

Zeitschrift:	Bulletin technique de la Suisse romande
Band:	84 (1958)
Heft:	11
Artikel:	Influence du gel sur la stabilité des voies ferrées: constatations faites sur le réseau des Chemins de fer fédéraux: mesures préconisées pour y porter remède
Autor:	Bonnard, D. / Desponds, R. / Recordon, E.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-63494

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

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

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'E.P.U.L. (Ecole polytechnique
de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole
polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE

Président: J. Calame, ing. à Genève

Vice-président: † G. Epitaux, arch. à Lausanne

Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: Cl. Grosgrain, arch.; E. Mariin, arch.

Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.

Valais: G. de Kalbermann, ing.; D. Burgener, arch.

Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.; E. d'Okolski, arch.;

Ch. Thévenaz, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: A. Stucky, ing.

Membres: M. Bridel; R. Neeser, ing.; P. Waltenspühl, arch.

Adresse: Ch. de Roseneck 6, Lausanne

RÉDACTION

D. Bonnard, ing.
Rédaction et Edition de la S. A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 26.—	Etranger . .	Fr. 30.—
Sociétaires . . .	"	" 22.—	" . .	" 27.—
Prix du numéro . . .	"	" 1.60		
Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », N° II. 57 75, Lausanne.				
Adresser toutes communications concernant abonnement, changements d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, Lausanne				

ANNONCES

Tarif des annonces:
1/1 page Fr. 275.—
1/2 " " 140.—
1/4 " " 70.—
1/8 " " 35.—

Adresse: Annonces Suisses S. A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales

**SOMMAIRE**

Influence du gel sur la stabilité des voies ferrées. Constatations faites sur le réseau des Chemins de fer fédéraux. Mesures préconisées pour y porter remède, par D. Bonnard, R. Desponts et E. Recordon, ingénieurs
Générateurs à vapeur à haute puissance. Problèmes et développement, par Hubert Rigot, ingénieur
Nécrologie: Charles Lavanchy.
Bibliographie — Les Congrès — Carnet des concours — Documentation générale — Documentation du bâtiment

INFLUENCE DU GEL SUR LA STABILITÉ DES VOIES FERRÉES

Constatations faites sur le réseau des Chemins de fer fédéraux

Mesures préconisées pour y porter remède

par D. BONNARD, ingénieur, professeur à l'E.P.U.L.; R. DESPONDS, ingénieur, chef de section à la Direction générale des CFF; E. RECORDON, ingénieur au Laboratoire de géotechnique de l'E.P.U.L.

I. Introduction

En période de grands froids, les Chemins de fer fédéraux observent, presque chaque hiver, sur diverses sections de voie réparties sur tout le réseau, des soulèvements locaux du sol qui provoquent des déformations importantes des rails. Ce phénomène conduit à des perturbations dans le trafic des trains par ralentissements sur de nombreux tronçons, et à un travail d'entretien supplémentaire important, la voie devant être remise provisoirement de niveau à l'aide de câbles de bois. La période de gel passée, ces soulèvements¹ disparaissent et la voie reprend généralement sa position primitive.

Le mois de février, 1956, succédant à un début d'hiver doux et pluvieux, fut très rigoureux. Non seulement les températures enregistrées furent très basses, mais la période de froid fut de longue durée (fig. 1). Les déformations des voies qui en résultèrent furent d'une importance exceptionnelle, aggravées encore par l'absence presque complète de neige.

Quelques tronçons de la ligne Saint-Maurice-Sion

ayant été particulièrement touchés, la Division des travaux de la Direction générale des C.F.F. décida de demander au Laboratoire de géotechnique de l'E.P.U.L. d'entreprendre l'étude générale de ce phénomène. Il s'agissait de définir le processus de formation des soulèvements, de déterminer les conditions nécessaires à leur apparition et de préconiser des mesures constructives propres à éliminer ces inconvénients.

La présente communication donne les résultats essentiels des observations et mesures faites sur place soit par les services techniques des Chemins de fer fédéraux, soit par le personnel du Laboratoire de géotechnique, ainsi que les conclusions qui découlent de cette étude générale.

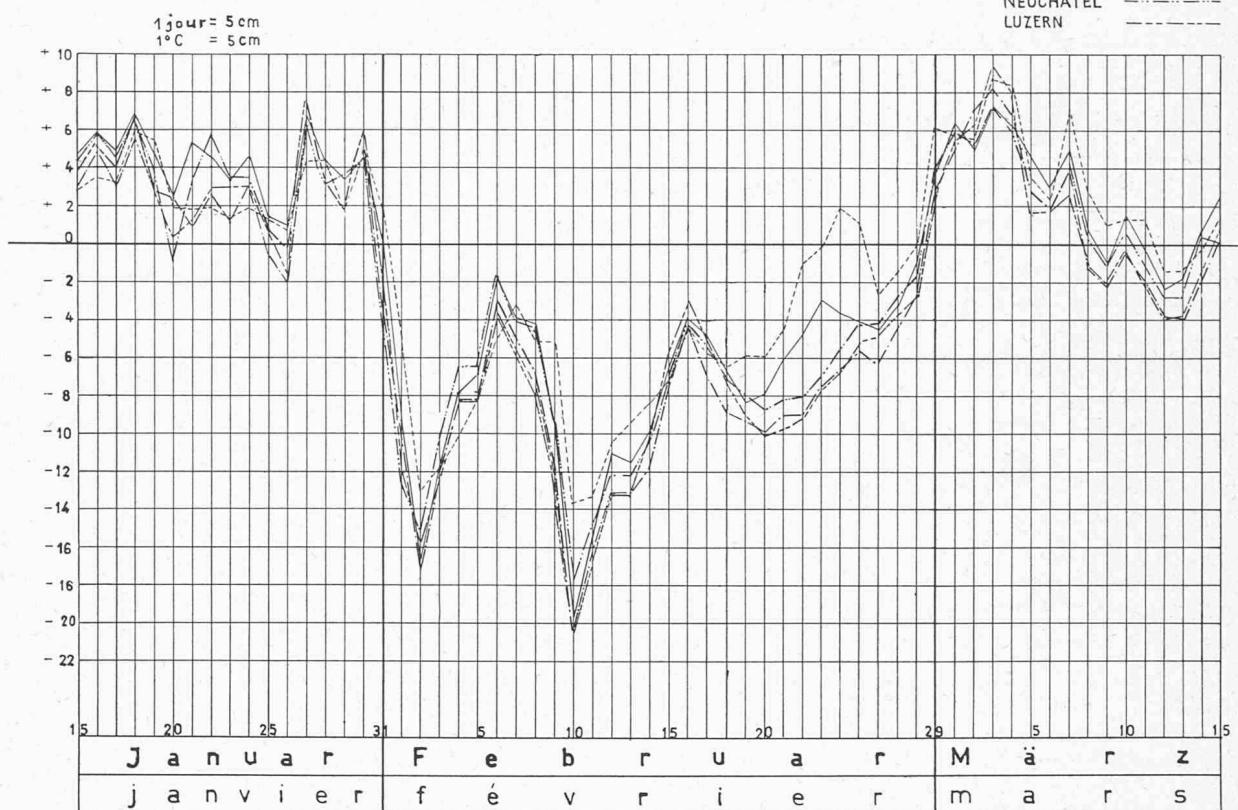
II. Exposés des constatations faites par les services techniques des chemins de fer sur les voies, notamment durant la période très froide de février 1956

Les désordres observés provoqués par le gel sur une voie de chemin de fer sont de deux ordres: d'une part la rupture des rails due à l'abaissement de température qui modifie l'état des tensions intérieures et rend l'acier

¹ Que le personnel C.F.F. appelle des « gonfles ».

Température de l'air en °C hiver 1956

moyennes journalières



Bern den 18. Oktober 1956

Fig. 1. — Diagramme des températures moyennes journalières, relevées dans différentes villes suisses durant les premiers mois de 1956.

voie CHARRAT-SAXON Déformations de la voie dues au gel

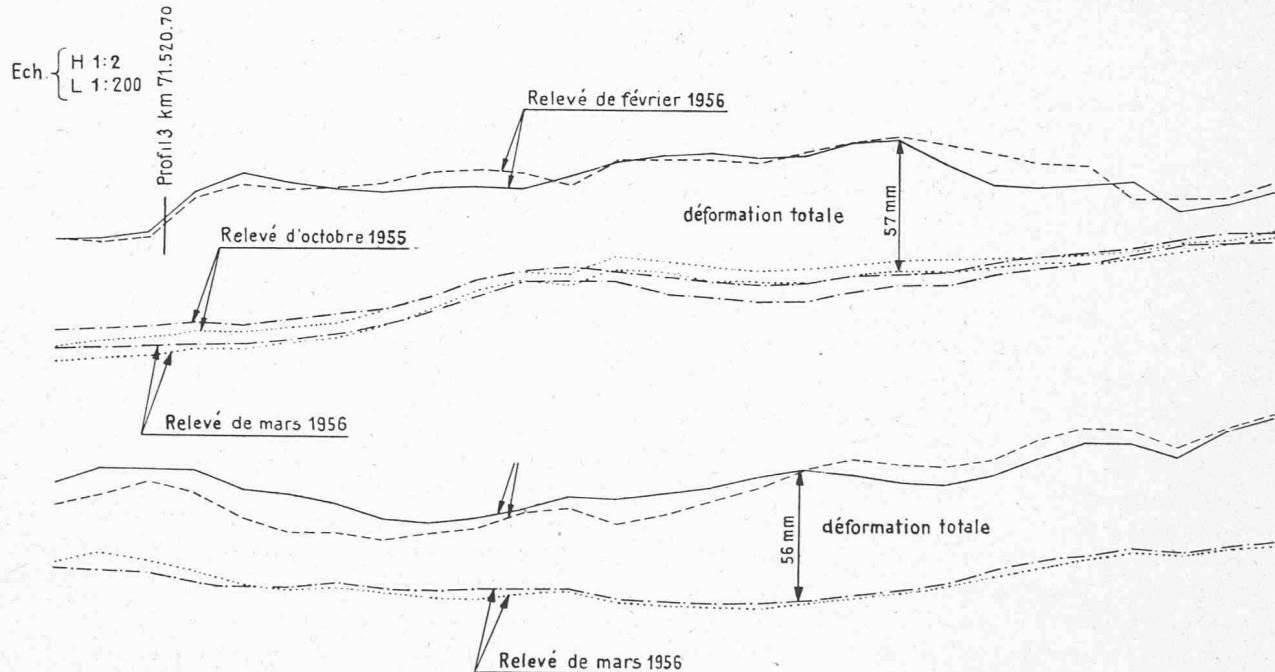


Fig. 2. — Déformations de la voie, mesurées par nivellation des traverses.

Variations du dévers, échelle 1 : 6

20 SEPT.1955



29 FÉVR.1956

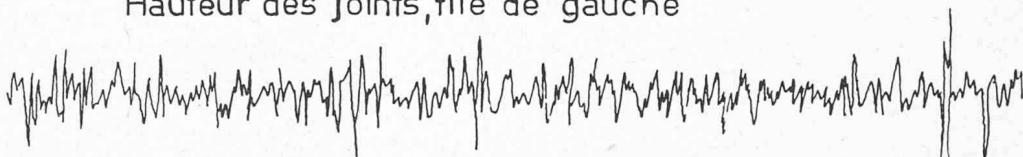


29 MARS1956



Hauteur des joints file de gauche

20 SEPT. 1955



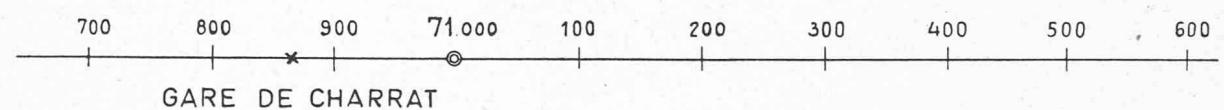
29 FÉVR.1956



29 MARS1956



Kilométrage



GARE DE CHARRAT

Fig. 3. — Etat des voies sur un tronçon entre Charrat et Saxon, relevé au wagon de mesure CFF, avant, pendant et après la période de gel de février 1956.

brisant, et d'autre part la déformation de la voie entraînée par les gonflements de l'infrastructure. Afin de rassembler une documentation complète sur ces phénomènes, la Direction générale des C.F.F. a fait procéder à de multiples contrôles et relevés durant les mois de février et de mars 1956. Les causes des désordres sont toutefois si complexes et d'origines si diverses qu'il n'a guère été possible de tirer des règles sur leur répartition géographique. Jouent un rôle en effet dans l'apparition

de ces phénomènes les qualités propres et l'âge de la voie, les conditions topographiques, géologiques et hydrologiques, de même que l'altitude du site, l'exposition, l'enneigement, etc.

L'importance que peuvent atteindre les déformations de la voie apparaît clairement soit par les nivellements (fig. 2), soit par les relevés exécutés au wagon de mesure entre Charrat et Saxon par exemple (fig. 3) en octobre 1955 avant l'hiver, en février 1956 durant la période de

gel et en mars 1956 après que la voie eut presque retrouvé son assiette primitive. Les déformations en hauteur atteignent en certains endroits jusqu'à 10 cm et des dévers dangereusement anormaux sont apparus de même que de sérieux décalages des joints. L'amplitude des déformations dépasse parfois 3 cm pour une longueur d'onde d'environ 10 m (fig. 4).

Les déformations furent telles qu'il fut nécessaire en certains endroits d'ordonner des réductions de vitesse à 75, 60 et 45 km/h sur de nombreux tronçons, comme le montre le tableau ci-dessous et la figure 5.

(Ar. = arrondissement)

Tronçons avec réduction de vitesses	Ar. 1	Ar. 2	Ar. 3	Réseau
à 75 km/h . . .	6	10	—	16
à 60 km/h . . .	30	8	5	43
à 45 km/h . . .	3	8	15	26
Total des tronçons à vitesses réduites . . .	39	26	20	85

Ces réductions de vitesses furent ordonnées dans la première moitié de février et durèrent généralement jusqu'à mi-mars, dans quelques cas jusqu'à mi-avril.

Réseau des Chemins de fer fédéraux

Légende :

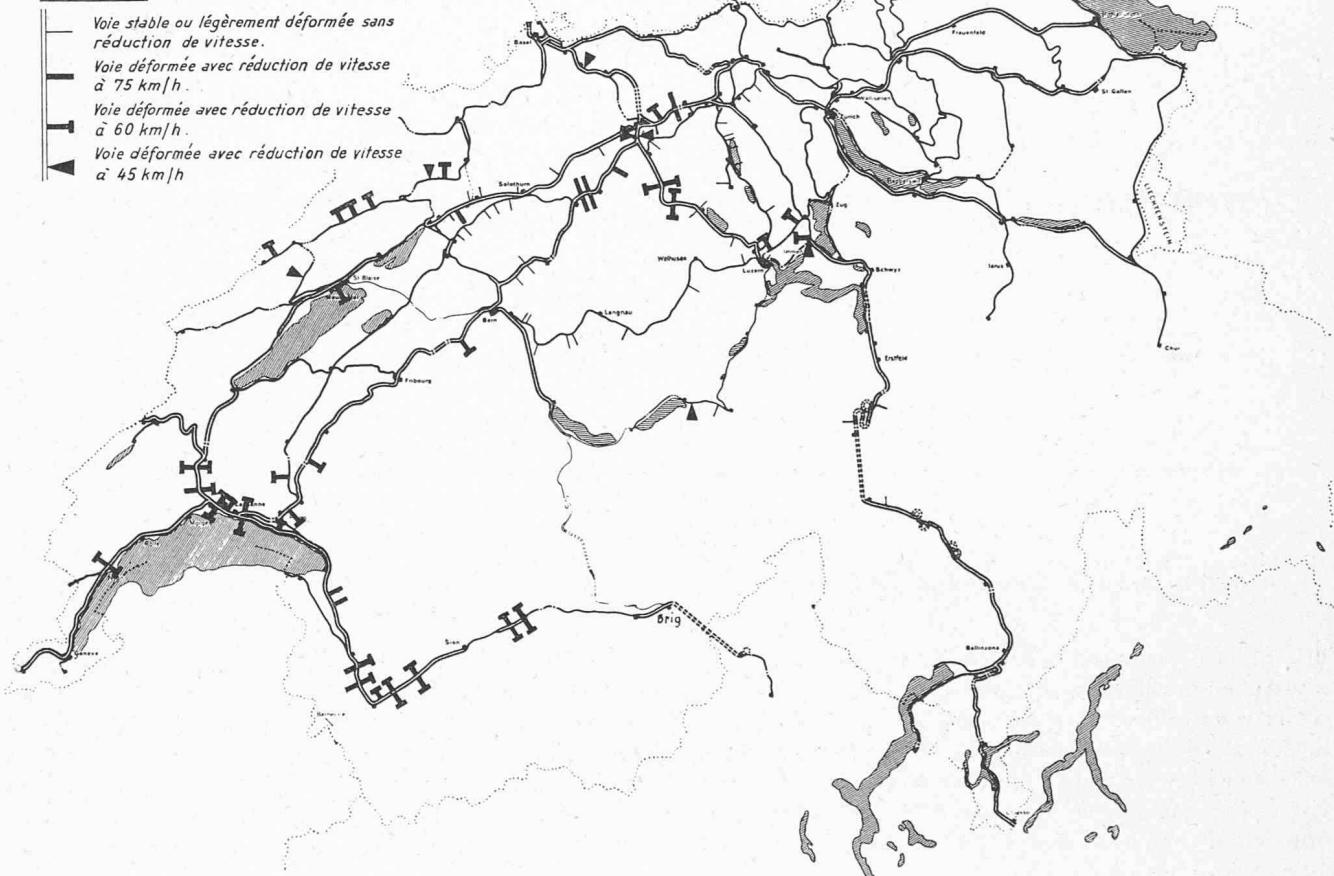


Fig. 5. — Répartition des déformations dues au gel sur le réseau des Chemins de fer fédéraux, en février 1956.

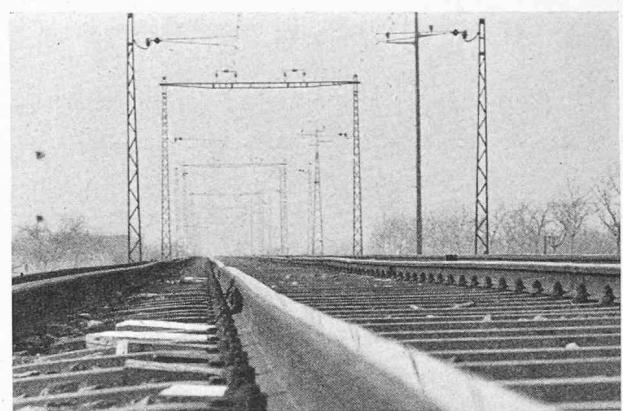


Fig. 4. — Voies déformées. En haut, en gare de Charrat; en bas, entre Charrat et Saxon (km 73.100).

Durant cette période, d'importantes dépenses résultèrent des travaux de surveillance et de calage de la voie au droit des « gonfles ».

Comme les voies déformées ne retrouvaient qu'approximativement leur assiette normale après le gel, les frais d'entretien de ces dernières durant l'été 1956 en ont subi une majoration certaine.

Dans le courant de février, on eut à déplorer de nombreuses ruptures de rails et de matériel d'attache, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

(Ar. = arrondissement)

Ruptures de matériel de voie en février 1956	Ar. 1	Ar. 2	Ar. 3
Matériel d'attache : écisses, écisses isolantes, boulons	100	pas relevé	quelques écisses isolantes
Rails	29	85	50
Soudures	9	36	
Total ruptures rails et soudures	39	121	50
Nombre de ruptures annuelles moyen de 1950 à 1955	116	177	175

Ces ruptures ne sont imputables qu'en partie au seul effet du froid, un danger latent existant souvent par préfissuration des rails. Remarquons qu'un grand nombre de ruptures ayant été enregistrées sur des tronçons très chargés (Bâle-Pratteln-Muttenz), où les rails étaient en service depuis vingt-cinq ans, il est permis d'attribuer à la fatigue un effet déterminant. Il est intéressant de noter que le nombre de ruptures totales pour 1956 ne dépassa guère la moyenne.

Beaucoup de ruptures ont eu sur l'exploitation des conséquences sensibles : elles entraînèrent des réductions momentanées de vitesses à 30, 20 et même 10 km/h. De nombreux retards furent occasionnés dans la circulation des trains (jusqu'à 217 minutes, le 10 février 1956, pour une rupture entre Rotkreuz et Immensee).

III. Etude géotechnique des sols d'infrastructure des voies entre Charrat et Saxon

Entre Charrat et Saxon, les déformations furent très importantes en février 1956 ; c'est pourquoi l'étude des sols y fut entreprise de façon particulièrement détaillée. Quatorze sondages furent exécutés le long des voies, leur profondeur étant comprise entre 2,50 m et 3,50 m. Le profil type de la figure 6 montre la coupe verticale de deux de ces sondages. La couche gelée de 60 cm d'épais-

seur en moyenne ne put être traversée qu'à l'aide d'un marteau pneumatique. Dans chaque sondage, un échantillon en vrac des matériaux gelés fut prélevé alors qu'un échantillon intact était prélevé dans la première couche de sol non gelé.

Les résultats des essais géotechniques montrèrent que le long de tout le tronçon les sols étaient homogènes. Si l'on calcule la moyenne des pourcentages en poids de gravier, de sable, de limon et d'argile¹ composant les échantillons prélevés d'une part dans les sols gelés, d'autre part dans les sols non gelés, on trouve les chiffres suivants :

	Sols gelés	Sols non gelés
Gravier	21 %	3 %
Sable	38 %	43 %
Limon.	32 %	43 %
Argile	9 %	11 %

Ces sols sont donc composés essentiellement de sable et de limon ; la couche supérieure est graveleuse, alors que la couche inférieure ne contient pratiquement pas

¹ Graviers : diamètre des grains compris entre 60 et 2 mm, Sables : " " " " 2 et 0,05 mm, Limons : " " " " 0,05 et 0,005 mm, Argiles : " " " " inférieur à 0,005 mm.

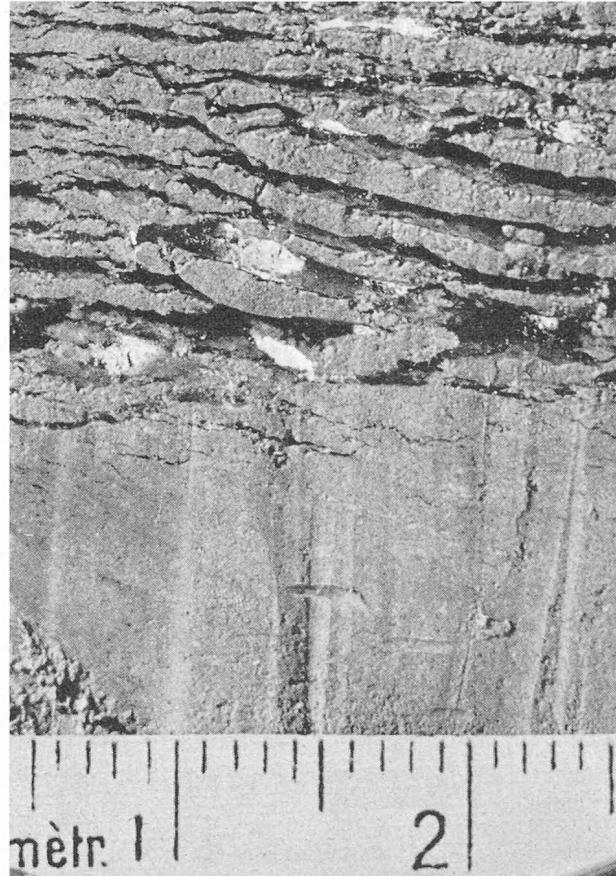


Fig. 7. — Lentilles de glace apparaissant en noir dans la partie supérieure de l'échantillon. (Largeur totale de l'échantillon : 2 cm).

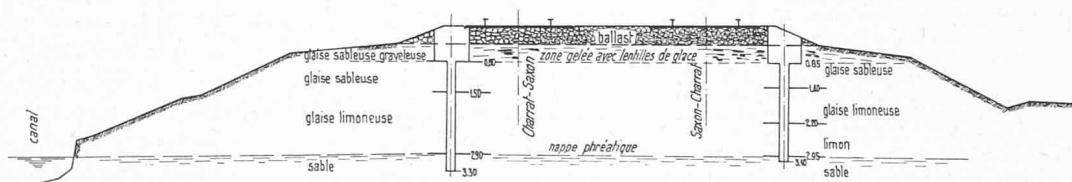


Fig. 6.
Profil type de la voie entre Charrat et Saxon.

de gravier. Il est vraisemblable que les graviers proviennent du ballast de la voie. Si l'on calcule les mêmes pourcentages moyens sans tenir compte du gravier, on obtient :

	<i>Sols gelés</i>	<i>Sols non gelés</i>
Sable	48 %	44 %
Limon	41 %	44 %
Argile	11 %	12 %

On constate que les deux couches étaient constituées à l'origine par les mêmes matériaux : sable 45 %, limon 45 % et argile 10 %.

Les caractéristiques moyennes des sols non graveleux, mesurées sur les échantillons intacts prélevés dans la couche non gelée sont les suivantes :

Poids spécifique apparent	$\gamma_h = 1,71 \text{ t/m}^3$
Teneur en eau	$W = 22,9 \%$
Poids spécifique des éléments solides	$\gamma_s = 2,73 \text{ t/m}^3$
Volume des éléments solides	$V_s = 51,0 \%$
Volume de l'eau	$V_w = 31,9 \%$
Volume de l'air	$V_a = 17,1 \%$
Pourcentage de vide	$n = 49,0 \%$
Indice de vide	$e = 0,96$
Degré de saturation	$S = 65 \%$
Limite de liquidité	$LL = 29,2 \%$
Limite de plasticité	$PL = 25,4 \%$
Indice de plasticité	$PI = 3,8 \%$
Perméabilité	$K = 10^{-3} \text{ cm/min}$

IV. Explication des phénomènes constatés

Le phénomène de gonflement du sol par formation de lentilles de glace sous l'action du gel est bien connu des ingénieurs routiers. La plus grande partie des dégâts que subissent les routes en hiver sous nos climats sont dus à ces gonflements. Il était donc naturel de penser que les déformations des voies avaient pour origine le même phénomène. Les sondages ont clairement démontré la présence, dans la couche gelée, de nombreuses lentilles de glace horizontales de 2 à 3 mm d'épaisseur et de 2 à 3 cm de longueur (fig. 7). La distance verticale entre les lentilles étant de l'ordre de 2 cm ; on peut estimer à 30 environ le nombre de lentilles superposées dans la couche gelée de 60 cm d'épaisseur. L'épaisseur totale de glace est donc d'environ 6 cm, ce qui correspond en ordre de grandeur aux soulèvements des rails mesurés par nivellement.

Le processus de formation de lentilles de glace a été expliqué par divers auteurs¹.

La teneur en eau moyenne des échantillons prélevés dans la couche gelée est de 25,4 % ; elle est plus grande que celle de la couche inférieure non gelée, ce qui confirme l'hypothèse exposée ci-dessus selon laquelle l'eau remonte vers la zone gelée pour permettre la formation de lentilles de glace.

¹ « Quand un sol gèle de haut en bas, la base étant au contact de l'eau, une série de lentilles de glace se forment, accompagnées d'un gonflement d'autant plus fort que la teneur en eau est plus grande. Au niveau atteint par le gel, la solidification de l'eau interstitielle a deux effets : d'abord, le sol immédiatement en contact avec la glace est desséché puisque l'eau solidifiée ne peut plus l'humecter ; ensuite, la chaleur de fusion de la glace est libérée par la congélation. Le desséchement crée un appel de l'eau qui se trouve immédiatement en dessous de la glace et qui monte pour prendre la place de l'eau solidifiée. La chaleur de fusion retarde la pénétration du froid dans le sous-sol. Une lentille de glace se forme et se développe tant qu'elle trouve dans le voisinage suffisamment d'humidité. Dès qu'elle n'est plus alimentée, le froid descend plus profondément et le processus de la formation de nouvelles lentilles de glace se répète. Le volume du sol est augmenté du volume de l'eau fixé dans les lentilles. Ce gonflement atteint parfois 30 cm et même davantage. »

(M. VERDEYEN : *Stabilité des terres.*)

Certains sols ne donnent pas lieu à l'apparition de lentilles de glace, et sont dits non gélifs. A. Casagrande a établi le critère suivant : Pour qu'un sol ne soit pas gélif, il faut qu'il contienne moins de 3 % en poids d'éléments plus petits que 0,02 mm. De plus, un sol très fin, donc imperméable, est peu gélif. Les sols les plus gélifs sont ceux qui sont formés en majeure partie de sable et de limon, c'est le cas des sols prélevés entre Charrat et Saxon.

L'épaisseur des lentilles de glace, donc l'importance des gonflements, dépend pour une grande part des conditions hydrologiques : position de la nappe phréatique par rapport à la couche gelée, degré de saturation du sol à l'époque du gel.

A cet égard, les conditions topographiques sont favorables entre Charrat et Saxon. Le canal longeant les voies constitue un drainage très efficace, et les sondages ont montré que la nappe phréatique au droit des voies n'était pas à plus de 10 cm au-dessus du niveau de l'eau dans le canal. Par contre, les pluies furent abondantes au mois de janvier 1956 et furent suivies immédiatement de la période de gel, sans que le sol soit protégé par une couche de neige. Le degré de saturation du sol au début du gel devait donc être élevé et l'absence de neige permit au gel de descendre profondément dans le sol.

V. Les mesures proposées pour limiter les inconvénients d'exploitation et les dégâts dus au gel sur les voies ferrées

Ces mesures doivent empêcher la formation des lentilles de glace dans la couche de sol exposée au gel. A première vue, deux méthodes sont applicables :

- 1^o Remplacer les sols gélifs par des matériaux non gélifs jusqu'à la profondeur d'action durable du gel.
- 2^o Empêcher l'eau de pénétrer dans la couche exposée au gel en rendant le sol imperméable par des injections ou par une stabilisation au ciment ou au bitume.

Le premier procédé a été utilisé en Allemagne et commence à être appliqué en Suisse.

L'épaisseur minimum de matériaux non gélifs doit être fixée en fonction de la profondeur maximum d'action du gel. Il n'est toutefois pas nécessaire d'éliminer les sols gélifs jusqu'à cette profondeur, la formation de quelques lentilles de glace en profondeur, au cours des hivers les plus froids, ne conduisant probablement pas à des déformations des voies suffisamment grandes pour gêner le trafic.

L'Union suisse des professionnels de la route fait depuis plusieurs hivers des observations de la profondeur maximum de pénétration du gel dans le sol. Actuellement les normes suivantes peuvent être admises :

Tessin, plateau et vallées des Alpes jusqu'à 800 m d'altitude	50-100 cm
Jura et Préalpes entre les altitudes de 800 et 1400 m	80-140 cm
Régions exposées du Jura, Alpes au-dessus de 1400 m	120-200 cm

Il est clair que sous le ballast des voies, le gel pénètre probablement moins profondément, c'est pourquoi seule l'observation du comportement des premiers tronçons de voie construits de cette manière permettront de mieux dimensionner l'épaisseur de la couche protectrice.

La deuxième méthode n'a pas encore, à notre connaissance, été appliquée. Le système des injections

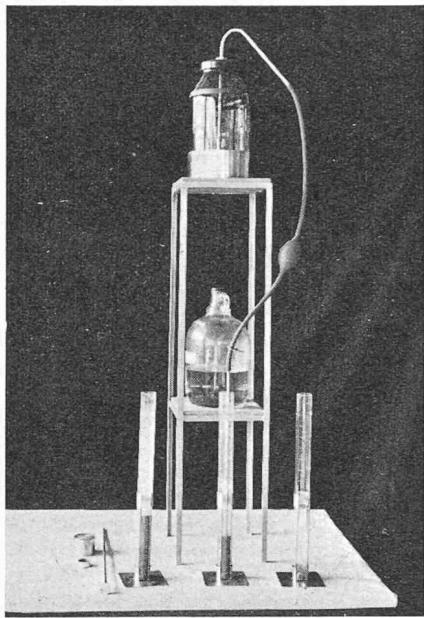


Fig. 8.
Appareillage pour la détermination de l'équivalent de sable ES.

permettrait peut-être d'obtenir de bons résultats tout en étant peu coûteux parce qu'il ne nécessiterait pas l'enlèvement complet de la voie. Les progrès réalisés par les moyens mécaniques de stabilisation des sols permettraient peut-être aussi d'obtenir de bons résultats.

VI. Détermination du degré de gélivité d'un sol

Lors de l'établissement du projet d'une voie nouvelle (double voie, par exemple), il y a intérêt à entreprendre l'étude géotechnique de l'infrastructure. La détermination de la composition granulométrique des sols permet alors de dire s'ils sont gélifs ou non (critère de Casagrande) et s'il y a lieu de prévoir une couche en matériaux non gélifs ou non.

Les matériaux non gélifs peuvent être soit des sables et graviers tout-venant, soit des « criblures » provenant du nettoyage du ballast des tronçons de voie en réfection. Le Laboratoire de géotechnique de l'E.P.U.L. a mis au point une méthode simple et rapide de détermination du degré de gélivité des sols graveleux (ballast tout-venant et criblures) à l'aide de l'essai de l'équivalent de sable (ES). Cette méthode ne nécessite qu'un seul tamisage des matériaux au tamis de 5 mm. Les fins sont alors mis en suspension dans une solution spéciale, l'éprouvette est agitée, puis on laisse décanter les matériaux. Après vingt minutes, le sable s'est déposé au fond de l'éprouvette ; il est alors possible, en mesurant le niveau du sable et celui de l'argile, de déterminer la proportion d'éléments fins contenus dans les matériaux analysés. L'équivalent de sable est défini comme le rapport de la hauteur du sable à celle de l'argile. Sa valeur est zéro lorsque l'échantillon ne contient pas de sable, elle est 1, lorsqu'il ne contient que du sable. La figure 8 montre l'appareillage nécessaire à la détermination de l'équivalent de sable.

Le diagramme de la figure 9 montre si le sol est gélif ou non. Cet essai peut être exécuté facilement sur un chantier. Il est probable que cette méthode pourra être appliquée également aux sols non graveleux.

- + non gélifs
- ⊕ peu gélifs
- ⊛ très gélifs

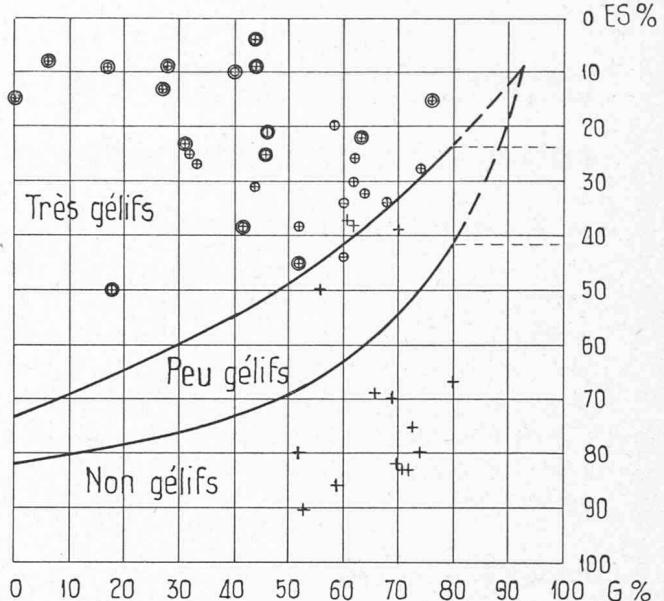


Fig. 9. — L'équivalent de sable ES et le pourcentage pondéral d'éléments plus grands que 5 mm G fixent la position dans le diagramme du point correspondant au sol étudié. La position de ce point donne le degré de gélivité.

Les limites des zones « Très gélifs », « Peu gélifs » et « Non gélifs » ont été fixées en prenant pour base les limites correspondantes de la norme sur la gélivité des ballasts (N° 40375) de l'Union suisse des professionnels de la route. Les points portés sur ce diagramme correspondent en ce qui concerne leur localisation aux résultats d'essais d'équivalent de sable exécutés sur des criblures et des ballasts tout-venant. Leur classification et leur représentation dans les trois degrés de gélivité résultent du critère de la norme N° 40375 de l'Union suisse des professionnels de la route.

VII. Conclusions générales

Les constatations faites en pleine voie et les déterminations géotechniques exécutées sur échantillons en laboratoire ont permis d'établir de façon incontestable la vraie nature des phénomènes qui sont cause des soulèvements des voies en période de gel.

L'étude dont quelques résultats ont été donnés à cette communication a démontré que pour les voies ferrées la prévention des dégâts dus aux gonflements consécutifs au gel peut se faire en appliquant les mêmes règles générales que celles mises au point au cours de ces dernières années pour la technique des fondations des routes. C'est ainsi que l'on peut, sans risque d'erreur appréciable, reconnaître si un sol est gélif ou non et, s'il l'est, prendre les mesures constructives éliminant les inconvénients en résultant en tenant compte judicieusement et *dans chaque cas particulier* de facteurs déterminants tels que possibilité ou non d'assainissement, de protection contre les eaux souterraines ou de ruissellement, rigueur du climat, etc.

A l'avenir, les administrations ferroviaires pourront se libérer des charges et des gênes résultant pour certains tronçons, chaque hiver, de la déformation des sols d'infrastructure de la voie en adoptant délibérément les solutions constructives et les remèdes dès aujourd'hui suffisamment connus.

L'application de ces mesures se heurte parfois à des difficultés, dans une plus grande mesure que pour les routes, résultant de la nécessité de maintenir le trafic tout en procédant au remplacement des sols d'infrastructure ou des matériaux de fondation.

Il convient dès lors d'étudier dès maintenant si tout en laissant en place des matériaux gélifs il n'est pas possible de les traiter (par injections par exemple) de manière à les rendre pratiquement insensibles aux effets du gel.

Pour étudier ces problèmes une collaboration entre instituts de recherche et administrations ferroviaires nous paraît particulièrement souhaitable.