante, plus efficace encore, permettant d'ailleurs de diminuer le champ des rayons audibles directs (si elle n'avait pas l'inconvénient

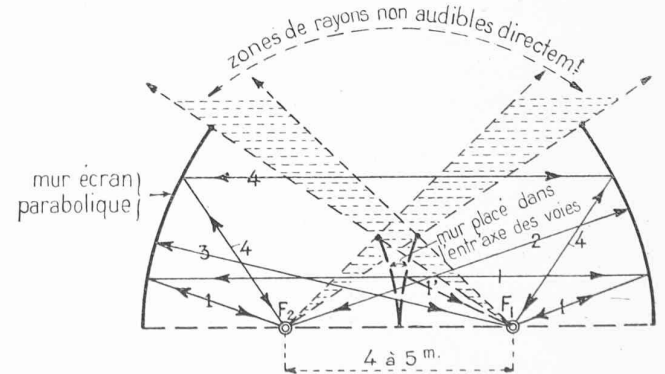


Fig. 9.

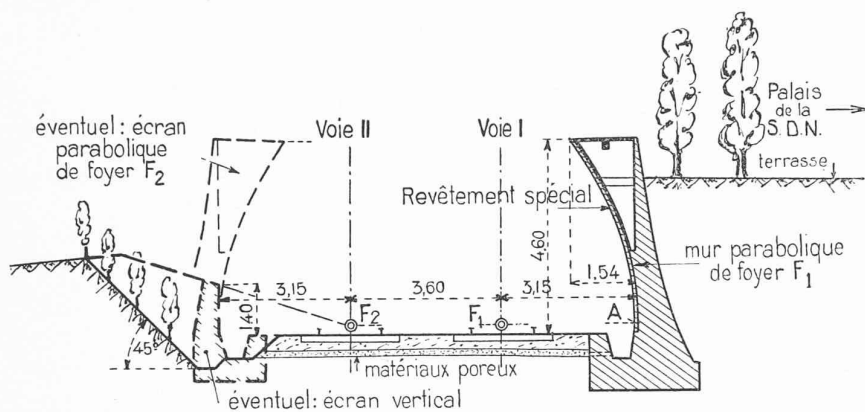


Fig. 10.

d'augmenter l'entr'axe des voies et par conséquent de renchérir la construction) consisterait (fig. 9) à placer dans l'entr'axe des voies un mur, qui n'aurait qu'une hauteur réduite du reste, à double courbure parabolique, de foyers F_1 et F_2 . Les rayons sonores seraient amortis plus rapidement car tout rayon $I-I'$ issu d'un des foyers, après double réflexion, reviendrait à son point de départ et ainsi de suite jusqu'à amortissement complet.

On peut donc conclure de cette étude que, pour absorber le plus possible les principaux bruits émanant d'un convoi en marche, ou éviter leur propagation au loin, principalement dans la direction des bâtiments de la *S. d. N.*, il faut adopter (fig. 10), comme profil de la tranchée : à droite, un mur à courbure parabolique dont le foyer coïncide avec l'axe de la voie I à quelques centimètres au-dessus du rail, et de sommet A sur l'horizontale des foyers ; à gauche, un talus dont l'inclinaison maximum, par rapport à l'horizontale, sera de 45° . Ce dernier peut être remplacé éventuellement par un mur-écran vertical, de hauteur à déterminer par la formule (I) ou mieux encore parabolique, dont le foyer se trouverait sur la voie II à la même hauteur que celui de la voie I.

B) Matériaux à employer.

Il est évident qu'un choix judicieux des matériaux de l'infra et de la superstructure de la voie, ceux du revêtement des murs et surfaces frappées par les ondes sonores, contribueront dans une large mesure à l'absorption du son, par perte d'énergie. Nous voulons dire par là qu'il faudra donner la préférence à des matériaux de résonance *indifférente* (par opposition à résonance *sélective*).

La voie sera donc posée sur un terrain suffisamment mou et hétérogène ; le ballast, de par sa nature même, (petits éléments non jointifs de forme quelconque) amortit passablement le bruit, mais on peut encore améliorer l'absorption en interposant entre le sol naturel et le ballast une couche de matériaux poreux, des scories par exemple. Des traverses en bois seront choisies de préférence aux traverses métalliques passablement plus sonores.

La face des maçonneries, du côté des voies, sera revêtue de matériaux à résonance indifférente : tels sont, par exemple, les matériaux fibreux, genre « Celotex », poreux,

tels que des panneaux de pierre ponce, liège aggloméré ou tuf, ou d'une manière générale de tous matériaux dont la surface sera à alvéoles et le plus hétérogène possible, c'est-à-dire sans longueur d'onde propre, pour éviter toute résonance, tout en étant suffisamment résistant aux intempéries.

Les talus en terre, absorbant par leur nature même déjà passablement le son, se révéleront plus efficaces encore s'ils sont ensemencés et plantés d'arbustes dont l'effet sera d'absorber, en rompant à l'infini et disséminant

de toutes parts, mais à très faible intensité, les ondes sonores. Il sera également bien de planter d'arbres la terrasse surplombant en partie le chemin de fer, pour absorber ou amortir d'une manière analogue, les rayons directement audibles.

Vevey-Corseaux Plage.

Architecte . M. O. Zollinger, Zurich.

Direction des travaux : M. H. Python, architecte, à Lausanne.

Cette plage est située à l'occident de la ville, à 200 m du terminus du tramway Vevey-Montreux-Villeneuve et à proximité de la station du funiculaire Vevey-Chardonne-Pèlerin. Son entrée donnera sur la nouvelle route principale Lausanne-Vevey, bientôt construite. Cette facilité d'accès sera certainement un facteur de succès.

* * *

La Plage de Vevey est due à l'initiative privée. Le promoteur de cette œuvre est M. Vuadens, fonctionnaire

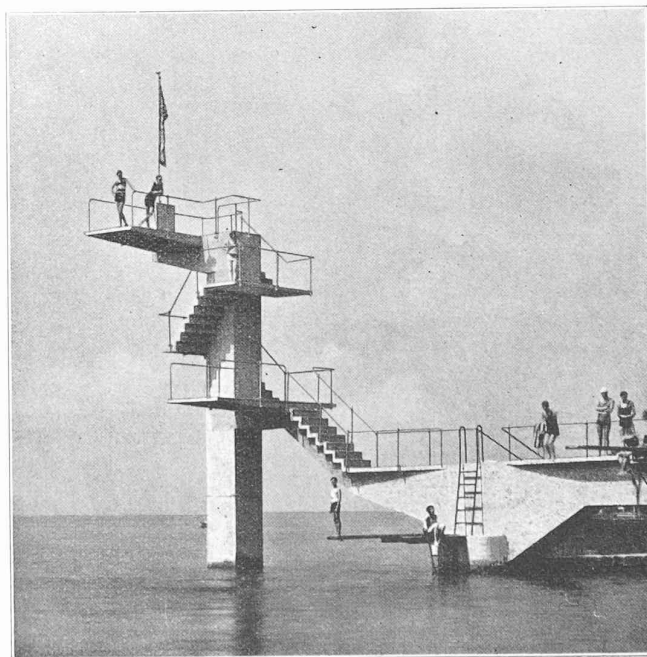


Fig. 2. — Vue du plongoir.