Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 91/92 (1928)

Heft: 7

Artikel: Détermination graphique de l'action des terres: contribution au calcul de stabilité des murs de soutènement

Autor: Diesbach, Raoul de

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-42448

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: 08.01.2026

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

INHALT: Détermination graphique de l'Action des terres. — Psychotechnik und Lichtwirtschaft in Maschinenfabriken. — Zwei Landhäuser am Vierwaldstättersee (mit Tafeln 9 und 10). — Die Prüfung der Zemente mit plastischem Mörtel. — Mitteilungen: Registrierinstrumente mit Zelluloid-Diagrammen. Strasse nach Gandria. Vom Völkerbundsgebäude. Die Murman-Bahn. Bauhaus Dessau. Prof. K. E. Hilgard. Der Bodensee-Trajektverkehr. Ausstellung einfacher Möbel. — Nekrologie: C. W. Wetzel. Arthur Sesseli. H. A. Lorentz. — Wettbewerbe: Bemalung der Häuser am Münsterhof in Zürich. Leuchtturm in San Domingo. Schulhaus in Faoug (Waadt). — Korrespondenz. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Basler Ingenieur- und Architekten-Verein. Sektion Solothurn des S. I. A. S. T. S.

Band 91. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 7

Détermination graphique de l'Action des terres.

Contribution au calcul de stabilité des murs de soutènement.

Par RAOUL DE DIESBACH, Ingénieur E. P. F.

(Fin de la page 72.)

Les considérations précédentes, dont la portée est absolument générale, contiennent sous une forme condensée toutes les instructions pratiques nécessaires à la rédaction d'un projet de mur de soutènement. Le procédé de calcul de l'action des terres le plus expéditif aura naturellement la préférence dans les applications de la méthode de Résal. A défaut des tables, nous substituerons donc la construction graphique exposée au début de notre étude à la solution analytique qui exige des opérations numériques assez laborieuses, surtout pour les ouvrages de la seconde catégorie (figures 10 et 11). Dans le cas qui nous occupe (figures 1 à 5), nous avons constaté une concordance très satisfaisante entre les résultats obtenus à l'aide de l'épure de la figure 5 et des coefficients de poussée A et B; nous les avons consignés dans le tableau I.

Si l'on désire augmenter le degré d'approximation, le contrôle de la valeur de la direction Θ exige la résolution des quatre équations suivantes:

Angle auxiliaire ε: $\sin \varepsilon = \frac{\sin i}{\sin \varphi}$ . . . . . (19)

pour $i = +30^0$ et $\varphi = 40^0$ on aura: $\varepsilon = 51^0\,03'\,55'',79$

Angles de rupture:

$$\beta = 45^0 - \frac{\varphi}{2} - \frac{\varepsilon}{2} + \frac{i}{2} = 14^0\,28'\,02'',355 \quad . \quad (20)$$

$$\gamma = 45^0 - \frac{\varphi}{2} + \frac{\varepsilon}{2} - \frac{i}{2} = 35^0\,31'\,57'',645 \quad (20\text{ bis})$$

Direction de l'action des terres:

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{\sin \varphi \sin (2\alpha - \beta + \gamma)}{1 - \sin \varphi \cos (2\alpha - \beta + \gamma)} \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

d'où: $\Theta = 39^0\,56'\,02'',75$.

Il paraît superflu de rappeler que l'incertitude de la détermination de la densité et du talus naturel des terres rend complètement illusoire la recherche d'une grande précision. Si les écarts observés dans l'application des divers modes de calcul inhérents à la méthode préconisée sont pratiquement négligeables, il n'en est pas de même lorsqu'on compare les valeurs trouvées à l'aide de solutions graphiques ou analytiques basées sur des hypothèses absolument différentes. Comme le montrent les figures 6 à 9, les anciennes théories de la poussée des terres, établies par Poncelet et Gobin et appliquées au type de mur étudié précédemment, indiquent une répartition des taux de fatigue peu conforme à la réalité, bien que l'ordre de grandeur de Q soit à peu près admissible.

D'après Maurice Lévy, la méthode graphique de Poncelet (figures 6 et 7), adoptée avec quelques variantes par la plupart des théoriciens du siècle dernier, comporte les opérations suivantes:

1° Par le point B menez une droite BO faisant avec la face postérieure du mur un angle $(\varphi + \varphi_0)$, ce sera généralement 2φ; prolongez cette ligne jusqu'en O avec celle des lignes du talus qu'on a supposée être rencontrée par la ligne de rupture inconnue BX_1.

2° Par le point A menez AT parallèle au talus naturel des terres, c'est-à-dire formant avec l'horizontale l'angle φ, jusqu'à sa rencontre en T avec BO.

3° Décrivez une demi-circonférence sur BT comme diamètre et par le point O menez la tangente Ot à cette demi-circonférence.

4° Par un arc de cercle décrit du point O comme centre, rabattez le point de contact t en x_1 sur la ligne BO. L'action des terres S sur le mur est donnée par l'expression:

$$S = \frac{\Delta}{2} \overline{Bx_1}^2 \sin (ATO) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

5° Par le point x_1 menez une parallèle au talus naturel des terres. Le point X_1 où cette droite rencontre AO est le point cherché. La droite $x_1 X_1$ est la trace du plan de rupture.

6° La direction de S intercepte avec la normale au parement intérieur le plus petit des deux angles φ_0 et φ. L'ordonnée du point d'application de S est $\frac{h}{3}$.

Si l'on veut éviter des mécomptes, il est prudent de contrôler par le calcul direct la longueur Bx_1, de même que les segments BO et BT; malgré tout le soin que l'on apporte à l'exécution de l'épure, cette précaution est généralement indispensable. Nous n'avons pas omis ce contrôle. Dans l'exemple de la figure 6, l'excentricité de la composante normale N à la section est à peu près égale à la demi-diagonale du noyau central; il est donc préférable de renforcer la section, ce qui entraîne une dépense non justifiée.

La méthode analytique de Gobin donne lieu à la même observation générale que la solution de Poncelet; elle n'est pas économique pour le cas concret de la figure 8. Dans certaines circonstances, les données du problème conduisent à une marge de sécurité insuffisante. Quoiqu'il en soit, la détermination de l'action des terres, dont la direction est toujours celle de l'horizontale ayant pour ordonnée $\frac{h}{3}$, nécessite la résolution des deux équations suivantes correspondant à l'hypothèse où le terre-plein ne serait pas en palier:

Angle de rupture:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{-\cos i \sin^2 \varphi + \sqrt{\cos^2 i \sin^4 \varphi + \sin \varphi \cos \varphi \cos i (\sin \varphi \cos \varphi \cos i - \sin i)}}{\sin \varphi \cos \varphi \cos i - \sin i} \quad (23)$$

Poussée: $$Q = \frac{\Delta y^2}{2} \cos i \frac{\sin \beta}{\cos (\beta + i) \operatorname{tg} (\beta + \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

Pour les murs en fruit, le poids du prisme de terre surmontant la face postérieure contribue à la résistance et donne une composante verticale $P' = V$.

Tableau I.

Solution	Direction de l'action des terres $+\Theta$	Intensité de l'action des terres S		
		Composante horizontale Poussée Q	Composante verticale V	Résultante S
Tables de Résal	$\Theta = +39^0\,50'\,22''$	$A \frac{\Delta h^2}{2} = 0{,}371 \frac{\Delta h^2}{2} = 7420$ kg	$B \frac{\Delta h^2}{2} = 0{,}549 \frac{\Delta h^2}{2} = 10980$ kg	$S = \frac{V}{\sin (\Theta + \alpha)} = 13270$ kg
Calcul graphique	$\Theta = +39^0\,42'\,24''$	7420 kg	10880 kg	13180 kg

STABILITÉ D'UN MUR DE SOUTÈNEMENT A FRUIT INTÉRIEUR

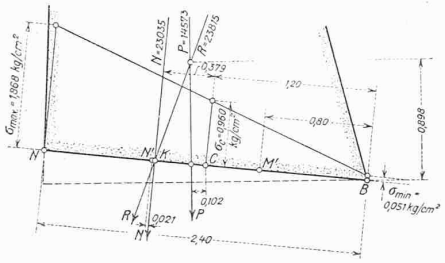

Fig. 7. Taux de la fatigue à la base du mur. Longueurs 1 : 50; Forces 1 kg/cm² = 1 cm.

APPLICATION DE LA MÉTHODE DE PONCELET.

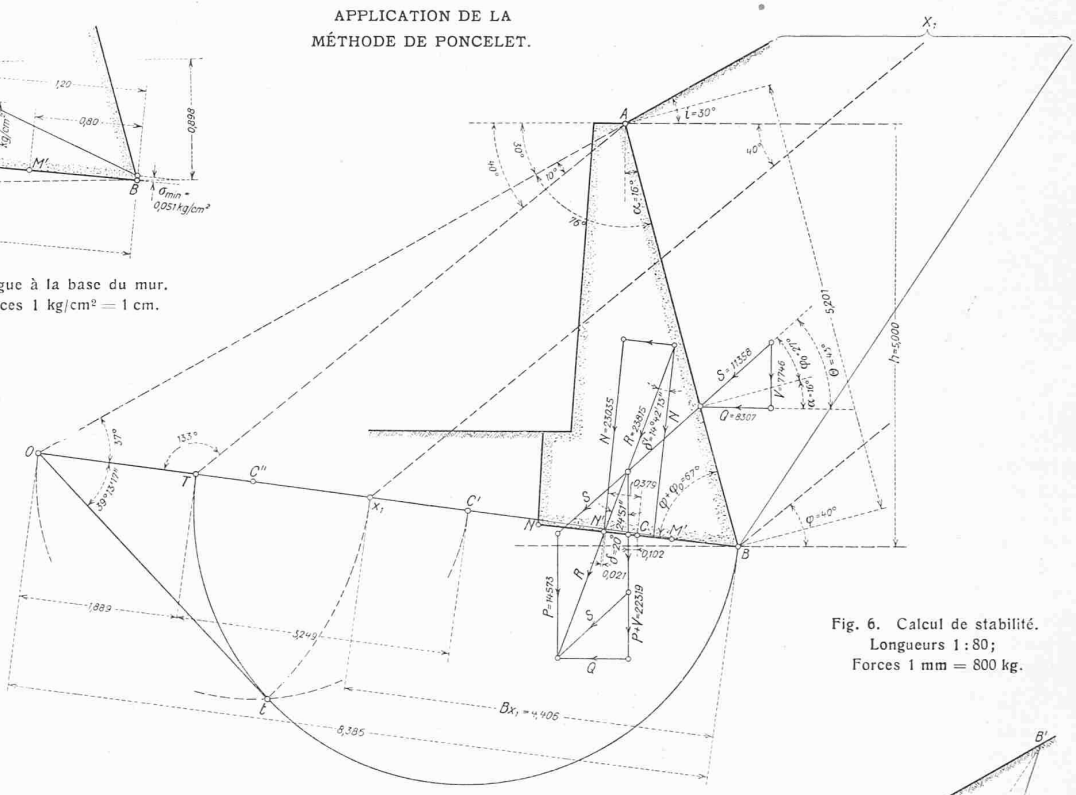

Fig. 6. Calcul de stabilité. Longueurs 1 : 80; Forces 1 mm = 800 kg.

Nous avons résumé dans le tableau II les principaux résultats obtenus pour le profil de la figure 1 quand on vérifie la stabilité de l'ouvrage par les trois méthodes de Résal, de Poncelet et de Gobin. La comparaison mérite de retenir l'attention, bien qu'il ne soit pas aisé de tirer des conclusions générales de l'étude d'un cas particulier. Nous reviendrons sur cette question.

Nous avons fait rentrer dans le cadre de notre étude un problème subsidiaire que nous traiterons sommairement avant de résumer nos conclusions. Il s'agit de l'extension du procédé graphique de la figure 5 aux profils en surplomb et à parement intérieur vertical. Pour fixer les idées, nous identifierons les deux expressions de la poussée Q rappelées précédemment et applicables exclusivement au type de mur en fruit satisfaisant la condition $\alpha > \beta$; nous avons trouvé l'identité:

$$Q = \frac{\Delta y^2}{2} \cos^2 i \, f(i, \varphi) = \frac{\Delta h^2}{2} \frac{\cos^2 (i - \alpha)}{\cos^2 \alpha} f(i, \varphi) = \frac{\Delta h^2}{2} A \quad (9 \text{ et } 14)$$

APPLICATION DE LA MÉTHODE DE GOBIN.

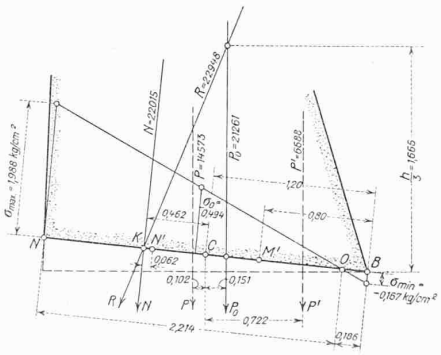

Fig. 9. Taux de fatigue à la base du mur. Longueurs 1 : 50; Forces 1 kg/cm² = 1 cm.

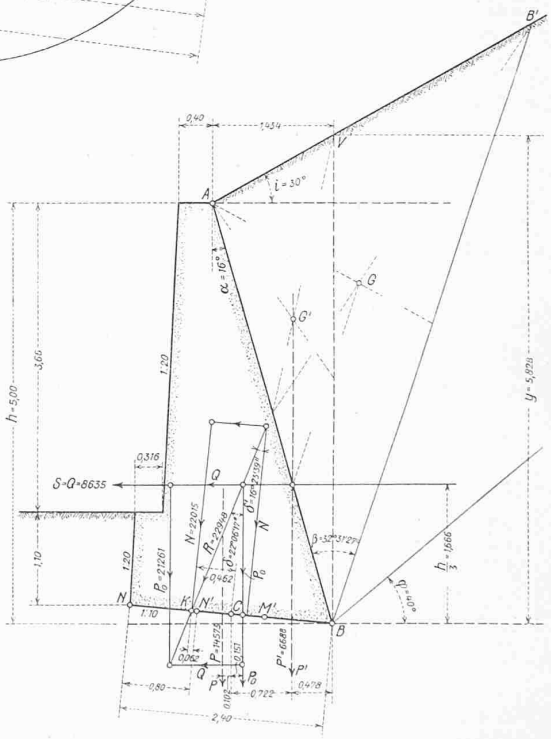

Fig. 8. Calcul de stabilité. — Longueurs 1 : 80; Forces 1 mm = 800 kg.

Désignant par z la valeur particulière de y correspondant à la poussée unitaire $Q = \Delta/2$, choisie arbitrairement, il vient:

$$z = \frac{1}{\cos i} \sqrt{\frac{1}{f(i, \varphi)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

On peut donc calculer Q en fonction de z, ce qui donne:

$$Q = \frac{\Delta y^2}{2} \frac{1}{z^2} = \frac{\Delta h^2}{2} \frac{1}{z^2} \frac{\cos^2 \alpha \, (i - \alpha)}{\cos^2 \alpha \, \cos^2 i}$$

Pour tout autre profil, l'ordonnée z du point d'arrêt de la courbe de poussée de rayon ϱ sur OM est la racine d'une équation différentielle dont la résolution n'est pas exempte de difficulté. Les lignes de charge sont des courbes homothétiques par rapport au pôle O; étant entendu que z est mesuré le long du faisceau issu de O, on aura pour celle qui correspond à l'égalité $Q = \frac{\Delta}{2}$ une expression de la forme: $Q = \frac{\Delta z^2}{2} A'$; d'où l'on tire: $A' = \frac{1}{z^2}$. Le coefficient des tables A et son homologue A' sont liés entre eux par la relation qui lie h et z. Si l'on ne dispose pas de tables, la solution du problème n'est plus compatible avec les exigences de la pratique. Cette éventualité, qu'il y a lieu d'envisager, nous a incité à généraliser la construction graphique de la figure 5.

Il s'agit dans ce cas d'une méthode de première approximation susceptible d'être utilisée dans certaines

STABILITÉ DE MURS DE SOUTÈNEMENT EN SURPLOMB ET A PAREMENT INTÉRIEUR VERTICAL

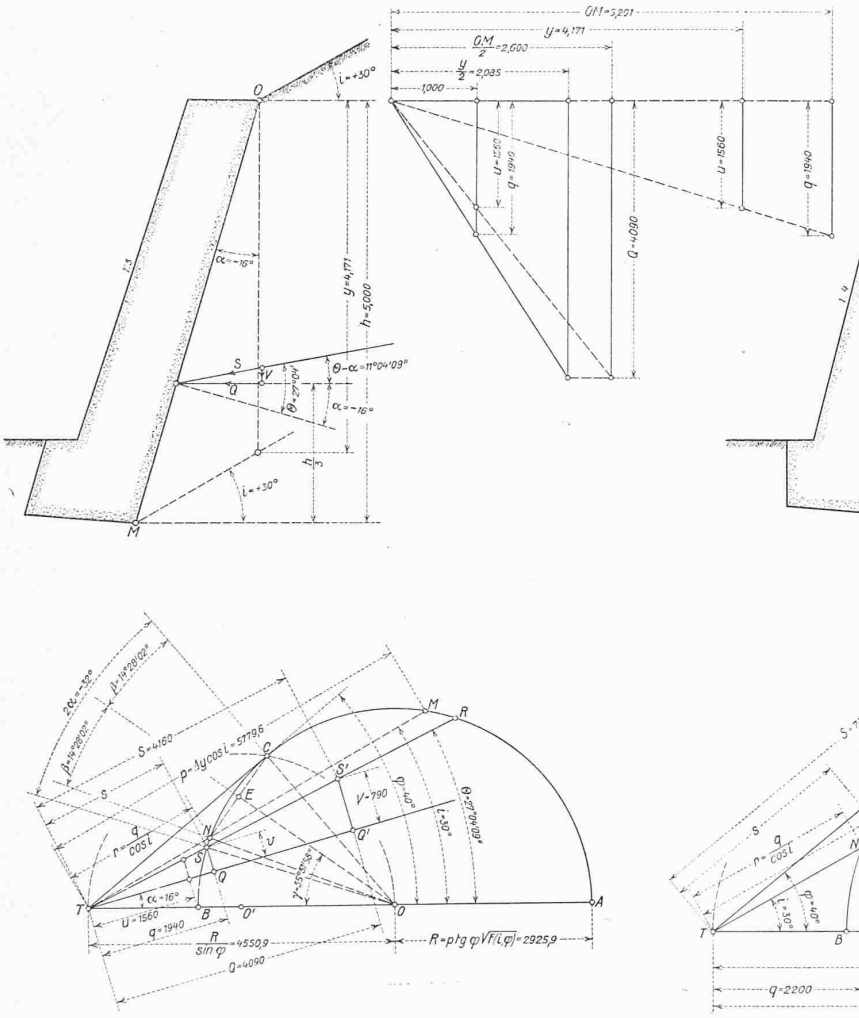

Fig. 10. Mur en surplomb. — Echelles: Longueurs 1 : 80; Forces 1 mm = 100 kg.

Fig. 11. Mur à parement intérieur.

circonstances pour un projet définitif. L'exemple de la figure 10 et surtout celui de la figure 11 prouvent que cette hypothèse est plausible. Pour le mur en surplomb (figure 10), l'épure de M. d'Ocagne doit être légèrement modifiée, puisque la tangente au point d'arrêt de la courbe de poussée sur le parement intercepte l'angle φ avec la normale. Le fruit étant négatif, on porte l'arc correspondant à -2α en CS sur la circonférence de rayon R dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, soit de C vers B et non plus de N vers A. Admettant le parallélisme des directions de l'action des terres S et de sa composante $s = TS$, comme pour le profil de la figure 1, l'épure de la figure 5 ne subira pas de modification essentielle sauf pour ce qui concerne l'angle de projection de ces forces sur l'horizontale $(\Theta - \alpha)$. La direction de la droite indéfinie, issue du pôle T, est ascendante par rapport à la sécante TBA et l'on suppose la poussée totale sur le segment vertical $y = OM \frac{\cos(\alpha + i)}{\cos i}$ égale à celle qui sollicite le parement OM; en d'autres termes: $Q = q\,\frac{y}{2} = u\,\frac{OM}{2}$. Ayant mesuré la poussée élémentaire $q = s\cos(\Theta - \alpha)$, c'est-à-dire la projection TQ' de TS (figure 10) on trouve aisément u au moyen d'une 4e proportionnelle et ensuite Q. On a ainsi une vérification indiquée dans la construction auxiliaire. La poussée Q étant connue, la détermination de V et de S ne présente aucune difficulté; la direction positive ou négative de l'action des terres $(\pm\,\Theta)$ peut être mesurée sur l'épure ou calculée par la formule:

$$\operatorname{tg}\Theta = \frac{\sin\varphi\,\cos(2\alpha - \varphi)}{1 + \sin\varphi\,\sin(2\alpha - \varphi)} \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

Tableau II. Stabilité d'un mur à fruit intérieur moins raide que le plan de rupture ($\alpha > \beta$).

Solutions	Action du massif adossé au mur S				Action du massif des fondations S'		Stabilité du mur					
	Direction de S angle Θ	Poussée Q	Composante verticale V	Action des terres S	Direction de S' angle Θ'	Butée Q'	Réaction du mur Poids P ou $(P + P')$	Résultante générale R	Composante de R normale sur la base N	Inclinaison de la Rés. R sur la normale δ'	Taux de fatigue Compr. max. sur l'arête de renversement σ_0' (max)	Taux de fatigue Compr. min. ou extension sur l'arête M $\pm\,\sigma_0'$ (min)
		kg	kg	kg		kg	kg	kg	kg		kg/cm²	kg/cm²
1. Tables de Résal . .	$+39^0 50' 22''$	7420	10980	13270	$-12^0 30'$	11862	14572	26608	26164	$10^0 28' 55''$	$+1{,}616$	$+0{,}504$
2. Méthode de Poncelet	$+27^0$	8307	7746	11358	—	—	14572	23815	23035	$14^0 42' 13''$	$+1{,}868$	$+0{,}051$
3. Méthode de Gobin .	0^0	8635	—	8635	—	—	21261	22948	22015	$16^0 23' 39''$	$+1{,}988$	$-0{,}167$

Pour le mur à parement intérieur vertical ($\alpha = 0^0$) ou plus raide que le plan de rupture ($\alpha < \beta$), cette dernière relation devient: $\operatorname{tg} \Theta = \operatorname{tg} \varphi$ . . . . . (27)

L'exemple de la figure 11, relatif au cas où $\alpha = 0^0$, montre que l'approximation du calcul graphique est supérieure à celle qui a été trouvée pour le profil en surplomb (figure 10), du moins si l'on prend pour terme de comparaison les valeurs obtenues à l'aide des tables. Toutes choses égales d'ailleurs, les opérations sont notablement simplifiées; les longueurs représentatives des intensités de s et de S sont respectivement les segments TS et TS' de la tangente TC issue du pôle T, puisque la direction commune de ces forces intercepte l'angle φ avec la normale au parement OM en raison de l'identité $\alpha = 0^0$; il s'ensuit que $y = OM$ et par conséquent $q = u$. Le tableau III permet de comparer les résultats des tables et de la solution graphique approximative proposée; avec les données admises pour les problèmes des figures 10 et 11, on constate que l'ordre de grandeur de l'erreur commise n'excède pas la majoration quelque peu arbitraire de 30 % prévue par Aubry dans les applications de la méthode de Résal à la détermination de l'action des terres. En définitive il s'agit ici d'une approximation par excès; elle peut donc être tolérée au même titre que celle dont on fait état pour les projets définitifs dans l'assimilation d'une terre cohérente à une terre dépourvue de cohésion en faisant varier avec la hauteur du massif l'angle virtuel de glissement φ''. Remarquons que les valeurs de la résultante S et de ses composantes orthogonales, déduites des coefficients de poussée par interpolation ou relevées sur l'épure, peuvent être corrigées par approximations successives à l'aide des formules $\operatorname{tg}(\Theta \pm \alpha) = \frac{V}{Q}$ et $\operatorname{tg} \varphi = \frac{V}{Q}$. Ainsi pour le type de la figure 10 le calcul direct donne $\Theta = 27^0\, 04'\, 09''$ et la relation citée $\Theta = 27^0\, 14'\, 41''$ quand on ne rectifie pas les coefficients A et B.

Nous sommes en mesure de formuler maintenant quelques conclusions générales qu'il est aisé de dégager de notre étude et de l'examen attentif des tableaux ou des figures annexées au texte. La première vise le choix de la méthode qu'il convient d'adopter pour résoudre le problème important et délicat de la stabilité des murs de soutènement et d'arrêt. Nous avons laissé entendre que la solution de Poncelet, admise avec quelques variantes par la plupart des théoriciens du siècle dernier, est condamnée à la fois par la théorie et par l'expérience; on peut en dire autant de celle de Gobin qui en diffère essentiellement par la direction constante attribuée à l'action des terres et non pas par une hypothèse fondamentale plus conforme aux lois de l'élasticité. En effet ces deux auteurs admettaient avec Coulomb la fiction commode du prisme de plus grande poussée formant bloc entre le plan de rupture et celui de la face postérieure de l'ouvrage par suite de la cohérence et limitant par conséquent l'action des terres, équilibrée par le poids de la maçonnerie, à une zone strictement définie du massif. Ce point de départ erroné avait naturellement une répercussion immédiate sur la vérification de la stabilité. Néanmoins l'erreur commise était partiellement compensée parce que les ingénieurs tenaient compte à leur insu de la cohésion, dont ils avaient souvent coutume de faire abstraction arbitrairement, en attribuant d'après le témoignage des expérimentateurs contemporains une valeur beaucoup trop élevée au talus naturel des terres argileuses. A la suite du glissement de la digue de Charmes, les expériences méthodiques de Jacquinot et de Frontard ont permis de rectifier les données exagérées de l'angle φ reproduites inconsidérement dans tous les aide-mémoire. Les conséquences théoriques de cette rectification n'avaient pas échappé à Résal qui résume en ces termes, dans l'avant-propos de la 2e partie de son *Cours sur la poussée des terres* (1910), les erreurs de ses devanciers imputables à une hypothèse contredite par les lois de l'élasticité et à une estimation inexacte de l'inclinaison du talus naturel des terrains argileux: „Avec les errements actuels, écrit cet illustre ingénieur, les constructeurs obtiennent tantôt un excès de stabilité quand la valeur fixe, attribuée arbitrairement à l'angle de frottement, est dans l'espèce trop faible et tantôt une marge de sécurité insuffisante dans le cas contraire". En d'autres termes les procédés anciens conduisent à un état d'équilibre intermédiaire qui favorise le gaspillage ou n'assure pas la stabilité dans toutes les circonstances. Ce jugement est confirmé par Maurice Lévy; avec la haute autorité qui s'attache à son nom, il s'exprime en ces termes dans la IVe partie de son *Traité de statique graphique:* „M. Boussinesq, dans divers articles insérés aux Annales des Ponts et Chaussées (1883 à 1884), a donné de la poussée des terres une analyse plus approfondie que celle qui résulte de l'équilibre limite. Il cherche la vraie poussée et il trouve que dans certains cas, même dans l'hypothèse d'un mur plus rugueux que les terres, elle ne fait pas toujours avec la normale au mur un angle égal à l'angle de frottement des terres sur elles-mêmes; elle peut faire un angle moindre". Ces citations nous autorisent à ajouter que les méthodes semi-empiriques, antérieures aux beaux travaux de Boussinesq et de Résal, ne sont justifiées ni par la simplicité des opérations, ni par le gain de temps obtenu dans les applications, ni par les enseignements de la théorie moderne de la résistance des matériaux. La comparaison des figures 1 à 5 et 6 à 9 confirme d'ailleurs cette appréciation générale.

Cependant l'emploi des tables, qui abrège le calcul et apparait comme un moyen efficace de vulgarisation, n'a pas encore eu complètement raison de la routine, car les procédés anciens de vérification de la stabilité des murs sont encore en usage et même exposés dans quelques traités spéciaux contemporains. C'est dans le but de proscrire ces erreurs tenaces et d'adapter la théorie de Résal à tous les besoins de la pratique, que nous avons proposé une méthode graphique rigoureusement exacte pour les murs en fruit de faible inclinaison, suffisamment approchée pour les autres profils dans la plupart des applications. Il nous a paru opportun de suppléer au manque de tables et de corriger les résultats incertains imputables aux interpolations sans perte de temps lorsque les circonstances imposent une grande exactitude.

On peut affirmer que les exigences de la construction ont rendu plus impérieuse que par le passé la nécessité d'une étude approfondie des problèmes relatifs à la poussée des terres. Ainsi certains barrages tels que ceux de Schräh et de Pfaffensprung en Suisse, de Crotton, Jersey et Kensico en Amérique, sont profondément encastrés

Tableau III.

Solutions	Profil en surplomb ($A = 0{,}169$; $B = 0{,}0336$)			Profil à parement intérieur vertical ($A = 0{,}265$; $B = 0{,}222$)		
	Intensité de l'action des terres			Intensité de l'action des terres		
	Poussée Q	Composante verticale V	Résultante S	Poussée Q	Composante verticale V	Résultante S
1. Calcul graphique	4090 kg	790 kg	4160 kg	5500 kg	4580 kg	7160 kg
2. Tables de Résal	3380 „	672 „	3446 „	5300 „	4440 „	6914 „
Différence . .	710 kg	118 kg	714 kg	200 kg	140 kg	246 kg
Erreur % . .	+ 21,0 %	+ 17,5 %	+ 20,7 %	+ 3,8 %	+ 3,2 %	+ 3,5 %

dans le massif des fondations ou contrebutés à l'amont et à l'aval par un remblai corroyé; par ailleurs il faut souvent tenir compte des dépôts détritiques de la sédimentation tels que les limons, les sables, les graviers et les cailloutis. Il s'ensuit que les méthodes complexes de vérification de la stabilité des barrages en voûte deviendraient illusoires si la poussée des terres sur ces ouvrages n'était pas déterminée exactement. Toutes choses égales d'ailleurs, les observations précédentes s'appliquent aussi aux culées et aux piles des ponts ou viaducs en béton de ciment et en béton armé. Enfin nous avons acquis la certitude que la recherche de la poussée due aux surcharges accidentelles des routes et des voies ferrées, dont l'intensité a augmenté considérablement depuis quelques années, demeure sans solution si l'on néglige de recourir à la théorie moderne de la stabilité des ouvrages de soutènement; cette remarque s'applique sans restriction aux murs en béton armé.

Les considérations précédentes démontrent que cette théorie a acquis actuellement une très grande importance dans la construction où elle joue souvent un rôle de premier plan: elle doit donc plus que jamais retenir l'attention des ingénieurs. C'est la dernière conclusion que nous puissions tirer de cette étude.

Psychotechnik und Lichtwirtschaft in Maschinenfabriken.

Von Dipl.-Ing. HEINRICH KUHN, Biberist.

[Den Lesern, denen der Verfasser dieser Orientierung nicht bekannt ist, teilen wir mit, dass er, als gewesener Assistent am Psychotechnischen Laboratorium der Technischen Hochschule Stuttgart, sich mit eingehenden Untersuchungen auf dem Gebiete der Lichtwirtschaft befasst hat. Die Ergebnisse seiner praktischen Versuche im Fabrikbetrieb hat er in Buchform niedergelegt, worüber unter „Literatur" am Schluss dieses Heftes näheres zu finden ist. Red.]

Die Psychotechnik ist der modernste Zweig der technischen Betriebswissenschaften. Diese Psychotechnik gliedert sich wieder in zwei grosse Abteilungen. Da ist erstens die *Subjekt-Psychotechnik;* sie sucht nach den geeigneten Arbeitskräften bei gegebenem Betriebsvorgang, sie will die Auslese und Sortierung der Berufsanwärter und auch der gesuchten ungelernten Arbeitskräfte für jeden beliebigen Produktionsvorgang. Stellt man an diese Auslese keine zu hohen Ansprüche, so ist sie im ganzen durchaus nützlich. Die zweite psychotechnische Abteilung wird *Objekt-Psychotechnik* genannt. Man versteht darunter die Bestrebungen und wissenschaftlichen Untersuchungen, den Arbeitsplatz, seine Nebeneinrichtungen, wie auch die Maschinen mit ihren Bedienungselementen der körper-seelischen Eigenart des arbeitenden Menschen anzupassen. Zur notwendigen Nebeneinrichtung des Arbeitsplatzes gehört stets die natürliche und künstliche Beleuchtung. Da letztgenannte mit dauernden Kosten merkbarer belastet ist, als die erste, suchte man sie seit jeher zu rationalisieren. Rationalisieren heisst aber in diesem Fall, die Beleuchtung so ausbilden, dass sie in jeder Hinsicht das normale Arbeiten unterstützt und nicht, wie es noch oft der Fall ist, hemmt oder verunmöglicht. Um diese Beleuchtung wirtschaftlich zu gestalten, ist es sowohl notwendig, den Arbeitsvorgang genau zu kennen, als auch die Wirkung der Lichtstrahlung auf die Arbeitsperson vorauszusehen. Dazu braucht man die Objekt-Psychotechnik.

Bevor die Einrichtung der elektrischen Beleuchtung im besondern besprochen wird, sei hier die Frage aufgeworfen: Welche Wirkungen übt die elektrische Beleuchtung auf den arbeitenden Menschen aus und was für Schlüsse sind daraus zu ziehen?

Unsere elektrischen Beleuchtungskörper sind Licht-Quellen, die, im Gegensatz zum Tageslicht, von ausserordentlich kleinen Körperflächen, den Glühdrahtoberflächen, ausstrahlen. Dies ergibt notwendigerweise eine so hohe Leuchtdichte, dass das menschliche Auge durch den starken Lichtreiz geblendet wird. Blendung kann nun in dreierlei Formen auftreten.

a) Blindmachende Blendung. Sie tritt auf, wenn man direkt in die elektrischen Lichtquellen hineinblickt. Die blindmachende Blendung (nach Luckiesh so genannt) bewirkt natürlich keine Erblindung, sondern nur eine momentane Sehstörung, die durch das Auftreten farbiger Nachbilder sehr lästig empfunden wird.

b) Glitzernde Blendung. Sie entsteht, wenn ein starkes Strahlenbündel an einer glänzenden Oberfläche direkt reflektiert wird.

c) Verschleiernde Blendung. Sie verwischt Einzelheiten durch einen Lichtschleier, der durch den Lichtstrom einer zu stark zusammenfassenden Leuchte hervorgerufen wird, wenn sich dieses Strahlenbündel zwischen dem Auge und dem zu sehenden Objekt befindet.

Um Blendung zu verhindern, müssen verschiedene Vorkehrungen, je nach Beschaffenheit der bestrahlten Körper, getroffen werden. Am wichtigsten ist immer, das direkte Hineinsehen in den Glühfaden zu verunmöglichen. Das erreicht man durch Blechreflektoren zum Teil gut; das beste ist jedoch, die Glühlampe ganz oder teilweise mit einem opalisierten Glas zu umgeben. Das sind Blech-Reflektoren mit Glasdeckel oder reine Glasleuchten, sogenannte Luzetten; dem Auge ist dann nur die leuchtende Glasfläche sichtbar. Diese kann nicht mehr stark blenden, denn die ausgestrahlte Lichtmenge muss sich über eine so grosse Fläche ausbreiten, dass die Leuchtdichte erheblich geringer ist als bei der nackten Birne. Die erste Forderung heisst: Blendungsfreie Beleuchtung. Sie soll aber auch gleichmässig sein; wir wollen eine Lichtverteilung, die keine Stellen der Arbeitsebene zu stark und andere wieder gar nicht beleuchtet. Die Stärke der Beleuchtung, d. h. die auffallende Menge Lichtstrom auf der Flächeneinheit hat sich in ihrer Intensität nach der Farbe und der Oberflächenbeschaffenheit der Arbeitsumgebung zu richten. Wir sehen ja die Gegenstände nur dadurch, dass diese einen Teil des auffallenden Lichtstroms zerstreuen oder direkt reflektieren. Das Auge erhält keinen Eindruck von der Grösse des Lichtstroms, den die Lampe aussendet, sondern nur von dem Restteil der Strahlung, den die Arbeitsumgebung zurückwirft. Massgebend für die Bemessung der Stärke der Glühbirnen ist der Reflexionsfaktor der Arbeitsplätze, der Werkbänke, Maschinen, Wände und des Fussbodens. Wir wollen eine stets gleich starke Flächenhelle erzielen, wir brauchen also bei dunklen Körpern mehr Lichtstrom als bei hellen. Die Flächenhelle hängt ab von der Menge des auffallenden Lichtes und vom diffusen Reflexionsvermögen des betreffenden Arbeitsplatzes; die günstigste Flächenhelle liegt bei etwa 0,0024 Hefnerkerzen pro Quadratzentimeter Fläche. In der Praxis nimmt man bei dunklen Flächen einen etwas geringeren Nutzfaktor an und bemisst danach die Lumenzahl und damit den Wattverbrauch der Lampe.

Mit der Flächenhellenempfindung des Sehorgans hängt die Erscheinung der Helligkeitsadaptation zusammen; Adaptation heisst Anpassung der Augennetzhaut an den Helligkeitszustand, verbunden mit Pupillenveränderung. Diese Adaptation wird von allen Faktoren der Lichtempfindung, d. i. die Lichtstärke, der Farbengrad und der Farbenton, vorzugsweise aber von der Helligkeit der Arbeitsfläche bestimmt. Diese Anpassung gewinnt ihren eigenartigen Charakter dadurch, dass sie stets einer gewissen Minuten- oder Sekundendauer bedarf, bis sie vollständig eingetreten ist. Im allgemeinen adaptiert sich die Augennetzhaut nach der hellsten Stelle im Gesichtsfeld; es ist daher nötig, jeweils am Arbeitsplatz die grösste Flächenhelle zu haben,