d'orienter les pales, car on peut ainsi maintenir le rendement de l'hélice au voisinage de son maximum ou, tout au moins, éviter une trop forte chute de rendement à certains régimes.

Les Établissements Ratier ont réalisé une solution qui consiste à utiliser comme liaison entre le moyeu et la pale une rampe hélicoïdale avec interposition d'un chapelet de billes tout le long de la rampe. Le sens d'enroulement de la rampe est tel que, sous l'action du couple d'inertie N, la pale tende à se visser en se rapprochant du moyeu : cet effet s'oppose ainsi à l'action d arrachement exercé par la composante Z ci-dessus définie ; en choisissant convenablement l'inclinaison φ de la rampe hélicoïdale sur le plan de section droite xy de l'emmanchement, on peut faire en sorte que les deux actions s'annulent exactement. Ecrivons, en effet, que la pale est en équilibre sous l'action du couple N et de la force Z; appliquons, pour cela, le principe des déplacements virtuels, en supposant que la pale ait tourné de l'angle $\delta\alpha$ à partir de sa position d'équilibre; le déplacement axial correspondant est :

$$\delta z = R.\delta\alpha.\text{tg}\ \varphi,$$

R étant le rayon moyen de la rampe hélicoïdale. La somme des travaux élémentaires des forces en équilibre doit être nulle ; donc :

$$Z.\delta z = N.\delta\alpha,$$

c'est-à-dire, d'après ce qui précède :

$$m\omega^2 c.R.\delta\alpha.\text{tg}\ \varphi = \omega^2 J_{xy}\delta\alpha,$$

d'où :

$$R\ \text{tg}\ \varphi = \frac{J_{xy}}{mc}.$$

On voit que les deux caractéristiques R et φ de la rampe hélicoïdale sont indépendantes de la vitesse de rotation et que la compensation, réalisée pour un régime, le sera également pour tous les autres.

Voici de quelle manière la commande de l'orientation de la pale a été réalisée dans l'hélice Ratier. La pale A (fig. 3 et 4),

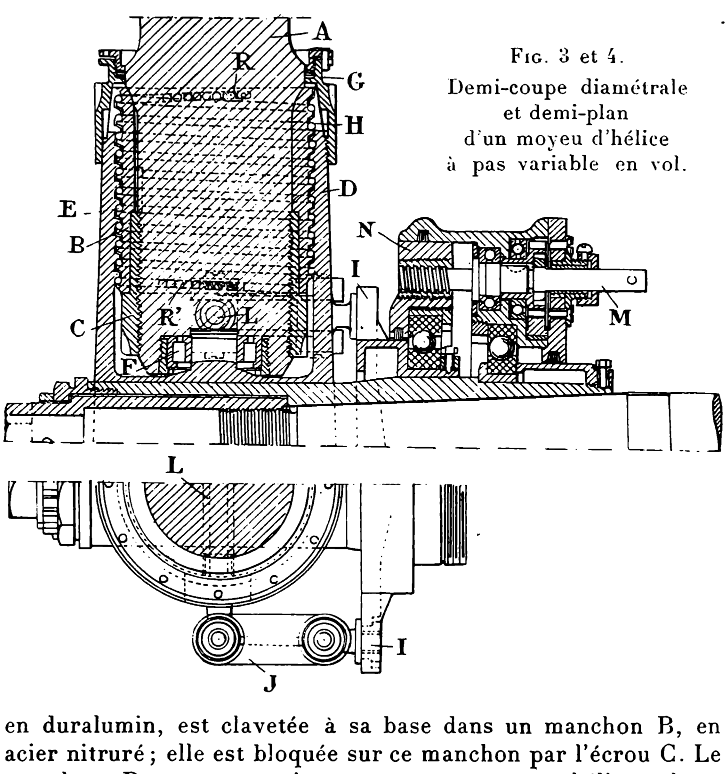

Fig. 3 et 4. Demi-coupe diamétrale et demi-plan d'un moyeu d'hélice à pas variable en vol.

en duralumin, est clavetée à sa base dans un manchon B, en acier nitruré ; elle est bloquée sur ce manchon par l'écrou C. Le manchon B porte extérieurement une rampe hélicoïdale à laquelle correspond, dans la gaine cylindrique D du moyeu, également en acier nitruré, une rampe homologue. La coupe de la figure 3 montre les billes E interposées entre les deux rampes. A ses extrémités inférieure et supérieure, le chapelet de billes est soumis à la poussée des ressorts R et R', qui maintiennent les billes en contact. Un roulement à rouleaux F centre exactement l'extrémité inférieure de la pale sur le moyeu ; pour achever le centrage de la pale et supprimer tout jeu, la partie supérieure H de la gaine D est tournée conique extérieurement et porte quatre fentes en croix ; en vissant sur D l'écrou G, dont l'alésage conique s'adapte exactement à H, on rétreint élastiquement D et on peut annuler le jeu des billes entre les deux rampes hélicoïdales.

Pour obtenir la variation dans l'orientation de la pale, on agit, par l'intermédiaire du collier coulissant I et de la biellette J, sur la broche L qui traverse diamétralement la partie inférieure de la pale A.

Le coulissement du collier I a lieu sous l'action de trois tiges filetées M qui peuvent tourner autour de leur axe, mais non glisser longitudinalement, et qui se vissent dans l'anneau N solidaire de I. La commande manœuvrée par le pilote agit sur l'une des trois tiges M, qui entraîne les deux autres par l'intermédiaire de roues dentées.

A. R.

VARIÉTÉS

Formules pour calculer la poussée et la butée des terres.

Le *Génie Civil* a reproduit, dans son numéro du 14 décembre 1929, une note de M. Louis Ravier, présentée à l'Académie des Sciences le 18 novembre, et, dans sou numéro du 28 décembre, un article sur les quais à chaise et leur calcul, qui y fait suite. M. Ravier a traduit les tracés de Poncelet en formules pour le calcul de la poussée et de la butée des terres.

Ces deux notes nous ont valu les observations de deux ingénieurs belges très distingués, MM. Descans et Campus, que nous reproduisons ci-après, avec la réponse que leur a faite M. Ravier.

M. L. Descans, Ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées de Belgique, nous a écrit à ce sujet ce qui suit :

Observations de M. Descans.

La méthode de Coulomb a fait l'objet d'une note présentée à l'Académie des Sciences de Paris, en 1773, sous le titre : « Sur les murs de revêtement et l'équilibre des voûtes. Essai sur une application des règles des maximis et des minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture ».

La méthode de Coulomb s'applique de diverses manières. Les tracés graphiques de Culmann, Prony et Poncelet sont bien connus. Dans sa note à l'Académie des Sciences, M. Ravier n'a fait que traduire analytiquement les tracés de Poncelet. En poursuivant ses calculs trigonométriques, M. Ravier eût trouvé pour les composantes horizontales A et A_1 de la poussée et de la butée les expressions simples suivantes :

$$A = \left(\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\varepsilon.\cos\alpha}\right)^2,$$

avec :

$$\varepsilon = 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - i)\sin(\varphi + \varphi')}{\cos(\varphi' + \alpha)\cos(i - \alpha)}},$$

pour la poussée des terres, et :

$$A_1 = \left(\frac{\cos(\varphi + \alpha)}{\varepsilon_1.\cos\alpha}\right)^2,$$

avec :

$$\varepsilon = 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + i)\sin(\varphi + \varphi')}{\cos(\varphi' - \alpha)\cos(i - \alpha)}},$$

pour la butée.

La valeur du coefficient de poussée A donnée ci-dessus figure depuis plusieurs années dans divers ouvrages allemands (*Grundbau et Mauerwerksbau,* de Colberg et Nowak; *Taschenbuch der Hütte*, volume III, à la page 92 de l'édition de 1925, à la page 173 de l'édition de 1920, etc.). Ces mêmes formules ont encore servi à l'établissement des tables des coefficients de poussée et de la butée des terres, annexées au livre de Krey : *Erddruck, Erdwiderstand*. La troisième édition de cet ouvrage [1] contient environ 11 000 valeurs de ces coefficients, applicables aux cas les plus divers.

Rankine, en 1856 (*On the stability of loose earth. Philosophical Transactions. Royal Society of London*) et Maurice Lévy, en 1867 (Notes à l'Académie des Sciences de Paris) [2], ont établi les bases de l'étude des conditions d'équilibre d'un massif pulvérulent, sans cohésion. Cette étude mathématique, dépouillée de toute hypothèse simplificatrice, n'arrive encore qu'à traduire assez

(1) Voir le *Génie Civil* du 16 juillet 1927, p. 80 (Bibliographie).

(2) Publiées en 1873 au *Journal de Liouville*, sous le titre : « Sur une théorie rationnelle des terres fraîchement remuées, et ses applications au calcul de la stabilité des murs de soutènement ».

péniblement certains faits de la pratique, en dépit des travaux de nombreux chercheurs, et malgré les essais de laboratoire qui se poursuivent en Amérique et en Allemagne.

Dans le cas simple de la détermination de la poussée des terres d'un terre-plein plan sur un mur à parement plan, on peut caractériser comme suit les conditions d'application des deux méthodes :

1° La méthode de Rankine ou de Maurice Lévy, respectant toutes les conditions d'équilibre des massifs, ne donne immédiatement la grandeur de la poussée que si cette dernière est inclinée sur le parement du mur d'un angle bien déterminé (calculé par l'étude de l'ellipse des compressions du sol, ou de l'épure circulaire de Mohr, qui lui est équivalente) ;

2° La méthode de Coulomb, basée sur l'hypothèse, parfois inexacte, d'une surface de glissement plane, ne donne qu'une valeur approchée de la poussée. La différence avec la valeur exacte est faible. Elle s'annule même si les données du problème sont telles que l'angle que la poussée doit faire, en pratique, avec la normale au mur, est égal à l'angle qui résulte de la théorie de Maurice Lévy.

Dans ces conditions, on doit admettre que tous les tracés et formules dérivés de la méthode de Coulomb ne sont qu'approchés et n'ont aucun caractère « général ». Il faut toutefois reconnaître que l'approximation obtenue est remarquable et presque toujours suffisante pour les besoins de la pratique.

Dans la note du 28 décembre 1929 intitulée : « Les quais à chaise et leur calcul », on lit que « les méthodes, si différentes, de Coulomb et Poncelet, d'une part, de Rankine et Résal, d'autre part, peuvent se concilier dans les formules de la note présentée par M. Ravier à l'Académie des Sciences ». Ce n'est qu'une illusion. M. Ravier a peut-être concilié les résultats pratiques, mais il n'a pas concilié les théories qui sont inconciliables.

L'affirmation ci-dessus est suivie d'une tentative de vérification. Elle devait réussir, attendu que l'auteur, au lieu de se donner à priori l'angle φ' de la poussée avec la normale au mur, adopte pour cet angle la valeur qui correspond à la théorie de Maurice Lévy (dont la théorie de Résal dérive directement). Il se place donc dans le seul cas où les deux théories donnent exactement les mêmes résultats.

Après cette mise au point du caractère des formules présentées par M. Ravier, je dois présenter une dernière remarque.

A la fin de sa note du 14 décembre, M. Ravier signale que les ingénieurs des Ponts et Chaussées belges admettent le coefficient $\varphi' = \frac{\varphi}{2}$ dans leurs cahiers des charges. En réalité, les ingénieurs belges ne considèrent pas la relation ci-dessus comme un dogme. Ils se rendent parfaitement compte de l'influence, parfois considérable, que peut avoir le choix du coefficient de frottement des terres sur le mur, et de la nécessité de déterminer, dans chaque cas spécial, une valeur de ce coefficient aussi exacte que possible. Des études et des cahiers des charges, publiés par des ingénieurs belges [1], indiquent et justifient, suivant les cas, des valeurs de φ' comprises entre 0 et φ.

L. Descans.

Observations de M. Campus, *professeur à l'Université de Liége.*

M. Campus, professeur à l'Université de Liége, nous a écrit, dans le même sens, qu'il avait établi de son côté la formule en question sans croire faire œuvre originale, et qu'il la professait dans son cours depuis plusieurs années, mais qu'il ne pouvait d'ailleurs y avoir identité entre les valeurs résultant de cette formule et celles calculées et données dans ses tableaux par Résal, que dans les cas où les lignes de charge considérées par Résal étaient des droites.

M. Campus constate qu'il est remarquable que la méthode simple de Coulomb, qui paraît sommaire en comparaison avec celle de Résal, conduise néanmoins à des valeurs très voisines de celles que donne la méthode compliquée, à condition qu'on prenne une même valeur pour φ'.

Cependant, M. Campus préfère, pour l'établissement des poussées, l'emploi des méthodes graphiques, et son cours en donne une spécialement intéressante.

Réponse de M. Ravier.

Les auteurs allemands ont bien une priorité très nette pour la formule en question, et M. Campus avait, avant nous, fait le même calcul qu'eux.

Cependant, ils n'avaient pas, semble-t-il, mis en évidence que si l'on choisissait convenablement la direction admise pour la poussée, il y avait accord pratique entre les résultats de cette formule qui traduit la méthode approximative de Coulomb, et les coefficients résultant des théories plus rigoureuses de Maurice Lévy et de Résal.

Cette discussion aura peut-être pour heureux résultat d'attirer l'attention, en France, sur les intéressants travaux allemands sur la poussée des terres, non encore vulgarisés en français jusqu'ici (travaux de Weyrauch, Mohr, etc.), à nous signalés par le très distingué et très érudit ingénieur belge M. L. Descans.

Nous pouvons ajouter que, d'après des expériences que nous avons faites et que nous comptons publier prochainement, les théories les plus rigoureuses ont un point de départ inexact parce qu'elles négligent certains phénomènes pratiques importants qui nous paraissent provenir en partie de ce que les remblais naturels, même s'ils sont sans aucune cohésion, comprennent des éléments plats ayant tendance à se mettre à plat, ce qui fait que l'angle de glissement n'est pas égal dans toutes les directions, comme le supposent les théories.

Dans ces conditions, la méthode de Coulomb se présente comme aussi bonne, et d'une application plus pratique, devenant même rigoureuse si φ est choisi comme une certaine moyenne algébrique des angles de glissement le long de la ligne de rupture supposée, et φ' d'après des considérations pratiques convenables.

L'emploi du béton et du béton armé dans les chemins de fer.

Cette question très générale a été l'objet d'un rapport de MM. Jullien et Claisse, destiné à être présenté et discuté au prochain Congrès de l'Association internationale des Chemins de fer (Madrid, mai 1930). Ce rapport, publié dans le numéro de juin dernier du *Bulletin* de cette Association, est divisé en deux parties : la première relative aux traverses en béton ; la seconde aux constructions en béton et en béton armé.

Traverses en béton. — Les traverses en béton peuvent se ramener à deux types, suivant que la traverse est constituée par deux appuis à large empattement sous rails, réunis par une pièce transversale de solidarisation (type Vagneux), ou que la traverse est considérée comme une poutre recevant les charges des rails et les transmettant à un ballast d'élasticité variable (type Calot) [1].

On doit mentionner spécialement les trois grands réseaux français, le Nord, le P.-L.-M. et le P.-O., qui ont employé depuis quelques années la traverse en béton armé en grandes quantités : le P.-L.-M., exclusivement la traverse Vagneux ; le P.-O., la traverse Calot ; le Nord, concurremment la traverse Calot modifiée et la traverse Vagneux.

Par ailleurs, plusieurs réseaux signalent des types nouveaux susceptibles de retenir l'attention : les Chemins de fer fédéraux suisses, la traverse Lössel ; le Nord français, la traverse Henriquet ; l'Est, la traverse Collet ; le P.-L.-M., la traverse Stent [2].

Il est difficile d'établir des comparaisons de prix de revient entre les divers types de traverses : la principale cause réside dans les grandes différences de poids de béton et d'acier qu'elles contiennent. Par rapport à la traverse en bois, on peut dire que la traverse en béton armé coûte nettement plus cher de premier

(1) Entre autres : « Cales sèches », rapport présenté par le soussigné au Congrès de navigation de Philadelphie (1912, 2e section, 1re question, p. 3, du texte français). — Cahier des charges n° 162, de 1921, relatif aux travaux de construction de 600 mètres environ de murs de quais à l'Escaut, au nord d'Anvers (chapitre spécial, *in fine*), etc.

(1) Voir, sur les traverses Vagneux et Calot, le *Génie Civil* du 6 mai 1922 (t. LXXX, n° 18, p. 408).

(2) Voir, au sujet de la traverse Stent, le *Génie Civil* du 19 avril 1924 (t. LXXXIV n° 16, p. 385).