

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 93 (1967)  
**Heft:** 22

**Artikel:** Terrains argileux de la Suisse romande: deux problèmes de stabilité spéciaux  
**Autor:** Mayor, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-69092>

### **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:** 21.12.2024

**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 (SVIA)  
de la Section genevoise de la SIA  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole poly-  
technique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

## Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgrin, arch.; J.-C. Ott, ing.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; M. Chevalier, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;  
M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »  
Président: D. Bonnard, ing.  
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; M. Cosan-  
dey, ing.; J. Favre, arch.; A. Rivoire, arch.; J.-P. Stucky,  
ing.  
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

## RÉDACTION

D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua  
architecte  
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse	Fr. 40.—	Etranger	Fr. 44.—
Sociétaires . . . . .	»	» 33.—		
Prix du numéro . . . . .	»	» 2.—	»	» 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »  
N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie  
La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:  
1/1 page . . . . . Fr. 423.—  
1/2 » . . . . . » 220.—  
1/4 » . . . . . » 112.—  
1/8 » . . . . . » 57.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Terrains argileux de la Suisse romande, par H. Mayor, docteur ès sciences, ingénieur EPUL.  
La composition du béton, par Arthur Nyffeler, ingénieur civil, dipl. EPUL.  
Bibliographie. — Les congrès.  
Documentation générale. — Informations diverses.

## TERRAINS ARGILEUX DE LA SUISSE ROMANDE

### DEUX PROBLÈMES DE STABILITÉ SPÉCIAUX

par H. MAYOR, D<sup>r</sup> ès sciences, ingénieur EPUL, directeur technique EXPEPTEC S.A. <sup>1</sup>

#### Introduction

Terzaghi a parlé un jour du rôle souvent capital que joue en matière de fondation le « détail géologique mineur », qui par sa présence peut bouleverser les conclusions de l'analyse avant qu'on ne l'ait remarqué. En voici deux types observés dans la Riviera vaudoise.

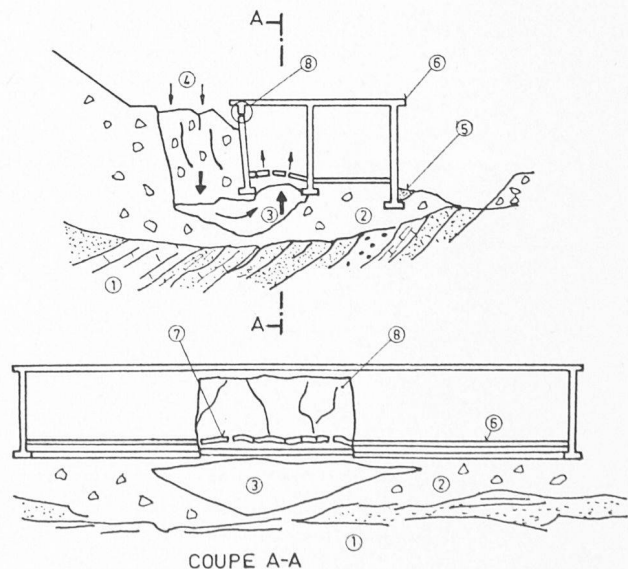
#### I. Poche d'argile liquide

Un entrepôt est construit dans un versant; aucun sondage n'a été exécuté. Le terrain est très dur; il s'excave normalement. Tout est construit sans difficul-

<sup>1</sup> Communication présentée devant les membres de la Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondations, le 12 mai 1967, à Lausanne.

Fig. 1. — Rupture d'une paroi suite à la présence d'une lentille d'argile liquide en profondeur.

1. Roche en place: grès et marnogrès. — 2. Moraine argileuse. —  
3. Argile liquide. — 4. Chemin effondré. — 5. Remblayage. —  
6. Dallage intact. — 7. Dallage rompu et soulevé. — 8. Rupture  
du mur amont.



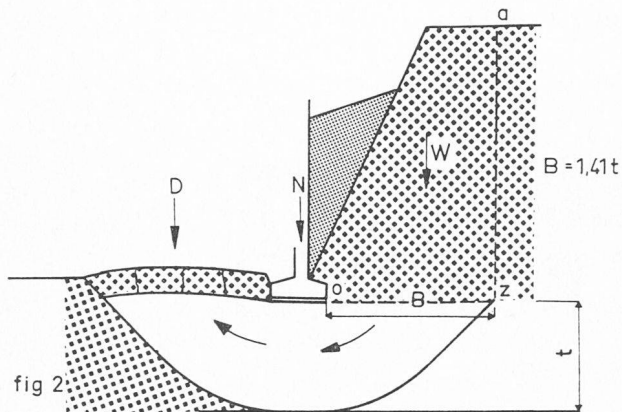


Fig. 2. — Mécanisme de la rupture (d'après Terzaghi).

tés. Trois semaines après le bétonnage du mur, le fond de l'entrepôt se met à gonfler, le mur se fissure et un panneau de quelque 4 m de large avance de 4 cm environ. En amont, le terrain s'enfonce verticalement de plusieurs centimètres.

Un sondage à la pelle et à la pioche traverse 80 cm de terrain ferme puis atteint une poche d'argile liquide gonflante où l'avancement devient impossible. Des sondages au pénétromètre indiquent que la poche d'argile liquide est large de 10 m environ et profonde de 3 m au maximum. Le mécanisme probable de la rupture est schématisé à la figure 2.

Des échantillons d'argile sont prélevés et traités en laboratoire au courant électrique continu. Trois groupes d'éprouvettes sont essayées simultanément :

dans le premier montage, l'anode est en aluminium, la cathode en cuivre ;

dans le second, anode et cathode sont en cuivre ;

le troisième groupe sert de témoin.

La résistance mécanique est mesurée au pénétromètre de poche.

Les résultats des essais sont reportés sur le tableau suivant :

## TRAITEMENT ÉLECTROCHIMIQUE

### ESSAIS D'ORIENTATION

Résistance au pénétromètre de poche

#### 1. Echantillon témoin

Durée de l'essai	Résistance moyenne mesurée
0 h.	0,15 kg/cm <sup>2</sup>
90 h. 40'	0,60
257 h. 45'	1,60

Remarque : l'échantillon s'est desséché progressivement.

#### 2. Electro-osmose uniquement

Anode et cathode de cuivre.

Durée de l'essai	Résistance au pénétromètre de poche en kg/cm <sup>2</sup>		
	Anode	Milieu de l'éprouvette	Cathode
0 h.	0,2	0,3	0,2
90 h. 40'	4,5	1,6	0,6
257 h. 45'	4,5	2,2	2,2

#### 3. Traitement par électrochimie

Anode d'aluminium et cathode de cuivre.

Durée de l'essai	Résistance au pénétromètre de poche en kg/cm <sup>2</sup>		
	Anode	Milieu de l'éprouvette	Cathode
0 h.	0,2	0,2	0,2
90 h. 40'	4,5	4,5	2,4
257 h. 45'	4,5	4,5	4,2

#### Caractéristiques de l'essai

Courant électrique fourni par chargeur de batterie (redresseur 6 volts. Intensité trop faible pour être mesurée avec précision.

Dimension des éprouvettes : prismes rectangulaires de 4 × 4 × 16 cm.

Nota : Durant tout l'essai, les faces extrêmes ont été baignées par de l'eau distillée. Trois faces latérales sont protégées par du plastique non conducteur, la quatrième est à l'air libre.

Sur la base de ces essais, le traitement est effectué par la maison Stump en octobre 1965. Le dispositif employé consiste en batteries d'anodes d'aluminium et de cathodes de fer ou de cuivre. Les électrodes sont disposées en files distantes de 0,85 m. L'intervalle entre

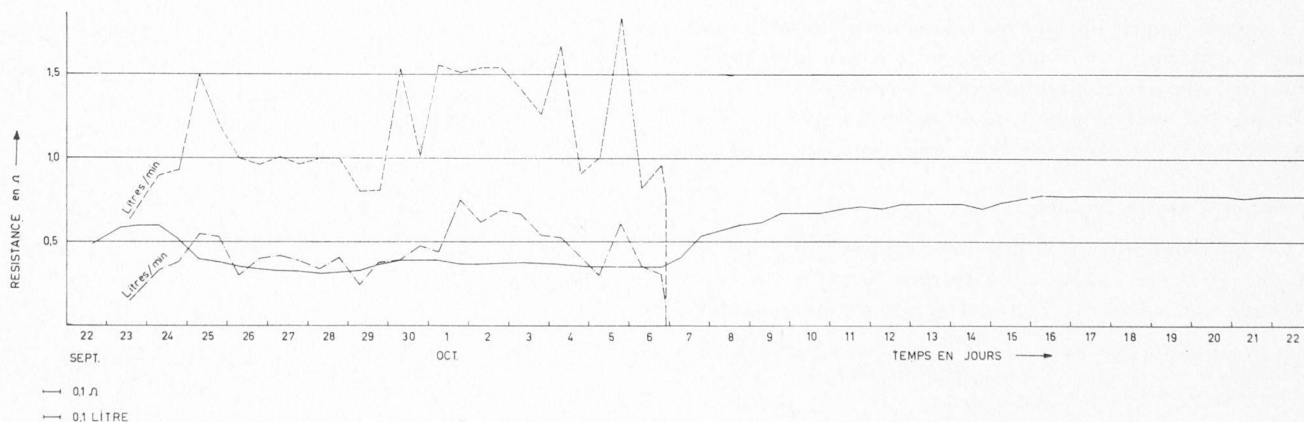


Fig. 3. — Traitement par électro-chimie. — Evolution du débit de la résistance globale du dispositif en cours de traitement.

----- Débit total : surfaces + électrodes.  
 ———— Débit pompé aux électrodes.

électrodes dans les files est de 1,5 m. L'eau est recueillie aux cathodes par un dispositif du type Well point. Les électrodes traversent l'argile liquide de part en part. Le courant est fourni par une génératrice débitant jusqu'à 150 ampères sous une différence de potentiel de 50 volts. L'installation travaille vingt-quatre heures sur vingt-quatre.

Durant le traitement, le contrôle porte sur la quantité d'eau pompée dans les puits et sur la consommation de courant. La différence de potentiel étant maintenue constante, les variations d'intensité dépendent de la variation de résistivité du sous-sol. On peut en suivre l'évolution en calculant simplement la résistance du dispositif par l'application de la loi d'Ohm. Le résultat de ce contrôle est donné à la figure 3. On constate que pendant deux jours la résistance est forte et le débit faible ; puis elle baisse, tandis que le débit d'eau pompée augmente. Après quinze jours de traitement, le débit d'eau décroît et s'annule, tandis que la résistance augmente progressivement et devient constante dès le vingt-quatrième jour. Le traitement est poursuivi encore durant sept jours.

Pour la vérification de l'efficacité du traitement, d'autres contrôles ont été faits ; ils portent sur les points suivants :

#### 1. Eau, analyse chimique semi-quantitative

Ions recherchés	Avant traitement <sup>1</sup>	Après traitement <sup>2</sup>
Na	— — —	+ + +
K	— — —	+
Ba	+ +	— — —
Sr	+ +	+
Mg	+ + + +	+
Ca	+ +	— — —
Al	+	— — —

<sup>1</sup> Eau extraite de l'argile par électrodialyse.

<sup>2</sup> Eau prélevée à une cathode.

Ces résultats sont semblables à ceux donnés par N. Jinkin (bibliographie) et confirment l'efficacité du traitement.

#### 2. Pénétromètres

Alors que, avant traitement, les barres du pénétromètre s'enfonçaient dans l'argile sous leur propre poids, il faut maintenant de cinq à vingt coups pour descendre de 20 cm.

#### 3. Teneur en eau

Avant le traitement, la teneur en eau dépassait la limite de liquidité. Aucun échantillon intact n'avait pu être prélevé. Maintenant, la teneur en eau est inférieure à la limite de liquidité.

#### 4. Inspections ultérieures

Depuis deux ans, aucune fissure n'a été observée et aucun mouvement de terrain n'a été décelé.

#### Conclusions

Les conclusions à tirer de cet exemple sont de deux ordres.

1. Du point de vue de l'exploration, les chances de découvrir cette poche d'argile liquide lors de sondages de reconnaissance étaient extrêmement minimes, car il s'agit d'un accident très localisé et non repérable en surface.

2. Du point de vue technique, le traitement appliqué a été efficace. Mais l'opération a été coûteuse. La génératrice a débité pratiquement 100 ampères sous 50 volts durant 31 jours. L'équipe de surveillance était à pied d'œuvre vingt-quatre heures sur vingt-quatre. L'un dans l'autre, on peut estimer que le traitement d'un mètre cube d'argile est revenu à Fr. 50.—.

## II. Fissures tapissées de minéraux gonflants

En plusieurs endroits des rives du Léman, entre Lausanne et Vevey, les sondages révèlent une structure géologique assez particulière (fig. 4), que l'on peut esquisser schématiquement.

Un sondage usuel rencontrera de haut en bas les terrains suivants :

1. Limon sableux, sables argileux soit limons de ruissellement.
2. Sur plusieurs mètres, un mélange hétéroclite et désordonné de terrains d'origines diverses :

— Marnes molassiques fraîches ou altérées au point de n'être plus que des argiles bariolées sans structure visible.

— Grès molassiques en blocs de 20 l à 2 m<sup>3</sup>, tantôt durs et compacts, tantôt complètement altérés et transformés en sables.

— Paquets de moraine plus ou moins typique.

— Formation de marais et de source : argiles tourbeuses, tuf, craie lacustre avec parfois des débris végétaux ou animaux.

La principale caractéristique de ce niveau 2 est le désordre total dans lequel les différents terrains se succèdent.

3. Viennent ensuite plusieurs mètres de sable propre extrêmement compact, ou directement la roche en place reconnaissable à sa structure régulière que l'on retrouve d'un sondage à l'autre.

Le niveau 2 est vraisemblablement formé par un amas de terrains éboulés ou glissés au moment ou peu après le retrait des glaciers. Il est particulièrement intéressant du point de vue géotechnique. Alors que le 98 % des carottes et échantillons sont d'excellente qualité, on observe, par-ci par-là, la présence de minces fissures (3 mm à 2 cm d'épaisseur) tapissées d'une argile jaunâtre ou verdâtre pratiquement liquide.

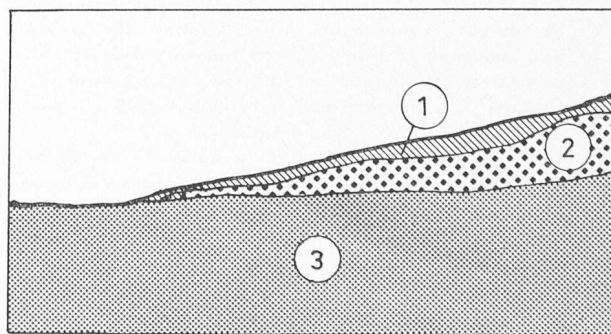


Fig. 4.

1. Limons de pente. — 2. Masses glissées. — 3. Sables lacustres.



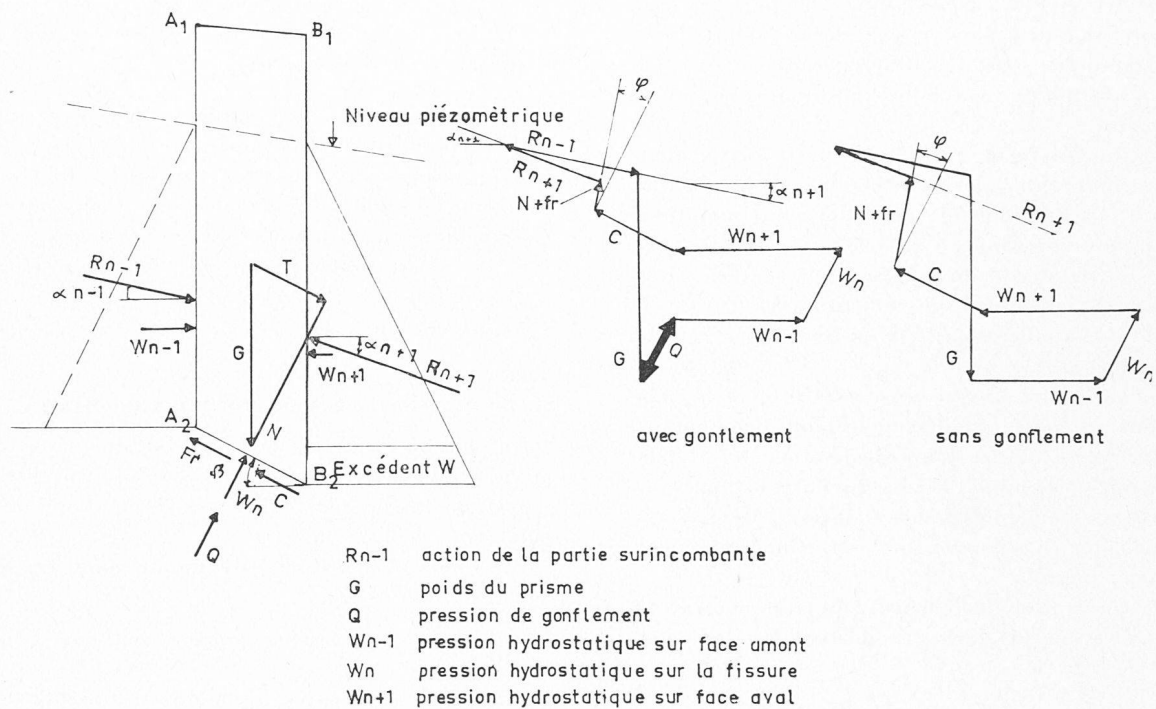


Fig. 5. — Forces agissant sur un prisme de terrain.

- Les essais de cisaillement révèlent un angle de frottement interne compris entre 1 et 5°, la cohésion se tient entre 50 et 150 g/cm<sup>2</sup>.
- Un essai simple permet de constater le plus souvent la présence en proportion notable de minéraux gonflants. L'essai consiste à mettre 10 cc de terrain séché à 80° puis broyé dans un tube à essai, puis de noyer cette poudre dans 100 cc d'eau et d'attendre 24 heures. La présence de minéraux gonflants se manifeste par une augmentation notable du volume de la matière solide au fond du tube.
- L'analyse aux rayons X indique la présence de 30 à 50 % de vermiculite gonflante, de montmorillonite ou de mixed layers.

\* \* \*

La présence de minéraux gonflants dans les fissures influe de deux manières la stabilité d'un versant :

1. Les argiles absorbent spontanément toute l'eau qui s'infiltré et finissent par devenir liquides.
2. Les pressions de gonflement peuvent être importantes et suivent l'orientation de la fissure. Elles peuvent ajouter des efforts de plusieurs tonnes par mètre carré aux forces menaçant l'équilibre du versant. Leur effort s'ajoute aux forces prises habituellement en considération dans les analyses d'équilibre. Les dynamiques dessinées à la figure 5 le montrent directement. La poussée transmise à la partie inférieure est augmentée dans une proportion non négligeable. Il n'est malheureusement pas aisé d'introduire ce facteur dans les calculs de stabilité.

\* \* \*

Du point de vue pratique, trois remèdes seulement :

1. Quand c'est possible, éviter de construire.

2. Ancrer les ouvrages en profondeur dans la roche en place.
3. Couper l'alimentation en eau par des drainages. Cette solution, parfaite en théorie, ne devient efficace qu'après plusieurs années, vu la faible perméabilité des argiles.

Des fissures tapissées d'argile gonflante s'observent parfois dans la roche en place et peuvent provoquer les mêmes phénomènes d'instabilité.

C'est ainsi qu'en 1905, la partie Ouest de l'Hôpital cantonal de Lausanne a dû être liée par des chaînes au bloc Est parce que tout le versant de la colline glissait sur une mince couche argileuse située au sein de la masse rocheuse.

Fait à noter : la surcharge des constructions ne représentait pas 1 % de la masse en mouvement.

### Conclusions

Du point de vue des l'exploration, la présence de fissures tapissées d'argiles gonflantes doit toujours être suspectée dans les régions molassiques. Nombre d'accidents, qui semblent à première vue infirmer les données de la géotechnique classique, s'expliquent par le jeu des poussées de gonflement et aussi par le fait que les minéraux argileux gonflants sont capables d'absorber lentement des quantités d'eau importantes, jusqu'à dépasser finalement la limite de liquidité.

### BIBLIOGRAPHIE

- G.-N. JINKIN : Processus physico-chimiques durant l'assèchement des sols par électro-osmose, in *Acad. de la constr. et arch. Inst. Fond. et constr. sout.*, N° 50, Moscou, 1962.