Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 103 (1985)

Heft: 19: 50 Jahre Institut für Grundbau und Bodenmechanik an der ETH Zürich

Artikel: Rôle de l'Institut dans le passé et à l'avenir

Autor: Recordon, Edouard

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75770

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: 13.07.2025

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

Rôle de l'Institut dans le passé et à l'avenir

De Edouard Recordon, Lausanne

Le double anniversaire qui est célébré cette année est celui de la géotechnique, si l'on englobe dans ce terme la mécanique des sols, la mécanique des roches et les travaux de fondation. Cela doit être l'occasion:

- **de rendre hommage aux hommes qui ont pris l'initiative de créer les Instituts des Ecoles polytechniques fédérales et de développer ce domaine à ses débuts;**
- **de faire un bilan de l'activité passée;**
- **de montrer quel sera probablement le développement à moyen terme;**
- **de tenter un examen critique du rôle que jouent les Instituts des EPF.**

Il va sans dire que ce rôle est lié aux trois missions principales des Ecoles polytechniques suisses:

- **Enseignement ou formation des ingénieurs**
- **Recherche fondamentale et appliquée**
- **Services aux tiers: expertises judiciaires, conseils en cas de constructions spéciales, essais spéciaux en laboratoire ou «in situ»**

Comment ces missions sont-elles accomplies par les Laboratoires de mécanique des sols et de mécanique des roches de l'EPFL? C'est ce que nous allons tenter de montrer.

L'apparition de la géotechnique à Lausanne (1934-1950)

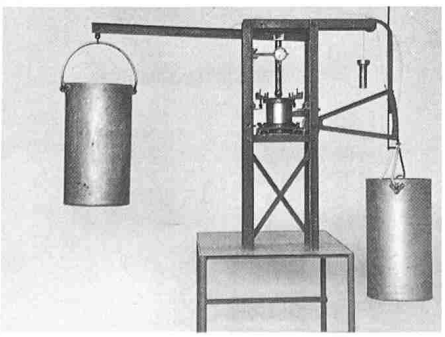
A l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne enseignait M. Alfred Stukky, nommé en 1926 professeur de travaux hydrauliques, d'aménagements de chutes d'eau, de calcul hydraulique et de fondations.

Dans le but d'introduire l'hydraulique expérimentale a l'Ecole d'ingénieurs, M. Stucky proposa la création du Laboratoire d'hydraulique et obtint en 1928 la somme de Fr. 2900.— nécessaire à l'achat d'un chenal d'essai.

Ce laboratoire se développe assez rapidement: en 1932, M. Daniel Bonnard commence son activité en qualité d'assistant de M. Stucky et en 1934, le Laboratoire d'hydraulique compte, à côté de son directeur, cinq ingénieurs et quatre employés subalternes.

A la fin de l'année 1934, le premier rapport géotechnique est établi; il s'agit de l'étude de l'argile dont on envisage l'utilisation pour construire le barrage en terre de Bannalp. M. A. Stucky, ingénieur-conseil, a chargé la section de géotechnique du Laboratoire d'hydraulique de cette étude. La seule manière de développer le Laboratoire, dont le budget ne bénéficie que d'un faible appui de l'Etat de Vaud, est en effet de lui confier des mandats. Le rapport de cette étude donne déjà les résultats d'analyses granulométriques, des valeurs de la teneur en eau, de la perméabilité, ainsi que la résistance au cisaillement et la compressibilité de l'argile. Cela suppose donc que l'appareillage est déjà développé. L'appareil de cisaillement (type Casagrande) est d'ailleurs décrit de manière détaillée dans le rapport (fig. 1).

Fig. 1 Appareil de cisaillement direct de 1934



Au cours des années 1934 à 1940, 56 études sont exécutées. Le tableau 1 montre que dans cette période initiale, le Laboratoire avait déjà abordé presque toutes les catégories de problèmes géotechniques. Un poids particulier est donné toutefois aux problèmes routiers, puisque près de la moitié des études concernent ce domaine, grâce au soutien et à l'intérêt du chef du Service des routes vaudois de cette époque, M. L. Perret, qui sera d'ailleurs par la suite président de l'Union des professionnels suisses de la route (1945-1949).

Dans la période suivante, 1941-1950, malgré les difficultés dues à la Deuxième Guerre mondiale, le Laboratoire continue à se développer. Il entreprend au cours de ces dix années 343 études, sous l'impulsion de M. Bonnard qui en est devenu directeur-adjoint, et de M. J.E. Bonjour, ingénieur permanent principal. M. Bonjour quittera le Laboratoire en 1948 pour passer au Service cantonal des routes.

En ce qui concerne *l'enseignement* à cette époque, une lettre de M. Stucky, datée du 11 juin 1943, adressée à M. le Dr Louis Bendel à Lucerne, donne certains renseignements intéressants. En voici un extrait:

«Vous savez sans doute que j'ai enseigné moi-même, pendant plusieurs années, la géotechnique à l'Ecole d'ingénieurs et qu'actuellement, cette matière est donnée par M. D. Bonnard, chargé de cours et chef de travaux des Laboratoires d'hydraulique et de géotechnique. Ce cours, tel qu'il est donné actuellement, comprend les chapitres suivants:

I Définitions et notions fondamentales: teneur en eau, limites, cohésion, angle de frottement interne, compressibilité, perméabilité, etc. Méthodes d'essai.
II Répartition des contraintes dans un sol de fondation.
III Tassements et ruptures d'équilibre dans les sols. Conditions de rupture, charge de poinçonnement, estimation des tassements. Choix du type de fondation et du taux de contrainte admissible. Stabilité des pentes.
IV Digues et remblais. Choix des matériaux, problèmes de mise en place. Contrôle de chantier.
V Routes et aérodromes. Stabilisation des sols. Effets du gel. Contrôles de chantier.

Nous serions désireux que vos leçons ne fassent pas double emploi avec celles de M. Bonnard et vous prions de nous indiquer, compte tenu de l'énumération précédente, en détail les questions que vous vous proposez de traiter.»

Par la suite, M. Bendel donnera pendant plusieurs années, à titre de privat-docent, un cours sur les méthodes géophysiques, avec travaux pratiques sur le terrain.

En 1938 déjà, un premier cours d'actualisation des connaissances (recyclage) était donné dans le domaine de la géotechnique et dans le cadre de la SIA.

La *recherche,* dans cette période initiale, est très active. Les méthodes de la géotechnique sont étudiées et mises en pratique, les appareillages du Laboratoire et ceux de prélèvement des échantillons sont construits et les méthodes d'essai mises au point. En outre, deux thèses importantes sont présentées en 1943, notamment [7] et [8].

Le rôle du jeune Laboratoire de géotechnique apparaît donc d'emblée dans cette première période. Schématiquement, ses éléments principaux sont les suivants:

□ mettre à la disposition des ingénieurs constructeurs des méthodes nouvelles de calcul pour l'estimation du comportement des sols de fondation;

☐ mettre à la disposition des mêmes ingénieurs la technologie, les appareillages d'essais nécessaires à la mesure des paramètres physiques des sols;
☐ former le personnel, ingénieurs et laborants, qui constituera d'une part les cadres «permanents» du Laboratoire, et d'autre part les spécialistes qui iront, après un stage au Laboratoire, pratiquer la géotechnique dans les administrations, les bureaux d'étude ou les entreprises;
☐ former les étudiants en génie civil dans cette nouvelle branche;
☐ entreprendre des recherches originales pour contribuer au développement de la géotechnique.

Les publications du Laboratoire sont aussi le reflet des travaux entrepris. Quelques-unes d'entre-elles sont citées dans la liste bibliographique, notamment [1], [2], [3], [4], [6] et [9].

Phases de développement (1951-1970)

Le tableau 1 montre que ces deux décennies sont celles au cours desquelles les mandats venant de l'extérieur ont été les plus nombreux: environ 70 par année de 1951 à 1960, et presque 100 par année de 1961 à 1970. Cela démontre que les praticiens ont trouvé un très grand intérêt dans l'utilisation des méthodes de la géotechnique.

Cette période est marquée par une action du Laboratoire vers l'extérieur, liée à trois faits importants pour la géotechnique.

En 1953 a lieu à Zurich, sous la présidence de M. le professeur K. Terzaghi, le 3e congrès de la Société internationale de mécanique des sols et des travaux de fondation. La session de clôture de ce congrès a lieu à Lausanne, après les excursions techniques. MM. A. Stucky et D. Bonnard sont membres du comité d'organisation présidé par M. le professeur E. Meyer-Peter, et dont le secrétaire général est M. le Dr A. Von Moos, respectivement directeur et collaborateur du Laboratoire de l'EPF-Zurich (VAWE).

	Catégories d'études	34-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-83	*Total*
1	Aérodromes	1 (1)	5	8	4	1	-	19
2	Routes et autoroutes	27 (39)	169	184	128	39	4 (13)	551
3	Voies de chemins de fer et tunnels	-	5	23	10	1	1 (3)	40
4	Bâtiments	8 (11)	65	232	378	92	22 (73)	797
5	Digues, remblais, fouilles	9 (13)	17	18	6	6	3 (10)	59
6	Ponts et murs soutènement	2 (3)	8	39	42	14	3 (10)	108
7	Glissements	1 (1)	4	31	15	10	DUTI	61
8	Graves routières	-	8	62	165	103	34 (113)	372
9	Divers	8 (12)	62	91	237	250	66 (220)	714
	Totaux	56 (80)	343	688	985	516	133 (442)	2721

Tableau 1. Nombres de mandats d'expertises confiés au Laboratoire. Les chiffres donnés entre parenthèses dans les colonnes 1934 à 1940 et 1981 à 1983 représentent le nombre d'études qui auraient été exécutées si ces périodes avaient eu 10 ans, comme les quatre autres.
(DUTI = Projet d'école sur la Détection et l'Utilisation des Terrains Instables)

La Société suisse de mécanique des sols et des roches, qui s'appelle alors Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondation, est créée en 1956. Le premier président est M. le Dr A. Von Moos (1956 à 1960) et le second sera M. le professeur D. Bonnard (1960 à 1962) [5].

Dès 1946, le travail de normalisation dans le domaine de la géotechnique routière s'amorce avec la création de la Commission Super et infrastructure de l'Union des professionnels suisses de la route. Son premier président sera M. le Dr R. Ruckly (1946 à 1956), puis M. J.E. Bonjour lui succédera (1956 à 1964).

Plus tard, la SIA prendra en charge également la normalisation dans le domaine des tirants d'ancrage, des fondations sur pieux, des travaux souterrains et des pousse-tubes.

Cela fait apparaître un nouveau rôle des Instituts des EPF: leur apport dans les sociétés professionnelles. Cet apport est primordial car le dialogue qui l'établit conduit à fixer la terminologie et les règles de l'art dans les normes, ce qui assure une bonne correspondance entre le langage utilisé dans les cours et celui des normes. De plus, la publication d'une nouvelle norme s'accompagne généralement de journées d'information, organisées souvent dans les EPF par les sociétés professionnelles.

Les représentants des Instituts reçoivent, lors de ces contacts avec les spécialistes de la pratique, d'innombrables informations qui influencent leur manière de présenter les choses et certains choix de priorités dans les programmes de recherche. Il s'agit donc d'un véritable dialogue où les Instituts fournissent des prestations, mais en reçoivent tout autant. A ce moment, le Laboratoire comptait six employés salariés de l'administration cantonale et 20 employés payés par les recettes des mandats (fig. 2).

La période 1951 à 1970 est marquée par la naissance d'une nouvelle spécialité, celle des *ingénieurs géotechniciens*. Certains ingénieurs civils, attirés par l'intérêt des problèmes de mécanique des sols

Fig. 2 Variation des recettes

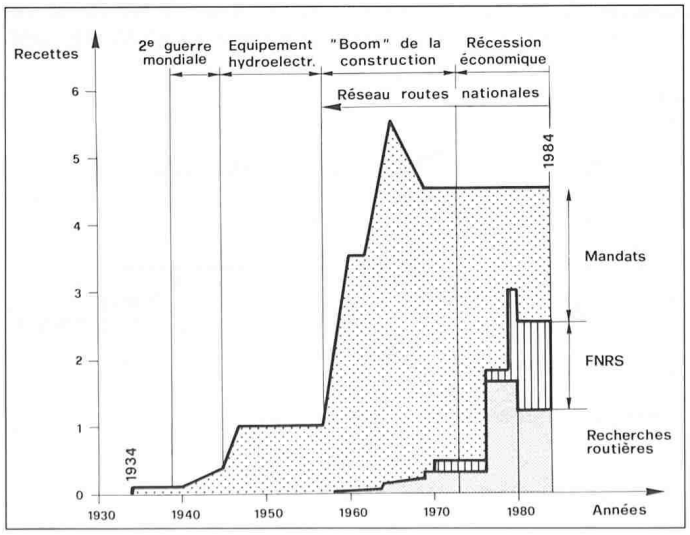
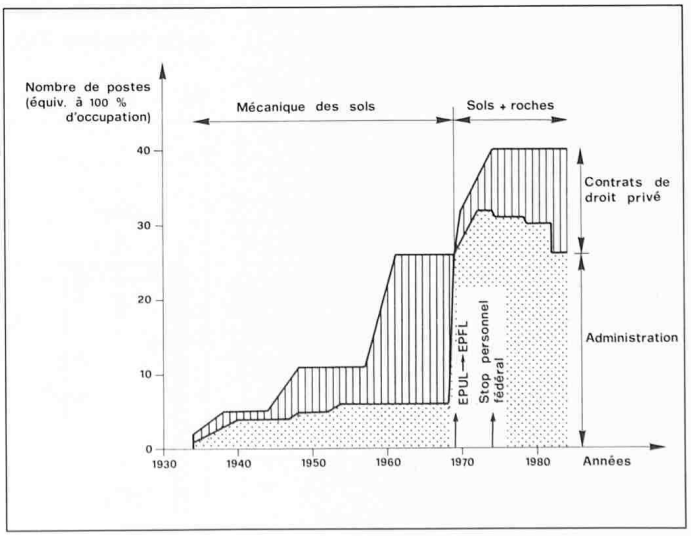


Fig. 3 Variation du nombre des collaborateurs



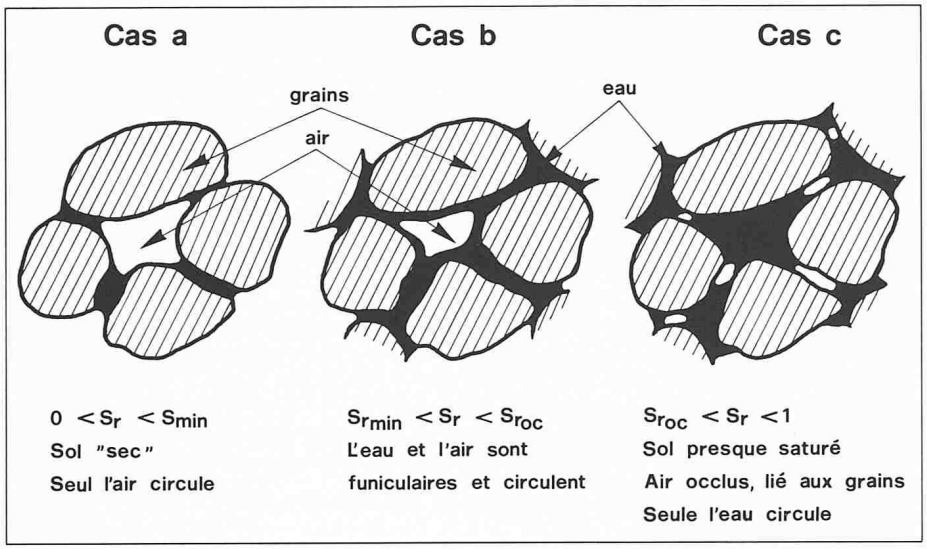


Fig. 4 Les trois cas du degré de saturation

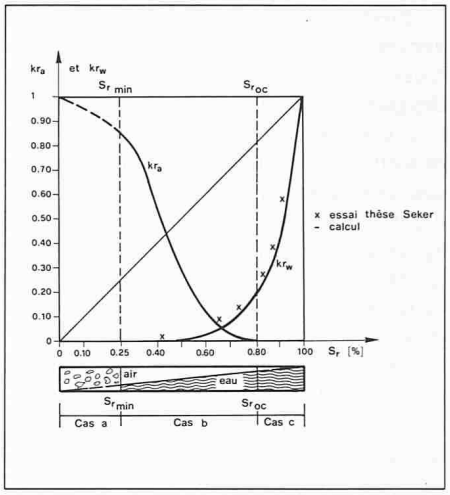


Fig. 5 Perméabilités relatives en fonction du degré de saturation k_{r_a}: perméabilité à l'air, k_{r_w}: perméabilité à l'eau

et de fondation, se spécialisent, souvent par des stages dans les Laboratoires des EPF, puis ouvrent leur propre bureau d'ingénieur-conseil. Plusieurs d'entre eux complètent leur bureau d'un laboratoire de géotechnique. Le succès de la géotechnique est donc confirmé et cette discipline prend une place en vue dans la pratique.

Mécanique des roches et mécanique des sols (1971–1984)

Au début de cette dernière période, quatre événements vont influencer très sensiblement le caractère et l'activité du Laboratoire de géotechnique:

□ En 1969, l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne (EPUL) est reprise par la Confédération et devient l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

□ L'Ecole décide de créer une chaire de mécanique des roches.

□ M. le professeur D. Bonnard prend sa retraite en 1973.

□ En 1974 commence la récession économique, accompagnée dans l'administration fédérale du «stop» du personnel.

Pour le Laboratoire de géotechnique, le passage à la Confédération est marqué par le fait que les six fonctionnaires cantonaux et les 20 employés au bénéfice d'un contrat de droit privé deviennent employés de la Confédération. Les recettes du Laboratoire sont dans les premières années versées en très grande partie au Département fédéral des finances. Ces années fastes, au cours desquelles de grands espoirs étaient nés spécialement pour le développement de la mécanique des roches, ne sont hélas qu'au nombre de cinq. Dès 1974, le «stop» du personnel fédéral conduit l'Ecole à retirer six postes au secteur géotechnique. Un modeste développement d'activité ne peut être obtenu qu'en recourant à nouveau aux contrats de droit privé (fig. 3).

Lors du départ de M. le professeur D. Bonnard, en 1973, le corps enseignant est fortement renforcé par la nomination de quatre professeurs: hydraulique, mécanique des roches, mécanique des sols et fondation (ce dernier à temps partiel).

Le Laboratoire de géotechnique (à cette époque le LEGEP) est dispersé dans quatre immeubles du quartier de la route de Genève. Décision est prise de le regrouper, en attendant les bâtiments d'Ecublens, dans des locaux loués à l'avenue de Provence. Cela marque sa séparation du Laboratoire d'hydraulique sur le plan du personnel et de l'administration. Quelques années plus tard, pour marquer l'importance qu'accorde l'EPFL à la mécanique des roches, le LEGEP disparaît à son tour pour faire place au Laboratoire de mécanique des sols (LMS) et au Laboratoire de mécanique des roches (LMR). Toutefois, ces deux laboratoires restent étroitement liés dans les mêmes locaux et avec un personnel en grande partie interchangeable.

L'intervention de la Confédération sur le plan financier permet dès 1969 de développer l'équipement expérimental, de renforcer le corps professoral et d'être moins dépendant des recettes d'expertises, qui diminuent sensiblement (tableau 1). Ces moyens sont néanmoins à disposition pour entreprendre des recherches fondamentales beaucoup plus importantes que précédemment et d'accepter des candidats au doctorat. Les Laboratoires font appel aux fonds fédéraux de recherches en matière de route et au Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNRS). Ils veil-

Fig. 6 Profil hydrique $S_r = f(z)$

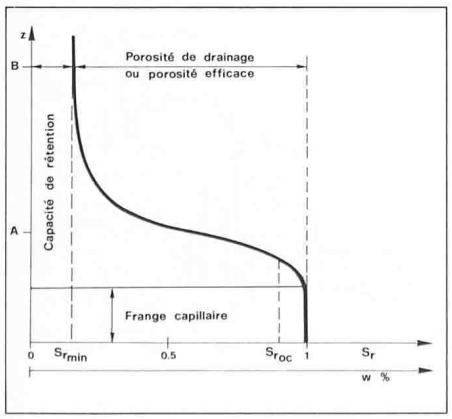
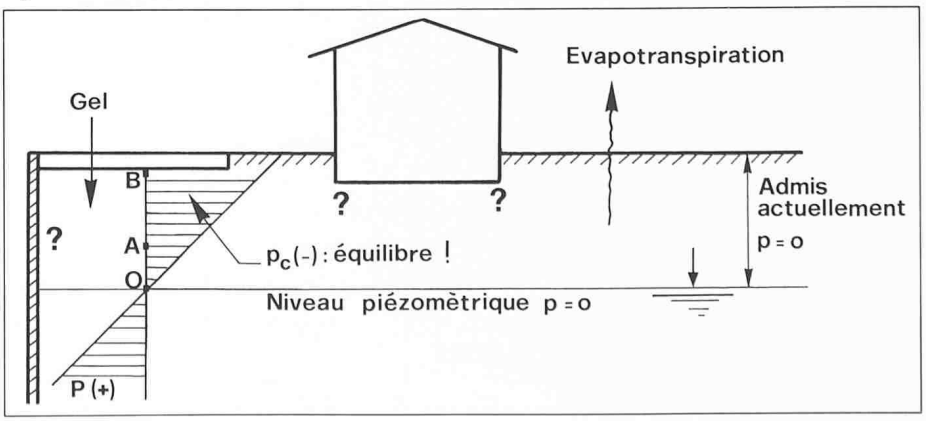


Fig. 7 Fondations et soutènement en sol non saturé



lent le plus possible à éviter la «concurrence» avec les bureaux et les laboratoires privés et n'acceptent plus que les mandats qui leur sont proposés dans des cas spéciaux. Un nombre minimum d'expertises est toutefois indispensable pour assurer la formation des ingénieurs stagiaires et pour maintenir un contact suffisant avec la pratique et orienter correctement l'enseignement et la recherche.

Rôle des Laboratoires de l'EPFL à l'avenir

Les missions des Ecoles polytechniques restent les mêmes, il n'y a pas de raison que le rôle des Laboratoires soit modifié en ce qui concerne la formation, la recherche et les expertises.

Je me limiterai donc dans ce qui suit à examiner quel est l'avenir de la recherche et citerai deux domaines dans lesquels la recherche fondamentale sur le matériau sol doit être intensifiée.

Alors que le champ de la recherche en mécanique des roches est grand ouvert, cette discipline étant relativement récente, certains pourraient se demander si, après plus de cinquante années de recherche en mécanique des sols, il reste encore quelque chose à découvrir?

Les travaux des précurseurs *C.A. de Coulomb* (1736–1806), *H. Darcy* (1803–1858) et *W. Rankine* (1820–1872) ont été le début de ce que l'on pourrait appeler déjà la mécanique des sols. Dans leurs travaux sur l'équilibre limite des massifs de terre agissant sur un soutènement, Coulomb et Rankine ne faisaient pas intervenir l'influence de l'eau, admettant qu'elle n'est pas en pression. Darcy, au contraire, étudie le mouvement de l'eau au travers du milieu poreux minéral dans le but d'évaluer les vitesses et les débits.

Ce n'est qu'en 1923 que *K. Terzaghi*, dans sa publication sur la consolidation des sols argileux, introduit l'influence de l'eau sur le squelette minéral et invente le concept de contrainte effective. Il donne ainsi le point de départ de la véritable mécanique des sols, mais il n'envisage que le cas du milieu saturé.

A cet égard, il est frappant de lire le livre de *Lambe et Whitman* [11] qui représente l'enseignement du M.I.T. à Boston, où l'on traite tout d'abord du sol sec, puis des écoulements souterrains et de leur influence sur les contraintes effectives en milieu saturé, mais où l'on n'aborde presque pas le cas du milieu non saturé. Il en est de même à Lausanne et à Zurich [12].

Milieu poreux non saturé

Au cours des 50 années que nous venons de vivre, de très nombreuses recherches se sont développées dans le domaine des sols non saturés et des écoulements biphasiques en milieux poreux:

□ *Hydrogéologues, pétroliers, ingénieurs ruraux et agronomes* établissent les lois qui permettent de définir le mouvement des fluides à deux phases. Mais ils considèrent que le milieu poreux est indéformable (porosité constante). Les phénomènes de tension superficielle et de succion (pression négative) apparaissent dès que l'on est en présence de deux fluides.

Trois cas sont à considérer selon la valeur du degré de saturation S_r (fig. 4):

a) La teneur en eau est très faible, $S_r < S_{r_{min}}$, des anneaux d'eau restent accrochés aux grains au voisinage de leur points de contact. L'air est «funiculaire», c'est-à-dire que les volumes d'air communiquent entre eux d'un pore à l'autre, l'air peut circuler alors que l'eau reste accrochée aux grains et n'est pas en mouvement. C'est le domaine du sol dit «sec».

b) $S_{r_{min}} < S_r < S_{r_{oc}}$. Dans ce cas, la phase liquide et la phase gazeuse sont funiculaires ou continues. Les deux fluides circulent.

c) $S_{r_{oc}} < S_r < 1$. A partir du degré de saturation d'occlusion $S_{r_{oc}}$, l'air n'est plus funiculaire; les bulles d'air restent alors accrochées aux grains et ne circulent pratiquement plus. Par contre, elles vont jouer un rôle sur la pression interstitielle du fait de leur grande déformabilité. A l'exception de ce dernier fait, l'eau joue le même rôle que dans le cas saturé ($S_r = 100\%$).

Le calcul de la vitesse et du débit des deux fluides nécessite la connaissance de la perméabilité relative de chaque phase, définie comme

$$k_{r_m} = \frac{k_m}{k_{ms}} \text{ pour le fluide mouillant}$$

et

$$k_{r_{nm}} = \frac{k_{nm}}{k_{nms}} \text{ pour le fluide non mouillant}$$

k_m et k_{nm} sont les perméabilités des fluides mouillants et non mouillants pour une valeur de S_r.

K_{ms} est la valeur du coefficient k de Darcy, si le fluide mouillant est de l'eau, et que $S_r = 100\%$.

k_{nms} est la perméabilité à l'air, $S_r = 0$, si le fluide non mouillant est de l'air.

La figure 5, tirée de (*Seker* [14]), montre comment varie la perméabilité relative dans le cas de l'eau et de l'air, $k_{r_w} = k_{r_m}$ et $k_{r_a} = k_{r_{nm}}$.

Pour résoudre le problème de l'écoulement biphasique, il s'agit évidemment de disposer d'autres données, du profil hydrique par exemple (fig. 6), donnant S_r en fonction de z, et de connaître le potentiel qui s'écrit: $\varphi = \varrho g z + p$ $[N \cdot m^{-2}]$ $p = p_c$, étant la succion due aux effets capillaires si l'on est au-dessus du niveau piézométrique où $p = 0$ (*Baer* [10]; *Seker* [14]). Les essais en laboratoire à la marmite à pression, par exemple, permettent de déterminer la loi $p_c = f(S_r)$.

Dans le cas de la figure 7, on a admis qu'il n'y a pas d'écoulement dans la zone non saturée. Alors φ = cte et comme pour $z = 0$, on a $p = 0$, il vient $\varphi = 0$, donc $p_c = -\varrho g z$. Mais l'équilibre n'est pratiquement jamais réalisé. En période sèche, l'évapotranspiration fait remonter l'eau vers l'atmosphère, et la nappe s'abaisse. Il y a donc mouvement montant de l'eau, ce qui ne peut exister que par augmentation de la succion ou des pressions négatives, qui peuvent devenir très grandes. En période humide c'est le contraire, l'eau des précipitations descend et recharge la nappe.

Bibliographie

Le passé

[1] *Bonnard D.:* Les études géotechniques, leur but et leurs méthodes. BTSR, 1936

[2] *Bonnard D.* et *Bonjour J.-E.:* Estimation préalable des tassements des constructions. Géotechnique vol. 1, 1949

[3] *Daxelhofer J.-P.:* Remarques sur la résistance au cisaillement des sols et son importance dans quelques cas particuliers. BTSR, 1944

[4] *Daxelhofer J.-P.:* Contribution à l'étude expérimentale de la formation des lentilles de glace dans le sol. BTSR, 1946

[5] *Von Moos A.:* 20 Jahre Schweizerische Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, SSMSR Nr. 93, 1976

[6] *Ott J.-C.:* Quelques aspects du problème de la poussée sur les tunnels. BTSR, 1945

[7] *Regamey P.:* Etude de quelques écoulements souterrains et superficiels dans les sols assainis (thèse). Concorde, Lausanne, 1943

[8] *Ruckly R.:* Gélivité des sols et fondations des routes (thèse). Société du BTSR, Lausanne, 1943

[9] *Stucky A.* et *Bonnard D.:* Procédés modernes d'étude des sols de fondation des chaussées, gélivité des sols. BTSR, 1938

L'avenir

[10] *Baer J.:* Hydraulics of Groundwater. McGraw-Hill, 1979

[11] *Lambe T.V.* et *Whitman R.V.:* Soil Mechanics, SI Version. J. Wiley and Sons, 1979

[12] *Lang H.-J.* et *Huder J.:* Bodenmechanik und Grundbau. Springer-Verlag, 1982

[13] *Recordon E.:* Dimensionnement des fondations superficielles par une méthode probabiliste. AIS, 1984

[14] *Seker E.:* Etude de la déformation d'un massif de sol non saturé. Thèse no 492, EPFL, 1983

AIS: *Ingénieurs et Architectes suisses*
BTSR: *Bulletin Technique de la Suisse Romande*
SSMSR: *Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches*

Dans l'étude du mouvement des fluides il n'est pas nécessaire, pour déterminer les vitesses et les pressions, de s'occuper des variations de la porosité et des contraintes effectives dans le squelette minéral du sol.

□ *Les ingénieurs géotechniciens,* au contraire, veulent calculer les tassements d'un ouvrage ou la stabilité d'un soutènement (fig. 7). Ils doivent pour cela introduire les lois fixant la déformabilité et la résistance du milieu poreux, en tenant compte des pressions interstitielles négatives dues à la succion. Les travaux de *Skempton* (1957) et de *Bishop* (1961), bien connus, vont dans ce sens. Mais, l'on ne dispose pas actuellement de méthodes de calcul, mêmes approximatives, utilisables dans la pratique, si bien que l'on admet généralement, dans le cas de la figure 7 par exemple, au-dessous de la nappe S_r = 100% et au-dessus de la nappe $u = p_c = 0$ (sol sec). Cela n'est guère satisfaisant si l'on admet que les valeurs négatives de p_c peuvent être très élevées et que, de ce fait, les contraintes effectives peuvent être fortement augmentés: $\sigma' = \sigma - (-u) = \sigma + u$.

Ajoutons encore que p_c est très fortement influencé par la température. Des essais récents à la Halle fosses de l'EPFL ont montré, par des mesures au tensiomètre, qu'en présence de gel, la valeur de p_c en un point A de la figure 7 peut s'accroître de l'ordre de 0,5 bar, ou 50 kN·m^{-2}, ce qui correspond, en contraintes effectives, au même effet qu'une surcharge uniforme en surface de 50 kN·m^{-2} ou 5 t/m². Il s'agit donc de phénomènes non négligeables. Nous sommes d'avis qu'il faut poursuivre activement l'étude de la mécanique des milieux poreux non saturés en prenant en compte également l'effet des variations de température.

Tableau 2. Coefficient de variation

Paramètre géotechnique X		*CV* [%]
Poids volumique apparent	γ	3 à 5
Angle de frottement	Φ	10 à 15
Cohésion	c	40 à 60
Module de compressibilité	M_E	40 à 60

Fig. 8 Distribution de la capacité Q_p et de la sollicitation P. Le risque de rupture est égal à la surface hachurée

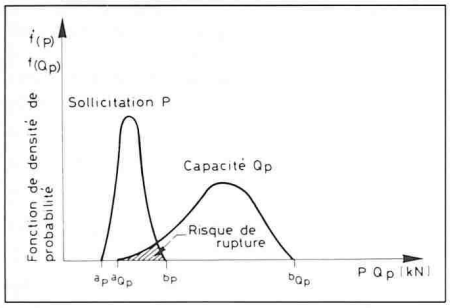


Fig. 9 Capacité portante d'une fondation superficielle
Q_p: capacité portante totale [kN]
L: longueur de la fondation [m]
B: largeur de la fondation [m]
t: profondeur d'appui [m]

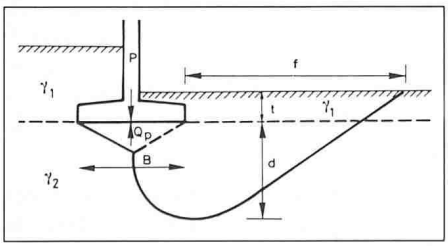
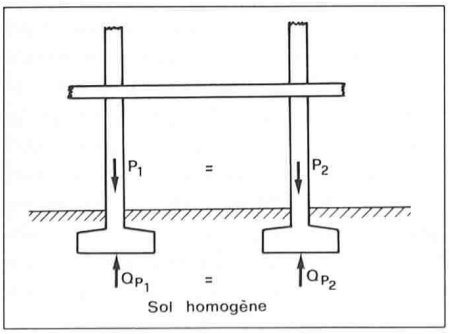


Fig. 10 Fondations sur sol homogène



Dispersion des caractéristiques des sols - Probabilité de rupture et de déformation

Déjà durant la période 1960 à 1970, on s'était rendu compte dans la commission technique de l'Union des professionnels suisses de la route que vouloir fixer une exigence de qualité de compactage d'un remblai par une seule valeur, M_E = 800 kg/cm² (80000 kN·m^{-2}), était une hérésie, puisque l'exécution d'une série d'essais de charge sur une surface restreinte où le matériau peut être considéré comme homogène conduit à une dispersion des valeurs du M_E de l'ordre de ±50%. Sur la proposition de M. le professeur *F. Balduzzi* de Zurich, des études de la dispersion ont été faites. Elles ont montré largement, et ceci a été vérifié par la suite dans le monde entier, que le coefficient de variation *CV* = écart type σ_x/valeur moyenne $\overline{X}$ *d'un paramètre géotechnique X* (M_E par exemple) est pratiquement toujours le même, *quel que soit le sol.* Le tableau 2 donne quelques valeurs à titre d'exemple.

Depuis lors, les valeurs $\overline{M_E}$ et σ_{M_E} ont été introduites dans les normes de compactage fixant les exigences de qualité, de même que dans la norme de dimensionnement des superstructures routières définissant l'homogénéité de la forme.

Ce fait est extrêmement important pour l'utilisation de méthodes probabilistes, car connaissant le *CV* d'un paramètre, si l'on connaît valablement la valeur moyenne, $\overline{M_E}$ = *80 000 kN·m^{-2}* par exemple, comme CV_{M_E} = 0,5, la dispersion à attendre normalement correspond à un écart type $\sigma_{M_E} = CV \times \overline{M_E}$ = 40 000 kN · m^{-2}.

D'un point de vue pratique, si l'on connaît $\overline{X}$, σ, et les valeurs extrêmes X_{min} et X_{max} (valeurs a_i et b_i, fig. 8) d'un paramètre, on peut calculer la courbe de distribution de la variable aléatoire X (cette courbe de distribution est analogue à celle de la figure 8).

Connaissant l'équation déterministe qui permet de calculer par exemple la capacité portante d'une fondation (fig. 9):

$$Q_p = BL\left(cN_c\lambda_c + \gamma_1 t N_q \lambda_q + \gamma_2 \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \lambda_\gamma\right)$$

on peut calculer la courbe de distribution de Q_p (capacité Q_p de la figure 8) en introduisant dans l'équation de Q_p les valeurs $\overline{\gamma}$, $\overline{\varphi}$, $\overline{c}$ et σ_γ, σ_φ et σ_c, ces trois paramètres étant considérés comme des variables aléatoires.

Il est aussi possible de définir la sollicitation P de la fondation comme une variable aléatoire. Si l'on connaît a_p, b_p et $\overline{P}$, on peut estimer valablement σ_p. Dès lors, le calcul du risque de rupture se fait en quelques instants à l'ordinateur.

J'ai montré [13] que si l'on considère divers sols pour lesquels le calcul classique nécessite l'utilisation de facteurs de sécurité, variant de 2 pour les sols mous à 5 pour les sols compacts à grand angle de frottement, le calcul probabiliste conduit à une seule valeur de la probabilité de rupture. Le critère de sécurité est donc plus simple et la méthode de calcul traduit vraisemblablement mieux les conditions de rupture.

Intéressons-nous maintenant aux tassements différentiels d'un immeuble, par exemple celui de la figure 10, qui repose sur un sol homogène. En admettant le cas où $P_1 = P_2$, le calcul déterministe donnera nécessairement des tassements égaux sous les deux fondations, puisque le sol est caractérisé par la même courbe œdométrique. Donc:

$\Delta h_1 = \Delta h_2$

Il est intéressant de souligner qu'en calcul probabiliste, les paramètres C_c et e_0 de l'équation $e_m = e_0 - C_c \log(\sigma_m/\sigma_0)$, courbe œdométrique d'un sol normalement consolidé, seront des valeurs aléatoires qui, introduites dans le calcul de tassement, conduiront à une probabilité *non nulle* du tassement différentiel. $\Delta h_1 \neq \Delta h_2$.

Le calcul probabiliste ne remplace pas la méthode déterministe classique, qui restera probablement toujours la base des calculs statiques et dynamiques.

Toutefois, elle apporte dans certains problèmes une autre vision des choses. C'est une épée supplémentaire qui permet de faire reculer un peu plus le front du domaine de notre ignorance. Il vaut la peine de poursuivre les recherches dans cette direction.

Je n'ai décrit dans ce paragraphe que les deux thèmes de recherche fondamentale que nous considérons comme prioritaires à Lausanne. Il ne faut pas oublier la recherche appliquée où des efforts importants seront poursuivis: stabilité des pentes, comportement des fondations d'ouvrages, matériaux nouveaux en superstructures routières, fouilles et ancrages, par exemple.

Conclusions

L'exposé qui précède tente de mettre en lumière le rôle qu'ont joué et que joueront encore le Laboratoire de mécanique des sols et celui de mécanique des roches à Lausanne. Ce rôle peut être résumé de la manière suivante:

□ *Enseignement*: diffuser les connaissances dans le domaine de la géotechnique par les cours des EPF en 1er, 2e ou 3e cycle, par les cours de formation permanente, par les stages d'ingénieurs dans les Laboratoires, par les doctorats et même à l'occasion d'expertises où des méthodes nouvelles peuvent être utilisées et communiquées aux ingénieurs de la pratique.

□ *La recherche fondamentale ou appliquée* est une contribution, sur le plan national et international, au progrès des connaissances. Elles peuvent porter sur le sol ou la roche en tant que matériau, sur les appareils de mesure en laboratoire et in situ, sur les méthodes de calcul permettant l'évaluation du comportement des constructions.

□ *Par les expertises!* Les Laboratoires mettent à disposition de la communauté des ingénieurs leurs connaissances et leurs équipements.

Nous espérons que les Instituts des EPF ont bien joué ce rôle dans les cinquante années qui s'achèvent et souhaitons qu'ils continuent dans cette voie.

Institut des Sols, Roches et Fondations (ISRF) de l'EPFL comprend:

- *le Laboratoire de mécanique des sols - LMS*
- *le Laboratoire de mécanique des roches - LMR*
- *la Chaire des travaux de fondation - CTF*
- *le Laboratoire des voies de circulation - LAVOC*
- *le Laboratoire de géologie - GEOLEP*

La géotechnique n'englobe que les trois premiers.

Adresse de l'auteur: Prof. *E. Recordon*, ing. dipl. EPUL, professeur de mécanique des sols, ISRF, EPFL, 1024 Ecublens.

Zusammenarbeit des Institutes mit dem Ingenieurbüro

Von Werner Heierli, Zürich

Die Zusammenarbeit des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik (IGB) mit den Ingenieurbüros erstreckt sich im Prinzip auf die Lehre, die Forschung und die Beratung. Junge Absolventen sollten die grundsätzlichen Begriffe und Methoden klar verstanden haben und ein Interesse, ja Begeisterung für den Grundbau mitbringen. Die Forschung soll sich nicht auf die eigentliche Erforschung von Teilproblemen beschränken, sondern insbesondere auch die Folgerungen aus der weltweiten Forschung für die Praxis untersuchen und praxisnah darstellen. Die Beratung des IGB dient sowohl dem Institut wie auch der Praxis; sie gibt dem Institut auch den unerlässlichen Einblick in die tatsächlich brennenden Fragestellungen des konkreten Bauens.

Als einstigen Mitarbeiter des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik freut es den Verfasser besonders, an dieser Tagung zum Thema der Zusammenarbeit des IGB mit dem Ingenieurbüro zu sprechen und gleichzeitig dem IGB zu seinem Jubiläum herzlich zu gratulieren. Die Einladung von seiten des IGB, die Frage seiner Zusammenarbeit mit der Praxis durch Vertreter der Praxis hier zu behandeln, ist ein fruchtbarer Gedanke. Jede Organisation muss sich immer wieder Rechenschaft darüber ablegen, ob ihre Arbeit den an sie aus ihrem technisch-wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Umfeld gerichteten Erwartungen entspricht. Und um es vorwegzunehmen: Der Verfasser ist der Meinung, dass das IGB den Ansprüchen der Praxis - und letztlich arbeitet das Institut direkt und indirekt über Lehre, Forschung und Beratung *für die Praxis* - in hohem Mass gerecht wird. Es soll versucht werden, diese Feststellung zu belegen und zudem einige wenige Beispiele aus der grossen Zahl von Möglichkeiten zu nennen, welche Anstösse für die weitere Arbeit in Zukunft geben könnten.

Was erwartet das Ingenieurbüro allgemein vom Institut?

Um gleich konkret zu werden: Als erste Haupterwartung des Ingenieurbüros ist sicher die zu nennen, dass die Bauingenieur-Absolventen ein solides, fundiertes Grundwissen von Bodenmechanik und Grundbau mitbringen sollen, wenn möglich dazu aber noch Begeisterung für dieses tatsächlich immer wieder faszinierende Teilgebiet unseres Berufes. Für den Verfasser selbst ergab sich diese Faszination daraus, dass in den Grundbau- und Bodenmechanik-Vorlesungen zutage trat, wie das in der Mechanik und Physik Gelernte nun doch auf ein so komplexes System wie den Baugrund praktisch angewendet werden konnte. Zur damaligen Zeit - vor bald 30 Jahren - war die Bodenmechanik noch bedeutend weniger - um es klar zu sagen, noch recht wenig - in der Praxis verankert. Studierende der heutigen Zeit haben den Vorteil, dass die Materie der Bodenmechanik und ihre Anwendung ein enormes Stück weitergekommen sind als vor 30 Jahren, wodurch der Lehrstoff sehr stark geläutert und konkretisiert und noch interessanter wurde. Dem steht der Nachteil gegenüber, dass mehr Stoff zu bewältigen ist. Für die Praxis ist sicher am wichtigsten, dass der Absolvent die Grundbegriffe durch und durch verstanden hat und auch eine Ahnung der «Philosophie des Vorgehens» bei der Lösung konkreter Probleme gewonnen hat. Weniger bedeutsam scheint es dem Verfasser, dass der junge Ingenieur schon eine Fertigkeit in der Anwendung der Methoden hat. Übungen können sich daher darauf beschränken, die Methoden und besonders eben die Grundbegriffe und die Philosophie zu erläutern, d.h. sie an einer konkreten Aufgabe durchzudenken. Die Fertigkeit, Berechnungen nach verschiedenen Methoden durchzuführen, erhält der Ingenieur rasch bei der praktischen Anwendung. Wichtig ist aber, dass er weiss, mit welchen Unsicherheiten und Streuungen seine Berechnungen behaftet sind und wie er sie allenfalls abschätzen und eingrenzen kann. Von ganz grosser Wichtigkeit ist auch, dass der junge Ingenieur imstande ist, Spezialliteratur zu suchen, zu verstehen (übrigens auch