

Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

Band: 4 (1936)

Artikel: Semelles de béton armé

Autor: Lebelle, P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-5090>

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: 21.02.2026

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

SEMELLES DE BÉTON ARMÉ.

EISENBETON-FUNDAMENTE.

REINFORCED CONCRETE BUILDING FOUNDATIONS.

Dr. P. LEBELLE, Paris.

Semelles continues sous murs.

a) Hypothèses.

Les méthodes de calculs ci-dessous exposées s'appliquent exclusivement aux semelles de proportions courantes, pour lesquelles la hauteur utile au collet ne tombe pas au dessous de la moitié de la longueur de chacune des parties en porte-à-faux ($h - d' \geq \frac{A-a}{4}$, voir fig. 1).

Dans ces conditions des expériences effectuées en 1933 et 1934 aux laboratoires du *Bureau Sécuritas* montrent que pratiquement les réactions du sol sous la semelle sont réparties d'une façon très sensiblement uniforme.

Supposons la charge du mur uniforme et centrée; soit P sa valeur en tonnes par mètre linéaire de mur.

Admettons à priori que la transmission de la charge au sol se fasse par l'intermédiaire de bielles concourant au point de rencontre de la droite BC avec l'axe de la semelle (fig. 1).

L'ensemble des 2 bielles fictives, symétriques par rapport à l'axe de la semelle et des aciers d'armature est supposé fonctionner à la manière d'une ferme chargée en son sommet. La figure 2 explique l'équilibre des efforts en jeu dans le cas où les réactions du sol, que nous avons supposées uniformément réparties sont en outre verticales.

b) Armatures.

En raison des précédentes hypothèses on a:

$$dP = \frac{P}{A} dx$$

$$\frac{dF_x}{dP} = \frac{x}{h_0} \quad dF_x = \frac{Px dx}{Ah_0} \quad (1)$$

L'effort total supporté par les barres, dans la section située à la distance x du plan de symétrie est:

$$F_x = \int_x^{\frac{A}{2}} \frac{Px dx}{Ah_0} = \frac{PA}{8h_0} \left(1 - \frac{4x^2}{A^2}\right)$$

ou, en remarquant (fig. 1) que $\frac{A}{h_0} = \frac{A-a}{h-d'}$

$$F_x = \frac{P(A-a)}{8(h-d')} \left(1 - \frac{4x^2}{A^2}\right) = F_0 \left(1 - \frac{4x^2}{A^2}\right) \quad (2)$$

Cet effort est maximum dans le plan axial de la semelle, où son intensité est:

$$F_0 = \frac{P(A-a)}{8(h-d')} \quad (3)$$

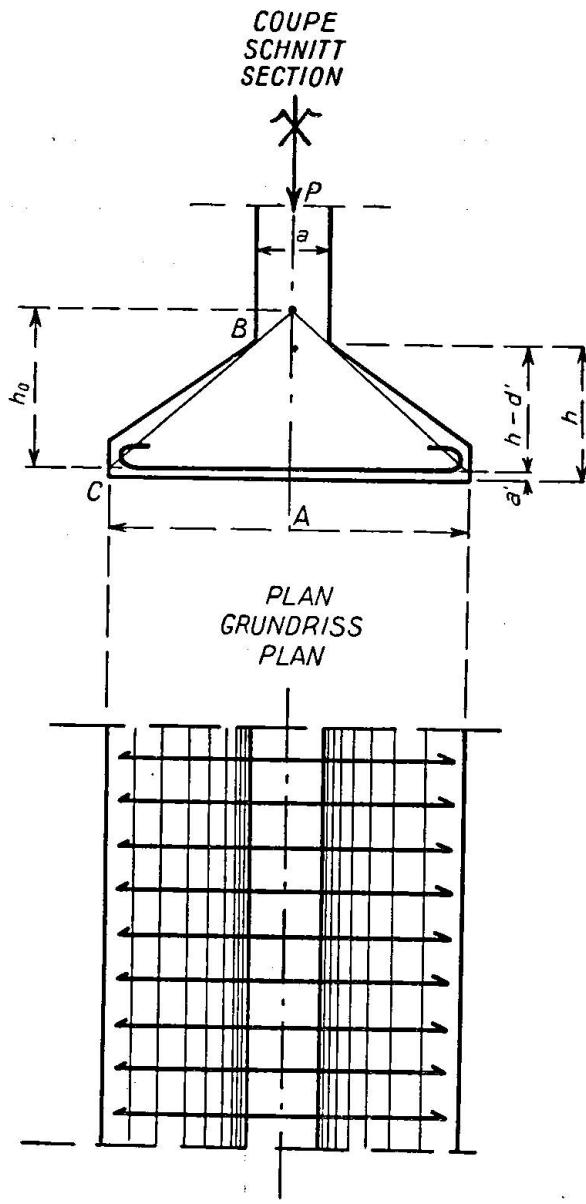


Fig. 1.

Remarques.

1° Si l'on fait une section verticale par ce plan, on voit que cette section est soumise à un couple de flexion dont le moment est:

$$M = \frac{P}{2} \left(\frac{A}{4} - \frac{a}{4} \right) = \frac{P(A-a)}{8} \text{ (fig. 3).}$$

L'effort maximum supporté par les armatures, calculé d'après la formule (3) est donc le même que celui qu'on obtiendrait par la méthode usuelle en supposant que le bras de levier du couple élastique, dans la section considérée est égal à $h - d'$.

2^o La formule (2) fait connaître la variation de la tension le long des barres. Si l'on se propose de ne pas les prolonger toutes jusqu'aux extrémités de la semelle, la longueur de celles qu'on veut arrêter découle de cette formule.

Ainsi, si l'on veut arrêter la moitié des barres de même section, la longueur à adopter pour les plus courtes est telle que:

$$1 - \frac{4x^2}{A^2} = \frac{1}{2}$$

$$x = \frac{A\sqrt{2}}{4} = \sim 0,35 A, L = \sim 0,70 A \text{ (fig. 4).}$$

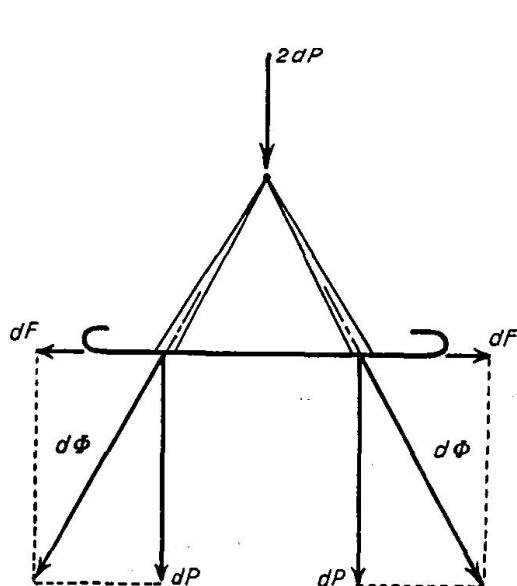


Fig. 2.

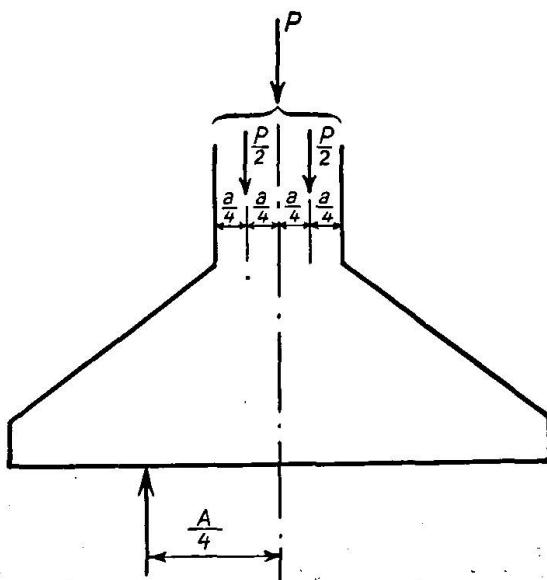


Fig. 3.

Dans le cas des 3 groupes de barres (fig. 5), on trouve:

$$\begin{aligned} L &= \sim 0,82 A \\ L' &= \sim 0,58 A \end{aligned}$$

3^o Quand $h - d' = \frac{A - a}{4}$, on a

$$F_0 = \frac{P}{2}.$$

Quand $h - d' = \frac{A - a}{2}$, on a

$$F_0 = \frac{P}{4}.$$

Ces remarques facilitent dans une certaine mesure les vérifications rapides des sections d'armature.

c) Adhérence.

C'est évidemment par le jeu de l'adhérence que les efforts élémentaires dF sont transmis aux barres d'armature.

L'effort que l'adhérence doit équilibrer en chaque point est, par unité de longueur, $\frac{dF}{dx}$. Cet effort est nul dans le plan axial de la semelle et maximum

aux extrémités. En ces points, il a pour valeur:

$$G = \frac{P}{2h_0} = \frac{P(A-a)}{2A(h-d')}.$$

Comme le glissement des barres dans leurs gaines de béton entraînerait la rupture de la semelle, il est indispensable de prévoir des dispositifs d'arrêt efficaces aux abouts des armatures. Moyennant ces dispositifs d'arrêt et en

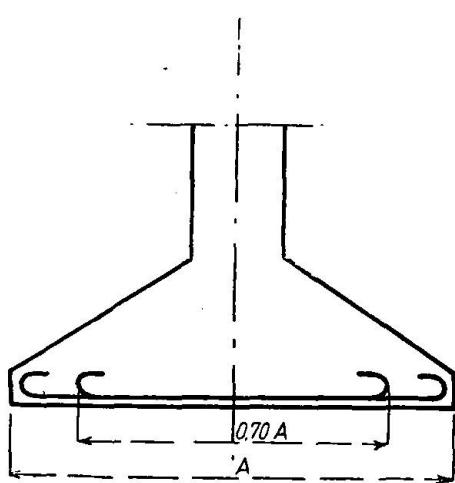


Fig. 4.

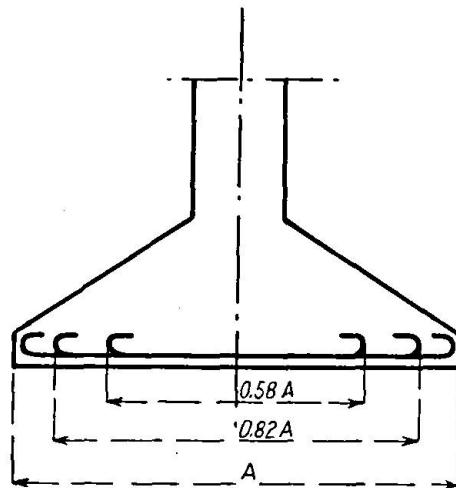


Fig. 5.

choisisissant le diamètre des barres en sorte que leur écartement reste faible (de l'ordre du $\frac{1}{4}$ de la hauteur utile $h - d'$ de la semelle au collet) on peut, comme le montrent les expériences décrites ultérieurement négliger de vérifier que la fatigue imposée à l'adhérence reste au dessous d'une certaine limite qui serait d'ailleurs bien arbitraire.

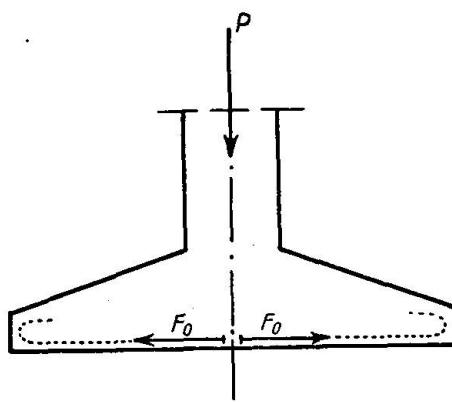


Fig. 6.

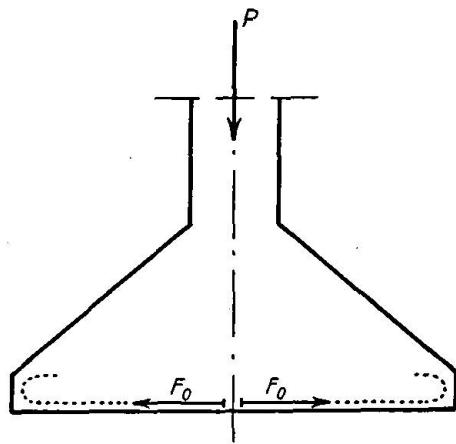


Fig. 7.

En effet, des glissements locaux n'entraînent pas la rupture de la semelle si les ancrages aux abouts ne cèdent pas.

d) Fatigue du béton.

Les bielles fictives envisagées sont comprimées. Calculons la pression maxima supportée par le béton.

Au point M (fig. 8), cette pression est $\frac{d\Phi}{dS}$.

Or:

$$d\Phi = \frac{dP}{\sin \alpha}$$

$$\frac{dS}{z_0} = \frac{dS'}{h_0} = \frac{dx \sin \alpha}{h_0}.$$

D'où:

$$R_b = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{dP}{dx} \frac{h_0}{z_0 \sin^2 \alpha} = \frac{dP}{dx} \frac{h_0^2 + x^2}{h_0 z_0} \quad (4)$$

$$R_b = \frac{P(h_0^2 + x^2)}{A h_0 z_0}.$$

La pression est évidemment maxima, pour une bielle déterminée, au niveau du collet de la semelle.

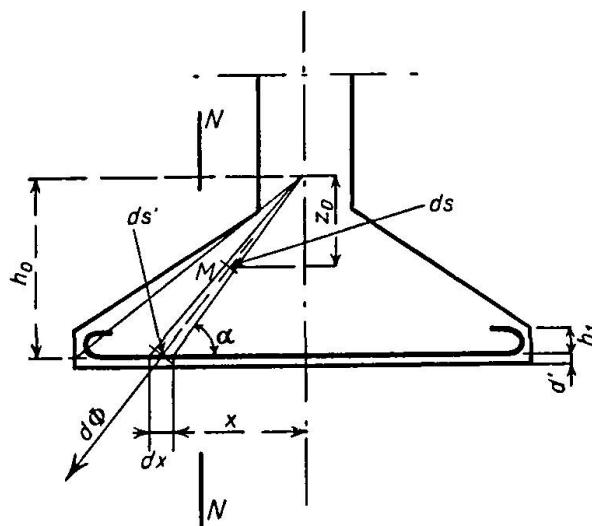


Fig. 8.

La bielle la plus fatiguée est évidemment celle qui aboutit à l'extrémité de la semelle; autrement dit, R_b est maxima pour $x = \frac{A}{2}$ et $z_0 = h_0 - (h - d') = h_0 - \frac{a}{A}$.

On trouve aisément:

$$R_{b \text{ max}} = \frac{P}{a} \left(1 + \frac{A^2}{4 h_0^2} \right) = \frac{P}{a} \left[1 + \left(\frac{A - a}{2(h - d')} \right)^2 \right] \quad (5)$$

Pour $h - d' \geq \frac{A - a}{4}$, $R_b \leq 5 \frac{P}{a}$.

Si on veut à priori choisir $h - d'$ pour qu'une certaine fatigue R_b du béton ne soit pas dépassée, on utilisera la formule:

$$h - d' = \frac{A - a}{2} \sqrt{\frac{1}{\frac{R_b}{p_0} - 1}}$$

Dans laquelle $p_0 = \frac{P}{a}$ représente la pression du mur sur la partie supérieure de la semelle.

e) Résistance à l'effort tranchant.

Dans l'hypothèse faite sur le mode de fonctionnement de la semelle, il n'y a pas à se préoccuper de sa résistance à l'effort tranchant. En effet les bielles fictives imaginées à l'intérieur du béton sont soumises à la compression simple, de sorte que si l'on fait une section verticale telle que $N - N$ [voir figure 8] on trouve les mêmes efforts que ceux qui s'exercent dans une section oblique d'un poteau vertical supportant une charge centrée.

Des expériences qui seront décrites ultérieurement confirment que pour les semelles ayant les proportions envisagées, uniquement munies d'armatures horizontales, on ne constate pratiquement pas de ruptures suivant des surfaces obliques d'allure analogue à celles qui se produisent au voisinage des appuis des poutres.

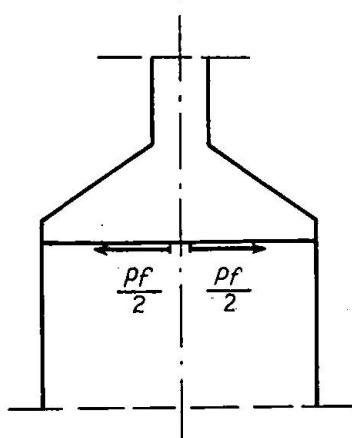


Fig. 9.

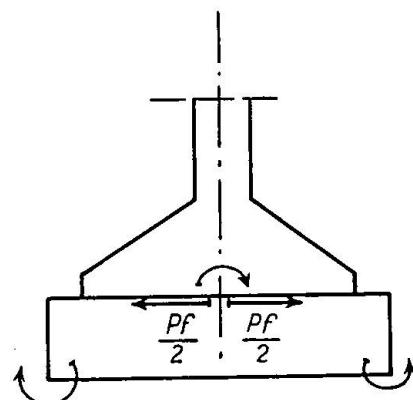


Fig. 10.

f) Effets du frottement.

On a supposé dans tout ce qui précède que les réactions du sol étaient verticales. En fait cette circonstance est rarement réalisée. En effet, la partie inférieure de la semelle tend à s'allonger et, par suite, à glisser sur le sol qui lui sert d'appui et dont la dilatation horizontale due à la pression $\frac{P}{A}$ est, dans la plupart des cas, pratiquement négligeable.

Le frottement sur le sol s'opposant à l'allongement des fibres inférieures de la semelle; l'équation (1) doit être remplacée par la suivante:

$$dF_x = \frac{Px dx}{A h_0} - f \frac{P}{A} dx.$$

D'où:

$$F_x = \frac{P(A-a)}{8(h-d')} \left(1 - \frac{4x^2}{A^2}\right) - \frac{Pf}{2} \left(1 - \frac{2x}{A}\right).$$

L'effort maximum sur les barres est:

$$F_1 = \frac{P(A-a)}{8(h-d')} - \frac{Pf}{2} = F_0 - \frac{Pf}{2}.$$

Examinons quelques cas courants:

1^o Semelle sur massif en gros béton ou sur massif en maçonnerie.

Le coefficient de frottement est très important si la surface du gros béton est convenablement nettoyée et arrosée avant le bétonnage de la semelle. Dans ces conditions, il n'est pas exagéré de prendre $f = 0,5$.

Mais il faut bien observer que si la présence du gros béton peut dans une certaine mesure permettre de réaliser une économie sur la section des armatures, il doit être en mesure de résister à l'effet des forces $\frac{Pf}{2}$ (fig. 9).

Lorsque le gros béton déborde sous la semelle (fig. 10) l'effet de ces forces est partiellement compensé par celui des parties en porte-à-faux.

2^o Fondations sur les sables à gros grains et graviers.

Les fondations adhèrent alors au terrain et le coefficient f à faire intervenir serait le coefficient de frottement interne du sol.

Mais il est bien évident que l'on ne peut accepter la réduction de l'effort F qui résulterait de l'adoption d'une valeur aussi élevée du coefficient de frottement.

Il faut noter que, pour qu'il y ait réduction de l'effort F , il est nécessaire que la matière sur laquelle repose la semelle ne soit pas rompue sous l'effet des forces $\frac{Pf}{2}$.

On peut remarquer, à ce propos, que l'approfondissement de la fouille influe non seulement sur la pression admissible sur le sol, mais aussi sur la résistance de la semelle.

3^o Quelles que soient, d'ailleurs, la nature du sol et la profondeur de la fouille, il est prudent de s'assurer qu'en supposant l'influence favorable du frottement supprimée pour une cause quelconque, la majorisation de fatigue des armatures de la semelle n'excéderait pas 50 % de la limite normalement admise.

4^o Expériences en laboratoire.

Le dispositif expérimental est représenté par la figure 11.

Si la semelle repose directement sur la plaque de caoutchouc, on constate qu'après chargement cette dernière se déforme comme l'indique la figure 12; c'est donc, dans ce cas, la semelle qui s'oppose à la dilatation horizontale du caoutchouc. Il faut donc poser $dF_x = \frac{P_x dx}{A h_0} + f \frac{P}{A} dx$ et on trouve $F_1 = F_0 + \frac{Pf}{2}$.

Si l'on veut éviter l'effet de traction du caoutchouc sur les fibres inférieures de la semelle en essai, il faut supprimer le frottement par l'emploi d'un lubrifiant approprié.

g) Effets de l'inégal répartition des réactions du sol.

Dans tout ce qui précède, on a supposé les réactions du sol uniformément réparties sous toute l'étendue de la semelle. En fait, quoique faible, la déformation de la semelle n'est pas négligeable et les réactions du sol, dans l'état d'équilibre, sont plus intenses dans la partie centrale de la semelle qu'aux abords de ses extrémités.

Il est évident que le moment du couple de flexion qui s'exerce dans le plan axial de la semelle, et, par suite, l'effort de traction supporté par les armatures, est maximum quand les composantes verticales des réactions du sol sont uni-

formément réparties. En supposant cette hypothèse réalisée on se place donc dans les conditions les plus défavorables pour la détermination de la section des armatures. Par contre, en ce qui concerne la pression maxima sur le sol, on fait une hypothèse trop favorable. Ceci n'a pas une grande importance, car on est en droit de penser que les phénomènes d'adaptation rendent au bout de peu de temps la répartition des réactions du sol uniforme.

h) Proportions économiques des semelles sous murs.

Nous supposons que toutes les barres ont la même longueur sensiblement égale à A .

Soient: α le prix en francs du kg. d'acier,
 β le prix en francs du m³ de béton.

Dans la région parisienne, à l'heure actuelle, on peut admettre pour les ouvrages qui nous intéressent que l'on a sensiblement $\beta = 100 \alpha$.

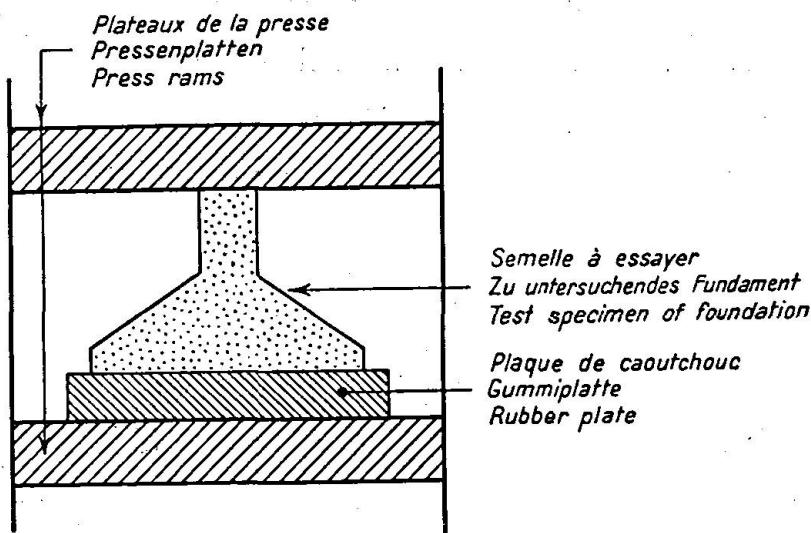


Fig. 11.

1° Semelles d'épaisseur constante.

Le prix du mètre linéaire de semelle est:

$$\Pi = \frac{P(A-a)A}{8(h-d')R_a'} + A(h-d')\beta + C.$$

Dans cette formule P est exprimé en tonnes, A , a , $h - d'$ en mètres, R_a' en t/m².

C est une quantité indépendante de $h - d'$ représentant le prix du béton d'enrobage des barres.

Si l'on admet pour l'acier une fatigue de 12 kg/mm², c'est-à-dire 12.000 t/m² on a:

$$\Pi = A \left[0,081 \frac{P(A-a)\alpha}{h-d'} + (h-d')\beta \right] + C.$$

La quantité entre parenthèses est minima pour:

$$0,081 \frac{P(A-a)\alpha}{h-d'} = (h-d')\beta.$$

D'où

$$h - d' = 0,285 \sqrt{P(A-a) \frac{\alpha}{\beta}}.$$

Posons: $\frac{P}{A} = \bar{\omega}_0 \frac{a}{A} = \lambda$.

La formule précédente devient:

$$h - d' \text{ (en m)} = 0,285 A \sqrt{\bar{\omega}_0 (1-\lambda) \cdot \frac{\alpha}{\beta}}.$$

Il est intéressant de voir dans quelles conditions on peut obtenir l'économie maxima tout en respectant la condition $h - d' \geq \frac{A-a}{4}$ imposée dans la nécessité d'avoir des semelles assez raides pour que la pression sur le sol soit convenablement répartie.

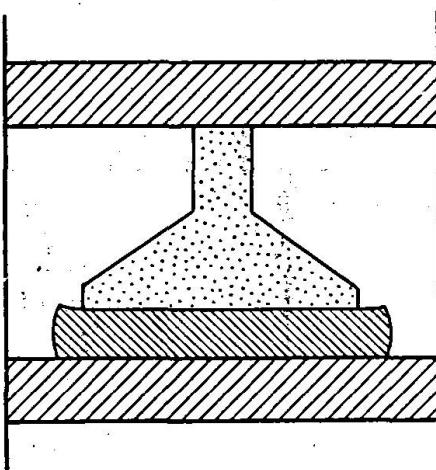


Fig. 12.

Pour $\beta = 100 a$, on trouve sans difficulté que la hauteur la plus économique est supérieure à $\frac{A-a}{4}$ quand:

$$\bar{\omega}_0 \geq 76(1-\lambda) \text{ t/m}^2.$$

Si $A \geq 2a$ on a donc:

$$\bar{\omega}_0 \geq 38 \text{ t/m}^2.$$

Si $A \geq 4a$ on a:

$$\bar{\omega}_0 \geq 57 \text{ t/m}^2.$$

2° Semelles d'épaisseur variable.

Le calcul s'établit de la même façon que pour les semelles d'épaisseur constante.

Avec les notations et les unités employées ci-dessus, on a:

$$\Pi = \frac{P(A-a) A 7800 \alpha}{8(h-d') R_a'} + \left[\frac{A+a}{2} (h-d'-h_1) + A(h_1+d') \right] \beta$$

En admettant $R_a' = 12\,000 \text{ t/m}^2$ cette expression devient:

$$\pi = 0,081 \frac{P(A-a) A \alpha}{h-d'} + \frac{A+a}{2} (h-d') \beta + C.$$

C est une constante qui ne dépend pas de $h - d'$. Le prix de la semelle est minimum pour:

$$0,081 \frac{P(A-a)A\alpha}{h-d'} = \frac{A+a}{2} (h-d') \beta$$

D'où:

$$h - d' = 0,40 A \sqrt{\bar{\omega}_0 \frac{1-\lambda}{1+\lambda} \frac{\alpha}{\beta}}.$$

Pour $\beta = 100 \alpha$, on trouve que la hauteur la plus économique est supérieure à $\frac{A-a}{4}$ si:

$$\text{Pour } A \geq 2a \quad \bar{\omega}_0 \geq 39(1-\lambda^2) \text{ t/m}^2.$$

$$\text{Pour } A \geq 4a \quad \bar{\omega}_0 \geq 29,5 \text{ t/m}^2.$$

$$\text{Pour } A \geq 4a \quad \bar{\omega}_0 \geq 36,0 \text{ t/m}^2.$$

3° Remarque.

Comme la modification de tension des barres due au frottement est indépendante de la hauteur utile, toutes les conclusions précédentes sont valables, que l'on tienne compte ou non des effets du frottement.

Essais du 27 Janvier 1934.

I. But des essais — Description des éprouvettes et du mode opératoire.

Les essais qui vont être décrits avaient pour but de déterminer le mode de rupture de semelles continues sous murs, de même empattement, mais de hauteurs variables et munies d'armatures plus ou moins importantes.

La figure 1 ci-contre représente les 5 éprouvettes soumises aux essais. Toutes les barres d'armature des éprouvettes étaient en acier doux Thomass.

Le béton utilisé était dosé à raison de 300 kg de super-ciment par m^3 en oeuvre et caractérisé par une résistance à la compression de 235 kg/cm² et une résistance à la traction de 14,4 kg/cm²; son poids spécifique était de 2,280 kg/m³.

Tous ces chiffres ont été obtenus, à 25 jours d'âge du béton, en application des prescriptions du Règlement sur les Constructions en Béton Armé de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France.

Les essais sur les modèles de semelles ont été effectués à l'aide de la presse Amse de 500 tonnes. Les semelles étaient placées sur une plaque en caoutchouc de 0,52 × 0,52 × 0,08 reposant sur le plateau inférieur de la presse.

II. Résultats des essais.

a) Observations.

La figure 2 est la reproduction des diagrammes charge-déformation enregistrés pendant les essais.

Les ordonnées des courbes, qui sont proportionnelles au rapprochement des plateaux de la presse totalisent les déformations de la plaque de caoutchouc et celles de la semelle (voir fig. 3).

On voit sur les photographies des semelles après rupture que les fissures apparentes sur les tranches terminales sont sensiblement verticales et placées à l'aplomb des potelets. On remarque que la partie inférieure de ces tranches terminales a été désagréée pendant les essais. Ce fait doit être attribué à la traction exercée perpendiculairement aux plans des photographies par le caoutchouc, par suite du frottement, pendant les essais.

Aucun lubrifiant n'était, en effet, interposé entre le caoutchouc et les éprouvettes et il était facile de constater, qu'en raison du frottement, la dilatation du caoutchouc, dans la partie voisine de sa surface supérieure, se trouvait fortement gênée.

Aucune rupture des aciers ne s'est produite pendant les essais. On n'a pas observé de rupture du béton par excès de compression au voisinage des potelets, ni de

fissures ayant l'allure de celles dites „d'effort tranchant“ que l'on observe vers les abouts des poutres non munies de barres inclinées à 45°.

Pour les semelles 2, 3, 4 et 5 il a été possible de constater que, sur toute sa surface, la plaque de caoutchouc gardait une épaisseur sensiblement constante, diminuant progressivement à mesure que la charge augmentait.

Cette observation montre que la répartition des réactions du caoutchouc sur la semelle est restée sensiblement uniforme pendant les essais.

Pour la semelle 1, au contraire, la diminution d'épaisseur du caoutchouc a été beaucoup plus forte dans la région centrale que sur les bords: avant que sa possibilité de chargement soit épuisée, la semelle 1 a subi une déformation considérable, très apparente sur la photographie qui la représente après rupture. Au surplus les diagrammes correspondants accusent un rapprochement des plateaux de la presse bien supérieur à ceux observés pour les semelles 3, 4 et 5.

Les diagrammes relatifs à ces dernières semelles sont sensiblement rectilignes et présentent à peu près la même inclinaison sur l'axe des abscisses. Il semble donc bien qu'en pratique dès que la condition $h - d' \geq \frac{A - a}{4}$ se trouve réalisée, on peut considérer que les pressions exercées par la semelle sont réparties d'une manière sensiblement uniforme sous toute son étendue.

b) Coefficients de sécurité des éprouvettes.

Il n'est pas possible de définir un coefficient de sécurité à rupture pour la semelle n° 1. Bien avant le moment où la charge totale exercée a cessé de croître, la semelle avait subi une déformation inacceptable en pratique et elle ne pouvait plus être considérée comme capable de répartir uniformément la pression. On se rapprocherait mieux de la réalité en considérant que le coefficient de sécurité pratique de la semelle 1 est le rapport de la charge correspondant à l'extrémité droite de la partie rectiligne du diagramme charge-déformation à la charge calculée. C'est le coefficient ainsi défini qui figure dans le tableau ci-après.

Les charges admissibles pour les semelles qui figurent sur ce tableau ont été déterminées par la formule:

$$P = \frac{8(h - d')\omega' R'_a}{A - a + 4f(h - d')} \quad (1)$$

On a admis que la fatigue admissible pour les aciers ne devait pas dépasser 12 kg/mm² et on a pris $f = 0,42$. Ce dernier chiffre résulte de l'expérience faite à l'aide des semelles et de la plaque de caoutchouc utilisées pour les essais.

Désignation de l'éprouvette	Charge calculée en tonnes		Charge de Rupture en t	Coefficient de sécurité	
	en tenant compte du frottement	en négligeant le frottement		en tenant compte du frottement	en négligeant le frottement
1	4,2	5,0	2,50	2,10	
2	4,5	6,1	4,90	3,60	
3	7,5	10,2	4,65	3,42	
4	4,1	6,5	4,77	3,00	
5	10,4	16,2	4,15	2,65	

On voit qu'en tenant compte de l'effet du frottement les semelles 2, 3, 4 et 5 présentent des coefficients de sécurité pratiquement satisfaisants. Il peut paraître anormal que le coefficient de sécurité de la semelle 5 soit inférieur à celui des semelles 2, 3 et 4 qui ont une épaisseur moindre. Il est permis de penser que cette anomalie a pour cause l'augmentation du coefficient de frottement sous les pressions unitaires réalisées pendant les essais, qui sont plus fortes pour la semelle 5 que pour les semelles 2, 3 et 4.

Semelles carrées.

a) Hypothèses.

On suppose expressément que la section du pilier à fonder est carrée et que la hauteur utile de la semelle satisfait à la condition $h - d' \geq \frac{A - a}{4}$ (fig. 13).

Comme dans le cas des semelles continues sous murs, la pression sur le sol peut pratiquement être considérée comme uniformément répartie.

Supposons la charge du pilier centrée; soit P son intensité en tonnes. Nous admettons comme précédemment que la charge est transmise au sol par l'intermédiaire de bielles fictives concourant en D , centre d'homothétie de la section d'appui de la semelle et de la section terminale du pilier.

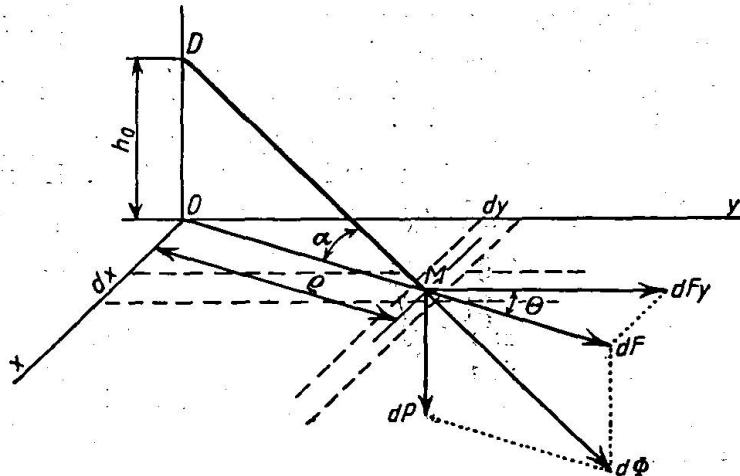


Fig. 13.

b) Armatures.

1^o *Armatures disposées en quadrillage parallèlement aux côtés de la semelle.*

La composante horizontale de l'effort $d\Phi$ transmis par la bielle MD est équilibrée par les tensions des 2 barres passant en M .

On a:

$$dP = \frac{P}{A^2} dx dy$$

$$\frac{dP}{dF} = \frac{h_0}{\varrho}$$

$$dF = \frac{P\varrho dx dy}{A^2 h_0}$$

$$dF_y = dF \cos \theta = \frac{P\varrho \cos \theta dx dy}{A^2 h_0} = \frac{Py dx dy}{A^2 h_0}$$

L'effort total sur la barre parallèle à oy passant par M est

$$\int_0^{\frac{A}{2}} dF_y = \frac{P dx}{8 h_0}.$$

Il est indépendant de x : toutes les barres sont également tendues. Il y a donc lieu de les répartir uniformément.

L'effort total sur toutes celles qui sont parallèles à oy est:

$$F_o = \int_{-\frac{A}{2}}^{+\frac{A}{2}} \frac{P dx}{8 h_0} = \frac{PA}{8 h_0} = \frac{P(A-a)}{8(h-d')}.$$

Les barres parallèles à ox subissent évidemment le même effort total.

Pour chaque série de barres, ce qui a été dit au sujet de l'adhérence et les remarques faites dans le chapitre concernant les semelles continues sous murs restent applicables.

De même, le frottement du béton sur le sol constituant la semelle a pour effet de modifier l'effort supporté par les barres. On doit poser, selon les cas:

$$dF_y = \frac{Py dx dy}{A^2 h_0} \pm f dP \cos \theta = \frac{Py dx dy}{A^2 h_0} \pm \frac{Pf dx}{A^2} \frac{y dy}{\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

La tension maxima de la barre parallèle à oy et passant par M s'obtient par intégration et a pour valeur:

$$\frac{P dx}{8 h_0} \pm \frac{Pf}{A^2} \left(\sqrt{x^2 + \frac{A^2}{4}} - x \right) dx.$$

Le terme correctif dû au frottement dépend de x ; les tensions des différentes barres ne sont pas également modifiées par suite du frottement.

Pour la barre placée sur le bord de la semelle, la modification de tension due au frottement est:

$$\pm \frac{Pf}{A^2} \left(\frac{A}{\sqrt{2}} - \frac{A}{2} \right) dx = \pm \frac{Pf (\sqrt{2} - 1)}{2A} dx = \pm 0,20 \frac{Pf}{A} dx.$$

Pour celle placée selon l'axe de la semelle elle est au contraire:

$$\pm \frac{Pf}{A^2} \left(\frac{A}{2} \right) dx = \pm 0,50 \frac{Pf}{A} dx.$$

Il est donc prudent, dans le cas où le terrain s'oppose à l'extension des fibres inférieures de la semelle, de ne tenir compte que de la réduction d'effort qu'on aurait si toutes les barres étaient dans la même situation que la moins soulagée, c'est-à-dire admettre:

$$F = F_0 - 0,20 Pf.$$

Si au contraire le terrain tend à augmenter la tension des barres, il faudra admettre:

$$F = F_0 + 0,50 Pf.$$

Le poids d'armatures nécessaires est (en les supposant toutes de longueur égale à A):

$$2 \times 7800 \frac{P(A-a)}{8(h-d')} \frac{A}{R'_a} = \frac{7800 P(A-a) A}{4(h-d') R'_a}$$

P est exprimé en tonnes.

R'_a en t/m².

A , a et $h - d'$ en m.

Proportions économiques des semelles carrées à armatures en quadrillage.

Supposons toutes les armatures de longueur égale à A .

Soient: α le prix en francs du kg d'acier,

β le prix en francs du mètre cube de béton.

Le prix de la semelle est, en admettant pour l'acier une fatigue de 12 kg/mm², soit 12.000 t/m²:

$$\Pi = \frac{7800 P(A-a) A \alpha}{4 \times 12.000 (h-d')} + \left[A^2 h_1 + A^2 d' + (A^2 + Aa + a^2) \frac{h - d' - h_1}{3} \right] \beta$$

$$\Pi = 0,1625 \frac{P(A-a) A \alpha}{h - d'} + (A^2 + Aa + a^2) \frac{h - d'}{3} \beta + C.$$

C'est une constante si la hauteur h_1 et l'épaisseur d' du béton d'enrobage restent les mêmes quelle que soit la hauteur utile $h - d'$ de la semelle.

Toutes les conclusions qui vont suivre restent vraies quand il y a lieu de tenir compte du frottement: la modification de tension des armatures est alors en effet, dans nos hypothèses, indépendante de la hauteur de la semelle, par conséquent elle se traduit par l'adjonction d'un terme constant positif ou négatif au prix H .

Pour tenir compte des ancrages, qui augmentent le poids des aciers dans une proportion non négligeable, on peut majorer le prix α .

Le prix minimum de la semelle s'obtient quand:

$$0,1625 \frac{P(A-a)A\alpha}{h-d'} = (A^2 + Aa + a^2) \frac{h-d'}{3} \beta.$$

La hauteur utile économique déduite de cette équation est, en désignant par $\bar{\omega}$ la pression sur le sol en t/m² et par λ le rapport $\frac{a}{A}$:

$$h-d' \text{ (en m)} = 0,70 A \sqrt{\bar{\omega}_0 \frac{1-\lambda}{1+\lambda+\lambda^2} \frac{\alpha}{\beta}}.$$

Dans cette formule A est exprimé en mètres et $\bar{\omega}_0$ en tonnes par mètre carré.

Pour $\beta = 100 \alpha$ on trouve sans difficulté que la hauteur la plus économique est supérieure à $\frac{A-a}{4}$ quand:

$$\bar{\omega}_0 \geq 12,8 (1 - \lambda^3) \text{ t/m}^2.$$

Si $A \geq 4a$ on a donc:

$$\bar{\omega}_0 \geq 12,6 \text{ t/m}^2.$$

Il est intéressant d'examiner sur un exemple concret l'influence des proportions choisies sur le prix d'une semelle.

Soit à fonder un poteau de $0,50 \times 0,50$ devant supporter une charge maxima de 100 tonnes, le sol de fondation pouvant supporter une pression de 25 t/m² ($2,5 \text{ kg/cm}^2$).

Nous admettons $\beta = 100 \alpha = 150$ Frs.

Le côté de la semelle est:

$$\sqrt{\frac{100}{25}} = 2,00 \text{ m.}$$

1° Certains constructeurs adoptent systématiquement des semelles de faible épaisseur qui ont l'inconvénient de se déformer sous la charge. Dans le cas particulier leurs règles conduiraient à adopter une hauteur totale de 0,25 m, soit une hauteur utile de 0,22 m.

Le prix de la semelle serait donc:

$$H = \frac{0,1625 \times 100 (2,00 - 0,50) 2,00 \times 1,50}{0,22} + \\ [2,00^2 (0,12 + 0,03) + (2,00^2 + 2,00 \times 0,50 + 0,50^2) \frac{0,22 - 0,12}{3}] 150 = \\ = 222 \times 1,50 + 0,775 \times 150 = 332 + 116 = 449 \text{ francs.}$$

Le pourcentage du métal est:

$$\frac{222}{0,775} = 286 \text{ kg par m}^3.$$

2^o D'autres constructeurs, au contraire, emploient uniquement des semelles très hautes et peu armées. Souvent le fruit des faces latérales est égal à 1/1. La hauteur totale est alors égale à 0,75, la hauteur utile à 0,72 et le prix de la semelle est:

$$\Pi = \frac{0,1625 \times 100 (2,00 - 0,50) 2,00 \times 1,50}{0,72} + \\ [2,00^2 (0,12 + 0,03) + (2,00^2 + 2,00 \times 0,50 + 0,50^2) \frac{0,72 - 0,12}{3}] 150 = \\ = 68 \times 1,50 + 1,650 \times 150 = 102 + 247 = 349 \text{ francs.}$$

Le pourcentage du métal est:

$$\frac{68}{1,650} = 41 \text{ kg par m}^3.$$

3^o Cherchons la hauteur utile économique.

On trouve facilement:

$$h - d' = 0,70 \times 2,00 \sqrt{25 \frac{1 - 0,25}{1 + 0,25 + 0,25^2} \frac{1}{100}} = 0,53.$$

Adoptons comme dans le cas précédemment envisagé, une épaisseur de 0,03 pour l'enrobage des barres.

Le prix de la semelle est:

$$\Pi = \frac{0,1625 \times 100 (2,00 - 0,50) 2,00 \times 1,50}{0,53} + \\ + [2,00^2 (0,12 + 0,03) + (2,00^2 + 2,00 \times 0,50 + 0,50^2) \frac{0,53 - 0,12}{3}] 150 = \\ = 92 \times 1,50 + 1,320 \times 150 = 138 + 198 = 336 \text{ francs.}$$

Le pourcentage du métal est:

$$\frac{92}{1,320} = 69 \text{ kg par m}^3.$$

On voit par ce qui précède que, d'une manière générale, si l'on s'écarte de la hauteur économique les semelles épaisses reviennent moins cher que des semelles minces.

II^o Armatures disposées parallèlement aux diagonales.

On a, comme dans le cas des barres disposées parallèlement aux côtés:

$$dF_y = dF \cos \theta = \frac{Py dx dy}{A^2 h_0}.$$

L'effort maximum sur la barre parallèle à oy passant par M est:

$$\frac{P dx}{A^2 h_0} \int_0^{\frac{A}{\sqrt{2}} - x} y dy = \frac{P dx}{2 A^2 h_0} \left(\frac{A}{2} - x \right)^2.$$

Contrairement à ce qui se passait dans le cas étudié ci-dessus l'effort sur une barre dépend de sa position; il est très faible pour les barres les plus éloignées du centre et maximum pour celles placées suivant les diagonales. Pour celles-ci, l'effort maximum est:

$$\frac{P dx}{2 A^2 h_0} \left(\frac{A}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{P dx}{4 h_0}.$$

Il est donc 2 fois plus intense que l'effort constant qui s'exerce sur les barres disposées parallèlement aux côtés.

L'effort total sur toutes les armatures coupées par la section $x'x$ est:

$$2 \int_0^{\frac{A}{\sqrt{2}}} \frac{P dx}{2 A^2 h_0} \left(\frac{A}{\sqrt{2}} - x \right)^2 = \frac{PA}{6 h_0 \sqrt{2}} = \frac{P(A-a)}{6(h-d')\sqrt{2}}.$$

Il est un peu plus faible que celui qui s'exerce sur les barres coupées par une section diamétrale d'une semelle armée parallèlement aux côtés ($6\sqrt{2} > 8$).

On peut remarquer que le moment du couple de flexion qui s'exerce sur la section $x'x$ est:

$$\frac{P}{2} \left(\frac{1}{3} \frac{A}{\sqrt{2}} - \frac{1}{3} \frac{a}{\sqrt{2}} \right) = \frac{P(A-a)}{6\sqrt{2}}$$

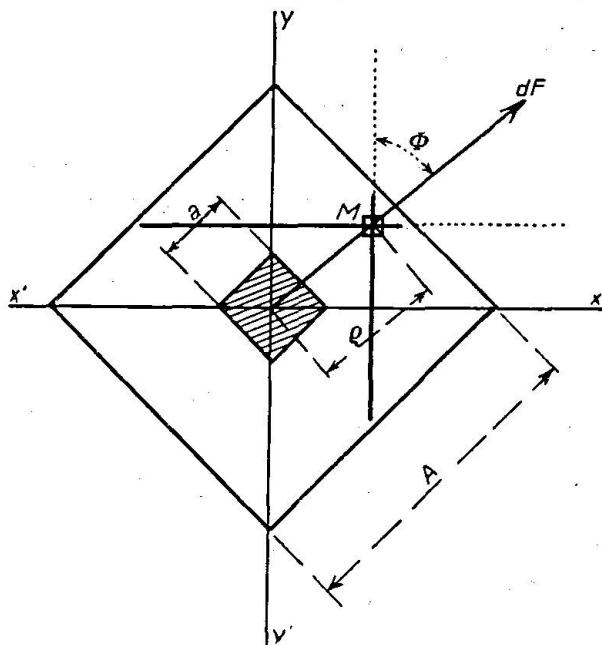


Fig. 14.

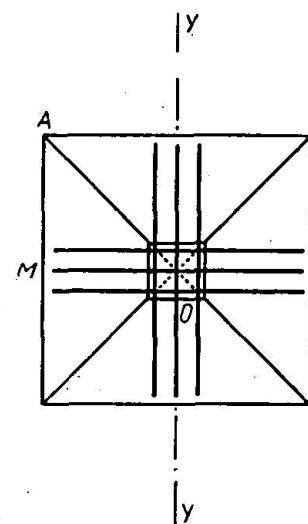


Fig. 15.

Cherchons le volume des armatures nécessaires, en admettant que chacune d'elles a une longueur égale au double de sa distance au centre de la semelle. Supposons en outre que les armatures soient disposées en sorte que leur fatigue dans la section $x'x$ soit uniformément égale à la limite admissible R_a' . Pour réaliser cette condition en pratique il faudrait faire varier soit le diamètre des barres, soit leur écartement. Si elle est remplie, on a:

$$V = \frac{2}{R_a'} \frac{2P}{2A^2 h_0} \int_0^{\frac{A}{\sqrt{2}}} \left(\frac{A}{\sqrt{2}} - x \right)^3 dx = \frac{P(A-a)A}{8(h-d')R_a'}$$

Il est le même que si les barres étaient placées parallèlement aux côtés.

Si la semelle était armée de barres de même diamètre et équidistantes, comme la fatigue de celles disposées suivant les diagonales est 2 fois plus forte que celle des barres d'une semelle armée parallèlement aux côtés, il faudrait, pour être assuré que la limite admissible n'est dépassée en aucun point, mettre en oeuvre un volume d'armature:

$$V' = \int_{-\frac{A}{\sqrt{2}}}^{+\frac{A}{\sqrt{2}}} \frac{P dx}{4 h_0 R_a'} 2 \left(\frac{A}{\sqrt{2}} - x \right) = \frac{PA^2}{2 h_0 R_a'} = \frac{P(A-a)A}{2(h-d')R_a'} = 4V.$$

L'effort à prendre en compte pour la détermination de la section de ces armatures serait:

$$\int_{-\frac{A}{\sqrt{2}}}^{+\frac{A}{\sqrt{2}}} \frac{P dx}{4 h_0} = \frac{PA}{2 h_0 \sqrt{2}} = \frac{P(A-a)}{2(h-d')\sqrt{2}}$$

c'est à dire le triple de celui trouvé plus haut.

En réalité, les expériences ne confirment pas entièrement cette façon de voir, en ce sens que 2 semelles identiques en tant que béton, et armées du même poids d'acier, l'une avec barres parallèles aux côtés, l'autre avec barres parallèles aux diagonales, essayées dans les mêmes conditions, présentent sensiblement la même charge de rupture quand la hauteur $h - d'$ est suffisante ($\geq \frac{A-a}{4}$), même si les barres parallèles aux diagonales sont de même diamètre et équidistantes. Cela est la conséquence d'un phénomène d'adaptation facile à concevoir.

Par contre, il est probable que les premières fissures apparaissent beaucoup plus vite dans la semelle armée parallèlement aux diagonales.

III^o Armatures parallèles aux côtés, mais groupées en croix sous le poteau.

Quelques constructeurs adoptent encore cette disposition, moins satisfaisante du point de vue de la résistance et plus onéreuse que celle qui vient d'être étudiée (§ 1).

Si l'on imagine que la semelle est décomposée en 2 consoles doubles, le moment du couple de flexion qui s'exerce dans la section axiale yy est:

$$M = \frac{P}{4} \frac{A-a}{3} = \frac{P(A-a)}{12}.$$

Les barres groupées sous le poteau subissent donc un effort qui n'est que les $\frac{2}{3}$ de celui qui s'exerce sur les barres uniformément réparties. Mais il faut bien noter que les efforts $\frac{P}{8}$ résultant des réactions du sol correspondant à l'un des triangles tel que AMO doivent être transmis dans l'axe des consoles fictives: la couche yy doit donc en outre pouvoir résister à un couple de moment:

$$2 \times \frac{P}{8} \frac{A-a}{6} = \frac{P(A-a)}{24}.$$

En réalité, elle est donc soumise au moment de flexion:

$$\frac{P(A-a)}{12} + \frac{P(A-a)}{24} = \frac{P(A-a)}{8}$$

Il est d'ailleurs bien évident à priori que le changement de la disposition des armatures ne peut modifier le couple de flexion.

c) Fatigue du béton.

Le calcul est en tous points semblable à celui fait à propos des semelles continues sous mur.

On trouve sans peine:

$$R_b = \frac{P(h_0^2 + \rho^2)}{A^2 h_0 z_0}$$

La fatigue du béton est maxima pour les bielles aboutissant aux angles de la semelle et a pour valeur:

$$R_b \max = \frac{P \left(h_0^2 + \frac{A^2}{2} \right)}{A^2 h_0^2 \frac{a}{A}} = \frac{P}{a^2} \frac{a}{A} \left(1 + \frac{A^2}{2 h_0^2} \right) = \frac{P}{a^2} \frac{a}{A} \left[1 + \frac{(A-a)^2}{2(h-d')^2} \right].$$

Pour $h-d' = \frac{A-a}{4}$ et $a = \frac{A}{4}$, on a:

$$R_b \max = 2,25 \frac{P}{a^2}.$$

Si on veut à priori choisir $h-d'$ pour qu'une certaine fatigue du béton ne soit pas dépassée, on utilisera la formule:

$$h-d' = \frac{A-a}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\frac{R_b}{p_0} \frac{A}{a} - 1}}$$

dans laquelle $p_0 = \frac{P}{a^2}$ représente la pression du pilier sur la partie supérieure de la semelle.

En pratique, on verra que les expériences montrent que les ruptures par excès de compression du béton au voisinage du pilier ne s'observent jamais. On peut donc se dispenser de tout calcul. Il en est de même en ce qui concerne la résistance à l'effort tranchant.

d) Pilier à section circulaire ou polygonale.

Lorsque de tels piliers devront être fondés sur des semelles carrées, on prendra pour a la longueur du côté du carré inscrit dans la section des piliers: L'erreur commise en appliquant ce procédé, d'ailleurs faible, conduira à des sections d'armatures légèrement trop fortes.

f) Semelles rectangulaires sous piliers à section rectangulaire.

1° Si la section (a, b) du pilier et la section d'appui (A, B) de la semelle sont homothétiques, la théorie exposée ci-dessus pour les semelles carrées sous piliers carrés est applicable.

Les notations utilisées sont indiquées par la fig. ci-contre (voir page suivante).

On trouve aisément:

$$F_x = \frac{P(A-a)}{8(h-d')}$$

$$F_y = \frac{P(B-b)}{8(h-d')}.$$

La hauteur utile $h-d'$ doit être au moins égale à la plus grande des deux longueurs $\frac{A-a}{4}$ et $\frac{B-b}{4}$.

La fatigue du béton se calcule facilement. On trouve:

$$R_b = \frac{P}{AB} \frac{h_0^2 + \varrho^2}{h_0 z_0}.$$

Elle est maxima pour les bielles aboutissant aux angles de la semelle et a alors pour expression:

$$R_b \max = \frac{P}{\lambda ab} \left[1 + \frac{(A-a)^2 + (B-b)^2}{4 \left(\frac{1}{1-\lambda} \right)^4 (h-d')^2} \right]$$

en posant $\frac{a}{A} = \frac{b}{B} = \lambda$.

2° Si la section du pilier n'est pas homothétique de la section d'appui de la semelle, on supposera que la semelle comprend:

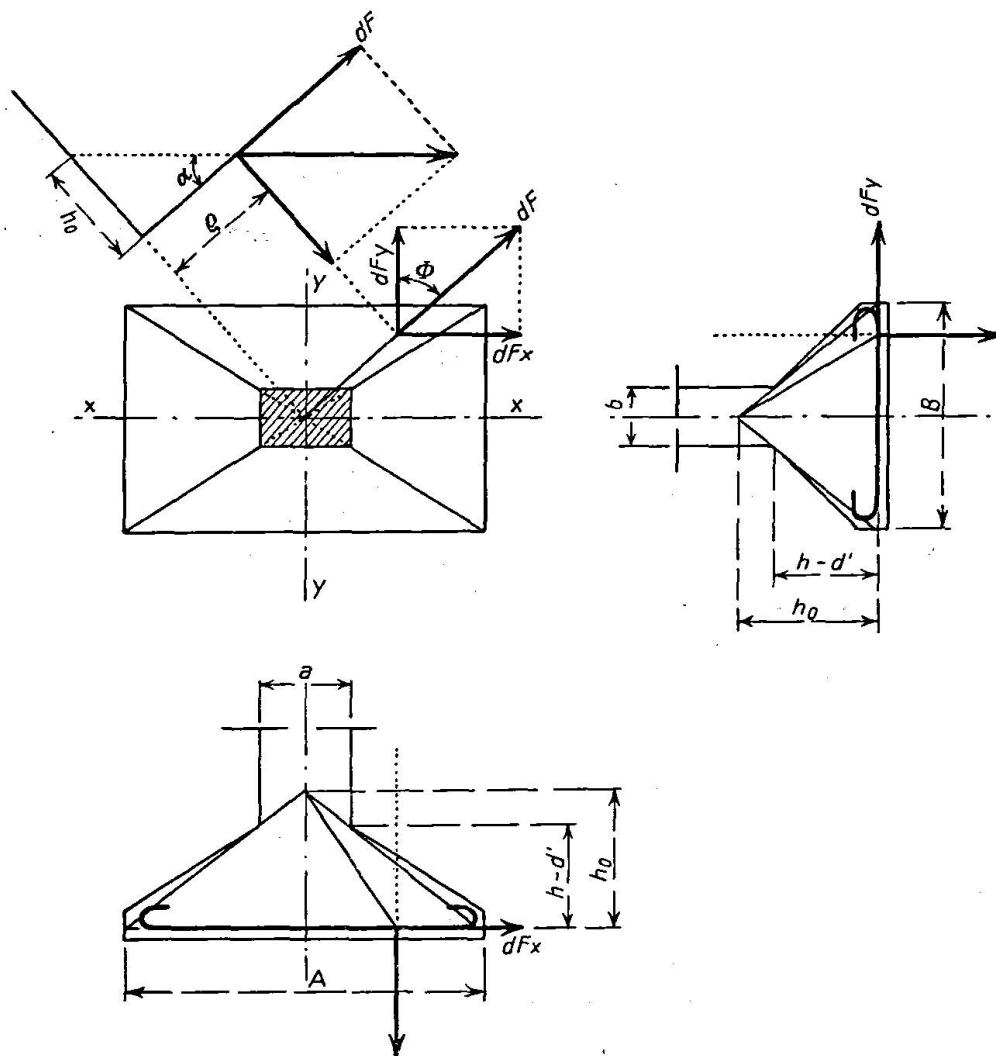


Fig. 16.

Une nervure $MN M' N'$ qui répartit la charge du pilier sur la longueur MN . Cette nervure est justifiable des méthodes de calculs appliquées aux semelles sous mur; ses armatures devront être en état de résister à l'effort:

$$F_x = \frac{P(A-a)}{8(h-d')}.$$

Elles pourront, soit être groupées dans la zone MN , soit être réparties dans la totalité de la largeur B de la semelle.

Une tranche de semelle sous mur $AB A' B'$, dont les barres supporteront l'effort:

$$F_y = \frac{P(B-b)}{8(h-d')}.$$

Dans chacun des 2 éléments fictifs, la fatigue du béton sera déterminée par la formule applicable aux semelles sous murs.

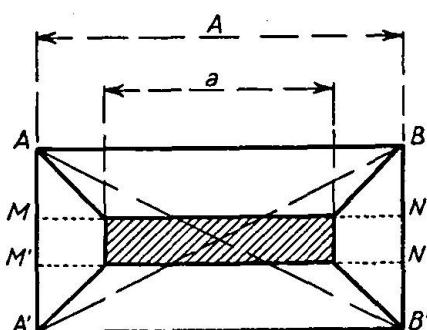


Fig. 17.

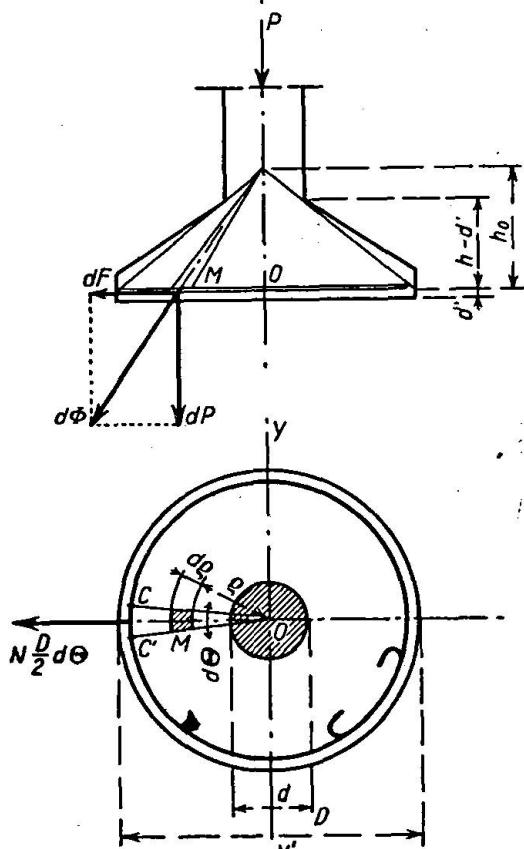


Fig. 18.

Proportions économiques des semelles rectangulaires.

Posons $AB = S$, $ab = s$. En conservant les notations et unités déjà employées, le prix de revient de la semelle est:

$$\begin{aligned} & \frac{P(A-a)A 7800 \alpha}{8(h-d')R'_a} + \frac{P(B-b)B 7800 \alpha}{8(h-d')R'_a} + \left[S(h_1+d') + (S+s+\sqrt{Ss}) \frac{h-d'-h_1}{3} \right] \beta \\ &= \frac{0,081 P \alpha}{h-d'} [(A-a)A + (B-b)B] + (S+s+\sqrt{Ss}) \frac{h-d'}{3} \beta + C^{te}. \end{aligned}$$

1° Pour une hauteur utile donnée, la dépense en acier est minima en même temps que $(A-a)A + (B-b)B$. On cherchera donc à rendre cette quantité aussi petite que possible, en choisissant judicieusement A et B qui sont d'ailleurs liés par la relation $AB = S$.

2^o Ceci étant, le prix de la semelle sera minimum quand on aura:

$$\frac{0,081 P \alpha}{h - d'} [(A - a) A + (B - b) B] = (S + s + \sqrt{Ss}) \frac{h - d'}{3} \beta.$$

Il est manifestement impossible de tirer de ces considérations des conclusions générales comme cela a été fait pour les semelles sous murs et les semelles carrées.

Essais du 26 Mai 1934.

I. But des essais — Description des éprouvettes et du mode opératoire.

Les essais qui vont être décrits avaient pour but de déterminer le mode de rupture de semelles carrées de même surface d'appui mais de hauteurs variables et munies d'armatures plus ou moins importantes.

La figure 4 ci-contre représente les 5 éprouvettes soumises aux essais. Toutes les barres d'armature de ces éprouvettes étaient en acier doux Th o m a s.

Le béton utilisé était dosé à raison de 300 kg de super-ciment par mètre cube et constitué d'agrégats dont les plus gros éléments passaient au tamis de 16 mm. La proportion d'eau était telle que l'affaissement mesuré au cône d'A b r a h a m s était égal à 7 cm.

Le béton obtenu présentait au moment des essais, c'est-à-dire à 21 jours d'âge, une résistance à la compression de 295 kg/cm², une résistance à la traction de 17,8 kg/cm² et un poids spécifique de 2,275 kg/m³.

Tous ces chiffres ont été obtenus en application des prescriptions du Règlement sur les Constructions en Béton Armé de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France.

Les essais ont été effectués à l'aide de la presse A m s l e r de 500 tonnes; les semelles étaient placées sur la plaque de caoutchouc utilisée au cours des essais du 27 janvier 1934. Aucun lubrifiant n'a été interposé entre le caoutchouc et les modèles de semelles.

II. Résultats des essais.

a) Observations.

La figure 5 est la reproduction des diagrammes charge-déformation enregistrés pendant les essais. Les déplacements sont sensiblement plus importants que pour les semelles à deux dimensions. Toutefois, ils donnent lieu aux mêmes remarques que celles faites à propos des essais de ces semelles.

Les photographies ci-contre (fig. 6) représentent les faces inférieures des semelles après essais. On voit que la semelle 1 A a péri par poinçonnage sans qu'il soit possible d'attribuer une cause nettement définie à la dissymétrie des fissures.

On voit que pour toutes les autres semelles les fissures principales se placent systématiquement au droit des armatures. Ce fait s'explique par la faible épaisseur du béton qui les enrobe.

Pour les semelles 2 A et 4 A, l'aspect des photographies donne à penser qu'il y a eu poinçonnage de la semelle par le potelet. Mais, si l'on examine les photographies des semelles 3 A et 5 A, notamment celle qui représente l'état de cette dernière sous la charge de 30 tonnes, on est amené à conclure qu'il y a d'abord eu rupture par traction puis poinçonnage.

La photographie de la semelle 4 A montre également l'effet de traction exercé par le caoutchouc sur les fibres inférieures de la semelle.

b) Coefficients de sécurité des éprouvettes.

Il n'est pas possible de comparer le coefficient de sécurité à rupture de la semelle 1 A à ceux des semelles 2 A, 3 A, 4 A et 5 A, car le mode de rupture est nettement différent. La semelle 1 A présente en tout état de cause un coefficient de sécurité extrêmement faible si on le rapporte à la charge calculée par le formule 1. D'autre part, les diagrammes charge-déformation montrent sous la charge de rupture un enfouissement pratiquement inacceptable.

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus. Les charges admissibles qui y figurent ont été calculées en admettant que la fatigue de l'acier ne devait pas dépasser 12 kg/mm² et que le coefficient de frottement du béton sur le caoutchouc était égal à 0,42.

Désignation de l'éprouvette	Charge calculée en tonnes		Charge de Rupture t	Coefficient de sécurité	
	en tenant compte du frottement	en négligeant le frottement		en tenant compte du frottement	en négligeant le frottement
1 A	4,3	5,0	11,0	2,56	2,22
2 A	4,5	6,1	15,7	3,50	2,56
3 A	7,5	10,2	28,0	3,70	2,75
4 A	4,0	6,5	12,4	3,10	1,90
5 A	10,2	16,2	42,2	4,10	2,60

On voit qu'en tenant compte de l'effet du frottement les semelles 2 A, 3 A, 4 A et 5 A présentent des coefficients de sécurité à rupture pratiquement satisfaisants.

Le coefficient de sécurité indiqué par le tableau pour la semelle 5 A ne doit pas être comparé à ceux des semelles 2 A, 3 A et 4 A, car la semelle 5 A a d'abord été chargée à 30 tonnes alors qu'elle reposait sur la plaque de caoutchouc. Puis, l'essai a été poursuivi jusqu'à la charge de rupture de 42,700 en appuyant la semelle sur une plaque de liège aggloméré. Le frottement du béton sur le liège aggloméré est peut-être aussi grand que celui du béton sur le caoutchouc, mais la résistance à la traction du liège aggloméré est trop faible pour supporter les efforts P_f correspondant à la charge de rupture. En effet, la plaque de liège était complètement désagrégeée après l'essai. Le coefficient de sécurité de la semelle 5 A, si elle avait été chargée jusqu'à rupture sur le caoutchouc, serait donc inférieur à 4,10.

Semelles tronc-coniques.

a) Hypothèses.

Le pilier à fonder est de section circulaire de diamètre d . La hauteur utile de la semelle, de diamètre D , satisfait à la condition: $h - d' \geq \frac{D-d}{4}$.

Les hypothèses relatives à la transmission de la charge au sol sont les mêmes que celles faites au sujet des semelles carrées.

b) Armatures.

1^o Armatures disposées en cercles.

L'élément de cercle CC' , de longueur $ds = \frac{D}{2} d\theta$ est soumis à un effort radial $N ds = N \frac{D}{2} d\theta$, résultante des composantes horizontales des efforts transmis par toutes les bielles aboutissant au rayon OM :

$$N \frac{D}{2} d\theta = \int_0^{\frac{D}{2}} dF$$

Or:

$$\frac{dF}{dP} = \frac{\varrho}{h_0}$$

$$dP = \frac{4P}{\pi D^2} dS$$

$$dS = \varrho d\varrho d\theta.$$

D'où:
$$dF = \frac{4P}{\pi D^2 h_0} \varrho^2 d\varrho d\theta$$

et
$$N \frac{D}{2} d\theta = \frac{4P}{\pi D^2 h_0} \frac{8}{3} = \frac{PD d\theta}{6\pi h_0}$$

$$N = \frac{P}{3\pi h_0}.$$

La tension des cercles est donc:

$$T = N \frac{D}{2} = \frac{PD}{6\pi h_0} = \frac{P(D-d)}{6\pi(h-d')} = \frac{M}{2(h-d')}$$

M désignant le moment du couple de flexion qui s'exerce sur une section diamétrale telle que $y-y'$.

Le volume des cercles est:

$$V = \frac{P(D-d)\pi D}{6\pi(h-d')R'a} = \frac{P(D-d)D}{6(h-d')R'a}.$$

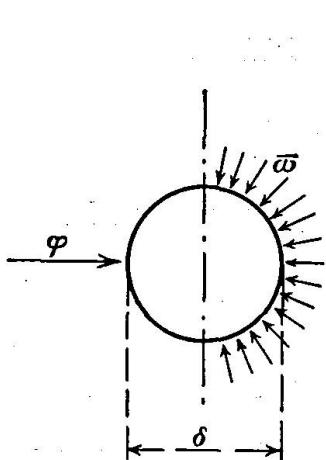


Fig. 19.

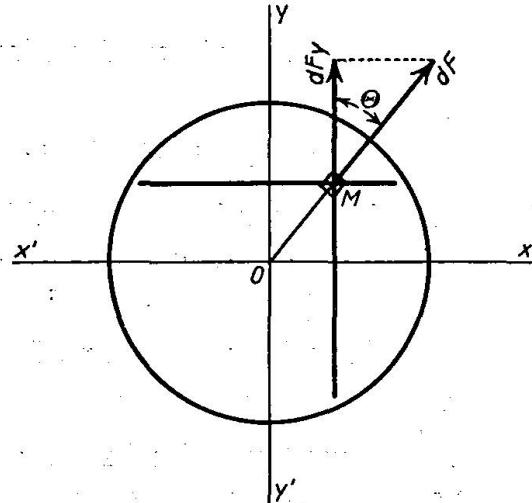


Fig. 20.

Pression des cercles sur le béton. En supposant les réactions du béton sur la surface latérale des cercles uniformément réparties, on a:

$$\bar{\omega} = \frac{\varphi}{\delta}$$

soit R_a' la fatigue des cercles

$$\frac{\varphi D}{2} = \frac{\pi \delta^2}{4} R_a', \quad \varphi = \frac{\pi \delta^2}{2 D R_a'}.$$

Si on ne veut pas que la pression sur le béton dépasse une certaine limite R_b , le diamètre des cercles devra être tel que:

$$\frac{\pi \delta^2}{2 R_a' D \delta} \geq R_b.$$

$$\text{D'où: } \delta \leq \frac{2D}{\pi} \frac{R_b}{R_a'}.$$

Si on prend $R_a' = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ et si on accepte pour limite de la pression locale sur le béton $R_b = 120 \text{ kg/cm}^2$, on a

$$\delta \leq \frac{D}{15,7}.$$

Le diamètre des barres doit être au plus égal au $1/8$ de leur rayon de courbure. Cette condition est toujours largement satisfaite en pratique.

Effets du frottement. Il modifie l'effort supporté par les barres. Pour tenir compte de son effet, on devra poser, suivant les cas:

$$dF = \frac{4P}{\pi D^2 h_0} \varrho^2 d\varrho d\theta \mp f \frac{4P}{\pi D^2} \varrho d\varrho d\theta$$

$$N \frac{D}{2} d\vartheta = \int_0^{\frac{D}{2}} dF = \frac{PD d\theta}{6\pi h_0} \pm \frac{Pf d\theta}{2\pi}$$

$$N = \frac{P}{3\pi h_0} \pm \frac{Pf}{\pi D}$$

d'où:

$$T = N \frac{D}{2} = \frac{P(D-d)}{6\pi(h-d')} \pm \frac{Pf}{2\pi}.$$

2° Armatures disposées en quadrillage.

On a:

$$dF_y = dF \cos \theta = \frac{4P}{\pi D^2} \frac{y dx dy}{h_0}.$$

L'effort maximum sur la barre parallèle à oy passant par M est:

$$\frac{4P dx}{\pi D^2 h_0} \int_0^{\sqrt{R^2 - x^2}} y dy = \frac{2P(R^2 - x^2) dx}{\pi D^2 h_0}.$$

Il dépend de la position de la barre. Les armatures placées dans le voisinage du centre de la semelle supportent des tensions plus fortes que celles situées vers les bords.

L'effort total sur toutes les barres coupées par la section $x'x$ est:

$$F_y = 2 \int_0^R \frac{2P(R^2 - x^2) dx}{\pi D^2 h_0} = \frac{8PR^3}{3\pi D^2 h_0} = \frac{PD}{3\pi h_0} = \frac{P(D-d)}{3\pi(h-d')} = \frac{M}{h-d'}.$$

L'effort sur les armatures les plus tendues ($x = 0$) est, par unité de longueur:

$$\frac{2PR^2}{\pi D^2 h_0} = \frac{P}{2\pi h_0} = \frac{P(D-d)}{2\pi D(h-d')}.$$

En comparant cette expression à celle de F_y , on voit que la tension maxima est 1,5 fois la tension moyenne.

Effets du frottement. Pour tenir compte du frottement, on doit poser, suivant les cas:

$$dF_y = \frac{4P}{\pi D^2} \frac{y dx dy}{h_0} \pm f \frac{4P}{\pi D^2} dx dy \cos \theta.$$

La tension maxima de la barre parallèle à oy passant par M, est:

$$\frac{2P(R^2 - x^2) dx}{\pi D^2 h_0} \pm \frac{4Pf}{\pi D^2} (R-x) dx.$$

Le terme correctif dû au frottement dépend de x ; les tensions des différentes barres ne sont pas également modifiées par le frottement.

L'effort total sur toutes les barres coupées par la section $x'x$ est:

$$F_y \pm 2 \int_0^R \frac{4Pf}{\pi D^2} (R-x) dx = F_y \pm \frac{Pf}{\pi},$$

Remarque. On a toujours $F_y = 2T$ (qu'il y ait ou non frottement).

Volume des armatures. La barre parallèle à oy passant par M, de longueur $2\sqrt{R^2 - x^2}$ a un volume de

$$dV = 2 \sqrt{R^2 - x^2} \frac{2P(R^2 - x^2) dx}{\pi D^2 h_0 R' a}.$$

Le volume de toutes les barres parallèles à oy est donc:

$$\int_{-R}^{+R} dV = 2 \int_0^R dV$$

et celui de l'ensemble des barres, par raison de symétrie:

$$V = 4 \int_0^R dV.$$

Un calcul simple donne:

$$V = \frac{3PD(D-d)}{16(h-d')R'a}.$$

Le volume d'armatures nécessaires est supérieur de 12,5 % à celui des barres de la semelle armée de cercles.

Ce qui précède suppose les barres réparties en sorte que la fatigue soit constante et égale à la limite admissible R'_a le long du diamètre $x'x$.

Si la semelle était armée d'un quadrillage de barres de même diamètre et équidistantes, pour ne pas dépasser la limite de fatigue admissible R'_a , il faudrait mettre en oeuvre un volume d'acier:

$$V' = 4 \int_0^R \frac{P}{2\pi h_0 R' a} 2 \sqrt{R^2 - x^2} dx = \frac{PD^2}{4h_0 R' a} = \frac{P(D-d)D}{4(h-d')R'a} = 1,33 V.$$

La dépense supplémentaire en aciers serait de 33 % et la formule à appliquer serait:

$$Fy = \frac{PD}{2\pi h_0} = \frac{P(D-d)}{2\pi(h-d')}.$$

c) Proportions économiques des semelles tronc-coniques.

Armatures en cercles. Avec les notations et les unités déjà utilisées, le prix de la semelle est:

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{P(D-d)D}{6(h-d')R'a} 7800 \alpha \\ &+ \frac{\pi D^2}{4} (h_1 + d') \beta + \frac{\pi}{4} (D^2 + Dd + d^2) \frac{h - d' - h_1}{3} \beta. \end{aligned}$$

Soit, pour $R'_a = 12.000 \text{ t/m}^2$

$$\Pi = 0,108 \frac{P(D-d)D\alpha}{h-d'} + \frac{\pi}{12} (D^2 + Dd + d^2) (h-d') \beta + C.$$

Il est minimum pour:

$$0,108 \frac{P(D-d)D\alpha}{h-d'} = \frac{\pi}{12} (D^2 + Dd + d^2) (h-d') \beta.$$

D'où, en posant $\frac{4P}{\pi D^2} = \bar{\omega}_0$ et $\frac{d}{D} = \lambda$:

$$h - d' (\text{en } m) = 0,57 D \sqrt{\frac{1-\lambda}{\bar{\omega}_0} \frac{\alpha}{1+\lambda+\lambda^2} \frac{\beta}{\beta}}.$$

En cherchant à partir de quelle pression $\bar{\omega}_0$ sur le sol la hauteur économique est supérieure à la hauteur minima admissible $\frac{D-d}{4}$, on trouve:

$$\bar{\omega}_0 \geq 19,2(1-\lambda^3) \text{ t/m}^2.$$

Si $\bar{\omega}_0$ est inférieure à la valeur ainsi définie, il y a intérêt à disposer un patin en gros béton entre la semelle et le sol.

Armatures en quadrillage travaillant toutes à la limite de fatigue admissible R_a' .

On trouve sans difficulté:

$$(h-d') \text{ mètres} = 0,60 D \sqrt{\bar{\omega}_0 \frac{1-\lambda}{1+\lambda+\lambda^2} \frac{\alpha}{\beta}}$$

$$\bar{\omega}_0 \geq 22,0(1-\lambda^3) \text{ t/m}^2.$$

Fatigue du béton. On trouve sans difficulté:

$$R_b = \frac{P}{S} \frac{h_0^2 + \varrho^2}{h_0 z_0}.$$

La fatigue du béton est maxima pour les bielles aboutissant aux cercles et a pour valeur:

$$R_{b \max} = \frac{P \left(h_0^2 + \frac{D^2}{4} \right)}{S h_0^2 \frac{d}{D}} = \frac{4 P}{\pi d^2} \frac{D}{d} \left[1 + \left(\frac{(D-d)}{2(h-d')} \right)^2 \right].$$

Si on veut a priori choisir $h-d'$ pour qu'une certaine fatigue du béton ne soit pas dépassée, on utilisera la formule:

$$h-d' = \frac{D-d}{2} \sqrt{\frac{1}{\frac{R_b d}{p_0 D} - 1}}.$$

L'expérience montre que les semelles ne périssent jamais par excès de fatigue du béton comprimé.

Poinçonnement des semelles tronc-coniques armées de cercles.

Les expériences montrent que, lorsque la condition $h-d' \geq \frac{D-d}{4}$ est réalisée, les semelles ne périssent jamais par poinçonnement. En respectant la condition précitée, ce qui est indispensable pour obtenir une bonne répartition des pressions, on évite donc le risque de poinçonnement.

Piliers à section polygonale reposant sur des semelles tronc-coniques.

On pourra appliquer les formules données ci-dessus en prenant pour d le diamètre du cercle inscrit dans la section du pilier.

Si on avait à fonder un pilier à section rectangulaire très oblongue sur une semelle tronc-conique (le cas peut se présenter s'il s'agit de fondations sur puits), on adopterait les dispositions indiquées pour les semelles sur puits.

Essais du 9 Juin 1934.**I. But des essais — Description des éprouvettes et du mode opératoire.**

Les essais dont il s'agit présentement ont été entrepris dans le but d'examiner si la disposition d'armatures des semelles carrées, adoptée par certains constructeurs, consistant à grouper des barres en croix sous le pilier à fonder, permettait d'obtenir des coefficients de sécurité comparables à ceux que présentent les semelles armées d'un quadrillage de barres de même diamètre, uniformément réparties.

On s'était également proposé d'examiner si le fait que les deux consoles doubles fictives, imaginées par les constructeurs utilisant les armatures groupées en croix, sont reliées dans les plans diagonaux des semelles, permet de compter sur un surcroit de résistance de celles-ci.

A cet effet, les semelles 3 B, 3 C, 4 B, 4 C représentées par la figure 7 ci-contre, ont été bétonnées le 29 mai 1934 et soumises aux essais le 9 juin de la même année.

Les armatures étaient en acier doux Thomas. Le béton utilisé était dosé à raison de 300 kg de super-ciment et caractérisé par une résistance à la traction de 15,1 kg/cm²; son poids spécifique était de 2.280 kg/m³.

Tous ces chiffres ont été obtenus sur éprouvettes de 12 jours d'âge confectionnées en même temps que les modèles réduits des semelles. Ils résultent de l'application des prescriptions du Règlement sur les Constructions en Béton Armé de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France.

Les épreuves de chargement des semelles en réduction ont été effectuées à l'aide de la presse Amstler de 500 tonnes et de la plaque de caoutchouc utilisée au jour des essais des 27 janvier et 26 mai 1934.

On avait cru, à priori, pouvoir éviter l'effet de traction du caoutchouc sur les fibres inférieures des semelles en essai en interposant entre la plaque d'appui et les éprouvettes une feuille de carton de 1 mm d'épaisseur. On verra plus loin que cette disposition n'a pas permis d'obtenir le résultat escompté et on examinera de quelle manière il faut tenir compte de la présence du carton dans l'interprétation des résultats obtenus.

II. Résultats des essais.**a) Observations.**

La figure 8 est la reproduction des diagrammes charge-déformation enregistrés au cours des essais; ils ne donnent lieu à aucune remarque autre que celles faites à propos des essais du 27 janvier.

Les photographies ci-contre (fig. 9) représentent les faces inférieures des semelles après essais. On voit tout de suite que les semelles 3 B et 4 B ont été rompues avant épuisement de la résistance à la traction des armatures placées en croix par suite de l'absence de barres de répartition capables de transmettre les sous-pressions dans l'axe des doubles consoles fictives; les expériences n'ont donc pas permis d'élucider la deuxième question qu'on s'était proposé d'examiner. Par contre, elles font ressortir la nécessité impérieuse des barres de répartition que l'on n'avait pas jugé utile de disposer au moment de la confection des modèles. La présence des cartons interposés entre la plaque de caoutchouc et les semelles 3 B et 3 C a donné lieu aux observations suivantes:

1. La dilatation du caoutchouc était contrariée comme dans le cas d'appui direct des semelles.

2. Après essais les cartons étaient rompus suivant des lignes correspondant très sensiblement aux fissures apparentes sur les faces inférieures des semelles.

On en a conclu que la détermination des coefficients de sécurité devrait être faite en tenant compte des effets du frottement et de l'accroissement de la résistance à la traction des fibres inférieures des semelles, du fait de la présence des cartons.

Comme il n'a pas été possible de déterminer ce surcroît de résistance, on a découpé en quatre carrés égaux les feuilles de carton qui ont été utilisées pour l'essai des semelles 4 B et 4 C.

b) Coefficients de sécurité des éprouvettes.

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus; les charges admissibles qui y figurent ont été calculées en admettant que la fatigue de l'acier ne devait pas dépasser 12 kg/mm² et que le coefficient de frottement du carton sur le caoutchouc était égal à 0,42.

Désignation de l'éprouvette	Charge calculée en tonnes		Charge de Rupture t	Coefficient de sécurité	
	en tenant compte du frottement	en négligeant le frottement		en tenant compte du frottement	en négligeant le frottement
3B	13,7	16,0	21,8	1,60	1,35
3C	13,7	16,0	29,6	2,16	1,86
4B	8,3	10,6	19,2	2,32	1,80
4C	8,3	10,6	31,6	3,81	3,0

Toutes les charges admissibles ont été déterminées à partir de la formule:

$$\omega' R'_a = \frac{P(A - a)}{12(h - d')} + 0,22 Pf$$

Cette formule correspond à l'hypothèse des deux consoles fictives.

On voit qu'il est très important, lorsque l'on groupe les barres en croix sous le poteau, de munir la semelle d'armatures de répartition suffisantes pour assurer la transmission effective des charges dans l'axe des consoles fictives dans lesquelles on suppose la semelle décomposée. Cette condition n'a été réalisée que pour la semelle 4 C, dont le coefficient de sécurité, compte tenu de l'effet du frottement, est comparable à celui des semelles munies d'armatures disposées en quadrillage.

Pour les autres semelles la rupture a été causée par l'insuffisance des armatures de répartition.

Semelles octogonales.

Soit D le diamètre du cercle inscrit dans un octogone régulier. La surface de celui-ci est:

$$S = 2 D^2 (\sqrt{2} - 1) = 0,828 D^2.$$

La surface du cercle inscrit est:

$$S' = 0,785 D^2$$

et on a:

$$\frac{S}{S'} = 1,05.$$

La surface de l'octogone n'est supérieure que de 5 % à celle du cercle inscrit.

En pratique, on pourra donc appliquer aux semelles octogonales, sans erreur importante, les formules trouvées pour les semelles tronc-coniques armées en quadrillage.

Essais du 10 Novembre 1934.

I. But des essais — Description des éprouvettes et du mode opératoire.

Les essais ont été entrepris dans le but d'examiner le mode de rupture des semelles tronconiques munies d'armatures en cercles et de déterminer leur coefficient de sécurité à rupture lorsque leur résistance est limitée, d'après la théorie élémentaire, par celle de ces cercles.

A cet effet les semelles 6 A, 7 A, 8 A, 9 A et 9 B représentées par la figure 10 ci-contre, ont été construites. On a en outre construit les semelles 6 C, 7 C, 8 C et 9 C ne comportant aucune armature. En raison de la nécessité d'utiliser des moules métalliques, il n'a pas été possible de bétonner simultanément toutes les semelles.

Le tableau ci-dessous indique les dates de moulage, les âges des différents modèles au moment des essais et les résistances du béton dont ils étaient constitués à ce moment.

Désignation de la semelle	Date du bétonnage	Age de l'éprouvette au moment des essais	Qualité du béton au moment des essais		
			résistance à la compression en kg/cm ²	résistance à la traction en kg/cm ²	Poids spécifique en kg/m ³
6 A, 7 A } 8 A, 9 A }	2-11-34	8 j.	228	18,4	2'300
9 B I	15-9-34	26 j.	328	22	2'300
9 B II	18-9-34	23 j.	328	22	2'300
6 C, 7 C } 8 C, 9 C }	7-11-34	3 j.	268	17	2'360

Les armatures de Ø 12 mm étaient en acier doux Thomas; elles en Ø 8 mm étaient en acier dur présentant une limite apparente d'élasticité de 40 kg/mm² et une charge de rupture de 65 kg/mm².

Les épreuves de chargement des différents modèles de semelles ont été effectuées à l'aide de la presse Amstler de 500 tonnes.

Toutes les semelles ont été appuyées sur la plaque de caoutchouc précédemment utilisée. Avant chaque essai on a eu soin de graisser soigneusement la face de la plaque en caoutchouc en contact avec le dessous de la semelle à l'aide d'un mélange de paraffine et de graphite.

II. Résultats des essais

a) Observations.

La fig. 11 est la reproduction des diagrammes charge-déformation enregistrés au cours des essais; ces diagrammes donnent lieu aux remarques faites à propos des essais du 27 janvier.

Les photographies ci-contre (fig. 12) représentent l'aspect des semelles après les essais. On voit qu'elles ont toutes péri par poinçonnement.

On a constaté au cours des expériences que la dilatation horizontale du caoutchouc n'était pas gênée et il semble possible d'admettre que l'influence du frottement a été négligée. En fait on l'a considéré comme nulle pour la détermination des charges admissibles pour les semelles.

b) Coefficients de sécurité des éprouvettes.

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus: les charges admissibles qui y figurent ont été calculées en négligeant l'effet du frottement et en admettant que la fatigue de l'acier ne devait pas dépasser 12 kg/mm² aussi bien pour les aciers durs que pour les aciers doux ordinaires.

Désignation de l'éprouvette	Charge calculée en tonnes	Charge de Rupture en t
6 A	— ¹⁾	3,3
7 A	2,4	5,8
8 A	3,9	10,7
9 A	5,3	22,4
9 B I	12,0	37,0
9 B II	12,0	28,3

On ne peut valablement parler des coefficients de sécurité à rupture des éprouvettes pour la raison bien simple que toutes, au cours des essais, ont péri par poinçonnement et que jusqu'à présent on ne voit pas de méthode apte à déterminer leurs éléments en tenant compte de ce phénomène. Les charges admissibles indiquées au tableau sont celles qui ont été déterminées en supposant, à priori, que les semelles devaient, sous charges croissantes, péri par insuffisance des armatures.

¹⁾ La charge admissible pour la semelle 6 A n'a pas été déterminée, cette semelle n'ayant pas les proportions requises pour l'application de la méthode élémentaire de calcul.

Les semelles non armées se sont rompues sous les charges suivantes:

Semelle 6 C	1,4	tonne
" 7 C	3,6	tonnes
" 8 C	6,6	tonnes
" 9 C	12,6	tonnes.

Résumé.

L'examen de nombreux projets contrôlés par le Bureau Securitas a montré aux ingénieurs de cet organisme que les méthodes appliquées pour la détermination des éléments des semelles de fondation en béton armé, étaient très diverses: et qu'elles conduisaient le plus souvent à des résultats nettement divergents.

C'est pour cette raison que le Bureau Securitas a entrepris l'étude de cette question qui se pose pour lui chaque jour.

Les recherches du Bureau Securitas ont comporté un certain nombre d'expériences décrites dans notre communication et l'établissement de formules simples basées sur des hypothèses évidemment grossières et négligeant délibérément un certain nombre de variables en jeu. La théorie élémentaire qui résulte de ces simplifications n'a pas un caractère scientifique en ce sens qu'elle ne constitue pas une explication complète de tous les phénomènes observés pendant les essais; c'est seulement une méthode pratique de détermination des éléments des semelles en béton armé conduisant à des résultats logiques et à des coefficients de sécurité acceptables.

Elle montre qu'en première approximation les armatures pour des semelles carrées ou rectangulaires doivent être disposées en quadrillage à écartement constant. La théorie fait apparaître les avantages très élevés pour le béton dans la région la plus intensivement sollicitée. L'expérience montre que même avec les pourcentages d'acier qui dépassent largement ceux réalisés dans la pratique les ruptures se produisent toujours par insuffisance des armatures tendues.

La théorie élémentaire montre en plus qu'il n'existe „une hauteur au dessous de laquelle les semelles deviennent extrêmement onéreuses“.

Zusammenfassung.

Die Prüfung verschiedener Projekte durch das Bureau Securitas hat den Ingenieuren dieser Gesellschaft gezeigt, daß die für die Bestimmung von Eisenbeton-Fundamentalplatten angewandten Verfahren sehr verschieden sind; sie führen sehr oft auch zu sehr auseinanderliegenden Ergebnissen.

Deshalb hat das Bureau Securitas die Untersuchung dieser Fragen unternommen, die sich ihm jeden Tag stellen.

Diese Forschungen umfaßten eine gewisse Zahl von Versuchen, die in der Abhandlung beschrieben sind. Es wurden einfache Formeln auf Grund von ziemlich groben Annahmen aufgestellt, die eine Anzahl dabei eine Rolle spielender Einflüsse rein vernachlässigen. Die aus diesen Vereinfachungen folgende Theorie hat keinen wissenschaftlichen Charakter in dem Sinne, als sie keine vollständige Erklärung aller bei den Versuchen beobachteter Erscheinungen gibt. Es ist einzig ein praktisches Verfahren für die Bestimmung von Fundamentalplatten in Eisenbeton, das zu vernünftigen Ergebnissen mit annehmbarem Sicherheitsgrad führt.

Die Bewehrung der quadratischen oder rechteckigen Fundamentalplatten muß danach in erster Annäherung in einem Netz von gleichem Abstand ange-

ordnet werden. Die Theorie zeigt die großen Vorteile für den Beton in dem am stärksten beanspruchten Teil. Die Erfahrung lehrt, daß selbst bei außerordentlich großem Eisengehalt der Bruch immer in der Bewehrung auftritt.

Die einfache Theorie zeigt ferner, daß es keine Höhe gibt, unter welcher die Fundamentplatten aufs Äußerste belastet sind.

Summary.

The examination of various projects by the Bureau Securitas made clear to the Engineers of this Company that the methods of calculation used for the design of reinforced concrete foundation slabs are very different, and mostly lead to very different results. For this reason the Bureau Securitas had undertaken to study this question, particularly as it is a question which has to be dealt with every day.

The investigations comprised a certain number of tests which are described in the publications of the Company. Simple formulae were developed on the basis of fairly rough assumptions, for which a number of influences playing an important role were not taken into account. The theory based on the assumptions does not claim to have a scientific character in the sense that it would give a complete explanation of observations made during tests. It merely conveys a practical procedure for calculating foundation slabs of reinforced concrete, leading to reasonable solutions with an acceptable degree of safety.

As a first approximation the reinforcing bars placed crosswise for square and rectangular foundation slabs should be equally spaced. The theory shows the great advantages for concrete at places of highest stressing. Experience teaches that even for a very high percentage of steel fracture takes place in the steel.

The simple theory shows that there is „no height below which the foundation slab is stressed to the utmost“.

Leere Seite
Blank page
Page vide