

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 88 (1962)  
**Heft:** 10

**Artikel:** 5eme Congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondation: Paris, juillet 1961: poussée des terres sur les ouvrages - Section 5

**Autor:** Recordon, E.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-771840>

### **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:** 15.03.2025

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

# 5<sup>ème</sup> CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DES TRAVAUX DE FONDATION

PARIS, JUILLET 1961

## POUSSÉE DES TERRES SUR LES OUVRAGES - SECTION 5

par E. RECORDON, ingénieur principal au Laboratoire de géotechnique de l'Ecole polytechnique de Lausanne

### A. Communications écrites présentées avant le congrès

Ce qui frappe lorsque l'on parcourt tout d'abord rapidement les vingt et une communications présentées avant le congrès sur le sujet de la poussée des terres sur les ouvrages, c'est le fait suivant :

La plupart des communications donnent des résultats de mesures effectuées soit sur des ouvrages en vraie grandeur, soit en laboratoire dans des appareils spécialement conçus et sur des modèles réduits. Cela démontre bien que les méthodes de mesure des pressions et des déformations se sont beaucoup développées et que de nombreux chercheurs ont répondu à l'appel du professeur Tschebotariouff qui demandait lors du Congrès de Bruxelles, en 1958, que le nombre des observations et des mesures se multiplie.

Par contre le nombre des communications traitant de sujets théoriques est très faible ; il n'y en a que deux. Cela provient peut-être du fait que les théories existantes pour le calcul de la poussée des terres sont déjà nombreuses. En effet, lors de la séance du congrès, M. Biarez a relevé que M. Brinch Hansen citait quinze théories différentes dans son livre sur la poussée des terres ; il a même ajouté que l'on prétend parfois qu'il y a autant de théories que de calculateurs.

En dehors des deux catégories de communications déjà mentionnées, résultats de mesures expérimentales et études théoriques, les six communications restantes décrivent soit un appareillage de mesure particulier, sans donner de résultats de mesures, soit des ouvrages construits par des méthodes spéciales mais qui n'ont pas fait l'objet de mesures détaillées.

Nous nous limiterons dans cette première partie, à décrire rapidement les principaux résultats d'auscultation d'ouvrages et de modèles :

MM. Biarez et Capelle à Grenoble (5/1, page 367) d'une part et MM. Verdeyen et Roisin à Bruxelles (5/20, page 501) d'autre part ont utilisé pour leurs essais exécutés en laboratoire le procédé dit de Taylor-Schneebeli et qui consiste à reproduire un massif à angle de frottement interne et à cohésion nulle par un empilage de rouleaux. Ce procédé permet de constituer un modèle à deux dimensions généralement limité d'un côté par une vitre qui permet d'observer latéralement l'ouvrage et le comportement du massif pendant leur mouvement.

Les dimensions des rouleaux utilisés à Grenoble sont les suivantes : diamètre compris entre 2 et 5 mm, longueur 40 à 60 mm, l'angle de frottement interne est compris entre 26 et 29° pour un poids spécifique apparent variant de 2,21 à 2,42 t/m<sup>3</sup>. Le poids spécifique de la matière utilisée étant de 2,7 t/m<sup>3</sup>.

A Bruxelles, les rouleaux avaient un diamètre de 5 à 8 mm, une longueur de 20 cm, un poids spécifique absolu de 2,7 t/m<sup>3</sup>, un angle de frottement interne de 21° pour un poids spécifique apparent de 2,46 t/m<sup>3</sup>.

A l'aide de ce dispositif, MM. Biarez et Capelle ont observé et photographié les déplacements du sol au voisinage d'une fondation qui subit une rotation. Ils ont ainsi pu mettre en évidence les zones de poussées et de butées qui apparaissent dans la couche supérieure du sol de fondation ainsi qu'une zone solidaire de la fondation dans sa partie profonde.

MM. Verdeyen et Roisin ont étudié l'effet de surcharges placées sur le sol à l'amont d'un écran de soutènement constitué par des palplanches souples, étayées en tête.

Cette méthode expérimentale relativement simple dans son utilisation leur a permis de faire apparaître l'influence d'un déplacement horizontal de l'appui de tête, l'influence de la distance entre le rideau et le point d'application de la charge (par exemple : la charge n'a plus d'influence sur le rideau si cette distance est  $> 1,34 H$ ), de localiser la position de la résultante des pressions dues à la surcharge.

Quatre autres communications présentées à Paris sont relatives à des essais sur modèles exécutés à l'aide de sable. Il s'agit :

De MM. Huechel et Kwasniewski, professeurs à Gdansk, Pologne (5/9, page 431), qui ont étudié la capacité d'ancrage d'éléments rigides horizontaux, plaques carrées, grilles et anneaux enfouis dans le sable. Ils ont utilisé pour ces essais du sable sec dont l'angle de frottement interne était de 34° et le poids spécifique apparent de 1,7 t/m<sup>3</sup>. Ils ont montré qu'une plaque horizontale a une capacité d'ancrage égale à 50 % de celle d'une plaque verticale. La capacité d'ancrage d'une grille est légèrement inférieure à celle d'une plaque de même dimension. Celle d'un anneau circulaire horizontal n'atteint que les 50 % de la capacité d'ancrage d'une plaque de même surface. Ils ont en outre montré quelle était la distance minimale entre éléments d'ancrage pour que ceux-ci ne s'influencent pas les uns les autres et de quelle manière on peut calculer la capacité d'ancrage des éléments horizontaux.

MM. Chazi et Habib, France, (5/7, page 419) ont déterminé sur modèle réduit les efforts qui s'exerceront sur les piles du quai de Floride, actuellement en construction pour le port du Havre. Les essais ont été faits dans une cuve de 6,50 m de diamètre et de 4,35 m de profondeur, remplie de sable dont la teneur en eau était de 6,5 %. L'échelle des modèles de piles était voisine

de 1 : 15 ; le diamètre extérieur des piles du modèle est voisin de 80 cm et la hauteur est voisine de 1,60 m. Des mesures sur une pile d'essai en vraie grandeur sont actuellement en cours.

MM. *Rove et Briggs*, de Manchester (5/16, page 473), ont entrepris l'étude des efforts exercés par un massif pulvérulent sur un rideau de palplanches flexibles soutenues par un nombre variable d'étais. Ils ont utilisé du sable de quartz sec à grains arrondis dont l'angle de frottement interne n'est que de 25°. Le modèle de la paroi avait une hauteur de 1 m environ et une longueur de 2 m.

Les mesures de pression ont été faites à l'aide de dix-huit cellules d'un type nouveau ; des mesures de déplacement et de flexion de la paroi ainsi que de tassement du massif de sol ont été faites.

Cette étude très détaillée a montré clairement que si l'on multiplie le nombre des étais, la poussée totale augmente sur le rideau du fait que l'on empêche sa déformation et que l'on empêche la mobilisation du frottement interne complet dans le sol situé derrière le rideau. Les chiffres suivants ont été obtenus :

Nombre d'étais	Poussée totale sur le rideau	Angle de frottement interne mobilisé
1	375 kg	34°
2	425 kg	31°
3	452 kg	28°
4	475 kg	27,5°

Ceci est l'un des résultats obtenus lors de cette étude, il serait trop long de les commenter tous.

M. *Schofield*, de Cambridge (5/17, page 479), a également étudié sur modèle réduit l'influence de la rotation d'un écran sur les efforts exercés par le massif de sable sec. L'appareillage utilisé était constitué par des plaques carrées de 15 × 15 cm enfoncées verticalement dans le massif de sable et fixées à leur partie supérieure à un axe autour duquel elles pouvaient tourner.

Ces essais ont permis de mesurer l'intensité et la direction de l'effort exercé par le sable sur la plaque.

MM. *Suklje et Vidmar*, de Ljubljana (5/8, page 485), ont étudié dans un appareil analogue l'effort exercé par un massif argileux en fluage sur un écran ayant pour rôle d'arrêter le fluage.

Nous mentionnerons encore trois études qui nous paraissent très intéressantes parmi celles qui ont été présentées à Paris :

Il s'agit tout d'abord de l'étude de MM. *Peck et Ireland*, professeurs à l'Université d'Illinois, aux USA (5/13, page 453), qui donnent les résultats d'un essai en vraie grandeur de mise en charge d'un tronçon de mur fondé sur pieux. Puis celle de MM. *Di Biagio et Kjaernsli*, d'Oslo (5/4, page 395), qui ont mesuré de façon très détaillée les sollicitations des étrépillons d'un rideau de palplanches exécuté dans un tronçon d'essai de 30 m de longueur, 11 m de largeur et 11,5 m de pro-

fondeur creusé dans de l'argile pour l'étude de la méthode à utiliser pour la construction du chemin de fer métropolitain d'Oslo. L'étude a montré que les valeurs mesurées correspondent bien à celles qui ont été calculées par la méthode de Peck et moins bien à celles que donne la méthode de Brinch Hansen.

Enfin, MM. *Kassif et Zeitlen*, de Haïfa (5/11, page 439), ont étudié les pressions qui peuvent être provoquées par le gonflement des argiles sur des conduites enterrées, lorsque ces argiles absorbent de l'eau. Des essais de laboratoire très détaillés ont permis à ces deux auteurs de montrer que pour certains types d'argile, ces pressions peuvent atteindre des valeurs très élevées :

Pression de gonflement	Gonflement relatif	Teneur en eau initiale
7,5 kg/cm <sup>2</sup>	0 %	15 %
0,6 kg/cm <sup>2</sup>	0 %	30 %
4,0 kg/cm <sup>2</sup>	5 %	15 %
0 kg/cm <sup>2</sup>	5 %	30 %
0,5 kg/cm <sup>2</sup>	20 %	15 %
0 kg/cm <sup>2</sup>	20 %	20 %

Des mesures effectuées sur des canalisations ont permis de montrer que ces résultats de Laboratoire permettaient de calculer correctement les efforts qui se produisent sur les conduites pour autant que les argiles soient bien semblables à celles qui ont été étudiées à Haïfa.

Nous n'avons mentionné ici que la moitié des communications présentées et n'avons fait qu'énumérer quelques-uns des résultats donnés par ces études.

## B. Rapport général

Dans son rapport général, présenté avant le congrès, dans le deuxième volume des comptes rendus, M. *Haackel*, professeur à l'École polytechnique de Gdansk met en évidence les travaux les plus importants qui ont été achevés depuis le Congrès de Londres il y a quatre ans. Ce rapport paraît très complet et fait bien le point en ce qui concerne l'étude de la poussée des terres sur les ouvrages. Il fait allusion non seulement aux travaux présentés au Congrès de Paris, mais également aux principaux travaux effectués depuis 1957.

Nous donnons ci-après quelques extraits de ce rapport :

La théorie fondamentale de Coulomb n'a rien perdu de son actualité jusqu'ici et continue d'être à la base de l'activité des praticiens. Depuis 1957, dans divers pays, une quinzaine environ de contributions à cette théorie ont paru. Ces contributions traitent surtout de la solution de cas compliqués rencontrés dans la pratique.

Les autres méthodes, basées sur les lois de l'élasticité, ou sur celles de l'équilibre limite ou plastique, bien connues dans les milieux scientifiques, ne le sont pas encore partout dans les milieux des ingénieurs praticiens.

Cela tient peut-être au fait que leur application est difficile sans tableaux numériques ou nomogrammes. En outre,

on regrette l'absence d'une définition exacte des conditions et des limites dans lesquelles les diverses méthodes doivent être prises en considération.

On fait en Pologne des recherches sur les applications de la théorie des probabilités aux problèmes du mouvement des sols. Comme modèle théorique, on prend le milieu dans lequel les mouvements des particules sont déterminés par les lois des probabilités.

Plus loin, M. *Hueckel* dit ceci :

Les problèmes des écrans souples (déformables) ne cessent d'inquiéter les chercheurs. Cela est dû au fait que la théorie de Coulomb, à laquelle jusqu'à présent les ingénieurs font confiance en raison de sa concordance avec la réalité, ne donne pas les résultats espérés dans les calculs statiques des parois souples. Les ingénieurs praticiens s'en rapportent aux scientifiques pour résoudre enfin ce problème compliqué.

Comme nous le savons bien, il existe un grand nombre de méthodes de calcul des parois souples en palplanches et les ingénieurs ressentent dans leur activité un certain embarras du fait de cette richesse, d'autant plus qu'il y a divergence d'opinion à cet égard, parmi les plus éminents chercheurs.

Il nous manque toujours une synthèse et je crois que c'est dans ce sens que doivent s'orienter nos recherches futures.

### C. Séance de discussion au congrès

La séance de discussion au congrès eut lieu sous la présidence du professeur *Tschebotarioff*. Les deux points principaux qui furent discutés et qui avaient été proposés par le rapporteur général furent les suivants :

1° Les limites d'application des diverses méthodes de calcul de la poussée et de la butée des terres.

2° Critères permettant la détermination des coefficients de sécurité dans les problèmes de poussée et de butée.

La parole fut d'abord donnée aux personnalités qui avaient été priées de prendre part à la discussion restreinte et qui sont les suivantes :

MM. *Biarez* (France), *Bjerrum* (Norvège), *Brinch Hansen* (Danemark), *Roisin* (Belgique) et *Rowe* (Angleterre), exposèrent leur point de vue sur ces deux points, après que M. *Hueckel*, rapporteur général, eut rappelé les points principaux de son rapport.

Le professeur *Brinch Hansen* rappelle que les méthodes de calcul classiques basées sur la théorie de Coulomb ne sont utilisables que dans le cas d'un mur de soutènement rigide sans étayage ni ancrage, ayant la possibilité de se déplacer vers l'aval sous l'action de la poussée des terres. Actuellement, par raison d'économie, on a de plus en plus recours à des ancrages. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des méthodes de calcul basées sur la cinématique des sols et faisant intervenir les déformations, ou d'avoir recours à des essais sur modèles.

M. *Rowe* affirme qu'il a lu avec grand intérêt en 1953 le livre de *Brinch Hansen* sur la méthode cinématique et que c'est à ce moment-là qu'il a décidé d'étudier sur modèle le comportement des écrans souples. Il a constaté après de très nombreux essais que les trajectoires des particules du sol ne sont pas celles que prévoit la théorie. Il fait également remarquer qu'il faut être prudent dans l'interprétation des essais exécutés à l'aide de la méthode Taylor-Schneebeil, le comportement des cylindres n'étant pas directement comparable à celui du sol.

M. *Biarez* rappelle que pour la méthode de calcul classique on dispose de tables numériques déjà très complètes établies par *Caquot* et *Kérisel* pour le cas de la poussée et de la butée ; il annonce que l'on est en train d'établir à Grenoble des tables qui compléteront cette documentation et qui paraîtront prochainement. Il émet en outre le vœu que des tables numériques soient calculées pour la méthode cinématique de *Brinch Hansen*.

M. *Roisin* souligne que les essais exécutés à Bruxelles ont bien montré que la direction des trajectoires des particules du sol derrière l'écran ainsi que la limite entre sol stable et sol en mouvement changent à mesure que l'écran se déforme. Il en conclut que les effets cinématiques sont très importants et qu'il n'est pas logique de calculer un mur à la rupture alors que, étant donné le coefficient de sécurité adopté, le comportement du sol derrière l'écran ne correspondra pas au stade de rupture.

M. *Bjerrum* fait certaines réserves quant à l'utilisation de la méthode cinématique probablement dues au fait que les expériences faites à Oslo ne concordent pas avec cette méthode de calcul. Il pense que dans le cas des sables, la direction des trajectoires de particules n'est plus la même que celle des poussées lorsqu'on est au voisinage de la rupture, du fait des variations de volumes des sables qui interviennent lorsqu'on est dans ce stade.

M. *Brinch Hansen* répond que selon lui on ne doit pas faire les calculs dans le stade de rupture, étant donné que l'on prend une sécurité, il rappelle que la méthode cinématique permet de calculer la poussée totale, sa position et sa direction mais qu'elle ne permet pas de calculer la répartition des pressions.

En ce qui concerne les déformations des rideaux de palplanches observées à Oslo, il constate que ces déformations sont différentes de celles auxquelles on est conduit par la théorie et qu'il faut donc être extrêmement prudent pour le moment dans ces calculs.

Au sujet des facteurs de sécurité, il fait remarquer qu'il y a un manque de logique dans le choix des facteurs de sécurité. Par exemple, dans le cas du calcul de la force portante d'une fondation, on calcule la sécurité par rapport à la charge de la construction, alors que dans le cas des talus on prend la sécurité par rapport aux caractéristiques des sols (angle de frottement interne et cohésion). M. *Brinch Hansen* pense que dans le cas des talus, il serait plus logique de calculer la sécurité par rapport aux moments de rotation du massif de sol.

Dans le cas des murs de soutènement, on peut facilement prendre une sécurité sur les charges mobiles mais pas sur les charges permanentes. On adopte donc souvent aussi dans ce cas un coefficient de sécurité pour les caractéristiques du sol. Il serait souhaitable d'unifier tous ces calculs.

M. *Brinch Hansen* a déjà proposé dans un article antérieur les coefficients de sécurité suivants dans le cas de murs de soutènement :

Charges mobiles . . . . .	1,5
Poids propres . . . . .	1,0
Pression de l'eau . . . . .	1,2
Cohésion . . . . .	1,5 à 2,0
Angle de frottement interne . . . . .	1,2



A ce sujet, le rapporteur général est d'avis d'accepter les propositions de M. *Brinch Hansen* en les complétant par la condition suivante : les contraintes dans le massif de sol doivent être telles que les déformations se produisent dans le domaine « élastique » (proportionnalité entre contraintes et déformations).

Le président de la session, M. le professeur *Tschebotarioff*, conclut la discussion restreinte en souhaitant que l'on multiplie les essais sur modèle pour que l'on puisse préciser les limites d'application des diverses théories. Il pense que dans les cas très importants et complexes la construction de tronçons d'essais tel que celui qui a été réalisé à Oslo est le seul moyen d'arriver à savoir ce qui se passe avec exactitude et à établir un projet économique.

A la fin de la session, un certain nombre de congressistes prennent la parole. Les interventions qui nous paraissent les plus intéressantes sont celles de M. *Lazard* qui signale que des recherches sont en cours en France pour appliquer les méthodes du calcul des probabilités à l'étude des propriétés des sols. Il mentionne en outre le livre de l'auteur russe *Sokolovsky* publié il y a deux ans qui traite du calcul de la poussée des terres par la méthode cinématique. L'absence de M. *Sokolovsky* au congrès a d'ailleurs été déplorée par le rapporteur général.

M. *Peck*, USA, rappelle l'importance que peut avoir la méthode d'exécution des travaux et l'hétérogénéité des sols sur la valeur de la poussée. Il est d'avis que les théories que l'on utilise devraient être semi-empiriques

pour que l'on ait quelques chances de ne pas trop s'éloigner des conditions réelles.

M. *Ostermann*, Suède, souligne que les conditions atmosphériques, pluie et gel par exemple, peuvent également avoir une influence très grande sur la poussée et modifier complètement sa valeur.

#### D. Conclusions

Le Congrès de Paris n'a pas permis de répondre complètement aux questions posées par le rapporteur général et qui sont les suivantes :

1. Quelles sont les limites d'application des diverses méthodes de calcul de la poussée et de la butée ?
2. Quels sont les critères permettant le choix des coefficients de sécurité à adopter ?
3. Quelles sont les perspectives des méthodes basées sur le calcul des probabilités ?
4. Quels sont les points communs des méthodes de calcul actuelles des parois souples qui pourraient servir de base à l'élaboration d'une méthode synthétique ?

Néanmoins, l'ensemble des travaux présentés représente une documentation très importante. Les recherches sur modèle réduit ont été très nombreuses depuis le Congrès de Londres de même que les mesures effectuées sur des ouvrages en vraie grandeur. Il est probable que si ces recherches expérimentales continuent à se développer aussi rapidement, on arrivera dans un proche avenir à définir une méthode de calcul qui permette d'estimer de manière satisfaisante les sollicitations des ouvrages de soutènement compte tenu de leur déformation. (A suivre)

## SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

### Assemblée des délégués et assemblée générale extraordinaire de la SIA à Neuchâtel

L'assemblée des délégués du 27 avril 1962, tenue en l'Aula de l'Université de Neuchâtel, a pris diverses décisions concernant des modifications des statuts, la révision du code d'honneur, l'adaptation des cotisations centrales et des modifications du tarif B.

L'introduction de nouveaux membres tels que membres étudiants et membres collectifs a été discutée. Les délégués ont rejeté la création de membres étudiants, le problème des membres collectifs devant être repris ultérieurement, sur la base d'une nouvelle étude du Comité central.

La cotisation individuelle a été portée de 20 fr. à 25 fr., celle des bureaux étant portée

de 30 fr. à 50 fr. pour les bureaux de 4 à 3 personnes  
de 60 fr. à 100 fr. pour les bureaux de 4 à 8 personnes  
de 100 fr. à 150 fr. pour les bureaux de 9 à 15 personnes  
de 150 fr. à 200 fr. pour les bureaux de 16 à 30 personnes  
de 200 fr. à 250 fr. pour les bureaux de plus de 30 personnes

En prenant cette décision, les délégués ont suivi une proposition émanant de la Section genevoise, désireuse de répartir le poids de l'augmentation des revenus sur les bureaux et sur les membres individuels ; le Comité central avait proposé une augmentation de 20 fr. à

30 fr. de la cotisation individuelle, les contributions de bureau ayant été augmentées déjà l'année passée.

La modification du tarif B, qui représente une augmentation de l'ordre de 30 % des honoraires, a également été acceptée. Toutefois, à la suite d'une intervention de la Section vaudoise, qui estimait que le moment d'augmenter les honoraires était mal choisi et que la SIA se devait de montrer le bon exemple, les délégués ont précisé que cette augmentation ne prendrait effet qu'au 1<sup>er</sup> janvier 1963. M. *Gruner* a fait remarquer que cette augmentation n'en était pas une, en fait, puisque les bureaux disposent de possibilités d'adapter leurs honoraires, mais qu'elle présentait l'avantage de mettre de l'ordre dans ce domaine.

L'assemblée générale extraordinaire, tenue le 28 avril 1962 dans le même local, a confirmé les décisions prises la veille par les délégués, puis a entamé une discussion au sujet des titres et de la protection des titres, à la demande du président central, M. *Rivoire*.

#### Problème du titre et de la protection du titre

Le sujet a été introduit par M. *Egloff*, président de la commission du RIAT, qui a tracé un historique du problème et précisé la situation actuelle. Des faits nouveaux sont en effet intervenus : décision des autorités du canton d'Argovie d'appeler le récent technicum cantonal « Ingenieurschule », suggestion de l'OFIAMT d'introduire dans la loi fédérale sur la formation professionnelle le titre d'Ingenieurtechniker et d'Architekttechniker (ingénieur-technicien