

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Principes d'établissement des plans de fondations

Legget, R. F.; Crawford, C. B.

For the publisher's version, please access the DOI link below. / Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40001096>

Digeste de la construction au Canada, 1967-11

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=5dc471cb-cf32-4a17-b36c-7512040ed435>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=5dc471cb-cf32-4a17-b36c-7512040ed435>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

SER

THI

C20F

Manuel de la construction

au Canada

DIVISION DES RECHERCHES EN BÂTIMENT • CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES CANADA

CANADA INSTITUTE FOR S.T.I.

OCT 3 1 1977

OTTAWA

INSTITUT CANADIEN DE L'I.S.T.

ANALYZED



Principes d'établissement des plans de fondations

par R. F. Legget et C. B. Crawford

UDC 624.1

Tous les bâtiments construits par l'homme doivent, au moins au début de leur construction, reposer sur une assise terrestre. Ce fait simple, si évident qu'il échappe souvent à l'attention, confère à l'art de dresser les plans de fondations une importance sans égale. Il est rare qu'un type donné de construction élevé sur un terrain aux caractéristiques déterminées puisse être érigé ailleurs dans des conditions identiques. Aussi ne peut-on énoncer un ensemble de règles régissant uniformément l'exécution de tous les plans de fondations. Il existe naturellement certains principes de base, mais il convient de ne les appliquer qu'avec discernement, et sans perdre de vue les modifications que peut exiger la situation. Les études de fondations exigent donc un emploi constant des facultés de jugement. C'est la raison pour laquelle il est si justifié de les qualifier d'"art" plutôt que de "technique".

Le but du présent Digeste est de présenter une récapitulation des principes fondamentaux devant régir la conception des fondations. Plusieurs Digestes précédents ont traité en détail certains des plus importants aspects du sujet. Des Digestes ultérieurs compléteront ces exposés. On y indiquera en particulier comment appliquer les principes généraux au choix du type de fondations convenant à chaque cas particulier. L'élaboration détaillée de fondations de grande étendue ressortit naturellement aux experts. La réussite de toute superstructure dépend par ailleurs entièrement de ses fondements. Il est donc non seulement désirable, mais indispensable, que l'architecte ou l'ingénieur chargé du projet d'une construction soit familier avec les principes généraux régissant le tracé des fondements devant la supporter.

L'exposé qui précède contient, une fois de plus, des vérités évidentes. Pour qui a déjà réfléchi aux sujets étudiés dans les lignes qui suivent, la plus grande partie du présent Digeste paraîtra différer peu d'un ensemble de truismes. L'expérience acquise par la DRB du NRC a cependant montré qu'on n'apporte pas toujours

aux fondations une attention suffisante. Une telle négligence se comprend aisément. Le fait que presque toujours les fondements sont dissimulés sous la surface du sol suffit à l'expliquer. Il est naturel qu'ils n'attirent pas l'attention tandis que les constructions très élevées ou de proportions harmonieuses attirent les regards. Les fondements qui rendent les services attendus d'eux réunissent précisément les conditions pour que nul n'y pense.

Les ingénieurs en fondations n'ignorent pas cet anonymat et l'acceptent comme inévitable. Les critiques débutent très souvent au moment où la question financière est soulevée à propos de l'attribution des fonds nécessaires aux premières études de sous-sol. Leur exécution s'impose avant celle des plans de fondations de toute construction importante. Dans le cas de grands édifices, surtout lorsque l'assise est mauvaise, le coût de la superstructure peut s'élever à une fraction importante du prix total, atteignant parfois 25 pour cent. Même pour les bâtiments de type courant, le coût de la partie souterraine représente une fraction importante du coût total. La nécessité vitale de réaliser des fondations sûres entraîne l'obligation de ne pas lésiner sur les dépenses inhérentes aux travaux préliminaires.

Terminologie

Dans le présent domaine technique, la terminologie est notoirement imprécise. Malheureusement, d'ailleurs, la précision sémantique n'a jamais caractérisé le génie civil. On emploie souvent le terme "les fondations" pour désigner la partie de la construction située sous la surface du sol. On devrait logiquement réserver ce terme à l'ensemble des travaux d'assise du bâtiment et désigner comme "fondements" les éléments de la construction qui transmettent au sol la charge de la superstructure (éléments établis au-dessus du sol). Et il faudrait, pour être précis, désigner par "couche d'assise" les matériaux, tels que terre ou roc, auxquels sont transmises les charges de la

NRC

DRB

OTTAWA

NOVEMBRE 1967

CBD 80F

construction. Une série de termes conviennent mieux dans la plupart des cas, car les charges sont transmises bien au-dessous des matériaux visibles à la surface.

Transmission des charges

Les matériaux d'assise soumis aux charges d'une construction réagissent aux contraintes qui leur sont appliquées. L'évidence et la logique de cette assertion sont telles qu'une fois de plus, certains lecteurs s'étonneront de la trouver présentée ici. L'expérience révèle cependant ce fait remarquable que de nombreuses personnes, interrogées sur la question, supposent que, d'une manière imprécise, les contraintes s'évanouissent simplement dans le sol. Il suffit d'un moment de réflexion pour reconnaître qu'à la surface de contact les pressions exercées sur le sol et sur la construction doivent être identiques. En d'autres termes la pression d'écrasement exercée par un pont ou un bâtiment égale la résistance à l'écrasement correspondante de l'assise.

Il importe donc non seulement d'acquérir la certitude que la couche d'assise visible est apte à résister à la pression qui lui est appliquée; mais il faut encore connaître avec la même certitude la résistance du sol en des points situés à grande distance en-dessous de la surface. La charge transmise au-delà des fondements peut en effet être considérée comme rayonnant dans toutes les directions. A mesure que la distance croît, la contrainte décroît régulièrement pour atteindre finalement une valeur négligeable. A condition d'admettre certaines hypothèses simplificatrices, d'ailleurs justifiées, on peut calculer avec une précision parfaite le taux de décroissance de cette

contrainte. Le mathématicien français Boussinesq a le premier effectué ce calcul. Si, pour différentes distances en-dessous d'une substruction, on applique la formule connue aujourd'hui sous le nom d'"équation de Boussinesq", et si on admet les hypothèses appropriées, on obtient une loi de décroissance des contraintes qui peut être facilement représentée par un diagramme (figure 1).

Il n'est pas surprenant qu'on attribue à ce diagramme le nom de "bulbe des pressions" qui décrit exactement sa forme. Celui de la figure n° 1 illustre la distribution dans le sol des contraintes résultant de l'application de deux charges égales sur deux bases de différentes largeurs. Dans chaque cas le tracé du plus grand bulbe indique les points du sol où l'accroissement de contrainte verticale égale le dixième de la pression appliquée à la surface. La représentation visuelle constituée par le diagramme devrait être placée en évidence dans tous les bureaux d'études de fondations. Elle joue un rôle d'importance vitale pour une prise de conscience nette de ce qu'on peut appeler la philosophie du dessin de fondations. Elle est d'ailleurs sans nul doute familière à beaucoup de nos lecteurs, et a même été utilisée dans un Digeste précédent. Elle réalise une de ces représentations simples que l'on ne saurait examiner trop souvent à condition toutefois de ne pas se familiariser avec elle au point de n'y plus prêter attention.

On peut dessiner des bulbes semblables pour tout autre pourcentage de la charge unitaire sur l'assise. Leurs dimensions croîtront avec la distance à la construction et ces augmentations correspondront à des contraintes décroissantes. Dans les couches d'assise situées sous le centre de la

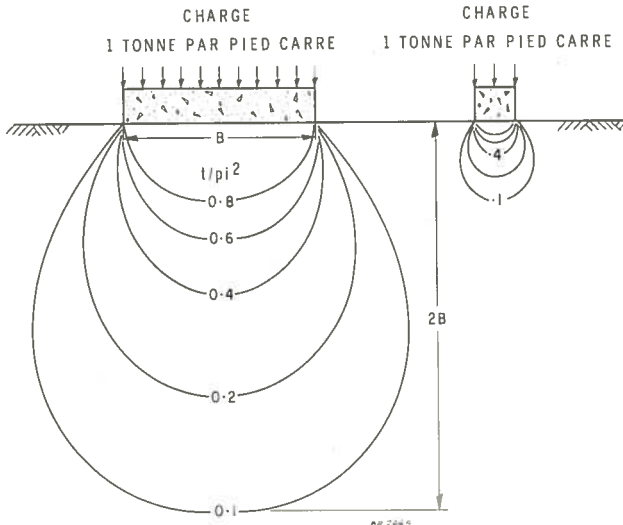


Figure 1 Courbes d'égalité pression verticale due à des charges en surface.

construction, la pression s'exerçant sur les matériaux du sol décroît rapidement au début puis plus lentement au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. Ce n'est pas avant une profondeur égale à environ *deux fois la largeur des fondements* que l'accroissement de pression induit dans le sol par le poids de la construction se réduit au dixième de la charge appliquée.

Philosophie de la conception des fondations

L'objet des études de fondations est de s'assurer que les charges provenant de la construction et des remblais connexes sont transmises au sol d'une manière sûre, et que la construction terminée rendra ainsi les services attendus d'elle. Ceci signifie d'abord que lors de l'application de la charge totale aucune défaillance n'affectera les assises de fondation. Cela implique également que l'affaissement de la construction (elles s'affaissent presque toutes dans une certaine mesure) ne sera pas excessif et demeurera conforme aux calculs, de sorte que les précautions nécessaires puissent être prises dans les plans de la superstructure.

Une erreur fréquemment commise lors des études consiste à négliger les charges supplémentaires imposées au sol par des remblais localisés même minimes. Deux ou trois pieds de remblais peuvent correspondre au poids de la construction et un affaissement sérieux peut résulter de la combinaison des charges.

Il importe de connaître, avant l'exécution des plans et avec une précision convenable, les charges qui seront transmises aux assises de fondation et les propriétés exactes de celles-ci jusqu'à une profondeur au moins double de la largeur des fondements prévus et même, de préférence, encore plus grande. Après évaluation des charges et des caractéristiques de l'assise, l'ingénieur en fondations doit combiner un ensemble non seulement satisfaisant, mais aussi de construction sûre et économique. Il est généralement possible de choisir entre divers types de fondations : les principes qui précèdent doivent servir de guide pour le choix nécessaire. Une sélection de ces types sera étudiée dans le prochain Digeste.

Etude souterraine des assises

Si on se réfère au diagramme du bulbe des pressions, on comprend immédiatement pourquoi les recherches relatives au sous-sol constituent une partie si essentielle des études de fondations. Si le sol ou le roc doivent subir un effort appréciable dû à une charge appliquée plus haut, il est essentiel que leur nature soit connue. Le CBD 29F traite des méthodes utilisables pour ce genre de recherches. En général relativement simples et peu coûteuses, elles ne donnent toute satisfaction que si les techniciens sont des experts. Il en existe d'ailleurs un grand nombre dans tout

le Canada. Il est aussi indispensable de confier à du personnel entraîné la tâche d'exercer une surveillance d'ensemble. Jamais deux emplacements ne sont absolument identiques et il faut tenir compte de conditions inattendues. Le forage d'un trou selon une seule dimension procure des résultats qui doivent être interprétés dans les trois dimensions. Une connaissance approfondie de la géologie, en particulier de celle de la région où on doit exécuter la construction, constitue une nécessité absolue.

A moins que l'architecte ou l'ingénieur chargé des études ne soit pleinement conscient de l'importance, pour les plans de construction, des données ainsi obtenues concernant les conditions du terrain, et à moins qu'il ne les utilise correctement lors de l'établissement des plans, le travail peut ne pas recevoir toute l'attention qu'il mérite. Des renseignements inexacts concernant le sous-sol peuvent être plus dangereux que l'absence de données. "Se salir les bottes" (on a entendu cette expression) dans un futur chantier ou employer un équipement d'aspect inhabituel dont une partie fonctionne sous terre et demeure invisible semblent bien loin du plaisir esthétique de dessiner une élégante charpente de toit. Les deux genres de travaux constituent cependant les fondements nécessaires de l'étude et présentent la même importance.

On pourrait croire qu'une telle attention accordée au sous-sol n'est nécessaire que dans le cas de grandes constructions. Dans le cas des petits bâtiments, elle est au contraire tout aussi importante, mais les données sont beaucoup plus faciles à obtenir. Les auteurs de la présente étude ont eu récemment connaissance du cas d'un petit ensemble résidentiel où toutes les maisons, pourtant agréables, ont dû être évacuées pendant quelques semaines parce qu'elles avaient été construites sur un sol de comblement. Nul n'avait effectué de recherches sur les conditions existant sous la surface du sol. On ignorait ainsi que les matériaux de comblement contenaient des matières organiques dégageant du méthane. Lorsque ce gaz s'était infiltré dans les caves, sa présence avait rapidement créé une situation très dangereuse.

Les faits qui précèdent ne constituent qu'un exemple des risques courus lorsqu'on construit sur des terrains de comblement, sans étude préalable du sous-sol. Une situation moins grave, mais non moins désagréable, s'est révélée dans un ensemble d'habitations construites sur un ancien dépôt d'ordures. De l'eau souterraine contenant des produits de putréfaction a imbibé les murs de fondations produisant dans les maisons une odeur écoeurante lors de son évaporation.

Quelques-uns des cas les plus remarquables de déplacements des fondements de constructions légères sont dus à des changements saisonniers de volume du sous-sol. Ils peuvent résulter de dessiccation et de contraction causées par la végétation, du gonflement de certains minéraux argileux engendré par une imbibition excessive, de bour-

soufflements dus au gel, ou de tassements résultant du dégel. Le gel ou le dégel doivent être considérés comme présentant un danger pendant et après la construction.

Il est donc *impératif* que les conditions régnant dans le sous-sol soient connues avec certitude avant l'exécution des plans tant des grands que des petits bâtiments.

Eaux souterraines

Comme le savent toutes les personnes ayant examiné une excavation, les conditions souterraines peuvent varier grandement sur des distances relativement faibles. Ce fait s'observe spécialement au Canada dont la surface est, dans une grande proportion, aujourd'hui couverte de moraines. Une difficulté supplémentaire complique l'art de dessiner des fondations. Les sous-sols terreux contiennent ordinairement de l'eau. Elle est aussi parfois présente dans le roc massif, mais rarement en quantités suffisantes pour provoquer des difficultés de fondations. L'eau située sous la surface fait partie de la nappe phréatique. Ce vocable dissimule le fait que presque toute cette eau est parvenue à sa position actuelle en s'infiltrant dans le sol à partir de la surface. Elle est donc presque toujours à l'état dynamique et non à l'état stagnant. Elle se déplace probablement latéralement et lentement. Son niveau varie presque certainement au cours des douze mois de l'année. Ces faits peuvent non seulement compliquer les études mais aussi affecter les méthodes de construction dans le cas où l'eau atteint les niveaux où sont exécutés les travaux. La question de la nappe phréatique et de son influence sur les travaux de fondations présente une importance telle qu'elle constituera le sujet d'un Digeste séparé devant paraître ultérieurement.

Règlements concernant la construction

Le lecteur sceptique peut estimer que l'attention particulière portée dans ce Digeste à certains sujets est superflue parce que les règlements locaux concernant la construction, ainsi que le Code

national du bâtiment au Canada, fournissent tous les renseignements nécessaires pour la préparation des plans de fondations. Il suffirait donc de suivre les instructions contenues dans ces documents. Une lecture attentive du Code ou des règlements locaux concernant la construction révélerait cependant que de telles conceptions ne sont pas professionnellement défendables. Même dans le cas de petits bâtiments il est nécessaire de procéder à des essais simples, de connaître les conditions du terrain, ou de disposer d'informations précises sur la nature des fondations dans un terrain *adjacent*. Le cas de très petites constructions mis à part, les méthodes indiquées ci-dessus sont suggérées dans tous les bons codes. Les règlements constituent en fait surtout un guide du domaine de la construction pour les autorités locales. Sans indiquer les principes permettant une exécution rapide des plans, ils donnent aux autorités les moyens d'exiger l'emploi de méthodes convenables.

Conclusion

L'établissement des plans de fondations constitue une partie intégrante du tracé d'une construction. Pour l'architecte ou l'ingénieur en construction elle offre moins d'intérêt que le travail normal consistant à concevoir des superstructures. Les deux genres d'études sont cependant d'importance égale, et sont indispensables pour la réussite de l'ensemble d'un projet. Si on néglige d'entreprendre l'étude convenable d'un tracé de fondations, ou si on pratique une absurde restriction des dépenses nécessaires à l'étude du sous-sol, on court le risque d'un désastre. Des dépenses supplémentaires grèveront alors presque certainement le coût total de la construction. Ce genre de situation exerce toujours des répercussions défavorables sur l'opinion que le public se forme au sujet des professionnels qui exécutent des plans et des devis. Les détails des plans peuvent et doivent être laissés aux soins des experts. Pour qu'ils puissent avoir une confiance totale dans toutes les parties d'un projet, tous les architectes et ingénieurs en construction devraient posséder une connaissance générale des principes de base du tracé de fondations.

La présente publication fait partie d'une série publiée par la Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches du Canada. On peut reproduire le texte sans modification comme article de revue, pourvu qu'on en mentionne la provenance. Un accord avec la Division des recherches en bâtiment est nécessaire si l'on veut le publier sous forme d'opuscule. Les versions françaises des Digestes sont publiées avec diligence. Des autorelieurs en vinyle sont disponibles au prix de 2 dollars chacun.

La Division publie de nombreux exposés décrivant les travaux menés dans les différents secteurs de la recherche où elle est active. On peut obtenir une liste de ces publications et des Digestes récents en écrivant à la Section des publications, Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa.