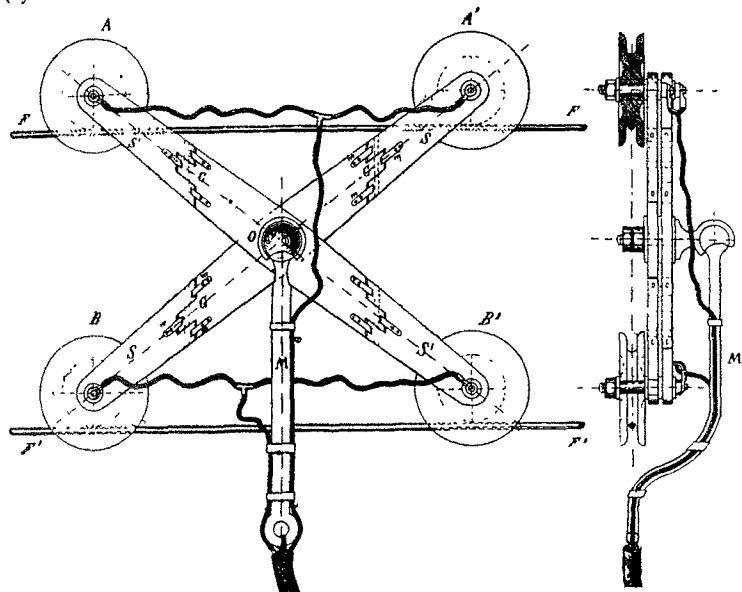


Nouveau système de trolley pour lignes à deux fils

Ce nouveau système de trolley, dont nous trouvons la description dans l'*Électricité*, est dû à M. POMELLA et est surtout destiné aux voitures automotrices électriques circulant librement sur routes, mais il peut également s'appliquer aux lignes de tramways ou de chemins de fer utilisant deux fils aériens (système triphasé ou continu à 3 puits).



Ce trolley est essentiellement constitué par un système articulé composé d'un charriot à quatre roulettes AA'BB' s'appuyant sur les deux fils de ligne FF'. Les axes des roulettes, qui sont forcément munies de gorges, sont fixés aux extrémités de deux bras SS et S'S' en matière isolante qui peuvent osciller librement autour de leur axe central O. Cet axe sert en même temps de support à une manivelle porte câbles M qui peut s'incliner dans tous les sens jusqu'à 45°.

La voiture en progressant sur la route, entraîne avec elle son charriot capteur de courant.

Pour permettre l'inscription facile du charriot dans les courbes, les bras S sont entaillés en G de telle manière que les extrémités de ces bras puissent tourner librement autour d'un axe vertical. Les deux roulettes d'un des côtés du charriot peuvent ainsi faire un angle de près de 90° avec celles de l'autre côté. Des ressorts m maintiennent les bras rectilignes lorsque les fils F sont en lignes droites.

ÉTUDE SUR LES

BARRAGES EN MAÇONNERIE

et Murs de Réservoirs

(suite)

Remarques sur la loi du trapèze. — L'hypothèse d'après laquelle les sections transversales d'une poutre, planes avant la déformation, restent planes après, a été tout d'abord émise arbitrairement par Bernoulli, puis a été confirmée ensuite par Navier. Dans sa théorie mathématique de l'élasticité, M. de Saint-Venant a montré que la répartition linéaire des actions moléculaires n se trouve vérifiée pour le cas particulier où les forces extérieures sont appliquées aux seules sections transversales extrêmes des solides considérés. La théorie de M. de Saint-Venant suppose, en effet, que l'on a $n_1 = 0$; ceci ne peut donc avoir lieu que pour une poutre chargée d'un poids isolé, et encore l'hypothèse précédente se trouve-t-elle en défaut dans le voisinage immédiat du point d'application de la force. Il s'ensuit que, dans le cas général d'une poutre

supportant des charges réparties sur sa longueur, les actions moléculaires n ne varient plus linéairement. Malgré cela, les formules usuelles dont on se sert journellement pour le calcul des poutres métalliques sont basées sur l'hypothèse précédente, car, si cette hypothèse n'est pas rigoureusement exacte, les résultats auxquels elle conduit se vérifient sensiblement dans la pratique et, comme elle a l'avantage de la simplicité, son emploi s'est perpétué.

Dès lors, il semble tout naturel d'appliquer la loi du trapèze, qui est basée sur l'hypothèse précédente, pour le calcul des pressions normales n sur les diverses sections horizontales faites au travers d'un barrage, ainsi que l'ont fait d'ailleurs les diverses méthodes que nous avons précédemment passé en revue. Néanmoins, comme dans les barrages de grande hauteur on est souvent amené à faire travailler les matériaux employés à un taux très élevé, il n'est pas sans intérêt de rechercher quel est le degré de l'approximation auquel on peut atteindre par l'emploi de la dite loi du trapèze pour les cas particuliers que l'on rencontre le plus fréquemment dans la construction des barrages.

Dans son ouvrage sur la résistance des matériaux, M. FOPPL, professeur à l'Université technique de Munich, rend compte des essais qu'il a effectués sur des pierres de construction, de section rectangulaire, de 20 × 30 cms. placées de champ sur deux appuis distants de 1 m. 50, et sur les faces desquelles on avait cimenté de petites tiges de fer portant chacune un petit miroir (*). Cet auteur a constaté que les miroirs placés le long du contour d'une même section transversale exécutaient sensiblement la même rotation, ce qui n'était possible que si les côtés de cette section restaient à peu près rectilignes, et ce qui, par suite, entraînait comme conséquence que la section elle-même demeurait sensiblement plane après la déformation comme avant.

Cette vérification est fort importante, car M. Foppl avait précédemment constaté pour les pierres, granit et molasse notamment, que les déformations élastiques croissaient plus rapidement que les efforts d'extension ou de compression correspondants, et que la courbe de ces déformations en fonction de charges, au lieu d'avoir une partie droite, affectait quelque peu la forme d'un S et présentait un point d'inflexion à l'origine.

Comme l'équation (45) a été établie en supposant que les allongements — ou raccourcissements — étaient proportionnels aux charges, il résulterait de cette dernière constatation de M. Foppl que la relation (45) ne doit pas être rigoureusement exacte pour un ouvrage exécuté avec des pierres. Mais nous pouvons faire quelques remarques: d'une part, l'augmentation des déformations est assez faible, car elle peut passer inaperçue lorsque les expériences ne sont pas faites avec une précision rigoureuse (**); d'autre

(*) FOPPL. — *Résistance des matériaux et éléments de la théorie mathématique de l'élasticité*. — Traduction de HAHN, Gauthier-Villars, Paris, 1901.

(**) *Le Génie Civil* du 9 novembre 1895 a publié un article de M. SOULEYRE, ingénieur des Ponts et Chaussées, où celui-ci rend compte d'essais qu'il avait effectués sur des maçonneries. M. Souleyre avait trouvé non seulement que les déformations des pierres étaient proportionnelles aux efforts tant que la limite d'élasticité n'était pas atteinte, mais même que cette limite d'élasticité s'étendait beaucoup plus loin que pour le mortier.

Cette dernière constatation de M. Souleyre peut s'expliquer par la simple inspection de la figure ci-contre, où V'OV est la courbe classique représentative des allongements ou (raccourcissements) OA sous

part, toute maçonnerie comporte une certaine quantité de mortier dont les déformations paraissent être proportionnelles aux efforts (dans les murs de barrage la proportion de mortier est généralement voisine de 40 pour 100). On peut donc dire en somme que, si la relation (45) n'est pas théoriquement exacte, elle doit être en pratique suffisamment approchée pour permettre la comparaison des résultats auxquelles elle conduit dans certains cas particuliers avec ceux que donne la loi du trapèze.

Dans le cas du profil rectangulaire à vide, la loi du trapèze est conforme à la théorie mathématique de l'élasticité. Elle donne en effet :

$$v_2 = Ky \quad t_2 = 0 \quad n_1 = 0$$

De sorte que les dérivées secondes, par rapport à x et à y sont nulles, et que l'équation (45) est satisfaite.

Mais il n'en est plus de même sous l'action de la poussée de l'eau seule. En effet, dans ce cas, si l'on désigne maintenant par y la hauteur de l'eau au-dessus d'une section horizontale située à une distance *quelconque* en dessous du couronnement, la loi du trapèze donne :

$$v_1 = -\frac{y^3}{e^2} + 2\frac{y^3}{e^3}x \quad t_1 = 3\frac{y^2}{e^2}x - 3\frac{y^2}{e^3}x^2$$

$$n_1 = y - 3y\frac{x^2}{e^2} + 2y\frac{x^3}{e^3}$$

On a bien : $\frac{d^2n}{dx^2} = 0$ et $\frac{d^2n_1}{dy^2} = 0$

mais : $\frac{d^2n}{dy^2} = -6\frac{y}{e^2} + 12\frac{y}{e^3}x$

de sorte que l'équation (45) n'est plus satisfaite pour des valeurs quelconques de x ou de y .

Cependant, il est possible de trouver pour v_1 une relation entre x et y satisfaisant à la théorie mathématique de l'élasticité. La solution la plus simple consiste à développer v_1 en série, suivant les puissances croissantes de x au moyen d'une expression de la forme :

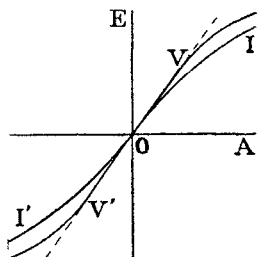
$$n = a + bx + ex^2 + gx^3 + \dots$$

dans laquelle a, b, c, g, \dots , sont des fonctions de y , indépendantes de x , et déterminées par les cinq conditions suivantes :

- 1° Satisfaire à l'équation (45) ;
- 2° Pour $y = 0$, donner $n = 0, t = 0, n_1 = 0$ quelque soit x
- 3° Pour $x = 0$, donner $t = 0$ et $n_1 = y$
- 4° Pour $x = e$, donner $t = 0$ et $n_1 = 0$
- 5° Pour une section horizontale donner : $\int_0^e t dx = \frac{y^2}{2}$

On est ainsi amené au système d'équations suivantes (*)

l'action des efforts OE qui les provoquent, et où l'OI représente la courbe correspondant aux déformations observées sur les pierres par M. Foppl. Pour les matériaux usuels, les métaux notamment, la courbe V'OV présente une partie droite OV (ou OV') qui correspond à la période d'élasticité et pour laquelle les déformations sont proportionnelles aux efforts correspondants ; le point V correspondant à la limite d'élasticité. Ce point V n'existe pas sur la courbe OI, puisque celle-ci ne présente pas de partie droite, de sorte que la courbure de OI est plus régulière que celle de la courbe V'OV. Et si cette courbure est très faible dans le voisinage du point O, il peut être facile de confondre la courbe OI avec une droite sur une longueur plus grande que sur OV.



(*) Voir notre démonstration dans la note annexe insérée à la fin de l'article.

données par M. Maurice Lévy dans une note à l'Académie des Sciences (mai 1898).

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{y^3}{e^2} \left(2\frac{x}{e} - 1 \right) + y \left(\frac{1}{5} - \frac{12x}{5e} + 6\frac{x^2}{e^2} - 4\frac{x^3}{e^3} \right) \\ t &= x \left(1 - \frac{x}{e} \right) \left[3\frac{y^2}{e^2} - \frac{4}{5} + \frac{x}{e} \left(1 - \frac{x}{e} \right) \right] \\ n_1 &= y \left(1 - \frac{x}{e} \right)^2 \left(1 + 2\frac{x}{e} \right) \end{aligned} \right\} (54)$$

Cette solution n'est pas absolument rigoureuse au sens propre du mot, car, pour $y = 0$ elle indique des efforts tranchants t_0 qui ne sont pas partout nuls ainsi qu'ils devraient l'être. Toutefois, ces efforts sont de peu d'importance, ils sont d'ailleurs en équilibre, car ils sont symétriquement répartis par rapport au centre de la section, et leur valeur maxima, qui a lieu au milieu, n'est égale qu'à $\frac{1}{80}$ de e .

L'application de la première des formules (54) donne les valeurs suivantes, pour la valeur de la pression élastique normale à l'amont et à l'aval des joints :

$$n' = -\frac{y^3}{e^2} + \frac{4}{5}y \quad n'' = \frac{y^3}{e^2} - \frac{4}{5}y$$

or, la loi du trapèze aurait donné :

$$n' = -\frac{y^3}{e^2} \quad n'' = \frac{y^3}{e^2}$$

C'est-à-dire que la loi du trapèze accuse, sur le parement amont, un effort de traction supérieur de la quantité $\frac{y}{5}$ à celui auquel conduit la théorie mathématique de l'élasticité, tandis qu'au contraire, sur le parement aval, elle accuse une compression trop forte de la même quantité $\frac{y}{5}$.

Mais, avec la nouvelle loi, la valeur maxima de la traction (ou de la compression), n'a pas toujours lieu sur le parement amont. En effet, le maximum de n a lieu pour les

points où l'on a : $\frac{dn}{dx} = 0$

c'est-à-dire pour : $\frac{x}{e} = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{20} + \frac{1}{6}\frac{y^2}{e^2}}$

Toutes les fois que la hauteur de l'eau sera inférieure, ou au plus égale à $\left(\sqrt{\frac{6}{5}} = 1,1 \right)$ fois la largeur de la base, le maximum de n tombera à l'intérieur de cette base.

La figure 45 représente 3 courbes de n correspondant : la courbe CEO'E'C' en trait plein à $\frac{y}{e} = \sqrt{\frac{6}{5}} = 1,1$; la courbe en traits mixtes à $\frac{y}{e} = \frac{3}{4}$ et la courbe pointillée à $\frac{y}{e} = \frac{1}{3}$.

Pour la première courbe, le maximum a lieu sur les parements, mais pour les autres il a lieu à l'intérieur et il se rapproche d'autant plus du centre que y est plus petit par rapport à e . La loi du trapèze est représentée à la même échelle par les droites telles que PEO'E'Q. Si l'unité de longueur mesurée sur la base représente des mètres, la même unité mesurée sur les ordonnées y représente des tonnes par mètre carré. Avec une réduction convenable des ordonnées, ces courbes pourraient aussi représenter les traces, sur un plan vertical, de la surface de déformation produite dans le barrage sous la seule action de la poussée de l'eau.

On remarquera que les courbes, qui sont symétriques par rapport au centre O de la base, coupent toutes les droites

telles que PQ sur une même verticale EV. Pour tout point de la base dont l'abscisse est inférieure à AV, l'effort de traction est plus élevé avec la loi du trapèze qu'avec la nouvelle loi, tandis que, au contraire, il est plus faible pour les points situés plus loin. La courbe S'O' représente les différences de pression qui résultent de l'emploi des deux lois. Cette courbe est rapportée à un axe horizontal quelconque A'O'B', que nous avons fait justement passer par le point S' de la courbe pour lequel la différence SS' est maxima. L'équation de cette courbe est :

$$\Delta_n = \left(2 \frac{x}{e} - 1\right) \left(2 \frac{x^2}{e^2} - 2 \frac{x}{e} + \frac{1}{5}\right) y$$

La différence Δ_n est nulle pour $x = \frac{e}{2}$ et pour :

$$x = AV \text{ ou } AV' = e \left(\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{6}{40}}\right) = 0,41 \text{ ou } 0,89 e$$

Cette différence passe par un maximum lorsque :

$$\frac{d\Delta_n}{dx} = y \left(\frac{x^2}{e^2} - \frac{x}{e} + \frac{1}{5}\right) = 0$$

c'est-à-dire lorsque :

$$x = A'S = e \left(\frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{20}}\right) = 0,28 \text{ ou } 0,72 e$$

A'S est fixe, aussi bien que AV, quelque soit la hauteur de l'eau par rapport à la base; il en résulte que le maximum correspondant est proportionnel à y , il est représenté en grandeur par SS' et sa valeur est $0,09 y$; c'est-à-dire que le véritable maximum de la différence des pressions entre les deux lois correspond aux parements.

La différence Δ_t , qui existe entre la valeur du cisaillement calculé par la loi de trapèze et celle qui est donnée par la seconde des équations (54), est indépendante de y , et constante pour une même abscisse quelque soit la hauteur de l'eau. Δ_t est partout égale à la valeur t_0 que prend le cisaillement lorsque y se réduit à 0 et est représentée par l'équation :

$$\Delta_t = \left[\frac{x}{e} \left(1 - \frac{x}{e}\right) - \frac{1}{5}\right] \left(1 - \frac{x}{e}\right) x$$

Cette différence est représentée schématiquement par la courbe A'E'S'G'B'', rapportée à un axe horizontal quelconque A''B''. Comme la plus grande ordonnée O''G n'est égale qu'à $\frac{1}{80}$ de la base AB, nous avons été obligé d'adopter pour les ordonnées une échelle bien plus grande (8 fois) que pour celles des autres courbes. On remarquera que Δ_t est nul pour les points S'' de la base où Δ_n est maximum et qu'inversement Δ_t est maximum en E'' et G ou Δ_n est nul. E''T est égal à $\frac{1}{100}$ de AB.

Par rapport à la loi du trapèze, le cisaillement calculé d'après la nouvelle loi a une valeur plus faible près des parements et plus forte à l'intérieur, tout comme la pres-

sion élastique normale, mais dans de moindres proportions.

Quant à la valeur de la pression élastique n_1 , normale à tout élément vertical, elle est constamment égale à celle qui est donnée par la loi du trapèze.

Le système des équations (54) cesse certainement d'être applicable lorsque la hauteur de l'eau devient inférieure au cinquième de la base, car, alors, n accuserait une compression sur le parement amont, et une traction sur le parement aval, ainsi que l'indique la courbe pointillée de la figure (45), ce qui est certainement impossible. Nous avons déjà montré que pour $y = 0$ on n'avait pas $t_0 = 0$; on voit donc que le système ne s'applique que pour des hauteurs d'eau assez grandes par rapport à la base.

De ce qui précède, il résulte que l'emploi de la règle du trapèze conduit pour le rectangle à un surcroît de stabilité, ce qui est avantageux.

Pour le profil triangulaire, la règle du trapèze satisfait à la théorie mathématique de l'élasticité lorsque le niveau de l'eau affleure le sommet du triangle, que le parement amont soit vertical ou incliné. Il en est de même à vide.

Nous allons tout d'abord le vérifier pour les charges verticales, et, pour cela, nous prendrons comme axe des x l'horizontale qui passe par le sommet du triangle, et comme axe des y la verticale de ce même sommet. En appliquant les formules données précédemment, on trouve facilement les expressions suivantes :

$$n' = \frac{1}{2} \left[K + \mu - \frac{Q}{\gamma} \right] y \quad n'' = \frac{1}{2} \left[K + \mu + \frac{Q}{\gamma} \right] y$$

$$n = \frac{1}{2} \left[K + \mu - Q (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \beta_1) \right] y + Qx$$

$$t = (Q + \gamma) y \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \beta_1 + \frac{1}{2} \left[K - \mu + Q (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \beta_1) \right] x$$

$$n_1 = \frac{1}{2} \Pi y - (Q + \gamma) x \operatorname{tg} \beta_1 \operatorname{tg} \beta$$

avec : $\mu = \frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \beta_1} \quad \gamma = \frac{e}{y} = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \beta_1}$

$$Q = \frac{(K - 1) \operatorname{tg}^2 \beta_1 - K \operatorname{tg}^2 \beta - 3 \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \beta_1}{(\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \beta_1)^3}$$

$$\begin{aligned} \Pi &= [K + 3\mu + Q (\operatorname{tg} \beta + 3 \operatorname{tg} \beta_1)] \operatorname{tg}^2 \beta \\ &= [K + 3\mu - Q (\operatorname{tg} \beta_1 + 3 \operatorname{tg} \beta) - 4] \operatorname{tg}^2 \beta_1 \end{aligned}$$

Il est facile de voir que les expressions précédentes de n , t et n_1 satisfont à la théorie mathématique de l'élasticité, car l'on a :

$$\frac{d^2 n}{dx^2} = 0 \quad \frac{d^2 n}{dy^2} = 0 \quad \frac{d^2 n_1}{dy^2} = 0$$

En outre, les relations (47) et (48) sont satisfaites, car l'on a également sur les parois :

$$\begin{aligned} t &= (y - n') \operatorname{tg} \beta_1 & t'' &= n'' \operatorname{tg} \beta \\ n_1 &= (n' - y) \operatorname{tg}^2 \beta_1 & n_1'' &= n'' \operatorname{tg}^2 \beta \end{aligned}$$

Lorsque l'eau dépasse le couronnement, ou bien lorsqu'elle descend à un niveau inférieur, la loi du trapèze

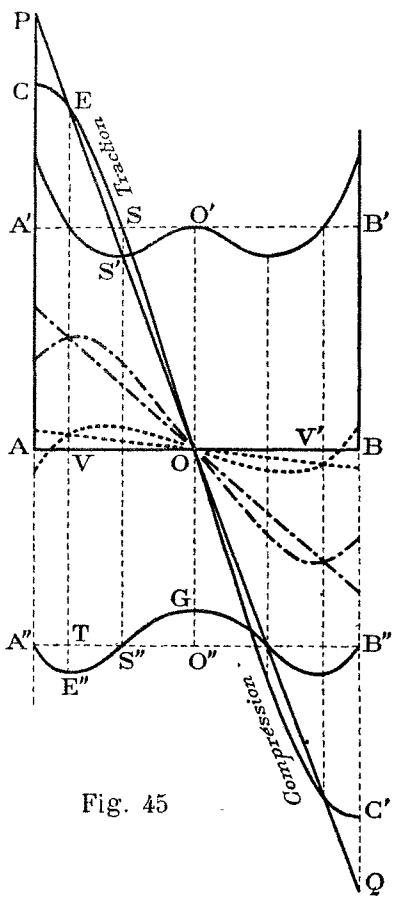


Fig. 45

n'est plus exacte. En effet, si l'on pose $\lambda = 1 - \frac{h}{y}$, on trouve pour n l'expression :

$$n = [K - \mu(\mu\lambda^3 + K - 2\lambda^2) + Q \operatorname{tg} \beta_1] y + Q x$$

avec
$$Q = -[K - \mu\gamma(2\mu\lambda^3 + 2K - 3\lambda^2)]$$

$\frac{d^2n}{dx^2}$ restera bien encore égal à 0, mais $\frac{dn}{dy^2}$ contiendra des termes en $\frac{1}{y^5}$ tandis que $\frac{d^2n_1}{dy^2}$ aura des termes en $\frac{1}{y^7}$ de sorte que l'équation (45) ne pourra plus être satisfaite pour une valeur quelconque de x et de y , c'est-à-dire que la loi du trapèze n'est plus exacte.

Si $h = 0$, on a $\lambda = 0$ et l'on retrouve les équations précédentes. Si $h = y$, λ est encore égal à 0, c'est-à-dire que la loi du trapèze est encore exacte lorsque le barrage triangulaire travaille à vide.

Considérons maintenant un barrage formé d'un triangle fondamental ABS et d'un couronnement quelconque DCC'D',

et soit A'B' une section horizontale quelconque faite au travers du triangle fondamental à une profondeur y au-dessous du sommet S. Comme précédemment, prenons pour axe des x l'horizontale qui passe par le sommet S et pour axe des y la verticale de ce même sommet. Nous allons montrer que, pour le calcul des actions moléculaires développées sous l'action des charges horizontales, la loi du trapèze est applicable à toute la partie du triangle fondamental qui se trouve en dessous du couronnement, quelque soit la forme de ce couronnement lorsque sa crête n'est pas à un niveau inférieur à celui de l'eau.

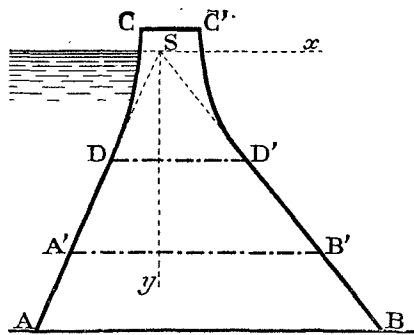


Fig. 46

En effet, nous avons ici : $M_1 = \frac{1}{6} y^3$

$$n' = -\gamma^2 y \quad n'' = +\gamma^2 y \quad Q = 2\gamma^3$$

$$n = \gamma^2 (2\mu - 1) y + 2\gamma^3 x$$

$$t = \gamma\mu y + \gamma^2 (1 - 2\mu) (x + \varepsilon_1)$$

$$n_1 = (1 - \mu^2) y - 2\gamma\mu (1 - \mu) (x + \varepsilon_1)$$

L'on a bien d'une part :

$$\frac{d^2n}{dx^2} = 0 \quad \frac{d^2n}{dy^2} = 0 \quad \frac{d^2n_1}{dy^2} = 0$$

Et, d'autre part, les équations (47) et (48) sont bien satisfaites puisque l'on a sur les parements :

$$t' = -n' \operatorname{tg} \beta_1 \quad t'' = \lambda (1 - \mu) y = n'' \operatorname{tg} \beta$$

$$n'_1 = y + n' \operatorname{tg} \beta_1 \quad n''_1 = (1 - \mu)^2 y = n'' \operatorname{tg}^2 \beta$$

Enfin l'on a bien également :
$$\int_{-\varepsilon_1}^{+\varepsilon} t \, dx = \frac{y^2}{2} = \frac{dM_1}{dy}$$

Et ceci aura lieu pour toute section A'B' comprise entre AB et DD', quelque soit la forme du couronnement DCC'D', et quelle que soit la position de CC' par rapport au sommet S du triangle fondamental, à la condition toutefois que CC' soit à un niveau supérieur ou au moins égal à celui de l'eau.

Si le niveau de l'eau descend au-dessous du sommet S de la quantité h , le moment fléchissant en A'B' devient

$M'_1 = \frac{1}{6} (y - h)^3$. Il s'en suit que n' , n'' et P contiennent alors des termes en y^{-2} , que Q en a en y^{-3} , n_1 en y^{-5} et finalement $\frac{d^2n_1}{dy^2}$ contient des termes en y^{-7} , de telle sorte que l'équation (45) ne peut plus être satisfaite pour une valeur quelconque de x et de y . C'est-à-dire que la loi du trapèze n'est plus exacte. Il en serait de même si, le couronnement étant au-dessus du niveau de l'eau, le sommet venait à être inférieur à ce niveau de la quantité h , car alors le moment fléchissant deviendrait :

$$M''_1 = \frac{1}{6} (y + h)^3$$

Lorsque le couronnement descend au-dessous du niveau de l'eau, de la quantité h , le moment fléchissant développé en A'B' a pour valeur :

$$M''_1 = \frac{1}{6} (y \mp z)^3 + \frac{1}{6} h (y \mp z)^2$$

z désignant la distance du sommet S au couronnement et le signe $-$ correspondant au cas où le sommet est au-dessus du couronnement et le signe $+$ au cas où il est au-dessous. Dans ce cas, et pour les mêmes raisons que précédemment, la loi du trapèze est encore inexacte.

En résumé, la règle dite du trapèze est exacte pour le profil triangulaire lorsque le niveau de l'eau affleure le sommet du triangle. Lorsque le triangle est muni d'un couronnement, la loi du trapèze reste encore exacte pour les efforts développés sous l'action des forces horizontales, mais elle ne l'est plus pour ceux qui proviennent des charges verticales, toutefois, nous avons considérablement augmenté le degré de l'approximation sur lequel on peut compter avec l'application de la dite loi, puisque nous savons que cette loi n'est plus inexacte que sur un point au lieu de deux.

Pour les cas où le niveau de l'eau ne passe pas par le sommet du triangle, il serait théoriquement possible de trouver une fonction de x et de y satisfaisant à la théorie mathématique de l'élasticité, comme nous l'avons fait pour le cas du rectangle, mais le problème est moins facile ici, car l'on n'a plus $t = 0$ et $n_1 = 0$ sur les parements comme pour le rectangle, et les calculs sont beaucoup plus compliqués. Nous nous contenterons de signaler ici une formule qui a été indiquée par M. Maurice Lévy pour le cas où le niveau de l'eau dépasse le sommet du triangle (*).

Le moment fléchissant est donné par la relation :

$$M = \frac{1}{6} y^3 + \frac{1}{2} y^2 h$$

C'est-à-dire qu'au moment fléchissant $M_s = \frac{1}{6} y^3$ correspondant au cas où le niveau de l'eau passe par le sommet du triangle, il faudrait ajouter un moment supplémentaire $M_h = \frac{1}{2} y^2 h$. Nous pouvons donc écrire :

$$n = n_s + n_h \quad t = t_s + t_h \quad n_1 = n_{s1} + n_{h1}$$

l'indice s désignant les actions moléculaires correspondant au cas où le niveau de l'eau affleure le sommet S et l'indice h désignant les actions supplémentaires provoquées par la surélévation h du niveau de l'eau. Puisque n_s , t_s et n_{s1} satisfont à la théorie mathématique de l'élasticité, il est clair

(*) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 5 mai 1898.

que l'on obtiendra n , t et n_1 en cherchant pour n_h , s_h et n_{h1} des fonctions qui y satisfont aussi.

Les nouvelles inconnues n_h , t_h et n_{h1} doivent satisfaire aux équations différentielles (45) et (44) avec $Y=0$, ainsi qu'aux conditions sur les parois (47) et (48). Comme h reste constant au fur et à mesure que se déplace la section A'B' considérée, les inconnues doivent se réduire à des constantes sur les parois, et l'on voit immédiatement que l'on y satisfera en prenant des fonctions homogènes de $\frac{x}{y}$, ou si l'on veut, des fonctions de l'angle polaire ψ défini par les relations :

$$y = r \cos \psi \quad x = r \sin \psi$$

r étant la distance du sommet S au point considéré dont les coordonnées rectangulaires sont x et y ; car, sur les parements

l'on aura $\frac{x_1}{y} = \text{tg } \beta_1$ et $\frac{x}{y} = \text{tg } \beta$.

On est ainsi conduit aux expressions suivantes pour lesquelles $\delta = \beta_1 + \beta$.

$$n_h = -h \frac{(\beta - \psi - \sin \psi \cos \psi) \cos \delta - \sin \beta_1 \cos \beta}{\sin \delta - \delta \cos \delta}$$

$$n_{h1} = -h \frac{(\beta - \psi + \sin \psi \cos \psi) \cos \delta - \sin \beta \cos \beta_1}{\sin \delta - \delta \cos \delta}$$

$$t_h = -h \frac{\cos 2 \psi \cos \delta - \cos (\beta - \beta_1)}{2 (\sin \delta - \delta \cos \delta)}$$

Pour le cas particulier où le parement amont est vertical ces expressions se réduisent aux relations très simples suivantes :

$$\left. \begin{aligned} n_h &= h \frac{(\beta - \psi - \sin \psi \cos \psi)}{\beta - \text{tg } \beta} \\ n_{h1} &= h \left(1 - \frac{\psi - \sin \psi \cos \psi}{\beta - \text{tg } \beta} \right) \\ t_h &= -h \frac{\sin^2 \psi}{\beta - \text{tg } \beta} \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

Ces expressions cessent d'ailleurs d'être applicables lorsque le niveau de l'eau descend au-dessous du sommet S.

Il est facile de se rendre compte que les équations (55) satisfont bien aux conditions (47) et (48) sur les parois ainsi qu'aux conditions (44) et (45). Enfin l'on a également :

$$\int_0^e t_h dx = hy = \frac{dM_h}{dy}$$

Si l'on applique la loi du trapèze, on trouve :

$$n_h = \frac{M_h e}{2I} - \frac{M_h}{I} x = -3h \cotg^2 \beta + 6 \frac{h}{y} x \cotg^3 \beta$$

Ce qui donne pour n'_h à l'amont et n''_h à l'aval :

$$n'_h = -3h \cotg^2 \beta \quad n''_h = 3h \cotg^2 \beta$$

Le tableau ci-joint donne, pour une même hauteur h , les valeurs comparatives de n'_h et de n''_h de deux profils triangulaires à parement amont vertical pour lesquels $\text{tg } \beta$ a

Paroi	tg β	Equation (54)	Loi du trapèze	Différence
Amont	0,8	- 5,39 h	- 4,69 h	15 %
	1	- 3,66 h	- 3,00 h	22 %
Aval	0,8	3,90 h	4,69 h	17 %
	1	2,33 h	3,00 h	22,3 %

pour valeurs 0,8 et 1. On voit que la loi du trapèze accuse à l'aval une compression trop forte, ce qui est avantageux pour la stabilité, mais que par contre elle accuse aussi à l'amont un effort de traction trop faible, ce qui est une condition défavorable. On voit en outre que la différence des résultats obtenus par les deux procédés augmente avec l'angle β , c'est-à-dire en somme avec h , puisque, pour réaliser les conditions voulues de stabilité, il faut augmenter β avec h . Si l'on ne veut pas s'astreindre à vérifier la valeur de la pression élastique normale à l'amont, au moyen de l'équation (54), il ne faudra pas se contenter de la condition $n' = y$ mais bien s'imposer $n' > y$.

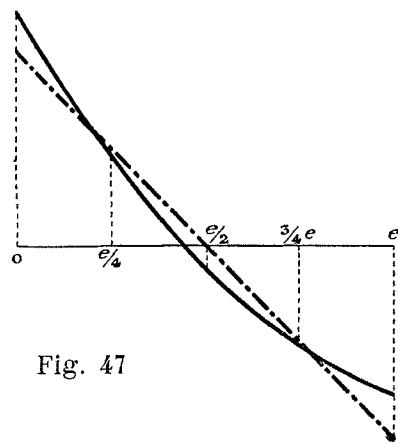


Fig. 47

La figure 47 donne la courbe représentative de la valeur de n_h tirée de l'équation (54) en comparaison avec la droite donnée par la règle du trapèze.

Avec l'un et l'autre procédé, la pression élastique n_{h1} est toujours positive, mais à l'aval cette pression est moins forte avec l'équation (54) qu'avec la loi du trapèze.

Dans tout barrage à profil triangulaire on est pratiquement obligé de donner une certaine épaisseur au sommet, aussi la loi du trapèze ne sera donc pas exacte pour l'ensemble des forces extérieures auxquelles le barrage est soumis ; mais il sera en général toujours possible de faire passer la crête du couronnement par le sommet du triangle, de manière que la loi du trapèze reste exacte, dans le voisinage de la base, sous l'action des charges horizontales.

Pour les profils intermédiaires entre le triangle et le rectangle, pour le profil trapézoïdal par exemple, la loi du trapèze doit donner des résultats qui se rapprochent d'autant plus de l'exactitude que la forme du profil est elle-même plus rapprochée du triangle et que le sommet de celui-ci est plus près du niveau de l'eau. On pourrait le vérifier analytiquement, car, en général, il serait possible de trouver pour n , t et n_1 , au moyen de développements en série, des fonctions de x et de y satisfaisant à la théorie mathématique de l'élasticité, soit pour l'ensemble des forces intérieures appliquées au barrage, soit sous l'action des charges verticales ou horizontales seules, mais les calculs seraient longs et laborieux, aussi nous contenterons-nous de faire la remarque suivante :

Considérons une série de profils triangulaires tels que ABS_1 , ABS , ABS_2 , etc. Pour le profil ABS_1 , pour lequel S_1 est inférieur au niveau de l'eau, la loi du trapèze indique à l'amont un effort de traction trop faible, et cela d'autant

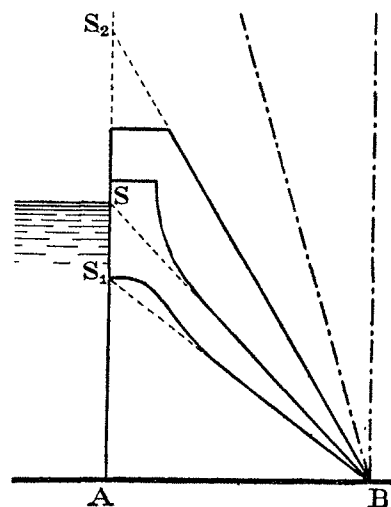


Fig. 48.

Considérons une série de profils triangulaires tels que ABS_1 , ABS , ABS_2 , etc. Pour le profil ABS_1 , pour lequel S_1 est inférieur au niveau de l'eau, la loi du trapèze indique à l'amont un effort de traction trop faible, et cela d'autant

plus que le sommet S_1 est plus bas. Lorsque le sommet S vient coïncider avec le niveau de l'eau, la loi du trapèze devient exacte lorsque le couronnement passe par le sommet ou lui est supérieur. Enfin, si le sommet continue à s'élever jusqu'à se transporter à l'infini, c'est-à-dire si le triangle se transforme en un rectangle, la loi du trapèze accuse à l'amont une traction trop forte.

Il semble donc qu'on puisse être fondé à dire que la loi du trapèze doit donner à l'amont des résultats favorables à la stabilité, lorsque le sommet du triangle se trouve plus élevé que le niveau de l'eau, et que ces résultats doivent se rapprocher d'autant plus de ceux trouvés pour le triangle ABS ou pour le rectangle que le profil considéré se rapproche plus de l'un ou de l'autre de ces deux profils particuliers. Pour ce qui est de condition de stabilité à l'aval, nous pouvons seulement dire qu'il semble que dans tous les cas la règle du trapèze doit donner des résultats favorables.

COMPARAISON DES DIVERSES MÉTHODES

Dans les chapitres précédents, nous avons passé en revue les principales méthodes qui ont été exposées en France, en conservant l'ordre chronologique suivant lequel elles ont été publiées, et l'on a pu remarquer que, au fur et à mesure qu'elles se suivaient, chacune de ses méthodes apportait une condition nouvelle pour la stabilité des barrages et tendait de plus en plus vers la méthode rationnelle qui nous paraît devoir être réalisée par celle de M. Maurice Lévy.

La première en date de ces méthodes (ou du moins la première qui mérite réellement d'être qualifiée de ce nom), et la plus simple de toutes, est celle de M. de Sazilly, perfectionnée par M. Delocre; elle ne s'occupait absolument que des pressions normales agissant sur une section horizontale quelconque, et, en fait de cisaillement, elle ne se préoccupait que de l'effort tranchant total T agissant sur cette même section horizontale, effort qu'elle supposait simplement devoir être annihilé par le frottement développé sur cette section sous le poids de la partie supérieure de l'ouvrage. Quant aux efforts de cisaillement suivant une direction quelconque, elle les ignorait au même degré que les efforts normaux agissant sur des sections verticales. Dans les méthodes suivantes, on s'est préoccupé des sections obliques; mais tout d'abord, on n'a tenu compte que des pressions normales que l'on a calculées au moyen de la règle du trapèze appliquée à ces sections: M. Bouvier considérant la section normale à la courbe des pressions; MM. Guillemain, Hétier et Pelletreau étudiant les diverses sections obliques que l'on peut mener et s'attachant à celle qui donne la plus grande pression normale. Quant à M. Clavenad, il paraît être le seul qui se soit préoccupé sérieusement de l'influence du glissement suivant les sections obliques. Enfin, la méthode de M. Maurice Lévy est la seule qui permette d'expliquer qu'il puisse exister des efforts de traction à l'aval en charge, ainsi que nous l'avons vu pour le rectangle; efforts qui ont été clairement mis en évidence dans des expériences sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement.

Ainsi que nous l'avons vu, M. Pelletreau avait trouvé, pour la compression maxima sur le parement aval, une valeur qui est exacte tant que la section oblique considérée rencontre le parement amont. Ceci vient de ce que M. Pelletreau s'était placé dans un cas particulier, celui du triangle avec parement amont vertical. En effet, soit M

un point quelconque d'une section oblique AB faisant un angle θ avec l'horizontale, et soit x et y les coordonnées de ce point par rapport à deux axes rectangulaires passant par le sommet du triangle et par le parement amont, λ l'ordonnée du point A sur ce parement amont et χ la longueur AM . On a :

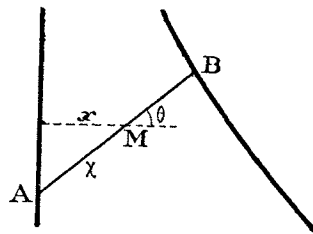


Fig. 49.

$$x = \chi \cos \theta \quad y = \lambda - \chi \sin \theta$$

Or, nous avons vu que, dans le cas particulier considéré, n , t et n_1 variaient linéairement en x et y , de sorte que si l'on porte leur valeur en fonction de λ et de χ dans l'expression (49) qui donne la valeur de la pression normale R sur la section oblique considérée :

$$R = \frac{n + n_1}{2} + \frac{n - n_1}{2} \cos 2\theta + t \sin 2\theta \quad (49)$$

On trouve que R est du premier en χ , c'est-à-dire que la loi du trapèze est applicable. Il en serait encore de même si le parement amont était incliné; mais, pour un profil quelconque, et notamment pour le profil rectangulaire, n_1 et t ne varient plus linéairement, de sorte que R contient des termes en χ d'un degré supérieur au premier et que, par suite, la loi du trapèze n'est plus applicable. Les méthodes de MM. Pelletreau, Bouvier, Guillemain, Hétier, sont donc par conséquent inexactes en général, puisqu'elles emploient la règle du trapèze pour la répartition des pressions sur les sections obliques.

Toutes les anciennes méthodes peuvent être considérées comme plus ou moins empiriques, et, si nous les avons étudiées avec quelques détails, bien qu'elles semblent n'avoir plus à l'heure actuelle qu'un intérêt rétrospectif, c'est, d'une part, afin de faire mieux ressortir la précision de la méthode analytique de M. Maurice Lévy qui permet, semble-t-il, de calculer un barrage en maçonnerie avec autant de précision qu'une poutre métallique ordinaire par les méthodes usuelles de la résistance des matériaux; d'un autre côté, par ce que la presque totalité des barrages actuels ont été calculés par ces anciennes méthodes, tel le grand barrage du Gouffre d'Enfer qui est encore l'un des plus hauts barrages du monde; et enfin, parce que la circulaire du 15 juin 1897, qui régit encore les conditions minimales imposées par le Ministère de l'Agriculture pour le calcul des barrages à établir sur les cours d'eau non navigables ni flottables, exige que les projets de barrage soumis à cette Administration satisfassent, non seulement à la méthode de M. Lévy, mais encore à celle de M. Bouvier.

A ce sujet, nous ferons remarquer que la méthode Bouvier ne donne un résultat exact que dans un cas tout à fait particulier. C'est celui pour lequel la résultante des forces appliquées à un élément de barrage au-dessus d'une section horizontale fait avec la verticale un angle égal à celui que fait le parement aval avec la même verticale. Pour le profil rectangulaire, cette condition n'est réalisée que sur le couronnement; à l'intérieur, la méthode Bouvier donne des résultats trop forts. Pour le profil triangulaire, qui est celui dont les profils des barrages se rapprochent le plus, la condition précédente ne se trouve réalisée que si l'on a $\cotg \beta = \sqrt{K}$ qui correspond à $n' = 0$, c'est-à-dire si l'on se trouve dans une mauvaise condition de stabilité. La méthode Bouvier, pour ce profil, ne donne des résultats trop forts que si l'on a $n' < 0$; toutes les fois que l'on a $n' > 0$

(ce qui doit toujours avoir lieu) elle indique des résultats trop faibles. Il serait donc désirable au point de vue scientifique que le Ministère de l'Agriculture supprima l'obligation, à laquelle sont soumis les projets qui lui sont présentés, de satisfaire à la méthode Bouvier, puisque cette méthode est inexacte dans la généralité des cas et qu'elle n'a par suite plus aucune raison d'être. Les ingénieurs qui ont à dresser des projets y gagneraient en outre un certain nombre de calculs inutiles, avec la perte de temps qu'ils entraînent.

(A suivre)

H. BELLET.

NOTE ANNEXE

Pour obtenir une expression de n satisfaisant à la théorie mathématique de l'élasticité dans le cas du profil rectangulaire, nous pouvons essayer de développer n en série suivant les termes croissants de x et écrire :

$$n = a + bx + cx^2 + gx^3 + mx^4 + rx^5 + sx^6 + \dots \quad (I)$$

a, b, c, g , etc., étant des fonctions de y indépendantes de x . On en déduit :

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2n}{dx^2} &= 2c + 6gx + 12mx^2 + 20rx^3 + \dots \\ \frac{d^2n}{dy^2} &= a'' + b''x + c''x^2 + g''x^3 + m''x^4 + r''x^5 + \dots \\ \frac{d^2n_1}{dy^2} &= a^{iv} \frac{x^2}{2} + b^{iv} \frac{x^3}{6} + c^{iv} \frac{x^4}{24} + g^{iv} \frac{x^5}{5} + m^{iv} \frac{x^6}{6} + r^{iv} \frac{x^7}{7} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (II)$$

Pour satisfaire à l'équation (45) nous devons donc avoir :

$$\left. \begin{aligned} 2c + 2a'' + (6g + 2b'')x + \left(12m + 2c'' + \frac{a^{iv}}{2}\right)x^2 \\ + \left(20r + 2g'' + \frac{b^{iv}}{6}\right)x^3 + \dots \end{aligned} \right\} = 0$$

et comme cette relation doit être satisfaite quelque soit x , il faut que l'on ait :

$$\left. \begin{aligned} 2c + 2a'' = 0 & \quad 12m + 2c'' + \frac{a^{iv}}{2} = 0 \quad \dots \text{etc} \dots \\ 6g + 2b'' = 0 & \quad 20r + 2g'' + \frac{b^{iv}}{2} = 0 \quad \dots \text{etc} \dots \end{aligned} \right\} \quad (III)$$

Ceci posé, nous savons que n_1 doit contenir au moins le terme $+y$, de sorte que l'on peut écrire : $n_1 = y + \varphi(x)$. Nous savons, en outre, que pour $x = e$, on doit avoir $n_1 = 0$; il faut donc que $\varphi(e) = -y$, et pour que ceci ait lieu, quelque soit y , il faut que la fonction φ ne contienne y qu'au premier degré sans termes constants, puisque pour $y = 0$ on doit avoir $n_1 = 0$. Il résulte immédiatement de cette considération que t ne peut contenir que des termes en y^2 ou des termes constants ; il ne peut pas contenir de terme en y puisque n_1 n'a pas de terme constant et que, d'autre part, la 5^e condition (du texte) ne pourrait être satisfaite s'il y en avait. Il s'en suit que n ne peut contenir que des termes en y^3 ou en y et pas de termes constants puisque l'on doit avoir $n = 0$ pour $y = 0$. Donc $a'', b'', c'' \dots$ sont au plus des fonctions du premier degré en y et par suite $a^{iv}, b^{iv}, c^{iv} \dots$ sont nuls.

Des équations (III) on tire :

$$c = -a'' \quad \text{et} \quad g = -\frac{b''}{3} \quad (IV)$$

donc c et g sont des fonctions du premier degré en y , par suite c'' et g'' sont nuls, et comme a^{iv} et b^{iv} sont nuls aussi, il en résulte que m et r sont également nuls ; m'' et r'' sont donc nuls aussi, de sorte que tous les facteurs des termes en x , supérieurs à x^3 , sont nuls et l'équation de n se réduit à :

$$n = a + bx + cx^2 + gx^3$$

que l'on peut mettre sous la forme suivante, à cause de (IV) :

$$n = Cy^3 + C_1y + (C_2y^3 + C_3y)x - 6Cyx^2 - 2C_2yx^3 \quad (V)$$

où C, C_1, C_2, C_3 désignent des constantes. Il vient donc, pour l'expression de t et de n_1 :

$$t = -(3Cy^2 + C_1)x - \left(\frac{3C_2y^2 + C_3}{2}\right)x^2 + 2Cx^3 + \frac{C_2}{2}x^4 \quad (VI)$$

$$n_1 = y + 3Cyx^2 + C_2yx^3 \quad (VII)$$

Pour $x = e$ on doit avoir $t = 0$ et $n_1 = 0$ quelque soit y , il faut donc que :

$$\left. \begin{aligned} 3Ce + \frac{3}{2}C_2e^2 &= 0 \\ 1 + 3Ce^2 + C_2e^3 &= 0 \\ -C_1e - \frac{C_3}{2}e^2 + 2Ce^3 + \frac{C_2}{2}e^4 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (VIII)$$

Les deux premières équations donnent :

$$C = -\frac{1}{e^2} \quad C_2 = \frac{2}{e^3}$$

Il faut encore que $\int_0^e t dx = \frac{y^2}{2}$ ce qui donne les relations :

$$\left. \begin{aligned} -\left(\frac{3}{2}Ce^2 + \frac{C_2}{2}e^3\right)y^2 &= \frac{y^2}{2} \\ -\frac{C_1}{2}e^2 - \frac{C_3}{6}e^3 + \frac{C}{2}e^4 + \frac{C_2}{10}e^5 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (IX)$$

En remplaçant C et C_2 par leur valeur, on voit que la première de ces équations est toujours satisfaite quelque soit y . En combinant la seconde avec la troisième des équations (VIII) il vient :

$$C_1 = \frac{1}{5} \quad C_3 = -\frac{12}{5} \cdot \frac{1}{e}$$

Ce qui donne finalement pour les expressions de n, t et n_1 :

$$\begin{aligned} n &= -\frac{y^3}{e^2} + \frac{1}{5}y + \left(2\frac{y^3}{e^3} - \frac{12}{5}\frac{y}{e}\right)x + 6y\frac{x^2}{e^2} - 4y\frac{x^3}{e^3} \\ t &= \left(3\frac{y^2}{e^2} - \frac{1}{5}\right)x - \left(3\frac{y^2}{e^2} - \frac{6}{5}\right)\frac{x^2}{e} - 2\frac{x^3}{e^2} + \frac{x^4}{e^3} \\ n_1 &= y - 3y\frac{x^2}{e^2} + 2y\frac{x^3}{e^3} \end{aligned}$$

EMPLOI DES NITRATES ET NITRITES DE CHAUX comme engrais

Note de M. Th. Shlœsing à l'Académie des sciences.
Séance du 13 novembre 1905.

Le nitrate employé aujourd'hui comme engrais est, d'une manière très générale, le nitrate de soude. Il n'est guère douteux que le nitrate de chaux puisse, à égalité d'azote, être considéré comme équivalent; tout au moins est-il permis de dire que ce dernier représente une matière fertilisante de premier ordre; car l'azote, après la nitrification naturelle dans les sols, doit se présenter le plus ordinairement aux racines, qui l'utilisent si bien, à l'état de nitrate de chaux. Malgré sa très grande probabilité, il n'est pas tout à fait inutile de vérifier expérimentalement cette équivalence, en raison de l'intérêt que l'usage du nitrate de chaux emprunte à des circonstances nouvelles.

La fabrication de l'acide nitrique avec les éléments de l'air, à l'aide d'un four électrique, fabrication qui dès maintenant fonctionne en Norvège (procédé Birkeland et Eyde), outre qu'elle prépare sans doute des changements importants dans l'industrie chimique, est appelée à avoir aussi son retentissement sur les errements de l'agriculture. Elle peut, en effet, fournir des quantités considérables de nitrate de chaux, s'ajoutant dès à présent au nitrate de soude du Chili et capables de les remplacer le jour où ils disparaîtront par épuisement.

C'est sur le nitrate de chaux de cette provenance, à 13 % d'azote, que j'ai expérimenté. L'essai a porté en même temps sur des nitrites. La fabrication visée plus haut donne une partie d'azote oxydé à l'état de nitrite de chaux, qu'elle transforme en nitrate, les nitrites ne se consommant pas actuellement comme engrais. Mais faut-il réellement proscrire les nitrites? Sont-ils nuisibles à la végétation, sont-ils utilisés par elle? Voici quelques résultats d'expériences sur ces questions:

Culture, en pots, de maïs jaune gros (juillet-octobre 1905).

(Dans chaque lot, 9 kilogr. terre de Boulogne + 0^{gr} 405 P₂O₅ (superphosphate) + 1^{gr} 500 sulfate de potasse. Nitrates et nitrites ajoutés, en dehors des témoins, à raison de 0^{gr} 200 d'azote pour 9 kilogr. de terre, soit de 80 kilogr. environ à l'hectare).

	Poids des récoltes sèches en grammes.
Témoins sans addition d'azote.....	43,3
Nitrite de soude et nitrite de chaux (moyenne).....	54,6
Nitrate de soude.....	54,2
Nitrate de chaux de Norvège.....	54,0

Sous la même dose d'azote, nitrates et nitrites mis en œuvre se sont montrés également efficaces; la perfection de l'égalité est peut-être, d'ailleurs, un peu fortuite. Ces expériences sont à continuer.

Appareillage à haute tension

Dans les installations à haute tension, un choix judicieux de l'appareillage est d'une importance primordiale. Aussi nous proposons-nous aujourd'hui de donner à nos lecteurs quelques renseignements généraux sur divers types d'appareils d'un emploi courant qui sont construits par la Société Industrielle des Téléphones.

Les interrupteurs pour la haute tension peuvent se diviser en trois catégories principales: les appareils à grande distance de rupture dans l'air, les appareils à rupture sur corne, et les appareils à rupture dans l'huile.

La première catégorie d'appareils comprend les types dits à couteaux cintrés, appareils très simples convenant à des tensions inférieures à 6.000 volts et à des puissances ne dépassant pas 250 kilowatts. Ils comprennent un dispositif de commande par levier avec un palier en bronze poli et une poignée d'ébonite, et sont montés sur des socles en marbre blanc munis de douilles en porcelaine. Des cloisons en ardoise huilée sont disposées entre chaque pôle; les couteaux sont en bronze, accouplés par une barre de gaïac à double isolement de mica; les mâchoires sont en cuivre rouge et démontables. Enfin ces appareils peuvent être munis de pare-étincelles en charbon.

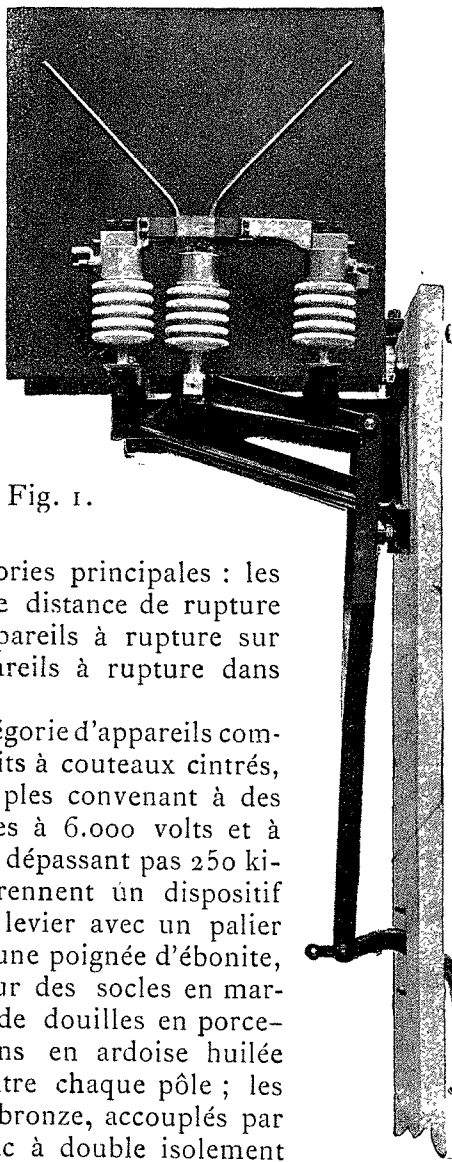


Fig. 1.

Dans la même catégorie, mais pour des tensions plus élevées (jusqu'à 1.000 kilowatts et 10.000 volts), la Société Industrielle des Téléphones construit des types à leviers qui se distinguent surtout des précédents parce que les couteaux de bronze sont remplacés par des leviers en frêne verni portant à l'intérieur un câble souple, et montés à serrage dans des pièces de bronze fixées sur un axe carré avec interposition d'un fort isolement de mica et de prespahn.

Les appareils à ruptures sur corne peuvent s'employer jusqu'à 10.000 volts; ils comportent une commande par levier avec un palier en bronze poli et une poignée d'ébonite. Des couteaux pivotants en cuivre rouge, montés sur des porcelaines, viennent s'engager dans des mâchoires en cuivre rouge également montées sur des porcelaines et facilement démontables. (Voir figure 1).

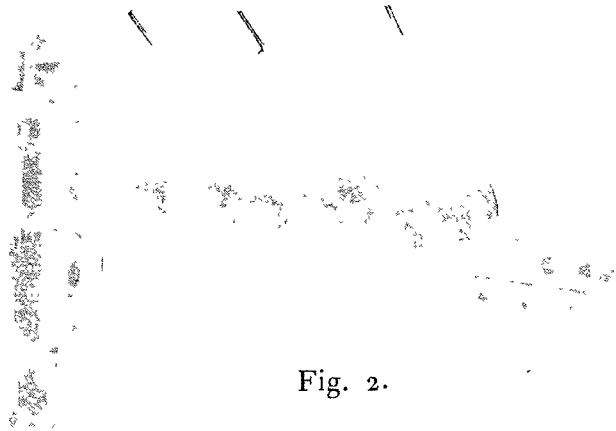


Fig. 2.

L'appareil est supporté par des consoles en fonte de fer disposées pour permettre un montage facile derrière les panneaux des tableaux de distribution.

Ce modèle subit de légères modifications pour les installations à l'extérieur.

Dans ce cas, les pôles sont montés sur deux cornières entretoisées par deux pièces en fonte qui servent de paliers à l'axe des couteaux mobiles. Ces cornières sont fixées aux poteaux par des boulons et des ferrures qui constituent des jambes de force et assurent la rigidité de l'ensemble. Les interrupteurs de ce type peuvent être montés: soit en porte-à-faux, sur un seul poteau, soit entre deux poteaux, soit enfin au sommet d'un poteau unique. Dans ce dernier cas, un chapeau en fonte avec boulons embrasse l'extrémité supérieure du poteau et porte les bras sur lesquels sont boulonnées les cornières de l'appareil. La commande peut se faire par chaîne, par tringle ou par une manivelle de sûreté amovible. (Voir figure 2).

Enfin les interrupteurs de troisième catégorie, à rupture dans l'huile, se divisent en deux séries. La première comprend les appareils destinés aux puissances inférieures à 250 kilowatts, sous une tension de 6.000 volts au maximum. Ils sont à bac unique, la commande est rotative et comporte un dispositif de genouillères et de ressorts de rappel; l'isolement des couteaux et mâchoires est particulièrement soigné et les distances de rupture sont largement calculées; les prises de courant sont protégées par des porcelaines de forme spéciale; enfin l'appareil peut être disposé pour être fixé, au gré des intéressés, soit sur un tableau, soit contre un mur.

Les interrupteurs dans l'huile de la deuxième série comportent autant de bacs que de pôles et ces bacs sont revêtus intérieurement de garnitures isolantes. La rupture se fait en deux points sur chaque pôle. L'entrée et la sortie sont