

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin technique de la Suisse romande
<b>Band:</b>	64 (1938)
<b>Heft:</b>	20
<b>Artikel:</b>	Un nouveau procédé de congélation et ses possibilités d'application
<b>Autor:</b>	Daxelhofer, J.-P.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-49231">https://doi.org/10.5169/seals-49231</a>

### **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:** 22.02.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

## ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs  
Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :  
Suisse : 1 an, 10 francs  
Etranger : 12 francs

Prix du numéro :  
75 centimes.

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie  
F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

Paraisant tous les 15 jours

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. — Organes de publication de la Commission centrale pour la navigation du Rhin.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : M. IMER, à Genève ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. C. BUTTICAZ, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur cantonal ; *Valais* : MM. J. COUCHEPIN, ingénieur, à Martigny ; J. DUBUIS, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION : H. DEMIERRE, ingénieur, 11, Avenue des Mousquetaires,  
LA TOUR-DE-PEILZ.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE  
A. DOMMER, ingénieur, président ; G. EPITAUX, architecte ; M. IMER ; A. STUCKY, ingénieur.

## ANNONCES

Le millimètre sur 1 colonne,  
largeur 47 mm :  
20 centimes.

Rabais pour annonces  
répétées.

Tarif spécial  
pour fractions de pages.

Régie des annonces :  
Annonces Suisses S. A.  
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)  
Lausanne

SOMMAIRE : *Un nouveau procédé de congélation et ses possibilités d'application*, par J.-P. DAXELHOFER, ingénieur-conseil, à Paris. — *L'éclairage des terrains d'entraînement et des pistes de ski*. — *Concours pour l'étude des plans d'un bâtiment destiné à la Banque Populaire Valaisanne S. A.*, à Sion. — *Le nouveau règlement sur les adjudications de la commune de Lausanne*. — *Aménagement des chutes de l'Isonzo (Italie)*. — *L'éclairage des routes à grand trafic*. — *BIBLIOGRAPHIE*. — *SERVICE DE PLACEMENT*.

## Un nouveau procédé de congélation et ses possibilités d'application,<sup>1</sup>

par J.-P. DAXELHOFER, ingénieur-conseil à Paris,

### Introduction.

Les modifications importantes qu'apporte un gel intense à la résistance des terrains ont été observées depuis les âges les plus reculés. Mais on ne connaît pas beaucoup de cas — si ce n'est en Sibérie pour le creusement de puits — où le froid naturel ait été utilisé dans les travaux publics, pour faciliter certains travaux de terrassement ou de fondation. Les applications les plus connues sont l'utilisation du changement de volume de l'eau, passant de l'état liquide à l'état solide pour faire éclater des blocs de rocher, le durcissement de chaussées sur mauvais sol (Ukraine), la création de passages armés formant pont sur les rivières gelées en incorporant à la glace de la paille et des branchages.

En 1852 un Français, *Michaux*, surveillant aux Mines d'Anzin, eut l'idée d'utiliser le froid pour le creusement des puits de mines et fit un mémoire à ce sujet.

Une première application, couronnée de succès, fut faite en Angleterre, en 1862, pour traverser des sables bouillants. (Machine frigorifique à éther.)

En 1880 l'Allemand *Poetsch* fit ses premiers essais — et ce fut lui qui mit au point un véritable procédé industriel de congélation des terrains, en ayant surtout en vue le creusement des puits de mines. Il l'appliqua pour la première fois, en 1883, pour traverser 5,50 m de sable bouillant près de Magdebourg.

Depuis cette époque, la congélation a pris un grand développement dans le domaine minier. Pour mettre en lumière le chemin parcouru, il suffit de rappeler qu'en Belgique, la profondeur des puits de mines, foncés par congélation, dépasse 600 m (Charbonnages de Houthalen-Zolder : 2 puits de 5 m de diamètre utile à 625 et 635 m de profondeur (1923).

Par contre, ce procédé si séduisant, n'a pas été très en faveur dans les travaux publics, vraisemblablement à cause de son

<sup>1</sup> Communication présentée, le 31 mars 1938, aux « Journées de mécanique des terres », organisées par l'Institut de mécanique des terres de l'Ecole polytechnique fédérale (Voir *Bulletin technique* du 23 avril 1938, page 124).

prix élevé en apparence. A peine en est-il fait mention dans les traités de fondation. Une des premières applications fut la réparation d'un puits pour un ascenseur à bateaux sur le Canal de Saint-Omer en 1893<sup>1</sup>.

Puis vinrent, en 1907, les travaux de la Place Saint-Michel, à Paris, pour l'établissement d'une ligne de Métropolitain (Ligne n° 4 Porte d'Orléans—Porte de Clignancourt). Mais il faut attendre 1932 pour voir une application importante de la congélation dans les travaux publics : les puits du tunnel sous l'Escaut, à Anvers.

Enfin, en 1936, pendant que l'on procéda aux premiers essais du nouveau procédé décrit ci-après, en vue de la réalisation des prébatardeaux du barrage de Génissiat, sur le Rhône, on entreprenait aux Etats-Unis une construction très hardie — parce que c'était la seule qui pouvait être envisagée : un batardeau arqué constitué par solidification des boues mêmes d'un grand glissement, qui menaçait d'envahir les fouilles du barrage du Grand Coulee. Ce fut une réussite, bien que les terrains à congeler aient été en mouvement et que les sollicitations dans l'arc aient dépassé 14 kg/cm<sup>2</sup> environ<sup>2</sup>. Des applications très importantes étaient faites à la même époque à Moscou pour le Métropolitain<sup>3</sup>.

### Procédé courant.

Pour tous ces travaux, le sol a été congelé par une saumure refroidie, circulant à contre-courant, dans des tubes disposés convenablement dans le sol, et appelés congélateurs. Il y a divers procédés de congélation par saumure, mais ils diffèrent peu dans leur essence. Ils utilisent indifféremment comme agent frigorifique du gaz carbonique ou ammoniac. Le principe est toujours le même et le schéma en est donné figure 1.

### Nouveau procédé.

Mais, devant les inconvénients que présente ce système et son mauvais rendement, on pensa bien vite à dégager,

<sup>1</sup> C'est par congélation qu'ont été établis, en 1937, les puits pour les flotteurs des grands ascenseurs à bateaux, près de Magdebourg (Mittelrandkanal).

<sup>2</sup> Gordon Grant : *The use of refrigeration in building the Grand Coulee Dam* « *Refrigerating engineering* », janv.-févr. 1937.

<sup>3</sup> N.-G. Trupak : *Artificial freezing of ground during the construction of the Moscow subway*, VII<sup>e</sup> Congrès du froid, La Haye, 1936.

## Comresseur à gaz (Ether ammoniac, gaz carbonique, chlorure d'éthyle, etc...)

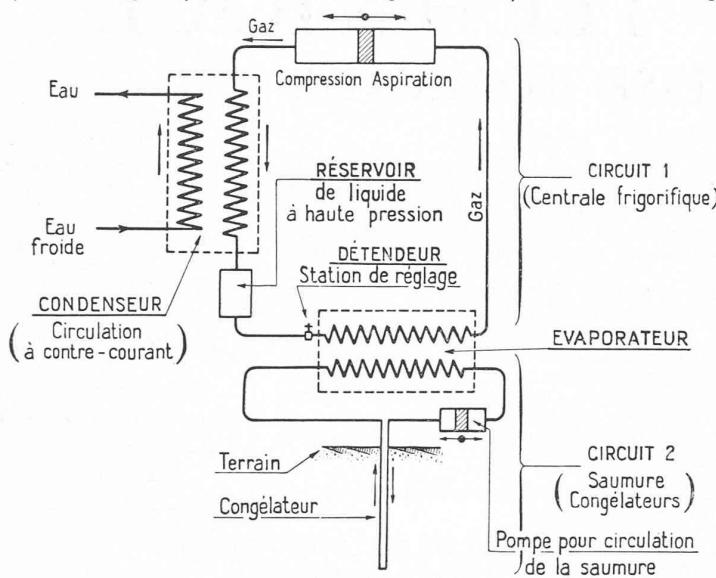


Fig. 1. — Schéma d'une installation de congélation par saumure.

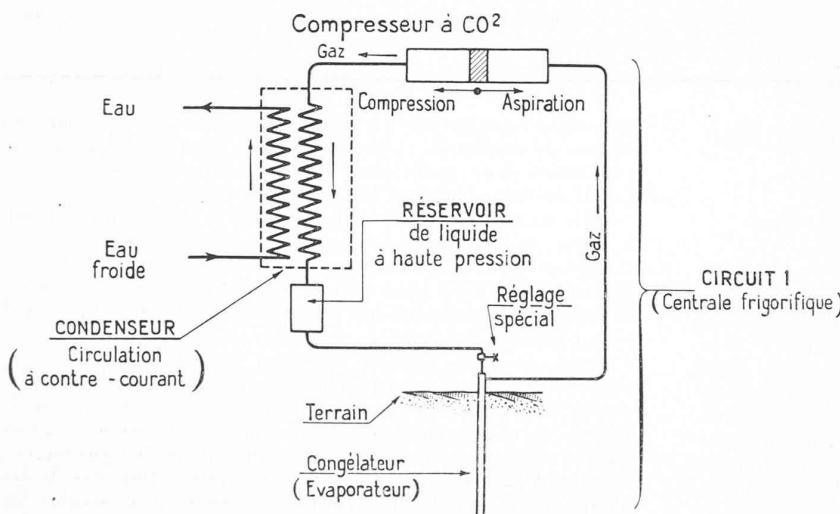


Fig. 2. — Schéma d'une installation de congélation par le procédé Rodio-Dehottay.

directement dans les congélateurs, le froid produit par la détente et la vaporisation d'un gaz liquéfié.

En 1905 déjà, Schmidt fit des essais avec le gaz carbonique, mais il échoua. En 1931 un Belge, M. Dehottay, prit un brevet sur la congélation par le gaz carbonique détendu directement dans les tubes congélateurs et eut l'idée d'un système de réglage simple du débit du fluide frigorifique.

Toutefois ce n'est qu'en 1935, avec la collaboration de M. G. Rodio, que fut réalisée la mise au point pratique du procédé. La première application, décrite ci-après, s'est terminée avec succès en mars 1938. On voit que, dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, il peut se passer de nombreuses années entre l'énoncé d'un principe ou d'une idée et la mise au point industrielle d'un procédé. Certaines techniques particulières, les injections de ciment par exemple, puis les injections chimiques, n'ont fait de si grands et rapides progrès que poussées par d'impérieuses nécessités pratiques : l'édition des grands barrages.

Le schéma du procédé Rodio-Dehottay est le suivant : fig. 2. Le fluide utilisé est le gaz carbonique, qui permet d'atteindre

facilement de basses températures. Le choix du  $CO_2$  a été basé sur les considérations suivantes :

- A. Toutes les conduites du chantier sont en surpression par rapport à l'atmosphère (ce ne serait pas le cas si on utilisait du  $NH_3$ , par exemple).
- B. La température d'évaporation est peu modifiée pour de grandes hauteurs de fluide en ébullition.
- C. Il n'attaque pas les métaux usuels.
- D. En marche normale, on obtient facilement des températures de  $-30^{\circ}C$  dans les tubes congélateurs. Il est même possible de descendre à  $-50^{\circ}C$ .
- E. Les fuites de gaz carbonique, même assez importantes, ne sont pas nocives sur un chantier normalement aéré.

Ce procédé permet donc de supprimer :

1. Le circuit de saumure (circuit 2, fig. 1) et par suite un échange de chaleur.
2. Les doubles tuyauteries dans les congélateurs.
3. L'évaporateur.

L'installation est simplifiée et il y a un gain très appréciable de force motrice. La seule suppression de la pompe de circulation de saumure peut entraîner dans certains cas, un gain de 20 % sur la consommation de force motrice. Par le fait que le fluide frigorifique est détendu directement dans les tubes, les pertes de froid le long de la conduite d'amenée de saumure sont supprimées. Le gaz liquéfié arrive en effet aux congélateurs à la température de l'eau du condenseur.

Par l'abaissement du prix de revient, facteur toujours essentiel dans l'art de l'ingénieur, ce procédé permet donc d'étendre le champ d'application de la congélation.

## Comportement des terrains gelés.

Il est peu probable que ce soit une question purement économique, qui ait limité le champ d'application de la congélation. Son développement est lié à une connaissance plus précise des terrains de fondation. Aussi peut-on être assuré que la congélation des terrains profitera beaucoup des grands progrès que fait actuellement la géotechnique. Réciproquement, une étude plus approfondie des propriétés des terrains aux basses températures apportera une contribution intéressante à la mécanique des sols et même à la géologie. C'est ainsi que les

recherches sur le soulèvement des chaussées par le gel, ont conduit à des résultats du plus haut intérêt, qui permettent d'expliquer certains phénomènes observés dans les travaux de congélation. Les belles études de M. Gunnar Beskow<sup>1</sup> en Suède et de M. Stephan Taber<sup>1</sup> aux Etats-Unis, qui datent d'une dizaine d'années, apportent une contribution importante à la connaissance des terrains à grains fins.

Il convient de rappeler ici que l'importance de l'eau comme élément constitutif des argiles n'a été reconnue qu'assez récemment<sup>2</sup> [3]<sup>3</sup>. Il n'y a pas si longtemps, l'eau n'était pas même mentionnée dans les nombreuses définitions des argiles. Son rôle essentiel a du reste été pareillement négligé en ce qui concerne la résistance des mortiers et bétons.

<sup>1</sup> Voir rappel bibliographique n° 1.

<sup>2</sup> M. P. Urbain pense que pour rendre compte de toutes les propriétés des roches argileuses, le pétrographe doit étendre la notion d'association lithologique et ranger les solutions salines naturelles parmi leurs constituants normaux, à côté des minéraux et des organismes.

<sup>3</sup> Les chiffres entre crochets se rapportent à l'index bibliographique placé à la fin de l'article. — Réd.

Or, les études sur le soulèvement des chaussées ont mis en évidence le fait que l'eau d'une argile se présente schématiquement sous deux états différents : l'eau qui imbibe les pores du terrain et que nous appellerons *l'eau libre*, et l'eau *adsorbée* à la surface des grains, qui possède des propriétés particulières. Il est possible d'agir sur les propriétés des argiles elles-mêmes en modifiant le rapport de l'eau libre à l'eau adsorbée sans modifier la quantité d'eau totale [4].

#### Influence de l'eau adsorbée.

Un certain nombre de conséquences intéressantes découlent des faits rappelés ci-dessus, en ce qui concerne la congélation.

1. La force d'adsorption a pour résultat d'abaisser le point de congélation de l'eau. Comme l'épaisseur de la pellicule d'eau adsorbée est à peu près indépendante de la grandeur des grains (sauf pour de très petites dimensions) la quantité d'eau adsorbée augmente avec la finesse de ces derniers<sup>1</sup>. Les sols à grains fins gèlent donc à une température inférieure à zéro degré centigrade.

Des observations précises ont permis de donner une relation entre la température de congélation et le diamètre des grains dans le cas de grains réguliers [1].

Cette formule est de la forme :

$$t = C \sqrt{\frac{1}{d}} \quad \text{où} \\ C = 0,0056, \quad t \text{ en } {}^{\circ}\text{C} \text{ et } d \text{ en mm.}$$

Un terrain constitué par des grains de deux à trois  $\mu$  se congèle à  $-0,1^{\circ}\text{C}$ .

Ces observations permettent de se faire une idée sur l'épaisseur de la pellicule d'eau adsorbée, qui est de l'ordre de 2 à  $3\mu$ , mais la force d'adsorption est encore mesurable à une distance de l'ordre de  $40\mu$ .

2. Les sels en solution dans l'eau intersticielle, jouent un rôle d'autant plus actif qu'ils agissent plus efficacement sur la quantité d'eau adsorbée à la surface des grains. Ainsi le calcium diminue, le potassium et le sodium augmentent la quantité d'eau fixée aux grains. Celui-là agit comme flocculant et ceux-ci comme déflocculants (agents de foisonnement : carbonate de soude, silicate de soude, soude caustique). Cette action électrolytique a plus d'influence sur la température de congélation que la présence du sel lui-même dans la solution. Ainsi une solution de chlorure de calcium ( $\text{Ca Cl}_2$ ), à très faible concentration ( $1/2\%$  par exemple), peut diminuer de moitié le degré de soulèvement par le gel d'une argile déterminée.

Il est possible que l'action du  $\text{Ca Cl}_2$  sur la prise des ciments, à une température voisine de zéro degré centigrade, puisse être attribuée à des phénomènes analogues [6].

3. C'est l'eau adsorbée qui permet d'expliquer le mécanisme du gonflement de certains terrains sous l'influence du gel naturel ou artificiel. Les soulèvements de chaussées atteignent plusieurs décimètres dans les régions à hivers rigoureux. Ils ne peuvent s'expliquer par la simple augmentation de volume due au changement d'état de l'eau. En effet, un sol peut contenir 50 % d'eau ; dans ce cas l'augmentation de  $1/10$  conduirait à un gonflement de 5 cm pour 1 m d'épaisseur de gel. Or, ces gonflements importants ne se manifestent jamais dans des terrains à grosses particules, mais uniquement dans les terrains argileux. Cela provient du fait que l'eau des pores gèle moins vite que l'eau contenue dans une discontinuité quelconque dont le point de congélation est zéro degré centésimal. Il se forme, alors, dans la masse des cristaux de glace, qui tendent à s'accroître aux dépens de l'eau libre et des pellicules.

<sup>1</sup> Action de surface : rappelons qu'un  $\text{cm}^3$  de matière pulvérisée en grains de  $1\mu$  de diamètre, a une surface de  $6 \text{ m}^2$  [5], et comprend environ  $2 \cdot 10^{12}$  particules. 1 kg d'argile contenant 30 % d'eau en pourcentage du poids du sol tel quel et comprenant :

	5 % de grains de	1 $\mu$	de diamètre
15 %	"	2 $\mu$	"
20 %	"	20 $\mu$	"
30 %	"	0,2 mm	"
20 %	"	1 "	"
10 %	"	2 "	"

comporte 34 000 milliards de particules supposées sphériques. La surface des grains est d'environ  $220 \text{ m}^2$ , ce qui veut dire que la couche d'eau moyenne a une épaisseur de  $1,5\mu$ .

les d'eau adsorbée avec lesquelles ils sont en contact. Si les grains sont très fins (voisins du micron) le cristal n'est pas en contact direct avec les grains eux-mêmes, mais avec les pellicules d'eau adsorbée. Le cristal fixant des molécules d'eau prélevées aux pellicules, ces dernières tendent à se reconstruire. En d'autres termes, l'eau située au-dessous du cristal de glace en formation est en tension et les grains sont en pression. Il se produit donc une concentration d'eau dans des horizons déterminés. Si le dégel survient, cette eau est libérée et le sol se ramollit.

Un gonflement ne peut survenir dans les sables, parce que les dimensions des discontinuités se rapprochent de celles des pores, que le pourcentage d'eau adsorbée est faible et que l'eau des pores gèle à peu près à zéro degré.

Le gonflement par le gel est influencé en outre par la pression supportée par le terrain (à laquelle s'ajoute la sous-pression de l'eau) et la distance du niveau d'eau par rapport à la zone congélée.

Ce mécanisme assez curieux [II], qui donne lieu à une séparation nette entre l'eau et l'argile, cette dernière pouvant être entièrement cloisonnée, surtout si elle contient beaucoup de colloïdes, permet d'expliquer certaines observations faites en Belgique au cours du creusement de puits de mines.

Ainsi M. Biquet, qui a dirigé les fonçages par congélation des deux puits d'Helchteren-Zolder à 620 m, écrit dans son ouvrage sur le fonçage des puits de mines en terrain aquifère [7], que contrairement à l'opinion qui régnait alors, il n'a jamais noté de soulèvement du fond du puits lorsque le creusement s'effectuait dans des terrains entièrement gelés et que lorsqu'il y en a eu, c'était dans la zone supérieure du puits, où il demeure un noyau de terrain non gelé et toujours dans des argiles, jamais dans des sables (en deux jours d'arrêt le noyau de terrain non gelé formant le fond de l'excavation se soulevait de plusieurs cm).

Enfin, il cite une autre observation, qui montre aussi que les phénomènes observés au sujet du soulèvement des chaussées sont généraux et s'appliquent aux travaux de congélation en général. Des argiles congélées mises en présence de l'air manifestent un gonflement particulièrement sensible. Si l'on n'y touche pas il cesse assez rapidement. Au contraire si l'on enlève la croûte qui a gonflé, le gonflement reprend. Il s'agissait probablement d'argiles à faible teneur en eau qui absorbaient l'humidité de l'air.

Dans le cas d'écrans, il faut s'attendre à des surpressions horizontales dans certains terrains, surtout si les travaux d'entretien ne sont pas suivis très soigneusement. Mais lorsque la pression est suffisante, le gonflement latéral cesse pratiquement. C'est ce qui fut observé au cours des travaux décrits ci-après : Les parois congélées passaient au-dessous et à travers des massifs de maçonnerie, dont certains se sont fissurés, mais au bout d'un certain temps, ces fissures se sont stabilisées.

En ce qui concerne les poussées sur des ouvrages, dues à ces phénomènes de gonflement par croissance de lentilles de glace, il faut noter que celles-ci se produisent principalement dans le sens du rayonnement de la chaleur.

4. C'est aussi à la présence de pellicules d'eau adsorbée, qu'il faut probablement attribuer la grande plasticité des terrains gelés, plasticité d'autant plus forte que les grains sont plus fins et que la température est plus voisine de zéro  $^{\circ}\text{C}$ . L'expérience a montré que lorsque les terrains gelés ont une température voisine de  $-10^{\circ}\text{C}$ , on note des ruptures de tubes congélateurs par suite des déformations importantes des parois, alors qu'elles ne se présentent plus si la température des terrains est descendue à  $-20^{\circ}$ ,  $-25^{\circ}\text{C}$ . (Cas de puits de mines avec fortes poussées).

A titre d'indication, la résistance à l'écrasement d'un bloc de sable congelé à  $-20^{\circ}\text{C}$  est supérieure à  $200 \text{ kg/cm}^2$ ; à  $-15^{\circ}\text{C}$  elle est de  $138 \text{ kg/cm}^2$ .

l'argile sableuse à	$-15^{\circ}\text{C}$	réside à environ	$90 \text{ kg/cm}^2$
l'argile à	$-15^{\circ}\text{C}$	"	$70 \text{ "}$
la glace pure à	$-15^{\circ}\text{C}$	"	$20 \text{ "}$

#### Influence de l'eau libre.

L'influence de l'eau adsorbée ayant été examinée, considérons maintenant le rôle de l'eau libre.

A première vue, il semble que l'augmentation de volume, due à la solidification de l'eau (augmentation qui est environ d'un dixième), doive jouer un rôle important et créer des poussées ou des gonflements très notables. Chacun connaît en effet les ruptures de récipients ou de canalisations qui se produisent lors des grands froids. La réalité est un peu différente parce que la congélation du sol s'opère à partir de tubes placés au préalable dans le sol et que le froid rayonne autour de ces tubes : il se produit un refroidissement centrifuge.

Examions le cas d'une enceinte circulaire dans des terrains perméables (sables et graviers). Il se forme, tout d'abord, une couche de glace, autour du tube, qui va en augmentant, jusqu'à ce que les cylindres se soudent les uns aux autres. Tant que ces cylindres ne sont pas encore soudés, l'excès d'eau est repoussé vers l'extérieur. Au moment de la fermeture de l'enceinte et si tous les tubes ont été mis en marche en même temps, l'eau en excès due à l'augmentation d'épaisseur de la face extérieure, est repoussée et le puits se comporte alors comme un tube isolé. Il n'en est pas de même pour l'eau comprise dans l'enceinte. Elle est bientôt en excès et son niveau va s'élever si c'est possible ; ou bien elle se mettra en pression, ce qu'il faut éviter. Pratiquement, on établit un puits filtrant au centre de l'enceinte. Il sert d'exutoire et permet de contrôler la fermeture de la paroi. Lorsqu'il s'agit de réparer un puits par congélation, on ne fait pas marcher tous les congélateurs à la fois, pour que l'eau située entre la paroi glacée et le cuvelage puisse s'échapper jusqu'au dernier moment.

Lorsque les terrains sont peu perméables, c'est qu'ils sont en général constitués par des grains très fins. Comme nous l'avons vu précédemment, la quantité d'eau libre par rapport à l'eau adsorbée est relativement faible et la dilatation due au changement de volume, pour un limon ou des boues, par exemple, est, au maximum, de 1 à 2 %. Des argiles contenant moins de 20 % d'eau peuvent même présenter un retrait assez important [8]. Il est probable que l'eau contenue dans un terrain à grains très fins n'est jamais congelée en totalité. M. S. Taber, dans ses essais, a trouvé que 6 % environ de l'eau (en poids du produit sec) demeuraient à l'état libre, même à des températures assez basses.

(A suivre.)

## L'éclairage des terrains d'entraînement et des pistes de ski.

Cette note est extraite de la revue « B. I. P. », organe de la Société française pour le développement des applications de l'électricité qui a obligamment mis ses clichés à notre disposition. — Réd.

La pratique du ski prend une place de plus en plus importante dans les loisirs de la jeunesse. Les habitants des contrées exemptes de neige cherchent à profiter, au maximum, des séjours qu'ils font dans les régions neigeuses. Ces séjours correspondent le plus souvent avec de courtes périodes de détente : ponts ou vacances d'hiver, et, la plupart du temps, fins de semaine. Il est donc naturel que l'on ait cherché à profiter des heures de nuit pour prolonger au maximum la durée d'utilisation des pistes de saut.

Dans les pays, ou les régions plus favorisées où la neige recouvre le sol pendant un temps suffisamment long, ce sport est pratiqué presque quotidiennement et les nombreux adeptes se rendent sur les terrains de ski après leur travail.

L'éclairage des pistes de ski a déjà fait l'objet de réalisations dans les pays scandinaves ; et, dans certaines régions de ces pays, l'entraînement nocturne s'effectue régulièrement sous l'éclairage artificiel.

Parmi les premières conditions que devra réaliser une installation d'éclairage de pistes de ski, nous noterons essentiellement l'absence totale d'éblouissement et un éclairage suffisant. Il est bien évident, en effet, que les skieurs ne doivent en aucune façon être gênés par des foyers de brillance trop élevée qui puissent être susceptibles de les aveugler momentanément et de les empêcher d'apercevoir les obstacles. D'autre part, les grandes vitesses mises en jeu nécessitent une perception nette et rapide du terrain, de ses inégalités et une appréciation exacte de la valeur des pentes.

On peut diviser les pistes de ski en deux catégories principales : d'une part, les aires d'entraînement destinées au public, vastes terrains à pente douce, qui sont parcourus suivant la déclivité générale du terrain, mais sous des obliquités diverses, et d'autre part, les pistes d'entraînement de saut, étroites, à pentes relativement fortes, et qui présentent, en général, un tremplin de saut en un point de leur parcours.

Un exemple d'installation du premier type nous est donné

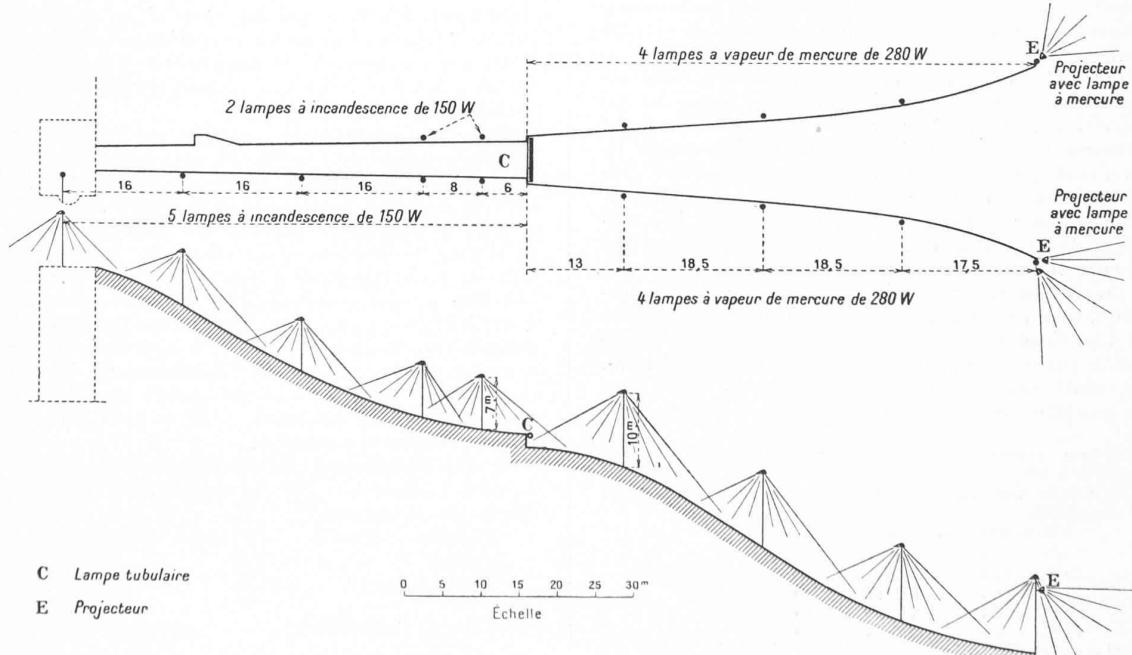


Fig. 1. — Schéma du dispositif d'éclairage de la piste de ski de Fiskartorp.